



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

PROYEK AKHIR TERAPAN - VC191845

# EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH BERSAMA DI MALANG AKIBAT BEBAN GEMPA SNI 1726-2019

MOHAMAD ALFIEN ARISANDY ARMANSYAH  
NRP. 10111710010088

Dosen Pembimbing I  
R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

Dosen Pembimbing II  
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN  
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2021



**PROYEK AKHIR TERAPAN - VC191845**

# **EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH BERSAMA DI MALANG AKIBAT BEBAN GEMPA SNI 1726-2019**

**MOHAMAD ALFIEN ARISANDY ARMANSYAH**  
NRP. 10111710010088

Dosen Pembimbing I  
R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

Dosen Pembimbing II  
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN  
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2021**





**FINAL PROJECT - VC191845**

**EVALUATION AND STRENGTHENING  
STRUCTURE OF THE "KULIAH BERSAMA"  
BUILDING IN MALANG DUE TO THE  
EARTHQUAKE LOAD ACCORDING TO SNI  
1726-2019**

**MOHAMAD ALFIEN ARISANDY ARMANSYAH**  
NRP. 10111710010088

Consellor Lecturer I  
R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

Consellor Lecturer II  
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

STUDY PROGRAM OF TECHNOLOGY MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF  
CIVIL BUILDINGS  
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF VOCATIONAL STUDIES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2021





## LEMBAR PENGESAHAN

### EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH BERSAMA DI MALANG AKIBAT BEBAN GEMPA SNI 1726- 2019

#### PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan  
pada  
Program Studi Sarjana Terapan  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
Mahasiswa




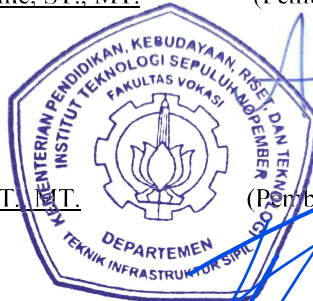
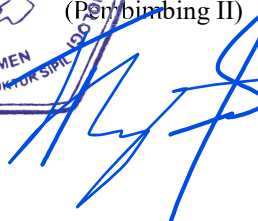
**Mohamad Alfien Arisandy Armansyah**  
**NRP. 10111710010088**

Surabaya, 18 Agustus 2021

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. (Pembimbing I)  
NIP. 197402032002121002

2. Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT. (Pembimbing II)  
NIP. 197802012006042002

”Halaman ini sengaja dikosongkan”



## Berita Acara Sidang Proyek Akhir

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Teknik ITS

Semester Genap 2020/2021

Nomor BA :

Nomor Jadwal : **78**

Program Studi : D4 Teknik Sipil (TRPPBS)

Diikuti oleh : Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST, MT.

Bahwa pada hari ini : Rabu, 21 Juli 2021

Pukul : 12:00 s/d 14:00

Di tempat : Online Meeting

Telah dilaksanakan sidang Tugas Akhir dengan judul:

**EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH BERSAMA DI MALANG AKIBAT BEBAN GEMPA SNI 1726-2019**

Yang dihadiri dan diresentasikan oleh mahasiswa :

( Hadir / Tidak Hadir)

10111710010088 MOHAMAD ALFIEN ARISANDY ARMANSYAH

Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Pembimbing:

( Hadir / Tidak Hadir)

1 Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST, MT.

Hadir

2 Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST, MT.

Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Penilai:

( Hadir / Tidak Hadir)

1 Dr. Ir. Dicky Imam Wahyudi, MS.

Hadir

2 Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS.

Hadir

3

Bahwasanya, musyawarah pembimbing dan penilai pada sidang proyek akhir ini memutuskan:

10111710010088 MOHAMAD ALFIEN ARISANDY ARMANSYAH

**LULUS, DENGAN REVISI MAYOR**

Catatan / revisi / masukan :

1. Dr. Ir. Dicky Imam Wahyudi, MS.

1. Sebelum memeriksa pada kekuatan elemen str.

sistem str harus diperiksa terlebih dahulu.

Dg melakukan start desain, dari pemeriksaan tnyt banyak

yang tdk terpenuhi syarat kekuatannya.

2. silakan diperiksa lagi pondasi

2. Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS.

1. Pondasi
2. Kolom kurang besar
3. Geser torsi, balok
4. Setelah diperiksa elemen2 kuat gak kuat salah.
5. Tdk hanya perluasan elemn struktur, tapi jika melakukan perluasan pada sistem struktur. Dipindah gayanya. Kontrolnya masih salah.

3.

- a
- b
- c
- d
- e
- f

Tindak lanjut :

Mahasiswa memperbaiki/merevisi Proyek Akhir sesuai dengan masukan di atas.

Penutup :

Demikian Berita Acara Sidang Proyek Akhir ini dibuat sebagai panduan revisi oleh Mahasiswa.

Lampiran :

Tempelkan screen capture peserta meeting online disini.





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

Nama : Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP : 10111710010088  
Judul Tugas Akhir : Evaluasi dan Perkuatan Struktur Gedung Kuliah  
Bersama di Malang Akibat Beban Gempa SNI 1726-  
2019  
Dosen Pembimbing : 1. R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
2. Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas/Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	13 April 2021	Membahas perhitungan kapasitas struktur awal				
		Posisi perletakan sedikit diturunkan pada permodelan struktur untuk memunculkan gaya yang terjadi				
		Kerjakan sepaham mungkin nanti apa yang kurang paham ditanyakan lagi		B	C	K
		Segera dilakukan permodelannya dengan dicek kekuatan strukturnya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	01 Mei 2021	Perletakan jepit pada permodelan struktur diturunkan jangan pada elevasi 0				
		Shearwall ikut diturunkan sesuai perletakan yang diturunkan		B	C	K
		Kapasitas pelat arah x dan y		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	12 Juni 2021	Pengecekan hasil analisis struktur dan semua kontrol				
		Pastisipasi masa ragam terkombinasi tidak harus 100% yang terpenting sudah diatas 90% pada permodelan				
		Kontrol waktu geser alami fundamental nilai T				

		Setelah kontrol gaya geser dasar awal sudah tidak memenuhi langsung dilakukan permodelan ulang dengan skala faktor yang baru		B	C	K
		Kontrol sistem struktur saya yang tidak oke ada pada kontrol dual sistemnya. Kalau seperti itu apakah boleh diabaikan?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	26 Juni 2021	Nilai D efektif untuk tulangan lentur 2 lapis				
		Perhitungan geser nominal (nilai $V_c$ )				
		Output gaya dalam untuk Mux pada kolom pakai M2 atau M3				
		Kebutuhan lapis pada perkuatan geser dengan sika wrap				
		Penentuan jarak tumpuan dan lapangan pada saat pemasangan perkuatan lentur dan geser				
		Jarak maksimal untuk pemasangan CFRP wrap		B	C	K
		Apakah perlu perhitungan analisis biaya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ket**  
**B** = Lebih cepat dari jadwal  
**C** = Sesuai dengan jadwal  
**K** = Terlambat dari jadwal

**EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH  
BERSAMA DI MALANG AKIBAT BEBAN GEMPA  
SNI 1726-2019**

Nama Mahasiswa : Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP : 10111710010088  
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa  
Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan  
Sipil  
Departemen : Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi – ITS  
Dosen Pembimbing I : Ir. R. Buyung Anugraha Affandhie, ST.,  
MT.  
NIP : 197402032002121002  
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP : 197802012006042001

**Abstrak**

Pemeliharaan bangunan sangat perlu dilakukan agar bangunan tersebut tetap terjaga dan tetap sanggup mengikuti berbagai perkembangan yang terjadi di Indonesia, salah satunya adalah perkembangan peraturan-peraturan tentang perencanaan bangunan gedung. Adanya revisi peraturan tentang beban gempa yang menjadi SNI 1726-2019 adalah bukti bahwa terjadi perkembangan pada peraturan yang digunakan di Indonesia. Adanya revisi SNI 1726 ini memiliki pengaruh yang besar terhadap perencanaan bangunan gedung. Revisi peraturan tersebut membuat perlu dilakukannya evaluasi pada suatu bangunan gedung. Evaluasi bangunan tergolong sebagai kegiatan pemeliharaan suatu bangunan. Setelah dilakukannya evaluasi selanjutnya dilakukan perkuatan suatu sistem atau elemen struktur bangunan.

Gedung kuliah bersama 9 lantai di Malang ini pada saat perencanaannya menggunakan standar pembebanan gempa yang lama yaitu SNI 1726-2012, itu menjadi faktor yang mendasari perlunya melakukan evaluasi gedung kuliah bersama ini dengan menggunakan standar pembebanan gempa yang baru yaitu SNI 1726-2019 yang saat ini telah disesuaikan dengan kondisi kegempaan di wilayah Indonesia dan dijadikan acuan dalam perencanaan suatu bangunan gedung.



Setelah dilakukan evaluasi bangunan gedung akan dilanjutkan perkuatan struktur yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing. Tahapan pertamanya adalah mengecek suatu sistem struktur bangunan tersebut, jika sistem strukturnya memerlukan perkuatan maka dapat dilakukan dengan pemberian bresing baja. Tahapan selanjutnya mengecek elemen-elemen struktur pada bangunan tersebut, terutama pada balok dan kolom. Perkuatan pada elemen struktur dilakukan sesuai dengan kebutuhannya masing-masing. Perkuatan elemen struktur ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan *concrete jacketing* komposit antara beton dengan beton, selanjutnya ada *steel jacketing* komposit antara beton dengan baja, dan ada CFRP atau *Carbon Fiber Reinforced Polymer*.

Tugas akhir ini mendapatkan hasil bahwa struktur pada gedung ini akan ditambahkan bresing baja untuk mereduksi gaya lateral yang terjadi terutama akibat beban gempa SNI 1726-2019. Tipe bresing yang akan digunakan adalah bresing tipe konsentrik yaitu *inverted V-bracing* yang dipasang pada as 1 titik B-C dan titik K-L, dan pada as 4 titik C-D dan titik J-K. Bresing dipasang dari bawah sampai bagian paling atas bangunan. Setelah dilakukan perkuatan struktur bangunan tersebut kemudian dilakukan perkuatan pada beberapa elemen-elemen struktur utama yaitu perkuatan geser pada balok. Terdapat 133 balok yang memerlukan perkuatan geser.

**Kata kunci:** Evaluasi Struktur Bangunan Gedung, Perkuatan Struktur Bangunan Gedung, Bresing Baja, CFRP, Revisi SNI 1726-2012, SNI 1726-2019.

# EVALUATION AND STRENGTHENING STRUCTURE OF THE "KULIAH BERSAMA" BUILDING IN MALANG DUE TO THE EARTHQUAKE LOAD ACCORDING TO SNI 1726-2019

Name of Student : Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP : 10111710010088  
Study Program : Bachelor Degree of Technology  
Management and Maintenance of Civil  
Buildings  
Department : Department Civil Infrastructure Engineering  
Faculty of Vocational Studies – ITS  
Consellor Lecturer I : Ir. R. Buyung Anugraha Affandhie, ST.,  
MT.  
NIP : 197402032002121002  
Consellor Lecturer II : Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP : 197802012006042001

## Abstract

*Building maintenance is very necessary so that the building is maintained and can keep up with various developments that occur in Indonesia, one of which is the development of regulations on building maintenance. The revision of the earthquake load regulation which became SNI 1726-2019 is evidence of the development of regulations used in Indonesia. Revision of SNI 1726 is very influential on building planning. The revision of the regulation makes it necessary to evaluate a building. Building evaluation is classified as a building maintenance activity. After the evaluation is carried out, reinforcement of a system or structural element of the building is carried out.*

*This 9-storey "kuliah bersama" building in Malang when planning to use the old earthquake loading standard, namely SNI 1726-2012, it became the underlying factor for the need to evaluate this joint lecture building using the new earthquake loading standard, namely SNI 1726-2019 which is currently has been adapted to seismic conditions in the territory of Indonesia and is used as a reference in planning a building.*

*After evaluating the building, it will continue to strengthen the structure according to the needs of each. The first stage is to check a structural system of the building, if the structural system requires*

*reinforcement, it can be done by providing steel braces. The next step is to check the structural elements in the building, especially the beams and columns. Reinforcement of structural elements is carried out according to their respective needs. Strengthening of these structural elements can be done in several ways, namely by coating composite concrete between concrete and concrete, then there is a composite steel coating between concrete and steel, and there is CFRP or Carbon Fiber Reinforced Polymer.*

*This final project results that the structure in this building will be added with steel braces to reduce the lateral forces that occur mainly due to the earthquake load of SNI 1726-2019. The type of brace that will be used is the concentric type of brace, namely inverted V-bracing which is installed on the axle 1 point B-C and point K-L, and on the axle 4 points C-D and point J-K. Bracing is installed from the bottom to the very top of the building. After strengthening the structure of the building, then strengthening the main structural elements, namely shear reinforcement on the beam. There are 133 beams that require shear reinforcement.*

**Keywords:** *Evaluation of Building Structures, Reinforcement of Building Structures, Steel Braces, CFRP, Revision of SNI 1726-2012, SNI 1726-2019.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada kehadiran Allah SWT karena atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga proposal tugas akhir dengan judul “Evaluasi dan Perkuatan Struktur Gedung Kuliah Bersama Di Malang akibat beban gempa SNI 1726-2019” ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu. Proposal tugas akhir ini merupakan implementasi dari ilmu yang telah saya dapatkan selama perkuliahan di program studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tersusunnya proposal tugas akhir ini juga tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak yang banyak membantu serta memberikan masukan. Untuk itu pada kesempatan ini saya mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, dan saudara-saudara saya yang selalu memberikan doa dan dukungan moral maupun materiil dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. sebagai dosen pembimbing 1 yang telah memberikan banyak bimbingan, pelajaran, dan arahan dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT. sebagai dosen pembimbing 2 yang telah memberikan banyak bimbingan, pelajaran, dan arahan dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
4. Bapak Mohammad Khoiri, ST., MT., Ph.D selaku kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Infrastruktur Sipil yang selama ini membimbing dan membantu dalam proses perkuliahan.
6. Taqiyya Firdausi Aliyya, yang selalu mendukung dan memberikan motivasi serta semangat dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
7. Dan teman-teman saya yang selalu mendukung, dan membantu terima kasih atas bantuan dan saran yang telah diberikan.

Saya selaku penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan yang membuat proposal ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya berharap adanya saran dan kritik yang diberikan guna membangun kesempurnaan proposal ini yang nantinya akan digunakan untuk penyusunan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini banyak

memberikan manfaat bagi penyusun sekaligus pembaca maupun semua pihak yang terlibat.

Surabaya, 14 Agustus 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
Abstrak.....	vii
Abstract.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah.....	2
1.4    Tujuan.....	3
1.5    Manfaat.....	3
1.6    Data dan Konfigurasi Gedung .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1    Perkembangan Peraturan Gempa di Indonesia .....	7
2.2    Perbedaan Beban Gempa Desain SNI 1726-2019 terhadap SNI 1726-2012 .....	10
2.2.1    Koefisien Situs $F_a$ dan $F_v$ .....	10
2.2.2    Perbandingan SRD (Spektrum Respons Desain) 17 Kota di Indonesia.....	14
2.2.3    Perbedaan Tingkat Skala Gaya Geser Dasar.....	17
2.2.4    Perbandingan Beban Gempa Desain 17 Kota di Indonesia 17 .....	
2.3    Acuan yang Digunakan .....	20
2.4    Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur Eksisting .....	20

2.4.1	Perhitungan Kapasitas Penampang Balok.....	20
2.4.2	Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom .....	21
2.5	Evaluasi Bangunan .....	25
2.5.1	Pembebanan yang Dipakai.....	26
2.5.2	Kontrol Dinamis Kinerja Struktur Akibat Gempa .....	43
2.5.3	Kombinasi Pembebanan.....	48
2.6	Perkuatan Struktur .....	49
2.6.1	Perkuatan Sistem Struktur.....	50
2.6.2	Perkuatan Elemen Struktur .....	54
BAB III METODOLOGI.....		65
3.1	Pengumpulan Data dan Acuan yang Digunakan .....	65
3.1.1	Pengumpulan Data .....	65
3.1.2	Acuan yang Digunakan.....	65
3.2	Analisa Pembebanan.....	66
3.3	Permodelan Struktur .....	67
3.4	Analisa Gaya Dalam Struktur .....	67
3.5	Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur .....	67
3.6	Evaluasi Struktur .....	68
3.6.1	Kontrol Dinamis Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa 68	
3.6.2	Perbandingan Kapasitas Elemen Struktur dengan Gaya Dalam Maksimum .....	69
3.7	Perkuatan Struktur .....	69
3.8	Gambar Rencana Perkuatan.....	69
3.9	Metode Pelaksanaan Perkuatan Struktur .....	70
3.10	Rencana Anggaran Biaya .....	70
3.11	Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir.....	70
BAB IV PEMBAHASAN.....		73

4.1	Analisis Pembebanan.....	73
4.1.1	Beban Mati.....	73
4.1.2	Beban Hidup.....	74
4.1.3	Beban Air Hujan.....	74
4.1.4	Beban Angin.....	74
4.1.5	Beban Gempa SNI 1726-2012.....	78
4.1.6	Beban Gempa SNI 1726-2019.....	82
4.1.7	Beban Lift.....	87
4.1.8	Kombinasi Pembebanan.....	89
4.2	Permodelan Struktur.....	89
4.3	Kontrol Dinamis Struktur Eksisting terhadap SNI 1726-2012 90	
4.3.1	Kontrol Rasio Partisipasi Massa.....	90
4.3.2	Kontrol Waktu Geser Alami Fundamental.....	90
4.3.3	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	92
4.3.4	Kontrol Gaya Geser Dasar Baru.....	94
4.3.5	Kontrol Sistem Ganda (Dual System).....	95
4.3.6	Kontrol Simpangan Antar Lantai.....	96
4.4	Kontrol Dinamis Struktur Eksisting terhadap SNI 1726-2019 99	
4.4.1	Kontrol Rasio Partisipasi Massa.....	99
4.4.2	Kontrol Waktu Geser Alami Fundamental.....	100
4.4.3	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	102
4.4.4	Kontrol Gaya Geser Dasar Baru.....	103
4.4.5	Kontrol Sistem Ganda (Dual System).....	104
4.4.6	Kontrol Simpangan Antar Lantai.....	105
4.5	Permodelan Struktur dengan Perkuatan Bracing.....	108



4.6	Kontrol Dinamis Struktur Eksisting dengan Perkuatan Bresing 109	
4.6.1	Kontrol Rasio Partisipasi Massa .....	109
4.6.2	Kontrol Waktu Geser Alami Fundamental .....	110
4.6.3	Kontrol Gaya Geser Dasar .....	112
4.6.4	Kontrol Gaya Geser Dasar Baru .....	114
4.6.5	Kontrol Sistem Ganda (Dual System).....	115
4.6.6	Kontrol Simpangan Antar Lantai .....	116
4.7	Perhitungan Perencanaan Perkuatan dengan Bresing .....	120
4.7.1	Preliminary Batang Bresing.....	120
4.7.2	Perencanaan Sambungan I (Sambungan Sudut) .....	125
4.7.3	Perencanaan Sambungan II (Sambungan <i>Chevron</i> )..	140
4.8	Perhitungan Kapasitas Struktur .....	155
4.8.1	Pelat .....	155
4.8.2	Balok.....	157
4.8.3	Kolom .....	168
4.8.4	Hubungan Balok Kolom .....	209
4.8.5	Pondasi.....	219
4.9	Perencanaan Perkuatan Elemen Struktur .....	224
4.9.1	Perkuatan Balok.....	224
4.10	Metode Pelaksanaan .....	227
4.10.1	Metode Pelaksanaan Pemasangan Bresing .....	227
4.10.2	Metode Pelaksanaan Perkuatan CFRP .....	229
4.11	Rencana Anggaran Biaya .....	231
4.11.1	Biaya Perkuatan Bresing.....	231
4.11.2	Biaya Perkuatan CFRP .....	236
4.11.3	Rencana Anggaran Biaya.....	238
	BAB V PENUTUP.....	239

5.1	Kesimpulan.....	239
5.2	Saran.....	240
	DAFTAR PUSTAKA .....	241
	BIODATA PENULIS .....	243
	LAMPIRAN.....	245



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 – Gambar Potongan Eksisting Bangunan .....	4
Gambar 1.2 – Gambar Denah Eksisting Bangunan .....	4
Gambar 2.1 - Peta Wilayah Gempa PBI 1966.....	7
Gambar 2.2 - Peta Wilayah Gempa PMI 1970.....	7
Gambar 2.3 - Peta Wilayah Gempa PPI 1981 .....	8
Gambar 2.4 - Peta Wilayah Gempa SNI 1726-2002 .....	9
Gambar 2.5 - Peta Wilayah Gempa 2010.....	9
Gambar 2.6 - Peta Wilayah Gempa Tahun 2017.....	10
Gambar 2.7 – Diagram tegangan regangan elemen lentur balok .....	21
Gambar 2.8 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi konsentris .....	22
Gambar 2.9 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi <i>balance</i> .....	23
Gambar 2.10 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi tekan .....	24
Gambar 2.11 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi tarik .....	25
Gambar 2.12 – Peta respon spektra dan parameter gerak tanah 0.2 detik (S <sub>s</sub> ) di Malang dengan redaman kritis 5 % .....	39
Gambar 2.13 – Peta respon spektra dan parameter gerak tanah 1.0 detik (S <sub>1</sub> ) di Malang dengan redaman kritis 5%.....	39
Gambar 2.14 – Peta transisi periode panjang (TL) Malang dan sekitarnya .....	39
Gambar 2.15 – Spektrum respons desain .....	43
Gambar 2.16 – Penentuan simpangan antar tingkat .....	47
Gambar 2.17 – Gaya dalam sambungan bresing pada kolom .....	52
Gambar 2.18 – Gaya dalam pada sambungan bresing ke balok .....	53
Gambar 2.19 – Diagram regangan dan tegangan balok .....	55
Gambar 2.20 – Diagram regangan dan tegangan sebelum diperkuat ....	57
Gambar 2.21 – Diagram regangan dan tegangan hasil <i>concrete jacketing</i> .....	57
Gambar 2.22 – Contoh diagram P-M kolom yang dapat menahan beban .....	59
Gambar 2.23 – Diagram regangan dan tegangan hasil CFRP .....	61
Gambar 2.24 – Representasi Diagram Intraksi FRP .....	63
Gambar 3.1 - Diagram alir penyusunan tugas akhir.....	71
Gambar 3.2 - Diagram alir penyusunan tugas akhir (lanjutan) .....	72

Gambar 4.1 – Distribusi Beban Angin .....	77
Gambar 4.2 – Grafik respons spektrum gempa kota Malang SNI 1726-2012 .....	81
Gambar 4.3 – Grafik respons spektrum gempa kota Malang SNI 1726-2019 .....	86
Gambar 4.4 – Perbandingan grafik RS SNI 1726-2012 dengan SNI 1726-2019 .....	87
Gambar 4.5 – Dimensi lift merek hyundai .....	88
Gambar 4.6 – Reaksi pada lift.....	88
Gambar 4.7 – Pembebanan balok lift.....	88
Gambar 4.8 – Permodelan struktur <i>dual systems</i> (SRPMK) .....	90
Gambar 4.9 – Grafik simpangan arah X dan Y struktur eksisting (SNI 1726-2012).....	99
Gambar 4.10 – Grafik simpangan arah X dan Y struktur eksisting (SNI 1726-2019).....	108
Gambar 4.11 – Denah Eksisting Gedung dengan Perkuatan Bresing .	109
Gambar 4.12 – Permodelan Struktur Eksisting dengan Penambahan Bresing .....	109
Gambar 4.13 – Grafik simpangan arah X dan Y struktur eksisting (SNI 1726-2019) dengan Bresing .....	119
Gambar 4.14 – Bresing pada sumbu Y .....	121
Gambar 4.15 – Lokasi <i>joint</i> yang ditinjau.....	125
Gambar 4.16 – Gaya dalam pada sambungan bracing .....	134
Gambar 4.17 – Luas efek <i>breakout</i> angkur grup dalam menahan tarik	136
Gambar 4.18 – Diagram ekivalen kolom .....	168
Gambar 4.19 – Diagram interaksi kolom K1 arah X .....	179
Gambar 4.20 – Diagram interaksi kolom K1 dengan SPColumn arah X .....	179
Gambar 4.21 – Perbandingan diagram interaksi kolom k1 arah X .....	180
Gambar 4.22 – Diagram interaksi kolom K1 arah Y .....	190
Gambar 4.23 – Diagram interaksi kolom K1 dengan SPColumn arah Y .....	190
Gambar 4.24 – Perbandingan diagram interaksi kolom K1 arah Y.....	191
Gambar 4.25 – Skema hubungan balok kolom .....	191
Gambar 4.26 – Skema perhitungan geser kolom .....	198
Gambar 4.27 – Diagram interaksi kolom K1 lantai BM – L5 .....	202
Gambar 4.28 – Diagram interaksi kolom K1 lantai BM – L5.....	203
Gambar 4.29 – Diagram interaksi kolom K1A lantai L6 – L9.....	204
Gambar 4.30 – Diagram interaksi kolom K1A lantai L6 – L9.....	205

Gambar 4.31 – Diagram interaksi kolom K2 lantai BM – L5.....	206
Gambar 4.32 – Diagram interaksi kolom K2 lantai BM – L5.....	207
Gambar 4.33 – Diagram interaksi kolom K2A lantai L6 – L9.....	208
Gambar 4.34 – Diagram interaksi kolom K2A lantai L6 – L9.....	209
Gambar 4.35 – Gambar permodelan pondasi footplat 1.....	221
Gambar 4.36 – (a) ball pen hammer (b) rivet gun (c) kunci pas (d) kunci inggris .....	228
Gambar 4.37 – (a) las listrik (b) las karbit .....	228



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 - Perbedaan faktor koefisien situs $F_a$ .....	11
Tabel 2.2 - Perbedaan faktor koefisien situs $F_v$ .....	12
Tabel 2.3 - Perbandingan parameter percepatan respons spektral.....	14
Tabel 2.4 - Perbandingan parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.....	15
Tabel 2.5 - Perbandingan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik .....	16
Tabel 2.6 - Perbandingan beban gempa desain gedung bertingkat rendah dan tinggi .....	18
Tabel 2.7 - Perbandingan beban gempa desain gedung bertingkat menengah .....	19
Tabel 2.8 - Acuan-acuan yang digunakan .....	20
Tabel 2.9 - Beban mati pada SNI 1727-2020 .....	26
Tabel 2.10 – Beban hidup pada SNI 1727-2020 .....	27
Tabel 2.11 – Faktor Arah Angin, $K_d$ .....	28
Tabel 2.12 – Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ ).....	29
Tabel 2.13 – Konstanta eksposur daratan.....	30
Tabel 2.14 - Koefisien Eksposur Tekanan Velositas $K_h$ .....	31
Tabel 2.15 – Koefisien tekanan dinding, $C_p$ .....	32
Tabel 2.16 – Koefisien tekanan atap, $C_p$ .....	33
Tabel 2.17 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa .....	35
Tabel 2.18 – Faktor keutamaan gempa .....	37
Tabel 2.19 – Klarifikasi situs .....	37
Tabel 2.20 – Koefisien situs $F_a$ .....	40
Tabel 2.21 – Koefisien situs $F_v$ .....	40
Tabel 2.22 – Kategori desain seismik periode pendek ( $S_{DS}$ ).....	41
Tabel 2.23 – Kategori desain seismik periode 1 detik ( $S_{D1}$ ).....	42
Tabel 2.24 – Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $\alpha$ .....	44
Tabel 2.25 – Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) .....	45
Tabel 2.26 – Simpangan ijin antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$ .....	48
Tabel 4.1 – Koefisien tekanan eksternal .....	76
Tabel 4.2 – Rekap distribusi beban angin per lantai .....	77
Tabel 4.3 – Data N-SPT .....	78
Tabel 4.4 – Nilai percepatan gempa.....	80
Tabel 4.5 – Data N-SPT .....	82



Tabel 4.6 – Nilai percepatan gempa.....	85
Tabel 4.7 – Spesifikasi lift merk hyundai .....	87
Tabel 4.8 – <i>Modal Participating Mass Ratios</i> .....	90
Tabel 4.9– Parameter nilai $C_t$ dan $\alpha$ .....	91
Tabel 4.10 – Koefisien batas atas periode.....	91
Tabel 4.11 – <i>Modal periods and frequencies</i> .....	92
Tabel 4.12 – <i>Masses and weights</i> .....	93
Tabel 4.13 – <i>Base Reactions</i> .....	93
Tabel 4.14 – <i>Base Reactions</i> .....	94
Tabel 4.15 – Gaya geser yang diterima oleh bangunan.....	95
Tabel 4.16 – Gaya geser yang diterima <i>shearwall</i> .....	95
Tabel 4.17 – Gaya geser yang diterima SRPM .....	95
Tabel 4.18 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima <i>shearwall</i> .....	96
Tabel 4.19 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima SRPM.....	96
Tabel 4.20 – Simpangan antar lantai ijin struktur .....	97
Tabel 4.21 – Simpangan antar lantai arah x .....	97
Tabel 4.22 – Simpangan antar lantai arah y .....	97
Tabel 4.23 – <i>Modal participating mass ratios</i> .....	100
Tabel 4.24– Parameter nilai $C_t$ dan $\alpha$ .....	100
Tabel 4.25 – Koefisien batas atas periode.....	101
Tabel 4.26 – <i>Modal periods and frequencies</i> .....	101
Tabel 4.27 – <i>Masses and weights</i> .....	102
Tabel 4.28 – <i>Base Reactions</i> .....	103
Tabel 4.29 – <i>Base Reactions</i> .....	104
Tabel 4.30 – Gaya geser yang diterima oleh bangunan.....	104
Tabel 4.31 – Gaya geser yang diteria <i>shearwall</i> .....	105
Tabel 4.32 – Gaya geser yang diterima SRPM .....	105
Tabel 4.33 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima <i>shearwall</i> ...	105
Tabel 4.34 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima SRPM.....	105
Tabel 4.35 – Simpangan antar lantai ijin struktur .....	106
Tabel 4.36 – Simpangan antar lantai arah x .....	106
Tabel 4.37 – Simpangan antar lantai arah y .....	107
Tabel 4.38 – <i>Modal participating mass ratios</i> .....	110
Tabel 4.39– Parameter nilai $C_t$ dan $\alpha$ .....	110
Tabel 4.40 – Koefisien batas atas periode.....	111
Tabel 4.41 – <i>Modal periods and frequencies</i> .....	111
Tabel 4.42 – Rekapitulasi periode struktur .....	112
Tabel 4.43 – <i>Masses and weights</i> .....	113
Tabel 4.44 – <i>Base Reactions</i> .....	113

Tabel 4.45 – <i>Base Reactions</i> .....	114
Tabel 4.46 – Gaya geser yang diterima oleh bangunan.....	115
Tabel 4.47 – Gaya geser yang diterima <i>shearwall</i> .....	115
Tabel 4.48 – Gaya geser yang diterima SRPM .....	115
Tabel 4.49 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima <i>shearwall</i> ...	116
Tabel 4.50 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima SRPM.....	116
Tabel 4.51 – Perbandingan dual system struktur eksisting dan struktur dengan perkuatan bresing.....	116
Tabel 4.52 – Simpangan antar lantai ijin struktur .....	117
Tabel 4.53 – Simpangan antar lantai arah x .....	117
Tabel 4.54 – Simpangan antar lantai arah y .....	118
Tabel 4.55 – Rekapitulasi sambungan base plate angkur.....	139
Tabel 4.56 – Rekapitulasi kuat nominal angkur pada sambungan <i>chevron</i> .....	153
Tabel 4.57 – Rekapitulasi Momen Nominal Pelat Arah X.....	156
Tabel 4.58 - Rekapitulasi Momen Nominal Pelat Arah Y .....	156
Tabel 4.59 – Kontrol Kapasitas Pelat Atap Arah X .....	157
Tabel 4.60 – Kontrol Kapasitas Pelat Atap Arah Y .....	157
Tabel 4.61 – Kontrol Kapasitas Pelat Lantai Arah X.....	157
Tabel 4.62 – Kontrol Kapasitas Pelat Lantai Arah Y .....	157
Tabel 4.63 - Nilai $\beta_1$ untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen .....	158
Tabel 4.64 – Data tulangan .....	158
Tabel 4.65 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen .....	161
Penentuan faktor reduksi untuk perhitungan nominal bisa dilihat pada tabel 4.66 diatas yaitu tentang faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial. Maka didapatkan faktor reduksi sebesar : .....	164
Tabel 4.67 – Faktor modifikasi $\lambda$ .....	166
Tabel 4.68 – Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) .....	168
Tabel 4.69 - Rekapitulasi perhitungan diagram interaksi kolom K1 arah X.....	178
Tabel 4.70 – Rekapitulasi perhitungan diagram interaksi kolom K1 arah Y.....	189
Tabel 4.71 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1 BM – L5 .....	201
Tabel 4.72 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1 BM – L5 .....	202
Tabel 4.73 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1A L6 – L9 .....	203
Tabel 4.74 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1A L6 – L9 .....	204
Tabel 4.75 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2 BM – L5 .....	205

Tabel 4.76 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2 BM – L5 .....	206
Tabel 4.77 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2A L6 – L9 .....	207
Tabel 4.78 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2A L6 – L9 .....	208
Tabel 4.79 – Data Tanah N-SPT .....	220
Tabel 4.80 – Kontrol Pmax terhadap Pijin .....	222
Tabel 4.81 – Volume perkuatan bresing .....	231
Tabel 4.82 – AHSP perkuatan bresing .....	233
Tabel 4.83 – Total biaya perkuatan bresing .....	235
Tabel 4.84 – AHSP persiapan pemasangan CFRP .....	237
Tabel 4.85 – AHSP pemasangan CFRP Wrap per m <sup>2</sup> .....	237
Tabel 4.86 – Total biaya perkuatan CFRP .....	237
Tabel 4.87 – Rencana anggaran biaya .....	238

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Negara Indonesia terletak pada batas empat lempeng tektonik bumi yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, India, Australia, dan Pasifik. Keempat lempeng ini menjadikan Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai intensitas tinggi terhadap gempa bumi (Refani et al., 2015). Dengan adanya intensitas tinggi terhadap gempa bumi yang terjadi di Indonesia, bisa mengakibatkan kerusakan yang berat terhadap suatu bangunan jika pada bangunan tersebut tidak didesain dengan standar yang berlaku. Pada tanggal 17 Desember tahun 2019 Badan Standar Nasional (BSN) memperbarui SNI 1726 yang menjelaskan tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Pembaruan standar perencanaan beban gempa yang baru ini adalah hasil dari revisi standar perencanaan beban gempa yang lama yaitu revisi dari SNI 1726-2012 menjadi SNI 1726-2019.

Pembaruan SNI 1726 ini memiliki pengaruh besar terhadap beban gempa yang terjadi pada bangunan gedung tinggi. Terdapat beberapa perbedaan dalam perubahan standar ini. Beberapa perbedaan tersebut yaitu ada perbedaan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$ , perbedaan Spektrum Respons Desain (SRD), perbedaan penskalaan gaya geser dasar, dan perbedaan beban gempa desain. Revisi tersebut juga berdasarkan pertimbangan bahwa untuk menjaga kesesuaian SNI terhadap kebutuhan pasar, perkembangan IPTEK, pemeliharaan dan penilaian kelayakan dan kekinian, sebagaimana tertuang dalam surat keputusan kepala badan Standar Nasional Indonesia No. 693/KEP/BSN/12/2019 pada tanggal 17 Desember 2019.

Dengan adanya perbedaan dan pengaruh yang besar terhadap beban gempa akibat pembaruan SNI 1726, maka perlu dilakukan evaluasi bangunan untuk mengetahui kelayakan bangunan tersebut. Diperlukan standar-standar yang dijadikan acuan untuk mengevaluasi bangunan terutama pada bagian struktur bangunan tersebut. Dengan dilakukannya evaluasi struktur yang nantinya akan memungkinkan adanya beban lebih pada elemen-elemen struktur yang terjadi diluar batas kemampuannya, maka perlu diberikan perkuatan struktur pada elemen bangunan tersebut. Tujuan dari perkuatan struktur yaitu untuk meningkatkan kekuatan dari elemen tersebut agar dapat kembali menerima beban sesuai dengan standar acuan yang baru.

Bangunan yang ditinjau adalah gedung kuliah bersama 9 lantai di Malang yang memiliki fungsi bangunan sebagai fasilitas akademik yang digunakan untuk ruang kelas, perpustakaan, ruang komputer dan TIK, dan laboratorium. Pengambilan topik dan tempat pada gedung kuliah bersama ini dikarenakan pembangunan pada gedung ini dulu direncanakan berdasarkan SNI 1726-2012, namun setelah penyesuaian kondisi kegempaan di Indonesia akan dilakukan pemeliharaan dan penilaian kelayakan. Evaluasi bangunan akan menggunakan standar yang baru yaitu SNI 1726-2019. Tidak hanya mengevaluasi bangunan, nantinya akan dilakukan juga perkuatan pada struktur utama seperti kolom dan balok yang mengalami kegagalan struktur. Kedua hal itu perlu dilakukan dikarenakan tergolong dalam usaha pemeliharaan bangunan gedung yang dapat membuat gedung semakin kokoh untuk kedepannya sekaligus menghindari adanya kerusakan struktur yang diakibatkan karena gempa.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas, permasalahan yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara memodelkan struktur bangunan tersebut?
2. Bagaimana cara menghitung kapasitas elemen struktur eksisting?
3. Bagaimana cara mengevaluasi struktur eksisting yang disebabkan adanya perubahan beban gempa pada SNI 1726-2019?
4. Bagaimana cara merencanakan perkuatan struktur pada elemen yang tidak mampu menahan beban gempa yang baru?
5. Bagaimana menggambarkan hasil perencanaan perkuatan struktur?
6. Bagaimana metode pelaksanaan perkuatan struktur di lapangan?
7. Berapa estimasi biaya yang diperlukan untuk dilakukannya perkuatan struktur?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penyusunan proyek akhir ini hanya akan dibatasi sebagai berikut :

1. Perencanaan ini hanya membahas pada bagian struktur.
2. Tidak membahas bagian arsitektur, dan manajemen konstruksi.
3. Analisis biaya hanya pada bagian perkuatan saja.
4. Tidak memperhitungkan bagian *shearwall*.
5. Perhitungan pada perkuatan elemen struktur dibatasi hanya pada bagian kolom, balok, dan pelat.

6. Tidak merencanakan perkuatan pada bagian pondasi atau struktur bawah bangunan.
7. Perhitungan beban gempa menggunakan analisis respon spektrum dan mengacu pada SNI 1726-2019.
8. Penentuan beban desain minimum pada bangunan mengacu pada SNI 1727-2020.
9. Persyaratan kinerja struktur dan perhitungan kapasitas elemen struktur eksisting mengacu pada SNI 2847-2019.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penyusunan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

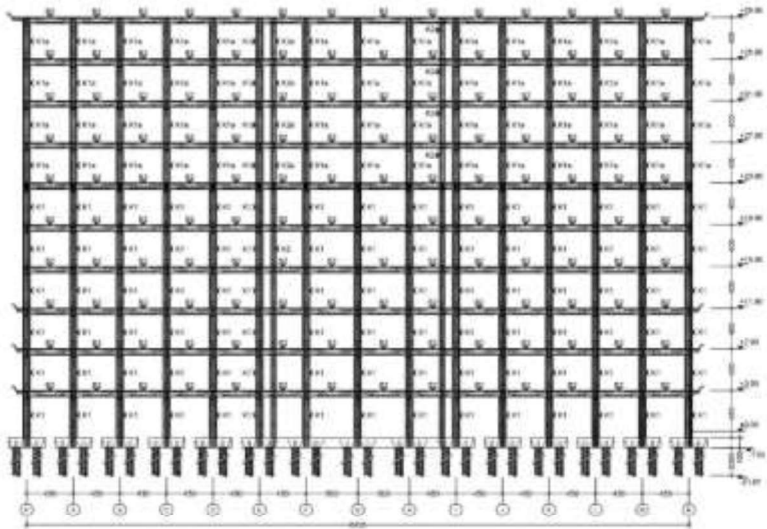
1. Memahami cara memodelkan struktur bangunan dengan benar.
2. Memahami cara menghitung kapasitas elemen struktur eksisting.
3. Memahami cara mengevaluasi struktur eksisting dengan perubahan beban gempa menjadi SNI 1726-2019.
4. Memahami cara merencanakan perkuatan struktur pada elemen yang tidak mampu menahan beban gempa yang baru.
5. Dapat menggambarkan hasil perencanaan perkuatan struktur.
6. Memahami metode pelaksanaan perkuatan struktur di lapangan.
7. Dapat mengetahui estimasi biaya yang diperlukan untuk perkuatan bangunan.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penyusunan proyek akhir ini adalah :

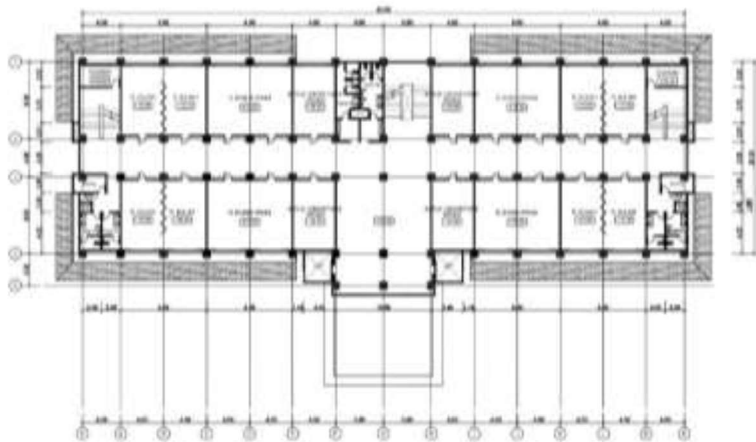
1. Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Sarjana Terapan.
2. Dapat merencanakan perkuatan gedung akibat adanya pembaruan beban gempa pada SNI 1726-2019.
3. Memahami hasil analisa struktur pada bangunan tersebut.
4. Memahami perbedaan hasil gaya dalam berdasarkan analisa struktur dengan acuan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019.
5. Mendapatkan desain perkuatan pada bagian elemen struktur yang tidak dapat menahan beban gempa baru.
6. Diharapkan mampu untuk menambah wawasan, informasi, maupun pengetahuan tentang evaluasi dan perkuatan bangunan gedung akibat pembaruan beban gempa pada SNI 1726-2019.

## 1.6 Data dan Konfigurasi Gedung



(Sumber: *As Build Drawing*)

**Gambar 1.1 – Gambar Potongan Eksisting Bangunan**



(Sumber: *As Build Drawing*)

**Gambar 1.2 – Gambar Denah Eksisting Bangunan**

Sebelum melakukan proyek akhir evaluasi bangunan ini diperlukan berbagai macam data yang dapat diolah, data-data tersebut akan dipaparkan sebagai berikut :

Nama proyek	: Gedung Kuliah Bersama (GKB 4) Universitas Muhammadiyah Malang
Alamat proyek	: Jalan Tlogomas No. 246, Kota Malang
Pemilik proyek	: Universitas Muhammadiyah Malang
Fungsi gedung	: Ruang kelas, perpustakaan, komputer dan TIK, laboratorium
Jumlah lantai	: 10 lantai termasuk lantai atap
Tinggi bangunan	: 39.9 m
Struktur bangunan	: Beton bertulang dengan metode sistem ganda SRPMK dan dinding geser ( <i>shearwall</i> )
Mutu beton	: - $f_c'30$ MPa
Mutu baja tulangan	: - $f_y$ 240 MPa untuk tulangan polos - $f_y$ 400 MPa untuk tulangan <i>deform</i>
Data Gambar	: Gambar struktur dan gambar arsitektur terlampir

Dikarenakan bangunan sudah tidak lagi di tahap pembangunan dan sudah berada di tahap penggunaan sebagai fungsi bangunan yang sudah direncanakan, sehingga data-data yang didapatkan adalah hasil dari perencanaan bukan didapatkan dengan hasil uji laboratorium.



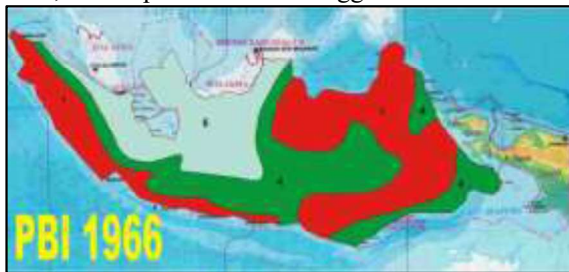
”Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perkembangan Peraturan Gempa di Indonesia**

Peraturan tentang ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung pertama kali dirilis pada tahun 1966 yaitu PBI 1966. Pada PBI 1966 seluruh wilayah Indonesia harus diperhitungkan terhadap gempa dan daerah di Indonesia yang rawan akan terjadinya gempa adalah pulau Kalimantan bagian timur, pulau Sulawesi bagian utara, pulau Jawa bagian selatan, dan Kepulauan Nusa Tenggara.

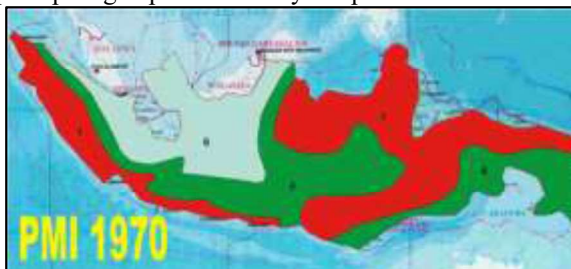


(Sumber: PBI 1966)

**Gambar 2.1 - Peta Wilayah Gempa PBI 1966**

Pada gambar diatas Irian Jaya belum masuk wilayah Republik Indonesia karena Peta Gempa dikutip dari Geophysical Notes No.2 tahun 1962.

Kemudian pada tahun 1970 dilakukan revisi pada pembagian wilayah gempa dengan dirilisnya Peraturan Muatan Indonesia 1970 (PMI 1970) yang isinya mirip dengan PBI 1966 namun ada penambahan luas wilayah pada peta gempa Indonesia yaitu penambahan Irian Jaya.

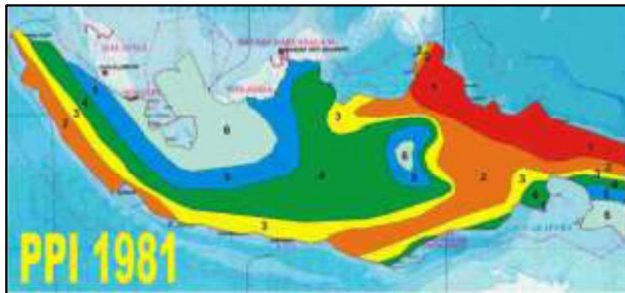


(Sumber: PMI 1970)

**Gambar 2.2 - Peta Wilayah Gempa PMI 1970**

Setiap adanya gempa bumi yang terjadi di suatu daerah di Indonesia perlu dilakukan penelitian untuk memperbarui peta wilayah gempa Indonesia. Terjadinya gempa di Bali pada tahun 1976 yang cukup banyak memakan korban jiwa dan harta benda yang tidak sedikit ini, membuat para ahli gempa di Indonesia meninjau ulang peta wilayah gempa Indonesia. Pemerintah Indonesia melakukan kerjasama dengan Pemerintah Selandia Baru untuk meninjau dan merevisi PMI 1970 yang memberikan hasil yaitu PPI 1981 (Peraturan Pembebanan Indonesia 1981) sebagai revisi PMI 1970.

Pada petaturan PPI 1981 banyak diperkenalkan hal-hal yang baru yang tidak ada pada peraturan sebelumnya yaitu ada konsep daktilitas struktur, konsep keruntuhan yang aman, dan konsep perencanaan kapasitas (*capacity design*). Mekanisme goyang dengan pembentukan sendi plastis dalam balok dan syarat dari kolom agar lebih kuat dari balok (*strong column, weak beam*) sudah termasuk dalam konsep keruntuhan yang aman. Pada PPI 1981 ini diperkenalkan juga tiga cara untuk menganalisis gempa yaitu dari analisa beban statik ekuivalen, analisa ragam spektrum respons, dan analisa respons riwayat waktu. Peraturan ini kemudian berubah nama menjadi Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987, UDC:699.84.



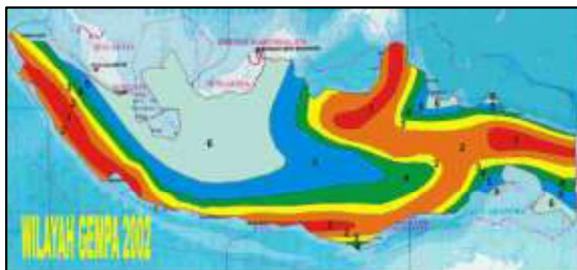
(Sumber: PPI 1981)

### Gambar 2.3 - Peta Wilayah Gempa PPI 1981

Pada gambar diatas menurut peta wilayah gempa PPI 1981 daerah paling rawan gempa hanya di pulau Halmahera dan Irian Jaya bagian Utara.

Seiring berjalannya waktu gempa yang terjadi di Indonesia semakin bertambah besar hal itu memicu dikeluarkannya kembali peraturan untuk merencanakan bangunan yang tahan gempa yaitu SNI

1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung.

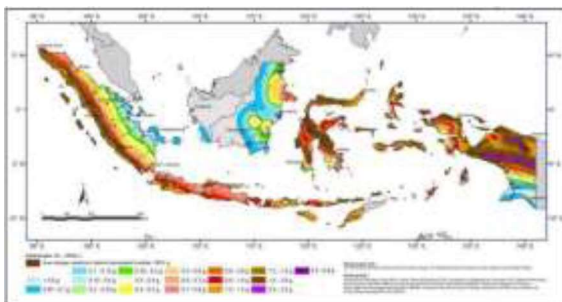


(Sumber: SNI 1726-2002)

#### **Gambar 2.4 - Peta Wilayah Gempa SNI 1726-2002**

Pada gambar diatas Peta Wilayah Gempa 2002 daerah yang paling rawan terjadi gempa tampak lebih merata di wilayah Indonesia.

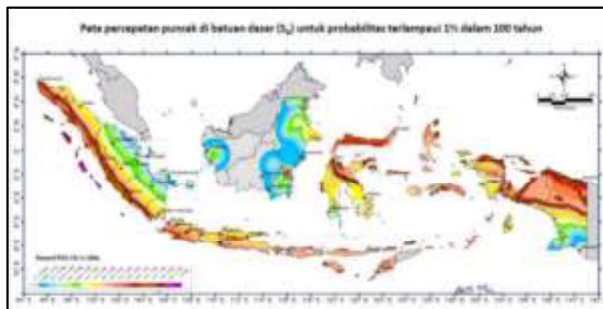
Terjadi beberapa bencana alam di Indonesia yang berasal dari gempa bumi. Pada tahun 2004 terjadi tsunami di Aceh yang dikarenakan pergeseran lempeng tektonik dibawah laut sebab adanya gempa yang terjadi didaerah tersebut. Pada tahun 2005 juga terjadi gempa besar di Nias. Adanya gempa besar tersebut melebihi perkiraan yang membuat dilakukannya studi intensif untuk meneliti sesar aktif di Indonesia, sehingga peta gempa pada tahun 2002 dinilai kurang relevan lagi. Akhirnya dilakukan revisi peta wilayah gempa pada tahun 2010 yang nantinya akan dijadikan acuan untuk pembuatan standar yang baru yaitu SNI 1726-2012 tentang Tata cara Perencanaan Ketahan Gempa untuk Gedung.



(Sumber: SNI 1726-2012)

#### **Gambar 2.5 - Peta Wilayah Gempa 2010**

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (KemenPUPR) telah merilis peta sumber dan bahaya gempa Indonesia di tahun 2017 yang merupakan hasil dari pemutakhiran peta gempa tahun 2010.



(Sumber: SNI 1726-2019)

### Gambar 2.6 - Peta Wilayah Gempa Tahun 2017

Peta gempa 2010 diperbaharui dengan pertimbangan bahwa peta telah berumur lebih dari 5 tahun, dan adanya identifikasi sumber kegempaan yang baru dari sisi geologi, geodesi, dan seismologi. Pada hasil dari peta gempa tahun 2017 didapatkan banyak sesar aktif yang muncul di berbagai wilayah di Indonesia seperti gambar peta gempa diatas. Jumlah sesar aktif pada peta gempa tahun 2017 bertambah sebanyak 214 yang awalnya hanya 81 pada peta gempa tahun 2010.

## 2.2 Perbedaan Beban Gempa Desain SNI 1726-2019 terhadap SNI 1726-2012

SNI 1726 adalah standar hasil dari adopsi modifikasi ASCE 7. ASCE (*American Society of Civil Engineers*) adalah sebuah badan bebas pajak profesional yang didirikan pada tahun 1852 untuk mewakili anggota profesi teknik sipil di seluruh dunia. SNI 1726-2012 adalah hasil adopsi modifikasi dari ASCE 7-10, sedangkan SNI 1726-2019 adalah hasil adopsi modifikasi dari ASCE 7-16.

### 2.2.1 Koefisien Situs $F_a$ dan $F_v$

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode





Kelas Situs	Parameter Percepatan Respons Spektral MCER pada Periode 1- detik					
	S1 = 0.3			S1 = 0.4		
	SNI 1726- 2012	ASCE 7-16	SNI 1726- 2019	SNI 1726- 2012	ASCE 7- 16	SNI 1726- 2019
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	0.8	0.8	1	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5
SD	1.8	2	2	1.6	1.9	1.9
SE	2.8	Spesifik- Situs	2.8	2.4	Spesifik- Situs	2.4
SF	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- -Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs
Kelas Situs	Parameter Percepatan Respons Spektral MCER pada Periode 1- detik					
	S1 = 0.5			S1 ≥ 0.6		
	SNI 1726- 2012	ASCE 7-16	SNI 1726- 2019	SNI 1726- 2012	ASCE 7- 16	SNI 1726- 2019
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	0.8	0.8	1	0.8	0.8
SC	1.3	1.5	1.5	1.3	1.4	1.4
SD	1.5	1.8	1.8	1.5	1.7	1.7
SE	2.4	Spesifik- Situs	2.2	2.4	Spesifik- Situs	2
SF	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- Situs	Spesifik- -Situs

Tabel 2.2 ini menjelaskan berbagai macam perbedaan nilai faktor koefisien situs dari  $F_v$  yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik ( $SMI$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.



### 2.2.2 Perbandingan SRD (Spektrum Respons Desain) 17 Kota di Indonesia

Respon spektrum adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Respon spektrum desain merupakan skenario percepatan puncak di permukaan tanah untuk berbagai periode alami akibat suatu guncangan (Dewi et al., 2015). Berikut ini adalah perbandingan parameter percepatan respons spektral dan perbandingan spektrum respons desain :

**Tabel 2.3 - Perbandingan parameter percepatan respons spektral**

No.	Kota	$S_s$		$S_1$	
		SNI 1726-2012	SNI 1726-2019	SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
1.	Ambon	1.380	1.085	0.490	0.393
2.	Balikpapan	0.235	0.123	0.082	0.083
3.	Banda Aceh	1.349	1.510	0.642	0.600
4.	Bandung	1.450	1.176	0.486	0.51
5.	Denpasar	0.977	0.984	0.360	0.397
6.	Jakarta	0.664	0.779	0.293	0.379
7.	Jayapura	0.150	1.500	0.600	0.600
8.	Kupang	0.113	1.049	0.296	0.38
9.	Makassar	0.317	0.222	0.142	0.112
10.	Manado	1.035	1.052	0.442	0.470
11.	Manokwari	1.454	1.500	0.561	0.600
12.	Medan	0.526	0.652	0.332	0.360
13.	Padang	1.398	1.481	0.600	0.600
14.	Palembang	0.262	0.292	0.164	0.248
15.	Pontianak	0.017	0.113	0.022	0.047
16.	Semarang	1.098	0.880	0.364	0.379
17.	Surabaya	0.663	0.710	0.247	0.315

Tabel 2.3 ini menjelaskan tentang perbandingan parameter percepatan respons spektral berupa berbagai macam perbedaan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  pada 17 kota di Indonesia menurut SNI 1726-2019 terhadap SNI 1726-2012.

**Tabel 2.4 - Perbandingan parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek**

No.	Kota	$S_{DS}$					
		Tanah Keras (SC)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Lunak (SE)	
		SNI 1726-2012	SNI 1726-2019	SNI 1726-2012	SNI 1726-2019	SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
1.	Ambon	0.920	0.868	0.920	0.771	0.828	0.746
2.	Balikpapan	0.188	0.107	0.251	0.131	0.392	0.197
3.	Banda Aceh	0.899	1.208	0.899	1.007	0.809	0.805
4.	Bandung	0.967	0.941	0.967	0.807	0.870	0.752
5.	Denpasar	0.657	0.787	0.722	0.726	0.604	0.730
6.	Jakarta	0.502	0.632	0.562	0.617	0.607	0.663
7.	Jayapura	1.000	1.200	1.000	1.000	0.900	0.800
8.	Kupang	0.742	0.839	0.783	0.756	0.668	0.742
9.	Makassar	0.254	0.192	0.327	0.237	0.483	0.355
10.	Manado	0.690	0.842	0.749	0.757	0.621	0.742
11.	Manokwari	0.969	1.200	0.969	1.000	0.872	0.800
12.	Medan	0.417	0.539	0.484	0.556	0.578	0.633
13.	Padang	0.932	1.185	0.932	0.987	0.839	0.797
14.	Palembang	0.210	0.253	0.278	0.305	0.430	0.444
15.	Pontianak	0.014	0.098	0.018	0.121	0.028	0.181
16.	Semarang	0.732	0.704	0.777	0.673	0.659	0.702
17.	Surabaya	0.502	0.576	0.561	0.583	0.607	0.646

Tabel 2.4 ini menjelaskan tentang perbandingan parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek pada 17 kota di

Indonesia yang sudah diklasifikasikan menurut jenis tanah dan dibedakan menurut SNI 1726-2019 terhadap SNI 1726-2012.

**Tabel 2.5 - Perbandingan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik**

No.	Kota	S <sub>D1</sub>					
		Tanah Keras (SC)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Lunak (SE)	
		SNI 1726-2012	SNI 1726-2019	SNI 1726-2012	SNI 1726-2019	SNI 1726-2012	SNI 1726-2019
1.	Ambon	0.428	0.393	0.493	0.500	0.784	0.636
2.	Balikpapan	0.093	0.083	0.131	0.133	0.191	0.232
3.	Banda Aceh	0.556	0.560	0.642	0.680	1.027	0.800
4.	Bandung	0.426	0.507	0.491	0.609	0.778	0.741
5.	Denpasar	0.346	0.397	0.403	0.504	0.614	0.638
6.	Jakarta	0.294	0.397	0.354	0.485	0.552	0.628
7.	Jayapura	0.520	0.560	0.600	0.680	0.960	0.800
8.	Kupang	0.297	0.380	0.357	0.486	0.556	0.628
9.	Makassar	0.157	0.112	0.211	0.177	0.319	0.306
10.	Manado	0.400	0.470	0.459	0.573	0.707	0.708
11.	Manokwari	0.486	0.560	0.561	0.680	0.898	0.800
12.	Medan	0.325	0.360	0.384	0.466	0.591	0.614
13.	Padang	0.520	0.560	0.600	0.680	0.960	0.800
14.	Palembang	0.179	0.248	0.234	0.348	0.362	0.506
15.	Pontianak	0.025	0.047	0.035	0.075	0.051	0.132
16.	Semarang	0.348	0.379	0.406	0.485	0.617	0.628
17.	Surabaya	0.256	0.315	0.314	0.417	0.496	0.575

Tabel 2.5 ini menjelaskan tentang perbandingan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik pada 17 kota di Indonesia yang sudah diklasifikasikan menurut jenis tanah dan dibedakan menurut SNI 1726-2019 terhadap SNI 1726-2012.

### 2.2.3 Perbedaan Tingkat Skala Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar merupakan pengganti atau penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung (Cornelis et al., 2014).

Gaya geser dasar akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal tingkat yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Dengan menjumlahkan gaya horizontal pada tingkat-tingkat yang ditinjau dapat diketahui gaya geser tingkat yaitu gaya geser yang terjadi pada dasar tingkat yang ditinjau. Akibat dari gaya yang terjadi pada tingkat-tingkat tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut.

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.9.4 adalah :

$$\text{Faktor Skala} = 0.85 V/V_t$$

Namun, menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1 adalah :

$$\text{Faktor skala} = V/V_t$$

Dimana :

$V$  = Gaya geser dasar statik ekuivalen =  $V_{\text{statik}}$

$V_t$  = Gaya geser dasar hasil analisis ragam =  $V_{\text{dinamik}}$

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa penskalaan gaya geser dasar pada SNI 1726-2019 mendapatkan kenaikan nilai sebesar 1.18 terhadap SNI 1726-2012.

Prosedur ELF umumnya menghasilkan kinerja keruntuhan yang lebih baik daripada yang didasarkan pada *Modal Response Spectrum Analysis* (MRSA) dengan pengurangan 15% pada geser dasar yang disertakan (ASCE 7-16).

### 2.2.4 Perbandingan Beban Gempa Desain 17 Kota di Indonesia

Beban gempa desain berbeda-beda tergantung pada tingkat bangunan yang akan didesain nantinya, ada bangunan tingkat tinggi, rendah, dan menengah. Namun tidak hanya bergantung pada tingkat bangunan, lokasi tempat bangunan juga berpengaruh karena pada tiap kota memiliki rasio SRD yang berbeda-beda. Berikut perbandingan beban gempa desain 17 kota di Indonesia :

**Tabel 2.6 - Perbandingan beban gempa desain gedung bertingkat rendah dan tinggi**

No.	Kota	Tanah Keras (SC)			Tanah Sedang (SD)			Tanah Lunak (SE)		
		Rasio SRD	Faktor Skala	Rasio Total	Rasio SRD	Faktor Skala	Rasio Total	Rasio SRD	Faktor Skala	Rasio Total
1.	Ambon	0.94	1.18	1.11	0.84	1.18	0.99	0.90	1.18	1.06
2.	Balikpapan	0.57	1.18	0.67	0.52	1.18	0.62	0.50	1.18	0.59
3.	Banda Aceh	1.34	1.18	1.59	1.12	1.18	1.32	1.00	1.18	1.17
4.	Bandung	0.97	1.18	1.15	0.83	1.18	0.98	0.86	1.18	1.02
5.	Denpasar	1.20	1.18	1.41	1.01	1.18	1.19	1.21	1.18	1.43
6.	Jakarta	1.26	1.18	1.49	1.10	1.18	1.30	1.09	1.18	1.29
7.	Jayapura	1.20	1.18	1.42	1.00	1.18	1.18	0.89	1.18	1.05
8.	Kupang	1.13	1.18	1.33	0.97	1.18	1.14	1.11	1.18	1.31
9.	Makassar	0.76	1.18	0.89	0.72	1.18	0.86	0.73	1.18	0.87
10.	Manado	1.22	1.18	1.44	1.01	1.18	1.19	1.19	1.18	1.41
11.	Manokwari	1.24	1.18	1.46	1.03	1.18	1.22	0.92	1.18	1.08
12.	Medan	1.29	1.18	1.53	1.15	1.18	1.36	1.10	1.18	1.29
13.	Padang	1.27	1.18	1.50	1.06	1.18	1.25	0.95	1.18	1.12
14.	Palembang	1.20	1.18	1.42	1.10	1.18	1.29	1.03	1.18	1.22
15.	Pontianak	7.00	1.18	8.26	6.72	1.18	7.93	6.46	1.18	7.63
16.	Semarang	0.96	1.18	1.13	0.87	1.18	1.02	1.07	1.18	1.26
17.	Surabaya	1.15	1.18	1.35	1.04	1.18	1.23	1.06	1.18	1.26

Tabel 2.6 ini menjelaskan tentang rasio total beban gempa desain gedung bertingkat rendah dan tinggi dari 17 kota di Indonesia. Rasio SRD didapatkan dari nilai Sds pada SNI 1726-2019 dibagi dengan SNI 1726-2012, untuk faktor skala didapatkan dari penskalaan gaya geser dasar pada SNI 1726-2019 yang rasionya naik sebesar 1.18 dari SNI 1726-2012, sedangkan rasio total didapatkan dari hasil perkalian kedua faktor rasio tersebut yaitu perkalian faktor skala dengan rasio SRD.

**Tabel 2.7 - Perbandingan beban gempa desain gedung bertingkat menengah**

No.	Kota	Tanah Keras (SC)			Tanah Sedang (SD)			Tanah Lunak (SE)		
		Rasio SRD	Faktor Skala	Rasio Total	Rasio SRD	Faktor Skala	Rasio Total	Rasio SRD	Faktor Skala	Rasio Total
1.	Ambon	0.92	1.18	1.08	1.01	1.18	1.20	0.81	1.18	0.96
2.	Balikpapan	0.89	1.18	1.05	1.02	1.18	1.20	1.21	1.18	1.43
3.	Banda Aceh	1.01	1.18	1.19	1.06	1.18	1.25	0.78	1.18	0.92
4.	Bandung	1.19	1.18	1.40	1.24	1.18	1.46	0.95	1.18	1.12
5.	Denpasar	1.15	1.18	1.35	1.25	1.18	1.48	1.04	1.18	1.23
6.	Jakarta	1.35	1.18	1.59	1.37	1.18	1.62	1.14	1.18	1.34
7.	Jayapura	1.08	1.18	1.27	1.13	1.18	1.34	0.83	1.18	0.98
8.	Kupang	1.28	1.18	1.51	1.36	1.18	1.61	1.13	1.18	1.33
9.	Makassar	0.71	1.18	0.84	0.84	1.18	0.99	0.96	1.18	1.13
10.	Manado	1.18	1.18	1.39	1.25	1.18	1.47	1.00	1.18	1.18
11.	Manokwari	1.15	1.18	1.36	1.21	1.18	1.43	0.89	1.18	1.05
12.	Medan	1.11	1.18	1.31	1.21	1.18	1.43	1.04	1.18	1.23
13.	Padang	1.08	1.18	1.27	1.13	1.18	1.34	0.83	1.18	0.98
14.	Palembang	1.39	1.18	1.63	1.49	1.18	1.75	1.40	1.18	1.65
15.	Pontianak	1.88	1.18	2.22	2.14	1.18	2.53	2.59	1.18	3.05
16.	Semarang	1.09	1.18	1.29	1.19	1.18	1.41	1.02	1.18	1.20
17.	Surabaya	1.23	1.18	1.45	1.33	1.18	1.57	1.16	1.18	1.37

Tabel 2.7 ini menjelaskan tentang penjabaran rasio total beban gempa desain gedung bertingkat menengah dari 17 kota di Indonesia. Rasio SRD didapatkan dari nilai Sds pada SNI 1726-2019 dibagi dengan SNI 1726-2012, untuk faktor skala didapatkan dari penskalaan gaya geser dasar pada SNI 1726-2019 yang rasionya naik sebesar 1.18 dari SNI 1726-2012, sedangkan rasio total didapatkan dari hasil perkalian kedua faktor rasio tersebut yaitu perkalian faktor skala dengan rasio SRD.

### 2.3 Acuan yang Digunakan

Pada saat merencanakan evaluasi dan perkuatan struktur gedung, diperlukan berbagai macam peraturan atau acuan yang akan digunakan. Macam-macam acuan itu akan dijelaskan pada tabel 2.1 dibawah ini :

**Tabel 2.8 - Acuan-acuan yang digunakan**

No.	Acuan	Tentang
1.	SNI 1726-2019	Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung
2.	SNI 2847-2019	Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
3.	ASCE 7-16	<i>Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures</i>
4.	SNI 1727-2020	Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
5.	ACI 440.2R-17	<i>Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures</i>
6.	SNI 1729-2020	Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

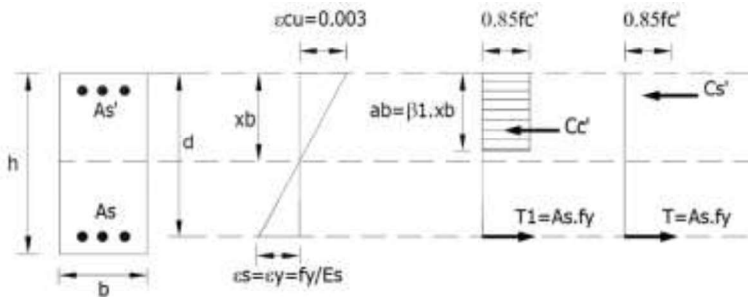
Tabel 2.8 ini menjelaskan tentang macam-macam acuan yang nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk perhitungan evaluasi dan perkuatan struktur.

## 2.4 Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur Eksisting

### 2.4.1 Perhitungan Kapasitas Penampang Balok

Salah satu elemen struktur yang menerima beban lentur adalah balok. Perhitungan kapasitas penampang balok menunjukkan kemampuan maksimal balok dalam menahan beban yang terjadi. Besar atau kecilnya kemampuan tersebut dipengaruhi oleh luasan tulangan yang terpasang, dan jarak tulangan terhadap garis netral. Jarak tulangan terhadap garis netral dipengaruhi oleh tinggi balok itu sendiri.

Perhitungan kapasitas penampang balok diilustrasikan pada gambar berikut ini:



(Sumber: Nur Ahmad Husin, 2015)

**Gambar 2.7 – Diagram tegangan regangan elemen lentur balok**

Dari gambar diatas, momen nominal pada balok dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2.1)$$

$$M_{n1} = C_c' \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.2)$$

Apabila tulangan tekan leleh, maka :

$$M_{n2} = A_s \cdot f_y \cdot (d - d'') \quad (2.3)$$

Apabila tulangan tekan tidak leleh, maka :

$$M_{n2} = A_s \cdot f_s' \cdot (d - d'') \quad (2.4)$$

Dengan :

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (2.5)$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (2.6)$$

d = tinggi manfaat (mm)

b = lebar penampang balok (mm)

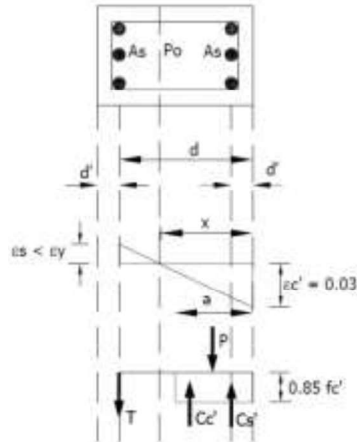
## 2.4.2 Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom

Perhitungan kapasitas kolom dibagi menjadi 4 kondisi yaitu kondisi dengan beban aksial (P) konsentris, kondisi *balance*, kondisi tekan menentukan, kondisi tarik menentukan.

### 2.4.2.1 Kondisi dengan Beban Aksial (P) Konsentris

Kondisi dengan beban aksial (P) konsentris didapatkan ketika eksentrisitas akibat beban aksial (P) dengan beban momen (M) lebih kecil dari eksentrisitas minimum. Perhitungan kondisi ini diilustrasikan pada gambar berikut :





(Sumber: Nur Ahmad Husin, 2015)

**Gambar 2.8 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi konsentris**

Berdasarkan gambar tersebut, kapasitas penampang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_0 = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (2.7)$$

$$P_n = P_0 = [0,85 \cdot f_c' + \rho_g (f_y - 0,85 \cdot f_c')] \cdot A_g \quad (2.8)$$

Dengan :

$$A_g = b \cdot h \quad (2.9)$$

$$A_{st} = A_s + A_s' \quad (2.10)$$

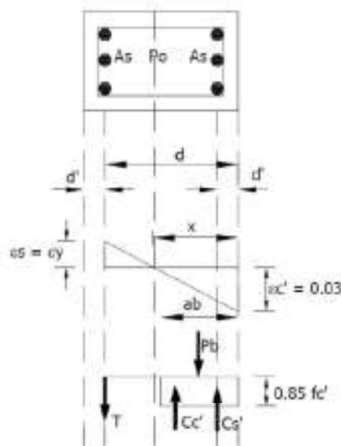
$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} \quad (2.11)$$

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan (MPa)

$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

#### 2.4.2.2 Kondisi *Balance*

Kondisi *balance* dihitung untuk mengetahui nilai dari eksentrisitas *balance* ( $e_b$ ) dari suatu penampang, apabila eksentrisitas penampang lebih kecil daripada  $e_b$ , maka tergolong tekan menentukan, bila eksentrisitas penampang lebih besar dari  $e_b$  maka tergolong tarik menentukan. Perhitungan eksentrisitas *balance*, dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



(Sumber: Nur Ahmad Husin, 2015)

**Gambar 2.9 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi *balance***

Nilai  $e_b$  dapat ditentukan pada persamaan berikut :

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} \quad (2.12)$$

dengan :

$$M_b = C_c' \left( d - d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \quad (2.13)$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T \quad (2.14)$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot (x_b) \quad (2.15)$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \quad (2.16)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.17)$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad (2.18)$$

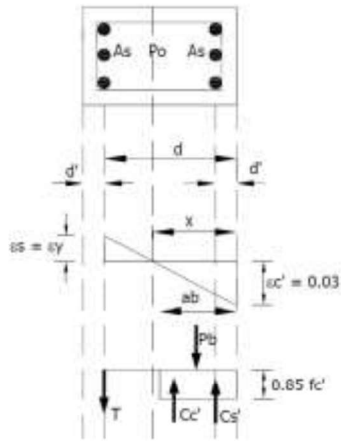
$d$  = tinggi manfaat

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan (MPa)

$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

#### 2.4.2.3 Kondisi Tekan Menentukan

Setelah mendapatkan nilai  $e_b$ , selanjutnya nilai ini harus dibandingkan dengan konsentrisitas penampang kolom. Jika nilai eksentrisitas lebih besar, maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan. Perhitungan pada kondisi ini dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



(Sumber: Nur Ahmad Husin, 2015)

**Gambar 2.10 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi tekan**

Kapasitas penampang pada kondisi tekan menentukan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = C_c' \left( d - d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \quad (2.19)$$

$$P = C_c' + C_s' - T \quad (2.20)$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \quad (2.21)$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \quad (2.22)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.23)$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad (2.24)$$

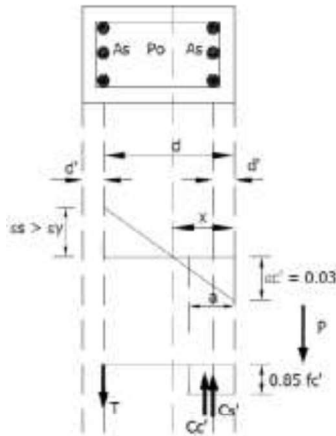
$d$  = tinggi manfaat

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan (MPa)

$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

#### 2.4.2.4 Kondisi Tarik Menentukan

Setelah mendapatkan nilai  $e_b$ , selanjutnya nilai ini harus dibandingkan dengan konsentrisitas penampang kolom. Jika nilai eksentrisitas lebih kecil, maka kolom termasuk dalam kondisi tarik menentukan. Perhitungan pada kondisi ini dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



(Sumber: Nur Ahmad Husin)

**Gambar 2.11 – Diagram tegangan regangan elemen aksial & lentur pada kondisi tarik**

$$M_n = C_c' \left( d - d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \quad (2.25)$$

$$P = C_c' + C_s' - T \quad (2.26)$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \quad (2.27)$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \quad (2.28)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.29)$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad (2.30)$$

$d$  = tinggi manfaat

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan (MPa)

$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

## 2.5 Evaluasi Bangunan

Dalam mengevaluasi bangunan gedung tinggi diperlukan ketelitian dan kematangan, terutama di daerah yang rawan terjadinya gempa. Analisa struktur merupakan hal yang sangat perlu diperhatikan, setelah didapatkannya dimensi dari elemen struktur bangunan tersebut selanjutnya perlu dilakukan analisis dengan menggunakan beban gempa yang baru untuk mendapatkan hasil gaya dalam yang baru juga. Alasan dilakukannya analisa struktur adalah untuk mengetahui elemen-elemen struktur mana saja yang dapat menahan dan tidak dapat menahan beban akibat adanya perubahan beban gempa yang baru. Setelah mengetahui

adanya elemen struktur yang tidak dapat menahan beban maka nantinya akan diberikan perkuatan pada elemen struktur tersebut, dengan harapan mampu menahan beban-beban yang terjadi akibat perubahan beban gempa tersebut.

### 2.5.1 Pembebanan yang Dipakai

Pembebanan yang dipakai untuk mengevaluasi bangunan gedung bervariasi tergantung pada fungsional bangunan tersebut. Beban pada bangunan bisa bersifat sementara ataupun tetap, karena beban-beban pada bangunan berasal dari gaya yang diterima bangunan dari faktor luar dan dalam. Saat mengevaluasi bangunan memerlukan pembebanan yang tepat dengan kondisi aktual bangunan dan sesuai dengan fungsional bangunan tersebut agar elemen- elemen struktur yang memerlukan perkuatan antara saat perencanaan dengan kondisi aslinya bisa sesuai.

#### 2.5.1.1 Beban Mati

Beban mati pada bangunan gedung meliputi berat sendiri elemen struktur dan elemen non struktural. Untuk berat sendiri elemen struktur akan didapat dari permodelan struktur nantinya jadi tidak perlu diperhitungkan. Sedangkan untuk perincian beban dari elemen non struktural atau beban mati tambahan akan mengacu pada peraturan pembebanan pada gedung yaitu SNI 1727-2020 dan ASCE 7-16.

**Tabel 2.9 - Beban mati pada SNI 1727-2020**

Jenis Beban	Besaran Beban (kN/m <sup>2</sup> )
Beban jenis beton bertulang	24
Beban keramik dan spesi	1.1
Beban penggantung Plafond	0.1
Beban plafond	0.05
Beban Mekanikal dan elektrikal	0.19
Beban lapisan <i>waterproofing</i>	0.05

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.9 ini menjelaskan besaran jenis-jenis beban mati pada ASCE 7-16 yang akan digunakan dalam perhitungan dan permodelan struktur nantinya.

#### 2.5.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh penggunaan bangunan gedung atau struktur lain yang tidak masuk ke dalam beban

konstruksi dan beban lingkungan yaitu seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, dan lain-lain yang dapat berubah setiap saat bergantung pada kondisi. Beban hidup yang direncanakan ini akan mengacu pada SNI 1727-2020 tabel 4-1 sebagai berikut :

**Tabel 2.10 – Beban hidup pada SNI 1727-2020**

Penggunaan	Merata (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat (kN)
Gedung Pertemuan	4.79	
Koridor lantai 1	4.79	
Ruang mesin elevator (pada daerah 50mmx50mm)		1.33
Koridor	3.83	
Perpustakaan	2.87	
Ruang kelas	1.92	
Basement	1.92	

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.10 ini menjelaskan berbagai macam besaran beban hidup yang akan digunakan dalam perhitungan dan permodelan struktur berdasarkan fungsi ruangnya dengan mengacu pada SNI 1727-2020.

### 2.5.1.3 Beban Air Hujan

Beban air hujan adalah beban merata yang disebabkan karena adanya kenaikan air diatas lubang masuk sistem drainase pada atap bangunan. Setiap atap pada bangunan harus dirancang agar mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul. Berdasarkan pada SNI 1727-2020 pasal 8.3, beban air hujan rencana dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R = 0.0098 \cdot (d_s + d_h) \quad (2.31)$$

Keterangan :

$d_s$  : tinggi statis (diasumsikan)

$d_h$  : tinggi hidrolik (diasumsikan)

### 2.5.1.4 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada gedung atau bagian dari gedung yang disebabkan oleh adanya selisih dalam tekanan udara. Sistem pada beban angin yang bekerja pada gedung adalah menekan dan menghisap. Berbagai faktor yang mempengaruhi daya tekan dan hisap angin tersebut adalah kecepatan angin, kepadatan udara,

permukaan bidang, dan bentuk dari gedung. Untuk perhitungan beban angin akan ditentukan pada nilai faktor-faktor berikut :

1. Kecepatan Angin Dasar

Kecepatan angin dasar ( $V$ ) yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan struktur. Kecepatan angin dasar ditentukan oleh perbedaan tekanan udara antara tempat asal angin dan tujuan angin dan resistensi medan yang dilalui oleh angin tersebut. Angin nantinya harus diasumsikan datang dari segala arah horizontal. Kecepatan angin dasar harus diperbesar jika catatan atau pengalaman menunjukkan bahwa kecepatan angin lebih tinggi daripada yang ditentukan.

2. Faktor Arah Angin

Faktor arah angin ( $K_d$ ) akan ditentukan berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.6 dengan tabel dibawah :

**Tabel 2.11 – Faktor Arah Angin,  $K_d$**

<b>Tipe Struktur</b>	<b>Faktor Arah Angin <math>K_d</math></b>
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0.85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0.85
Atap Lengkung	0.85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi Empat	0.9
Segi Enam	0.95
Bundar	0.95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0.85
Papan reklame terbuka dan kerangka isi	0.85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0.85
Penampang lainnya	0.95

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.11 ini menjelaskan tentang nilai dari faktor arah angin berdasarkan tipe struktur bangunan yang akan didesain.

3. Kategori Eksposur

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur lawan angin didasarkan pada kekerasan permukaan tanah yang

ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas dibangun. Penentuan kategori eksposur ini akan mengacu pada SNI 1727-2020 pada pasal 26.7 untuk kategori kekasaran permukaan pada bangunan ini termasuk kategori B, selanjutnya untuk kategori eksposurnya termasuk pada eksposur B dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 9.1 m yang berlaku bilamana kekasaran permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 20 kali tinggi bangunan.

4. Faktor Topografi

Untuk nilai faktor topografi ( $K_{zi}$ ) adalah 1 (satu) dikarenakan kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan pada pasal 26.8.1 SNI 1727-2020 dalam artian bangunan gedung yang ditinjau ini berada di daerah perkotaan yang termasuk dataran rendah tanpa adanya bukit maupun tebing disekitar bangunan tersebut.

5. Faktor Pengaruh Tiupan Angin

Untuk nilai faktor pengaruh tiupan angin adalah 0.85 dikarenakan pada SNI 1727-2020 pasal 26.9.1 berbunyi bahwa faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0.85 maka nilai faktor itu yang dipakai.

6. Klasifikasi Ketertutupan

Untuk klasifikasi ketertutupan pada pasal 26.10 SNI 1727-2020 bangunan gedung ini termasuk dalam bangunan tertutup.

7. Koefisien Tekanan Internal

Setelah mengetahui klasifikasi dari bangunan maka nilai koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ) dapat ditentukan pada tabel 26.11-1 SNI 1727-2020 sebagai berikut :

**Tabel 2.12 – Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )**

<b>Klasifikasi Ketertutupan</b>	<b>(<math>GC_{pi}</math>)</b>
Bangunan gedung terbuka	0.00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0.55 - 0.55
Bangunan gudang tertutup	+ 0.18 - 0.18



Catatan :

- a. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal
- b. Nilai ( $GC_{pi}$ ) harus digunakan dengan  $q_z$  atau  $q_h$  seperti yang ditetapkan
- c. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai.

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.12 ini menjelaskan tentang penentuan nilai koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ) berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan.

#### 8. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

Setelah mengetahui kategori eksposur selanjutnya akan ditentukan nilai koefisien eksposur tekanan velositas ( $K_z$  atau  $K_h$ ) dengan berdasarkan pada ketinggian bangunan. Ketinggian bangunan yang didesain yaitu sebesar 69.3 m. Untuk penentuan nilai koefisien eksposur tekanan velositas ini akan mengacu pada SNI 1727-2020 pasal 27.3, untuk mendapatkan nilai  $\alpha$  dan  $Z_g$  dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.13 – Konstanta eksposur daratan**

<b>Eksposur</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>Z_g</math> (m)</b>
B	7.0	356.76
C	9.5	274.32
D	11.5	213.36

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.13 ini menjelaskan tentang penentuan nilai  $\alpha$  dan  $Z_g$  dengan berdasarkan pada kategori eksposur bangunan. Nantinya nilai tersebut akan digunakan untuk menentukan nilai dari  $K_z$  akan mengacu pada tabel 27.3-1 SNI 1727-2020 dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_z = 2.01 (Z/Z_g)^{2/\alpha} \quad (2.32)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai dari  $K_h$  akan mengacu pada SNI 1727-2020 pada pasal 27.3 dengan berdasarkan dari tinggi bangunan dan kategori eksposur bangunan. Akan dijelaskan pada tabel berikut :

**Tabel 2.14 - Koefisien Eksposur Tekanan Velositas  $K_h$** 

Tinggi di atas level tanah (Z)	Kategori Eksposur		
	B	C	D
(m)			
(0-4.6)	0.57	0.85	1.03
(6.1)	0.62	0.90	1.08
(7.6)	0.66	0.94	1.12
(9.1)	0.70	0.98	1.16
(12.2)	0.76	1.04	1.22
(15.2)	0.81	1.09	1.27
(18)	0.85	1.13	1.31
(21.3)	0.89	1.17	1.34
(24.4)	0.93	1.21	1.38
(27.4)	0.96	1.24	1.40
(30.5)	0.99	1.26	1.43
(36.6)	1.04	1.31	1.48
(42.7)	1.09	1.36	1.52
(48.8)	1.13	1.39	1.55
(54.9)	1.17	1.43	1.58
(61.0)	1.20	1.46	1.61
(76.2)	1.28	1.53	1.68
(91.4)	1.35	1.59	1.73
(106.7)	1.41	1.64	1.78
(121.9)	1.47	1.69	1.82
(137.2)	1.52	1.73	1.86
(152.4)	1.56	1.77	1.89

Catatan :

Interpolasi linier untuk nilai menengah tinggi Z yang sesuai

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.14 ini menjelaskan tentang penentuan nilai koefisien eksposur tekanan velositas  $K_h$  dengan berdasarkan pada ketinggian bangunan dan kategori eksposur bangunan.

### 9. Tekanan Velositas

Perhitungan tekanan velositas ( $q_z$  atau  $q_h$ ) akan mengacu pada SNI 1727-2020 pasal 27.3.2 dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \quad (2.33)$$

$$q_h = 0,613 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \quad (2.34)$$

Keterangan :

$K_d$  = faktor arah angin

$K_z$  = koefisien eksposur tekanan velositas

$K_{zt}$  = faktor topografi tertentu

$V$  = kecepatan angin dasar

$q_z$  = tekanan velositas pada ketinggian  $z$

$q_h$  = tekanan velositas pada ketinggian atap rata-rata  $h$

Satuan dari persamaan ini adalah  $N/m^2$ , dengan satuan nilai  $V$  adalah  $m/s$ . Koefisien numerik membenarkan pemilihan nilai yang berbeda dari koefisien ini untuk aplikasi lain.

### 10. Koefisien Tekanan Eksternal

Koefisien Tekanan Eksternal ( $C_p$  atau  $C_N$ ) ini nantinya akan digunakan pada perhitungan tekanan angin. Untuk menentukan nilai ini akan mengacu pada SNI 1727-2020 pada gambar 27.4.1. Untuk penjelasan lebih lanjut akan disampaikan pada tabel dibawah :

**Tabel 2.15 – Koefisien tekanan dinding,  $C_p$**

Koefisien tekanan dinding, $C_p$			
Permukaan	L/B	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0.8	$q_z$
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	-0.5	$q_h$
	2	-0.3	
	$\geq 4$	-0.2	
Dinding Tepi	Seluruh nilai	-0.7	$q_h$

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.15 ini menjelaskan tentang menentukan koefisien tekanan dinding dengan berdasarkan pada panjang bangunan yang dibagi dengan lebar bangunan.

**Tabel 2.16 – Koefisien tekanan atap,  $C_p$** 

Koefisien tekanan atap, $C_p$ , untuk digunakan dengan $q_h$												
Arah angin	Di sisi angin datang									Di sisi angin pergi		
	Sudut, $\theta$ (derajat)									Sudut, $\theta$ (derajat)		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	$\geq 20$
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0.25$	-0.7 -0.18	-0.5 0.0*	-0.3 0.2	-0.2 0.3	-0.2 0.3	0.0* 0.4	0.4	0.01 $\theta$	-0.3	-0.5	-0.6
	0.5	-0.9 -0.18	-0.7 -0.18	-0.4 0.0*	-0.3 0.2	-0.2 0.2	-0.2 0.3	0.0 0.4	0.01 $\theta$	-0.5	-0.5	-0.6
	$\geq 1.0$	-1.3** -0.18	-1.0 -0.18	-0.7 -0.18	-0.5 0.0*	-0.3 0.2	-0.2 0.2	0.0 0.4	0.01 $\theta$	-0.7	-0.6	-0.6
Tegak lurus terhadap bubungan $\theta < 10^\circ$ sejajar bubungan untuk semua $\theta$	$\leq 0.5$	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang		$C_p$		* Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi ** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai berikut ini :						
		0 sampai dengan h/2		-0.9, -0.18								
		h/2 sampai dengan h		-0.9, -0.18								
		H sampai dengan 2h		0.5, -0.18								
	$\geq 1.0$	0 sampai dengan h/2		-1.3**, -0.18		Luas (ft <sup>2</sup> )		Faktor reduksi				
						$\leq 100$ (9.3 m <sup>2</sup> )		1.0				
		>h/2		-0.7, -0.18		250 (23.2 m <sup>2</sup> )		0.9				
						$\geq 1000$ (92.9 m <sup>2</sup> )		0.8				

**Catatan:**

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.
2. Diperkenankan interpolasi linier untuk nilai L/B, h/L dan  $\theta$  selain dari yang diperlihatkan. Interpolasi hanya boleh dilakukan di antara nilai-nilai dengan tanda yang sama. Apabila nilai tidak memiliki tanda yang sama, asumsikan 0,0 untuk interpolasi.
3. Apabila tercantum dua nilai  $C_p$ , ini menunjukkan bahwa kemiringan atap di sisi angin datang mengalami salah satu tekanan angin positif atau negatif dan struktur atap harus didesain untuk kedua kondisi tersebut. Interpolasi untuk rasio h/L di dalam hal ini hanya boleh dilakukan di antara nilai-nilai  $C_p$  dari tanda yang sama.
4. Untuk atap miring sepihak, seluruh permukaan atap merupakan permukaan di sisi angin datang atau di sisi angin pergi.
5. Untuk bangunan gedung fleksibel, gunakan  $G_f$  yang sesuai seperti ditentukan oleh Pasal 26.9.4.
6. Rujuk ke Gambar 27.4-2 untuk atap kubah dan Gambar 27.4-3 untuk atap lengkung.

## 7. Notasi:

B : Dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur tegak lurus terhadap arah angin.

L : Dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur sejajar terhadap arah angin.

h : Tinggi atap rata-rata dalam feet (meter), kecuali untuk sudut atap  $\theta \leq 10$  derajat digunakan tinggi bagian terbawah atap.

z : Tinggi di atas permukaan tanah, dalam feet (meter).

G : Faktor efek tiupan angin.

$q_z, q_h$  : Tekanan velositas, dalam pounds per ft<sup>2</sup> (N/m<sup>2</sup>), dievaluasi pada tinggi yang bersangkutan.

$\theta$  : Sudut bidang atap terhadap horizontal, dalam derajat.

8. Untuk atap mansard, permukaan horizontal dan permukaan miring di sisi angin pergi harus diberlakukan sebagai permukaan di sisi angin pergi dari tabel.

9. Kecuali untuk SPBAU pada atap yang terdiri dari rangka penahan momen, total gaya geser horizontal tidak boleh kurang dari yang ditentukan dengan mengabaikan beban angin pada permukaan atap.

#Untuk kemiringan atap lebih besar dari 80°, gunakan  $C_p = 0,8$

(Sumber: SNI 1727-2020)

Tabel 2.16 menjelaskan tentang penentuan nilai koefisien tekanan atap dengan berdasarkan pada berbagai kriteria pada tabel tersebut.

## 11. Tekanan Angin

Setelah mengetahui koefisien tekanan eksternal  $C_p$ , selanjutnya akan dihitung tekanan anginnya (p). Perhitungan tekanan angin akan mengacu pada SNI 1727-2020 pasal 27.4.1. Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung dari semua ketinggian harus ditentukan persamaan berikut :

$$p = q \cdot G \cdot C_p - q_i \cdot (G \cdot C_{pi}) \quad (2.35)$$

**2.5.1.5 Beban Gempa**

Beban gempa adalah beban yang bekerja akibat adanya pergeseran lempeng bumi yang disebabkan karena adanya gempa bumi baik itu gempa tektonik atau vulkanik yang akan mempengaruhi struktur bangunan tersebut. Beban gempa pada perhitungan kali ini akan mengacu pada SNI 1726-2019. Tata cara ini nantinya akan menentukan pengaruh-pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung.

1. Identifikasi Kelas Situs Tanah Berdasarkan Data Tanah

Untuk menentukan suatu bangunan menggunakan SRPMK, maka tahap pertamanya akan terlebih dahulu diidentifikasi dengan mencari nilai-nilai berikut:

- a. Menentukan faktor keutamaan dan kategori risiko bangunan mengacu pada SNI 1726-2019 tabel 3 dan 4 :

**Tabel 2.17 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau	III

<p>gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.17 ini menjelaskan tentang penggolongan kategori risiko berdasarkan dengan jenis pemanfaatannya sesuai dengan SNI 1726-2019 yang nantinya akan digunakan untuk menentukan faktor keutamaan gempa pada tabel 2.18.

**Tabel 2.18 – Faktor keutamaan gempa**

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.5

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.18 ini menjelaskan tentang nilai faktor keutamaan gempa sesuai dengan kategori risiko bangunan yang berdasarkan dengan jenis pemanfaatannya pada tabel 2.17.

Setelah meninjau tabel 2.17 didapatkan bahwa gedung kuliah bersama ini tergolong sebagai fasilitas pendidikan, maka bangunan ini termasuk dalam kategori risiko III dengan faktor keutamaan gempa  $I_e = 1.5$  sesuai dengan tabel 2.18.

- b. Menentukan kelas situs tanah berdasarkan data tanah yang berupa nilai hasil SPT pada tempat didirikannya bangunan tersebut, yang kemudian dapat ditentukan kelas situs tanah berdasarkan tabel klarifikasi situs dengan mengacu pada SNI 1726-2019 tabel 5 berikut :

**Tabel 2.19 – Klarifikasi situs**

Kelas situs	$V_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	> 50	$\geq 100$
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		



<p><i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)</p>	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> </ul>
---	--

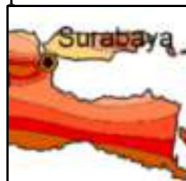
(Sumber: SNI 1726-2019)

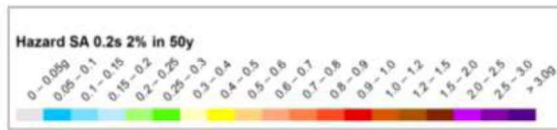
Tabel 2.19 ini menjelaskan tentang klarifikasi situs yaitu menggolongkan kelas situs berdasarkan data SPT pada lokasi tersebut. Keterangan N/A pada tabel 2.19 yaitu tidak dapat dipakai yang berarti bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas maka tidak bisa ditentukan kelas situsnya, sehingga dapat menggunakan SE sebagai kelas situs, dengan pengecualian jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF.

## 2. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik ini menggambarkan tingkat risiko kegempaan yang digunakan sebagai dasar untuk pemilihan sistem rangka pemikul momen yang akan digunakan dalam pelaksanaan desain struktur. Kategori desain seismik ini dapat dicari berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan yang didapatkan dari peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017 sebagai berikut :

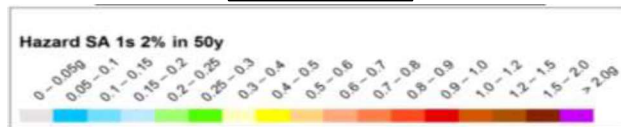
- a. Nilai parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan ( $S_s$  dan  $S_i$ ) dari peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017





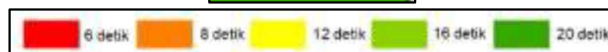
(Sumber: Peta gempa Indonesia tahun 2017)

**Gambar 2.12 – Peta respon spektra dan parameter gerak tanah 0.2 detik (S<sub>s</sub>) di Malang dengan redaman kritis 5 %**



(Sumber: Peta gempa Indonesia tahun 2017)

**Gambar 2.13 – Peta respon spektra dan parameter gerak tanah 1.0 detik (S<sub>1</sub>) di Malang dengan redaman kritis 5 %**



(Sumber: Peta gempa Indonesia tahun 2017)

**Gambar 2.14 – Peta transisi periode panjang (TL) Malang dan sekitarnya**

- b. Koefisien situs periode 0.2 detik (F<sub>a</sub>) dan koefisien situs periode 1 detik (F<sub>v</sub>)

Setelah meninjau beberapa gambar diatas yang menunjukkan peta respon spektra di Malang dengan menentukan nilai yang berdasarkan parameternya masing-masing dan dikombinasikan dengan kelas situs yang didapatkan sebelumnya, maka dapat dicari nilai F<sub>a</sub>

dan  $F_v$  dengan mengacu pada SNI 1726-2019 tabel 6 dan tabel 7 sebagai berikut:

**Tabel 2.20 – Koefisien situs  $F_a$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0.2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Catatan:

- (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.20 ini menjelaskan tentang penentuan koefisien situs  $F_a$  dengan berdasarkan pada kelas situs dan nilai dari  $S_s$

**Tabel 2.21 – Koefisien situs  $F_v$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1.0$ detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Catatan:

- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.21 ini menjelaskan tentang penentuan koefisien situs  $F_v$  dengan berdasarkan pada kelas situs dan nilai dari  $S_1$

- c. Nilai parameter spektrum respons percepatan pada periode 0.2 detik ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ )

Untuk menentukan nilai parameter spektrum respons didapat dari perkalian nilai koefisien situs dengan nilai percepatan batuan dasar ( $S_s$  atau  $S_1$ ) berdasarkan peta gempa pada lokasi tersebut. Perhitungan dilakukan sesuai persamaan 7 dan 8 pasal 6.2 pada SNI 1726-2019 sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.36)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.37)$$

- d. Kategori Desain Seismik

Nilai parameter percepatan spektral desain ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ ) didapatkan dari  $2/3$  nilai parameter spektrum respons percepatan. Perhitungan dilakukan sesuai persamaan 9 dan 10 pasal 6.3 pada SNI 1726-2019 sebagai berikut :

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \quad (2.38)$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \quad (2.39)$$

Setelah mendapatkan nilai parameter percepatan spektral dapat ditentukan kategori desain seismik pada bangunan dengan mengacu tabel 8 dan tabel 9 pada SNI 1726-2019 berikut :

**Tabel 2.22 – Kategori desain seismik periode pendek ( $S_{DS}$ )**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.5$	C	D
$0.5 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.22 ini menjelaskan tentang cara untuk menentukan kategori desain seismik periode pendek bangunan berdasarkan kategori risiko bangunan yang dikombinasikan dengan nilai  $S_{DS}$ .

**Tabel 2.23 – Kategori desain seismik periode 1 detik ( $S_{D1}$ )**

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.2$	C	D
$0.2 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.23 ini menjelaskan tentang cara untuk menentukan kategori desain seismik periode 1 detik bangunan berdasarkan kategori risiko bangunan yang dikombinasikan dengan nilai  $S_{D1}$ .

### 3. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan ketentuan yang sesuai pasal 6.4 pada SNI 1726-2019 sebagai berikut :

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$  spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.40)$$

- b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.41)$$

- d. Untuk perioda lebih besar dari  $T_L$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad (2.42)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek.

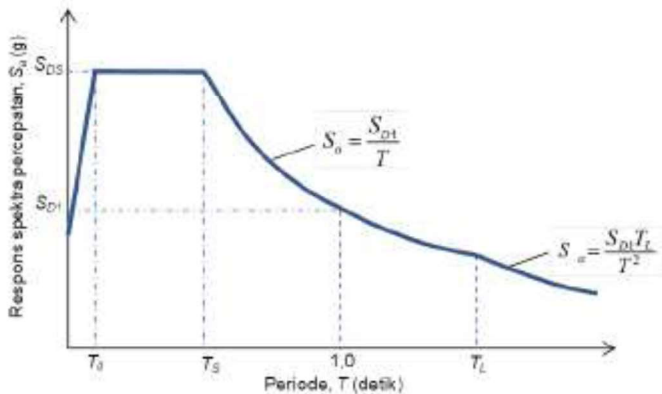
$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.

$T$  = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.43)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.44)$$

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang nilainya diambil dari gambar dibawah.



(Sumber: SNI 1726-2019)

**Gambar 2.15 – Spektrum respons desain**

## 2.5.2 Kontrol Dinamis Kinerja Struktur Akibat Gempa

### 2.5.2.1 Kontrol Partisipasi Massa

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0.05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode dibawah 0.05 detik (SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1).

### 2.5.2.2 Periode Fundamental Struktur

Pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1 menyatakan bahwa periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.45)$$

Keterangan :

$h_n$  adalah ketinggian struktur (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel berikut :

**Tabel 2.24 – Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
• Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.24 ini menjelaskan tentang nilai  $C_t$  dan  $x$  untuk menentukan nilai periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, berdasarkan tipe struktur pada bangunan yang ditinjau.

Sebagai alternatif pada bangunan yang strukturnya memiliki ketinggian tidak lebih dari 12 tingkat dimana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3m, maka diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, dari persamaan berikut :

$$T_a = 0.1 N \quad (2.46)$$

Keterangan :

$N$  = Jumlah tingkat

Untuk penentuan periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ). Penentuan periode fundamental struktur,  $T$ , dilakukan dengan cara menghitung batasan antara nilai perioda dari program bantu saat analisa struktur ( $T_c$ ) dan perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dengan nilai koefisien batas atas ( $C_u$ ) yang didapatkan pada tabel berikut :

**Tabel 2.25 – Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ )**

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0.4$	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
$\leq 0.1$	1.7

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.25 ini menjelaskan tentang penentuan koefisien  $C_u$  untuk batas atas pada perioda yang dihitung dengan berdasarkan pada nilai dari parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik ( $S_{D1}$ ).

Nilai periode fundamental struktur ( $T$ ) didapatkan berdasarkan batasan berikut :

$$\text{Jika } T_c > C_u \cdot T_a \quad \text{maka, } T = C_u \cdot T_a \quad (2.47)$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u \cdot T_a \quad \text{maka, } T = T_c \quad (2.48)$$

$$\text{Jika } T_c < T_a \quad \text{maka, } T = T_a \quad (2.49)$$

### 2.5.2.3 Kontrol Skala Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Menurut pasal 7.9.1.4.1 pada SNI 1726-2019 dapat disimpulkan bahwa nilai respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) tidak boleh kurang dari sama dengan gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, sehingga :

$$V_t \geq V$$

Keterangan :

$V_t$  = Nilai respons untuk gaya geser dasar akibat seismik hasil analisis ragam (hasil dari analisa struktur)

$V$  = Nilai geser desain total didasar struktur dalam arah yang ditinjau (hasil perhitungan dari metode static ekuivalen)

Menurut pasal 7.8.1 pada SNI 1726-2019 gaya geser ( $V$ ) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W \quad (2.50)$$

Keterangan :

$W$  = Berat seismik struktur



$$C_s = \text{Koefisien respons seismik} \left( C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \right) \quad (2.51)$$

Menurut pasal 7.8.1.1 pada SNI 1726-2019 batasan dari nilai  $C_s$  ditentukan sebagai berikut :

1. Nilai  $C_s$  minimum :

$$C_s \text{ min} = 0.44 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0.01 \quad (2.52)$$

Apabila lokasi bangunan terletak pada daerah yang memiliki nilai  $S_1 \geq 0.6g$ , maka :

$$C_s \text{ min} = \frac{0.5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.53)$$

2. Nilai  $C_s$  maksimum :

Untuk nilai  $T \leq T_L$

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.54)$$

Untuk nilai  $T \geq T_L$

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2 \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.55)$$

Keterangan :

$I_e$  : faktor keutamaan gempa

$S_{DS}$  : parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, dengan redaman 5%

$S_{D1}$  : parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, dengan redaman 5%

$S_1$  : parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$  dari peta gempa pada periode 1 detik, dengan redaman 5%

$R$  : koefisien modifikasi respons dalam tabel 12 SNI 1726-2019

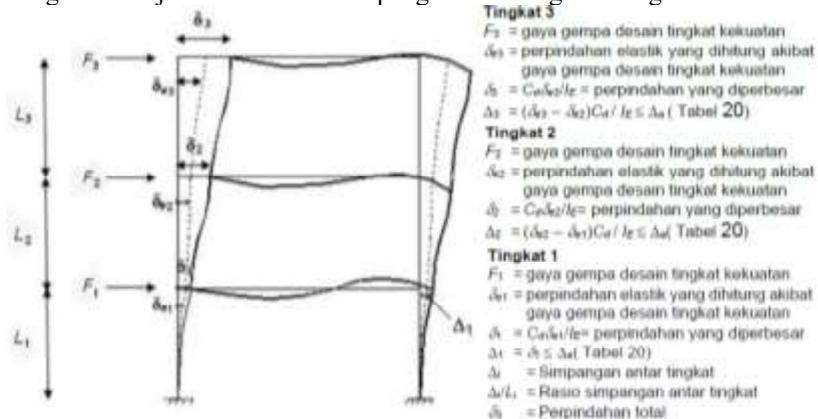
$T$  : periode fundamental bangunan

$T_L$  : peta transisi periode panjang

#### 2.5.2.4 Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Daktilitas adalah kebalikan dari kegetasan, yang berarti kemampuan suatu bangunan dalam mempertahankan kekuatan dan kekakuan strukturnya saat mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang dan bolak balik akibat adanya beban gempa diatas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sehingga struktur gedung tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi kritis

diambang keruntuhan. Dalam mengontrol daktilitas dapat dilakukan dengan meninjau defleksi atau simpangan antar tingkat sebagai berikut :



(Sumber: SNI 1726-2019)

### Gambar 2.16 – Penentuan simpangan antar tingkat

Pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.

Defleksi atau simpangan pusat massa dapat dihitung dengan mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.56)$$

Keterangan :

$C_d$  = faktor pembesaran simpangan lateral dalam tabel 12 SNI 1726:2019

$\delta_{xe}$  = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan berdasarkan tabel 2.17 dan tabel 2.18 diatas.

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_d$ ) sesuai dengan tabel berikut :

**Tabel 2.26 – Simpangan ijin antar tingkat izin,  $\Delta_{a,b}$** 

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0.025 $h_{sx}$ <sup>c</sup>	0.020 $h_{sx}$	0.015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kentilever batu bata <sup>d</sup>	0.010 $h_{sx}$	0.010 $h_{sx}$	0.010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0.007 $h_{sx}$	0.007 $h_{sx}$	0.007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0.020 $h_{sx}$	0.015 $h_{sx}$	0.010 $h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.26 menjelaskan tentang cara menentukan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) yang dikalikan koefisien dengan berdasarkan pada kategori risiko dan struktur bangunan.

### 2.5.2.5 Kontrol Sistem Ganda (*Dual System*)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.5.1 untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

### 2.5.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan menggunakan acuan pada SNI 1726-2019 sebagai berikut :

#### 2.5.3.1 Kombinasi Pembebanan Dasar

Pada pasal 4.2.2.1 SNI 1726-2019 struktur, komponen elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah :

- a. 1.4D
- b. 1.2D + 1.6L + 0.5( $L_r$  atau R)
- c. 1.2D + 1.6( $L_r$  atau R) + (L atau 0.5W)
- d. 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5( $L_r$  atau R)
- e. 0.9D + 1.0W

Keterangan :

- D : beban mati
- L : beban hidup
- $L_r$  : beban hidup atap
- R : beban hujan
- W : beban angin

### 2.5.3.2 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

Pada pasal 4.2.2.3 SNI 1726-2019 Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud,  $E = f(E_v, E_h)$  dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

- a.  $1.2D + E_v + E_h + L$
- b.  $0.9D - E_v + E_h$

Keterangan :

- $E_v$  : beban gempa vertikal
- $E_h$  : beban gempa horizontal

Pada pasal 7.4.2.1 SNI 1726-2019 Pengaruh beban seismik horizontal,  $E_h$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan (24) sebagai berikut :

$$E_h = \rho \cdot Q_E \quad (2.57)$$

Keterangan :

- $Q_E$  : adalah pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau  $F_p$ . Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain
- $\rho$  : adalah faktor redundansi

Pada pasal 7.4.2.2 SNI 1726-2019 pengaruh beban seismik vertikal,  $E_v$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_v = 0.2 \cdot S_{DS} \cdot D \quad (2.58)$$

Keterangan :

- $S_{DS}$  : parameter percepatan respons spektral desain pada periode pendek
- D : pengaruh beban mati

## 2.6 Perkuatan Struktur

Perubahan fungsi bangunan dan peraturan perencanaan merupakan alasan dilakukannya perkuatan terhadap struktur bangunan yang sudah berdiri (*existing*) (Sukrawa et al., 2016). Perkuatan struktur merupakan suatu langkah yang digunakan untuk mengembalikan

kekuatan elemen struktur atau meningkatkan kapasitas suatu bangunan yang dianggap masih kurang karena tidak memenuhi aturan yang ditetapkan dengan mengubah atau memperkuat elemen struktur eksisting. Adanya revisi dari standar aturan kegempaan di Indonesia melatarbelakangi perlunya ada evaluasi dan penguatan struktur pada bangunan-bangunan tinggi di Indonesia agar bangunan selalu tetap kokoh dan tahan terhadap kinerja kedepannya. Ada beberapa metode yang sering digunakan untuk penguatan struktur yang sudah berdiri (*existing*) antara lain penambahan komponen struktur (kolom, dinding), peningkatan kekuatan elemen struktur (pembesaran dimensi, penambahan lapisan berupa pelat baja (*steel jacket*) atau bahan komposit seperti FRP), pengurangan berat komponen non struktur dan kombinasi lainnya (Sukrawa et al., 2016). Saat merencanakan penguatan struktur, akan diperlukan juga analisa struktur sesuai dengan syarat dan teori agar nantinya bisa mendapatkan hasil perhitungan penguatan struktur yang tepat dan memenuhi kriteria.

Ada dua tahapan penguatan yaitu penguatan sistem struktur dan penguatan elemen struktur yang membedakan adalah penguatan sistem struktur perlu dilakukan jika terjadi kegagalan pada kontrol kinerja struktur bangunan tersebut Sedangkan penguatan elemen struktur berarti bangunan tersebut telah memenuhi persyaratan dari kinerja struktur yang terjadi namun terjadi kegagalan pada suatu elemen struktur bangunan yang mengalami *overcapacity* akibat dari beban yang ada. Untuk penjelasan lebih detailnya akan disampaikan di sub bab selanjutnya.

### **2.6.1 Penguatan Sistem Struktur**

Metode penguatan ini terdiri dari penambahan elemen struktur baru atau memperbesar dimensi elemen struktur. Penambahan dinding geser dan bresing baja merupakan metode yang sering digunakan sebagai penguatan terhadap struktur rangka yang telah berdiri karena sangat efektif, mudah, dan biayanya murah untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur jika dibandingkan dengan metode memperbesar dimensi dari elemen struktur.

#### **2.6.1.1 Penguatan Sistem Struktur dengan Bresing Baja**

Penguatan struktur menggunakan bresing baja ini memiliki keuntungan diantaranya adalah waktu pengerjaan yang relatif singkat dan tidak memberi pengaruh signifikan pada berat struktur. Untuk pemasangan bresing ini dapat dilakukan diluar ruangan sehingga tidak perlu *clearing area* bagian dalam bangunan. Bresing konsentrik

merupakan tipe bresing yang sering digunakan. Karena adanya bresing diagonal yang berfungsi untuk menahan beban lateral yang terjadi maka dari itu sistem rangka bresing konsentrik merupakan sistem struktur yang dapat menahan beban lateral dengan kekakuan struktur yang tinggi. Pada sistem struktur ini dikategorikan menjadi dua yaitu sistem rangka bresing konsentrik biasa (SRBKB) dan sistem rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK). Berikut adalah tahapan merencanakan sistem rangka bresing konsentrik :

1. Kontrol penampang profil baja

Dengan mengacu pada SNI 1729-2020 kontrol terhadap penampang bresing ini dilakukan sebagai berikut :

- a. Kontrol tarik penampang
  - Kontrol kelangsingan elemen Tarik (pasal D1)  
 $L/r < 300$
  - Kontrol tarik (pasal D2)  
 $\phi N_n = \phi \cdot F_y \cdot A_g > N_u$  (2.59)
- b. Kontrol tekan penampang
  - Kontrol kelangsingan elemen tekan (pasal B4.1 tabel B4.1a)  
 $\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y}$
  - Kontrol tekan (pasal E3)  
 $\phi P_n = \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g > P_u$  (2.60)
- c. Kontrol lentur penampang (pasal F8)
  - Batas leleh  
 $M_n = M_p = F_y \cdot z$  (2.61)
  - Kontrol penampang kompak menahan lentur  
 $\frac{D}{t} \leq 0.07 \frac{E}{F_y}$
  - Kontrol lentur  
 $\phi M_n > M_u$
- d. Kontrol geser penampang (pasal G5)  
 $\phi V_n = \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g / 2 > V_u$  (2.62)
- e. Kontrol torsi penampang  
 $\phi T_n = \phi \cdot F_{cr} \cdot C > T_u$  (2.63)
- f. Kontrol kombinasi gaya torsi, geser, lentur, dan aksial penampang (pasal H3.2)  
 $\left( \frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left( \frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right) < 1.0$

## 2. Kontrol sambungan bresing

Profil bresing nantinya akan disambung menggunakan pelat buhul dengan las dan baut yang kemudian diangkurkan ke dalam kolom eksisting. Dengan mengacu SNI 1729-2020 dan SNI 2847-2019 kontrol sambungan pada bresing didapatkan dengan parameter sebagai berikut :

- a. Sambungan las profil ke pelat buhul (pasal J2.4)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} > N_n \quad (2.64)$$

- b. Kuat tarik baut (pasal J3.6)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_y \cdot A_g \quad (2.65)$$

$$n = \phi \cdot N_n / \phi \cdot R_n \quad (2.66)$$

- c. Kuat tumpu baut (pasal J3.10)

$$R_u = 1.2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u < 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u \quad (2.67)$$

$$\phi(\Sigma R_n) > \phi P_n \quad (2.68)$$

- d. Kuat geser Blok (J4.3)

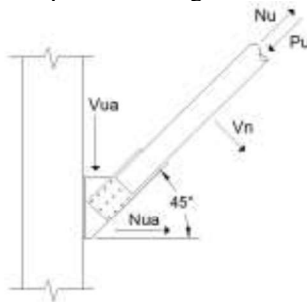
$$R_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq$$

$$0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

$$\phi R_n > \phi N_n$$

- e. Sambungan bresing ke kolom

- Gaya dalam pada sambungan



(Sumber: Dokumen pribadi)

**Gambar 2.17 – Gaya dalam sambungan bresing pada kolom**

$$N_{ua} = N_u \cdot \cos \alpha \quad (2.69)$$

$$V_{ua} = (V_u \cdot \cos \alpha) + (N_u \cdot \sin(90 - \alpha)) - (P_u \cdot \sin(90 - \alpha)) \quad (2.70)$$

- Sambungan las pelat buhul ke pelat landas

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} > \phi N_n \quad (2.71)$$

- Perhitungan tebal pelat landas

$$T_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot M_{pl}}{\phi \cdot F_y}} \quad (2.72)$$

- Perhitungan baut angkur ke kolom (SNI 2847-2019 pasal 17.4)

1. Kuat baja angkur dalam tarik

$$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot F_{uta} \quad (2.73)$$

2. Kuat jebol beton angkur dalam tarik (*breakout*)

$$\phi N_{cbg} = \phi \frac{A_{NC}}{A_{Nco}} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{ed,N} \cdot \Psi_{c,N} \cdot \Psi_{cp,N} \cdot N_b \quad (2.74)$$

3. Kuat cabut angkur dari beton / *pullout*

$$\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,p} \cdot N_p \quad (2.75)$$

4. Kuat ambrol samping / *blowout*

$$H_{ef} > 2.5 C_{al}$$

5. Kuat baja angkur dalam geser

$$\phi V_{sa} = \phi \cdot A_{se,V} \cdot F_{uta} \quad (2.76)$$

6. Kuat jebol beton (*brerakout*) dalam geser

$$\phi V_{cbg} = \phi \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \cdot \Psi_{ec,v} \cdot \Psi_{ed,v} \cdot \Psi_{C,V} \cdot \Psi_{cp,v} \cdot V_b \quad (2.77)$$

7. Kuat jungkit (*pryout*) beton angkur dalam geser

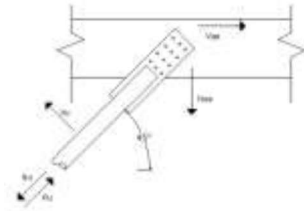
$$\phi V_{cp} = K_{cp} \cdot N_{cbg} \quad (2.78)$$

8. Cek interaksi gaya tarik dan geser

$$\left( \frac{N_{ua}}{\phi N_n} \right) + \left( \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \right) < 1.2 \quad (2.79)$$

- f. Sambungan bresing ke balok

- Gaya dalam pada sambungan



(Sumber: Dokumen pribadi)

**Gambar 2.18 – Gaya dalam pada sambungan bresing ke balok**

1.  $N_{ua} = N_u \cdot \sin \alpha$  (2.80)

2.  $N_{ua} = P_u \cdot \sin \alpha - N_u \cdot \sin \alpha$  (2.81)

3.  $V_{ua} = P_u \cdot \cos \alpha + N_u \cdot \cos \alpha$  (2.82)

4.  $V_{ua} = N_u \cdot \cos \alpha - N_u \cdot \cos \alpha$  (2.83)



5.  $V_{ua} = P_u \cdot \cos \alpha - P_u \cdot \cos \alpha$  (2.84)
- Sambungan las pelat buhul ke pelat landas (pasal J2)  
 $\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} > V_{ua}$  (2.85)
- Perhitungan tebal pelat landas  
 $T_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot M_{pl}}{\phi \cdot F_y}}$  (2.86)
- Perhitungan baut angkur ke balok (SNI 2847-2019 pasal 17.4)
  1. Kuat baja angkur dalam tarik  
 $\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot F_{uta}$  (2.87)
  2. Kuat jebol beton angkur dalam tarik (*breakout*)  
 $\phi N_{cbg} = \phi \cdot \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{ed,N} \cdot \Psi_{c,N} \cdot \Psi_{cp,N} \cdot N_b$  (2.88)
  3. Kuat cabut angkur dari beton / *pullout*  
 $\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,p} \cdot N_p$  (2.89)
  4. Kuat ambrol samping / *blowout*  
 $H_{ef} > 2.5 C_{al}$
  5. Kuat baja angkur dalam geser  
 $\phi V_{sa} = \phi \cdot A_{se,V} \cdot F_{uta}$  (2.90)
  6. Kuat jebol beton (*brerakout*) dalam geser  
 $\phi V_{cbg} = \phi \cdot \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \cdot \Psi_{ec,v} \cdot \Psi_{ed,v} \cdot \Psi_{C,V} \cdot \Psi_{cp,v} \cdot V_b$  (2.91)
  7. Kuat jungkit (*pryout*) beton angkur dalam geser  
 $\phi V_{cp} = K_{cp} \cdot N_{cbg}$  (2.92)
  8. Cek interaksi gaya tarik dan geser  
 $\left( \frac{N_{ua}}{\phi N_n} \right) + \left( \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \right) < 1.2$  (2.93)

## 2.6.2 Perkuatan Elemen Struktur

Perkuatan kali ini yaitu terletak pada elemen strukturnya saja, jenis perkuatan elemen struktur yang umum digunakan sebagai hasil dari evaluasi bangunan adalah sebagai berikut :

### 2.6.2.1 Concrete Jacketing

Concrete jacketing adalah metode perkuatan dengan menambahkan bahan beton bertulang diluar dimensi aslinya pada suatu elemen. Concrete jacketing terlihat seperti menyelimuti suatu elemen yang mengalami kegagalan, jadi dimensi pada elemen struktur yang mengalami kegagalan nantinya akan berubah menjadi lebih besar. Elemen tersebut berubah karena biasanya akan disertai dengan penambahan tulangan (*reinforcement*) disisi luar elemen aslinya untuk memperkuat

elemen tersebut agar dapat berfungsi untuk menahan beban yang baru. Untuk perencanaan metode perkuatan ini akan mengacu pada SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton structural untuk bangunan gedung dan penjelasan ini nanti meliputi kapasitas lentur dan geser pada elemen struktur balok dan kolom.

### 1. Perkuatan Elemen Struktur Balok

#### a. Perkuatan Lentur Balok

Dapat diperlihatkan bahwa kriteria untuk menjamin keadaan leleh dari tulangan tekan suatu penampang dengan tulangan rangkap pada saat dicapainya kekuatan nominalnya ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\rho - \rho' \left( 1 - \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \geq 0.85 \cdot \beta_1 \left( \frac{f_c' \cdot d'}{f_y \cdot d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right) \quad (2.94)$$

Keterangan :

$\rho$  : rasio luasan tulangan tarik terhadap luasan penampang

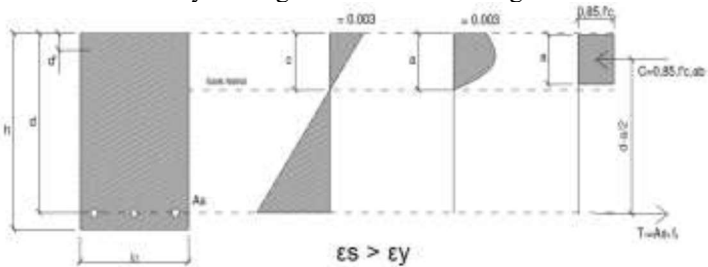
$d'$  : jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal (mm)

$d$  : jarak dari serat tarik terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)

$f_c'$  : mutu beton yang direncanakan

$f_y$  : mutu sengkang yang direncanakan

Dengan menggunakan gambar dibawah kriteria untuk melelehnya tulangan tekan adalah sebagai berikut :



(Sumber: (Rosyidah et al., 2010))

#### **Gambar 2.19 – Diagram regangan dan tegangan balok**

Gaya-gaya yang terjadi pada gambar 2.18 diatas adalah sebagai berikut:

$$T = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \quad (2.95)$$

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot C_b \quad (2.96)$$

$$C_s = (f_y - 0.85 \cdot f_c') \rho' \cdot b \cdot d \quad (2.97)$$

Jika telah ditentukan untuk menggunakan tulangan tekan, maka perhitungan kapasitas lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

$$C_c + C_s = T \quad (2.98)$$

$$M_n = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \quad (2.99)$$

Keterangan :

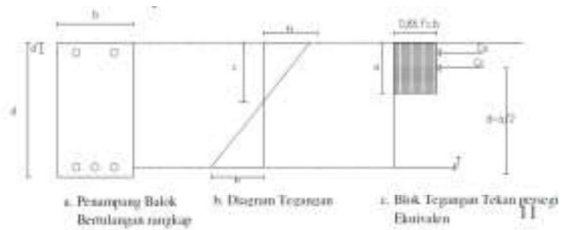
- $C_c$  : hasil tegangan tekan dari beton (MPa)
- $C_s$  : hasil tegangan tekan dari tulangan (MPa)
- $\beta_1$  : faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
- $C_b$  : jarak dari atas balok terhadap garis netral (mm)
- $\rho'$  : rasio luas tulangan tekan terhadap luasan penampang
- $a$  : tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

Pada saat penyusunan kembali persamaan keseimbangan digunakan suatu tegangan  $f_s'$  didalam tulangan tekan yang sebanding dengan regangan yang bersangkutan jikalau tulangan tekan tidak terjadi leleh.

Sama seperti halnya analisis dan perencanaan konstruksi pada umumnya, perhitungan tulangan lentur dan geser tambahan dapat dilakukan berdasarkan keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan.

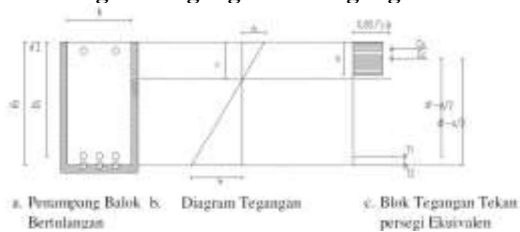
Kebutuhan perkuatan diperhitungkan berdasarkan atas kebutuhan momen setelah adanya evaluasi yang lebih besar terhadap momen hasil perhitungan eksisting dari balok yang ditinjau. Pada balok yang ditinjau nantinya akan dianggap tidak monolit dengan pelat.

Berdasarkan prinsip *concrete jacketing* yang nantinya akan berakibat adanya pembesaran dimensi dan jumlah tulangan pada suatu elemen struktur maka akan terjadi perubahan momen kapasitas.



(Sumber: (Rosyidah et al., 2010))

**Gambar 2.20 – Diagram regangan dan tegangan sebelum diperkuat**



(Sumber: (Rosyidah et al., 2010))

**Gambar 2.21 – Diagram regangan dan tegangan hasil *concrete jacketing***

Penentuan tulangan yang baru :

$$\rho_{\text{asumsi}} = 25\% \cdot \rho_{\text{min}} \quad (2.100)$$

mencari luas tulangan :

$$AS_{\text{perlu}} = \rho_{\text{asumsi}} \cdot b \cdot d \quad (2.101)$$

Untuk jumlah tulangan

$$n = \frac{AS_{\text{perlu}}}{As} \quad (2.102)$$

Dari perbedaan antara gambar 2.19 dan 2.20 diatas bisa dilihat bahwa balok yang sudah diperkuat mendapatkan penambahan momen kapasitas menjadi :

$$Mn3 = T1 \cdot (0.5 Db + Ds + 0.5 Db \text{ tambahan}) \quad (2.103)$$

$$Mn = Mn1 + Mn2 + Mn3 \quad (2.104)$$

$$Mn = Cc \cdot (d - \frac{a}{2}) + Cs \cdot (d - d') + T1 \cdot (0.5 Db + Ds + 0.5 Db \text{ tambahan}) \quad (2.105)$$

$$Mn = (As - As') \cdot fy \cdot (d - \frac{a}{2}) + As' \cdot fy \cdot (d - d') + T1 \cdot (0.5 Db + Ds + 0.5 Db \text{ tambahan}) \quad (2.106)$$

Perlu diingat dalam menentukan nilai C tetap harus memeriksa kelelahan tulangan terlebih dahulu, untuk

mendapatkan nilai aktual. Sedangkan perencanaan untuk perkuatan geser sama seperti penulangan geser pada balok.

b. Perkuatan Geser Balok

Kapasitas geser yang ditahan oleh tulangan geser ( $V_s$ ) dan kapasitas beton dalam menahan geser ( $V_c$ ) dijelaskan pada persamaan berikut :

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.107)$$

Dalam SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 terbilang bahwa kapasitas beton dalam menahan geser dianggap tidak bekerja ( $V_c=0$ ), apabila :

- Gaya geser akibat gempa ( $V_e$  didapatkan dari  $M_{pr}$ , pasal 18.6.5.1) lebih besar dari setengah gaya geser akibat beban kombinasi (kuat geser perlu).

$$P_u < \frac{A_g \cdot F_{cr}}{20} \quad (2.108)$$

Sehingga kebutuhan luasan tulangan geser ( $A_v$ ) dapat dihitung seperti berikut :

$$V_e = V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{w_u \cdot l_n}{2} \quad (2.109)$$

$$V_s = V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.110)$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} \quad (2.111)$$

Keterangan :

$M_{pr}$  : kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan property komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit  $1.25f_y$  dan faktor reduksi kekuatan  $\phi$  sebesar 1.0 (N-mm)

$l_n$  : panjang bentang bersih balok dari muka tumpuan (mm)

$W_u$  : beban terfaktor per satuan panjang balok (N/mm)

$\phi$  : faktor reduksi kekuatan untuk geser (sebesar 0.75)

$s$  : jarak tulangan sengkang yang terpasang (mm)

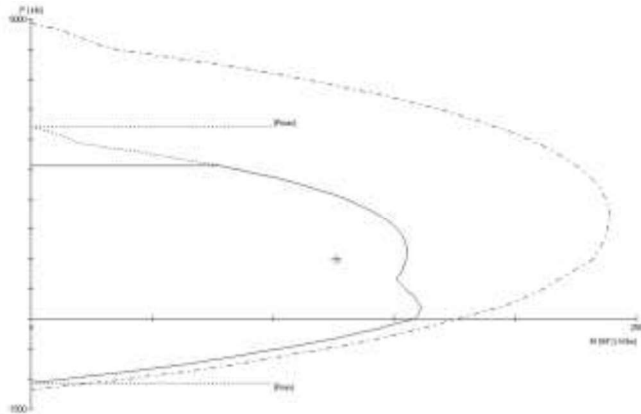
Setelah itu membandingkan kedua luasan sengkang tersebut, apabila luasan sengkang eksisting yang terpasang kurang dari luasan sengkang yang diperlukan maka balok membutuhkan perkuatan geser, dan apabila sebaliknya maka

balok tidak perlu diberi perkuatan geser karena balok dapat menahan gaya geser yang terjadi.

## 2. Perkuatan Elemen Struktur Kolom

### a. Perkuatan Kombinasi Aksial Lentur kolom

Untuk melihat kapasitas dari kekuatan kombinasi aksial-lentur pada kolom ditunjukkan dalam bentuk diagram interaksi P-M kolom. Diagram interaksi pada pembahasan ini akan didapatkan dari analisa menggunakan program bantu. Program bantu yang digunakan yaitu SP Column dengan cara memasukkan data dimensi dan tulangan kolom eksisting. Selanjutnya akan diinput gaya aksial dan lentur yang didapatkan dari hasil analisa struktur program bantu SAP2000, apabila gaya yang diinput tadi masih masuk kedalam diagram dapat diartikan bahwa kolom tidak membutuhkan perkuatan elemen atau kuat dalam menahan beban yang terjadi, contoh diagram P-M kolom yang dapat menahan beban adalah sebagai berikut :



(Sumber: Dokumen pribadi)

**Gambar 2.22 – Contoh diagram P-M kolom yang dapat menahan beban**

### b. Perkuatan Geser Kolom

Kekuatan geser pada kolom didapatkan dari beton dan tulangan penahan geser, namun pada sistem pemikul momen khusus kekuatan geser oleh beton diabaikan,

sehingga kuat geser nominal kolom dinyatakan sebagai berikut :

$$V_n = V_s \quad (2.112)$$

Kekuatan geser terfaktor akibat gaya gempa ( $V_c$ ) dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_e = V_u = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} \quad (2.113)$$

Selanjutnya dapat dicari luas tulangan geser yang diperlukan ( $A_v$ ) dengan langkah sebagai berikut :

$$V_s = V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.114)$$

$$V_{smax} = 0.67 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (2.115)$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} \quad (2.116)$$

Keterangan :

$l_u$  : panjang tak tertumpu komponen struktur tekan (mm)

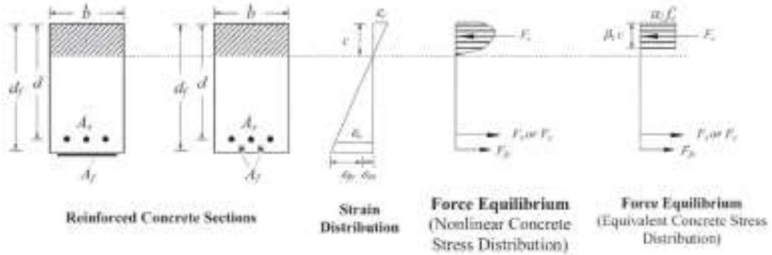
Setelah itu membandingkan kedua luasan sengkang tersebut, apabila luasan sengkang eksisting yang terpasang kurang dari luasan sengkang yang diperlukan maka kolom membutuhkan perkuatan geser, dan apabila sebaliknya maka kolom tidak perlu diberi perkuatan geser karena kolom dapat menahan gaya geser yang terjadi.

### 2.6.2.2 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

CFRP atau *Carbon Fiber Reinforced Polymer* adalah jenis material perkuatan struktur yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, bobotnya ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk membawanya ke lokasi. Untuk rencana perkuatan menggunakan metode ini akan mengacu pada ACI 440.2R-17 *Guide for Design and Construction of Externally Bounded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*.

#### 1. Perkuatan Lentur (*Flexural Strengthening*)

Kapasitas lentur balok didasarkan pada *limit state* yang ditentukan berdasarkan kuat tekan beton dan tegangan leleh baja serta tegangan efektif FRP. Momen nominal ( $M_n$ ) dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :



(Sumber: ACI 440.2R-17)

**Gambar 2.23 – Diagram regangan dan tegangan hasil CFRP**

$$C = T \quad (2.117)$$

$$C = T_s + T_f \quad (2.118)$$

Keterangan :

C : gaya tekan beton dan baja tulangan

T<sub>s</sub> : gaya tarik baja tulangan

T<sub>f</sub> : gaya tarik FRP

Dengan menggunakan prinsip diatas akan didapatkan garis netral penampang.

a. Momen Nominal (M<sub>n</sub>)

Perlu diperhatikan letak dari titik masing-masing resultan gaya serta ukuran penampang, agar didapatkan momen nominal (M<sub>n</sub>) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi M_n = \phi (M_{ns} + M_{nf}) \quad (2.119)$$

$$\phi M_n = \phi \left[ A_s \cdot f_s \left( d - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) + \Psi f \cdot A_f \cdot f_{fe} \left( d_f - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) \right] \quad (2.120)$$

Keterangan :

A<sub>s</sub> = luas penampang tulangan tarik (mm<sup>2</sup>)

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y \quad (2.121)$$

d = tinggi manfaat tulangan tarik (mm)

$$\beta_1 = \frac{4 \epsilon_c' - \epsilon_c}{6 \epsilon_c' - 2 \epsilon_c} \quad (2.122)$$

$$c = \frac{A_s \cdot f_s + A_f \cdot f_{fe}}{a_1 \cdot f_c' + \beta_1 \cdot b} \quad (2.123)$$

Ψf = faktor reduksi parsial untuk FRP (0.95)

A<sub>f</sub> = luasan FRP (mm<sup>2</sup>)

f<sub>fe</sub> = tegangan efektif FRP

d<sub>f</sub> = tinggi manfaat FRP (mm)



$$a1 = \frac{3 \epsilon c' \epsilon c - \epsilon c^2}{3 \beta 1 \epsilon c'^2} \quad (2.124)$$

b. Regangan ( $\epsilon$ )

- Regangan beton setelah penambahan FRP ( $\epsilon c$ )

$$\epsilon c = (\epsilon f_e + \epsilon b_i) \left( \frac{c}{df-c} \right) \quad (2.125)$$

- Regangan baja setelah penambahan FRP ( $\epsilon s$ )

$$\epsilon s = (\epsilon f_e + \epsilon b_i) \left( \frac{d-c}{df-c} \right) \quad (2.126)$$

- Regangan efektif FRP ( $\epsilon f_e$ )

$$\epsilon f_e = 0.003 \left( \frac{df-c}{c} \right) - \epsilon b_i \leq \epsilon f_d \quad (2.127)$$

- Regangan beton ketika pemasangan FRP ( $\epsilon f_e$ )

$$\epsilon b_i = \frac{MDL (df-kd)}{I_{cr} \cdot E_c} \quad (2.128)$$

- Regangan ketika *debonding* terjadi ( $\epsilon f_d$ )

$$\epsilon f_d = 0.41 \sqrt{\frac{f_{cr}}{n \cdot E_f \cdot t_f}} \leq 0.9 \epsilon f_u \quad (2.129)$$

## 2. Perkuatan Geser (*Shear Strengthening*)

Penjumlahan dari kekuatan geser nominal beton ( $V_c$ ) dengan kekuatan nominal baja tulangan geser ( $V_s$ ) serta kekuatan dari FRP ( $V_f$ ) yang dikalikan dengan faktor reduksi FRP ( $\Psi_f$ ) maka akan didapatkan kuat geser nominal ( $V_n$ ).

a. Kekuatan Geser Nominal

Perhitungan perkuatan geser nominal dapat dijelaskan pada persamaan berikut ini :

$$A_{f_e} = 2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f \quad (2.130)$$

$$f_{f_e} = E_f \cdot \epsilon_{f_e} \quad (2.131)$$

$$V_f = \frac{A_{f_e} \cdot f_{f_e} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d_{f_e}}{s_f} \quad (2.132)$$

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + V_f \cdot \Psi_f) \quad (2.133)$$

Keterangan :

$V_f$  = kekuatan geser FRP

$f_{f_e}$  = tegangan efektif FRP

$A_{f_e}$  = Luasan FRP geser

$\alpha$  = sudut kemiringan pemasangan FRP

b. Regangan ( $\epsilon$ )

- Regangan efektif ( $\epsilon f_e$ )

$$\epsilon f_e = K_v \cdot \epsilon f_u \quad (2.134)$$

- Regangan ultimate ( $\epsilon f_u$ )

$$\varepsilon_{fu} = C_E \cdot \varepsilon_{fu} \quad (2.135)$$

Keterangan :

$$K_v = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_e}{468 \cdot \varepsilon_{fu}} \quad (2.136)$$

$$K_1 = \left( \frac{f_{cr}}{254} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.137)$$

$$K_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} \quad (2.138)$$

$$L_e = \frac{416}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0.58}} \quad (2.139)$$

### 3. Perkuatan Beban Aksial (*Axial Force Strengthening*)

#### a. Kekuatan Nominal Aksial Murni

$$\varepsilon_{fe} = K_c \cdot \varepsilon_{fu} \quad (2.140)$$

$$\phi P_n = \phi \cdot [0.85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2.141)$$

Keterangan :

$$K_c = 0.55$$

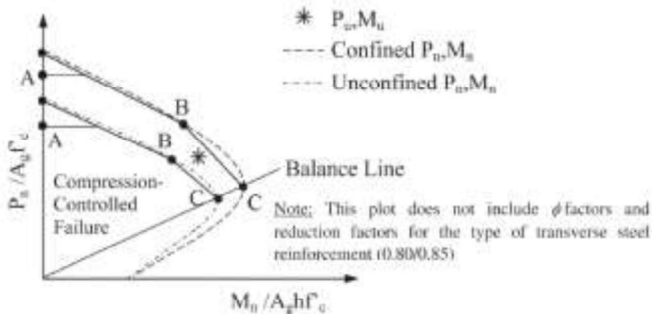
$A_g$  = luas kotor penampang beton (mm<sup>2</sup>)

$A_{st}$  = luas penampang tulangan longitudinal (mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_{fe}$  = regangan untuk beban aksial murni

#### b. Kekuatan Nominal Kombinasi Aksial-Lentur

Kekuatan nominal untuk kombinasi aksial dan lentur dapat didapatkan dengan menggunakan diagram interaksi dengan membandingkan antara kekuatan nominal aksial dengan kekuatan nominal lentur seperti pada gambar berikut :



(Sumber: ACI 440.2R-17)

**Gambar 2.24 – Representasi Diagram Intraksi FRP**

Menentukan besaran nilai kekuatan aksial nominal (Pn) dan momen nominal (Mn), dijelaskan pada persamaan berikut :

- Titik A

$$\phi P_n = \phi \cdot 0.85 \cdot [0.85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2.142)$$

$$\phi M_n = 0$$

- Titik B dan C

$$\phi P_n = \phi \cdot [A \cdot (y_t)^3 + B \cdot (y_t)^2 + C \cdot (y_t) + D + \Sigma A_{si} \cdot f_{si}] \quad (2.143)$$

$$\phi M_n = \phi \cdot [E \cdot (y_t)^4 + F \cdot (y_t)^3 + G \cdot (y_t)^2 + H \cdot (y_t) + I + \Sigma A_{si} \cdot f_{si} \cdot d_i] \quad (2.144)$$

Keterangan :

$$A = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{12 \cdot f_c'} \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2 \quad (2.145)$$

$$B = \frac{b(E_c - E_2)}{2} \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right) \quad (2.146)$$

$$C = -b \cdot f_c' \quad (2.147)$$

$$D = b \cdot c \cdot f_c' \cdot \frac{b \cdot E_2}{2} (\epsilon_{ccu}) \quad (2.148)$$

$$E = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{16 \cdot f_c'} \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2 \quad (2.149)$$

$$F = \left[ b \left( c - \frac{h}{2} \right) \left( \frac{(E_c - E_2)^2}{12 \cdot f_c'} \right) \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2 \right] + \left[ \frac{b \cdot (E_c - E_2)}{2} \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right) \right] \quad (2.150)$$

$$G = \left[ \frac{b}{2} f_c' \right] + \left[ b \left( c - \frac{h}{2} \right) \left( \frac{(E_c - E_2)}{2} \right) \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right) \right] \quad (2.151)$$

$$H = -b \cdot f_c' \left( c - \frac{h}{2} \right) \quad (2.152)$$

$$I = \left[ \frac{b \cdot c^2}{h} f_c' \right] - \left[ b \cdot c \cdot f_c' \left( c - \frac{h}{2} \right) \right] + \left[ \frac{b \cdot c^2 \cdot E_2}{h} (\epsilon_{ccu}) \right] - \left[ \frac{b \cdot c \cdot E_2}{2} \left( c - \frac{h}{2} \right) (\epsilon_{ccu}) \right] \quad (2.153)$$

$$y_t = c \left( \frac{\epsilon_t'}{\epsilon_{ccu}} \right); c = d(\text{titik B}); c = d \left( \frac{\epsilon_{ccu}}{\epsilon_{sy} + \epsilon_{ccu}} \right) (\text{titik C}) \quad (2.154)$$

$$\text{Regangan untuk kombinasi beban aksial dan lentur } (\epsilon_{fe}) \\ \epsilon_{fe} = 0.004 \leq k_\epsilon \cdot \epsilon_{fu}; (k_\epsilon = 0.55) \quad (2.155)$$

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Pengumpulan Data dan Acuan yang Digunakan

#### 3.1.1 Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data disini adalah sebagai berikut :

- a. Data umum bangunan
  - Nama bangunan : Gedung Kuliah Bersama (GKB 4)  
Universitas Muhammadiyah  
Malang
  - Fungsi bangunan : Ruang kelas, perpustakaan,  
komputer dan TIK, laboratorium
  - Jumlah lantai : 10 lantai termasuk lantai atap
  - Tinggi bangunan : 39.9 m
  - Panjang bangunan : 64 m
  - Lebar bangunan : 23.5 m
  - Lokasi bangunan : Lowokwaru, Kota Malang
- b. Mutu Bahan
  - Mutu beton : -  $f_c' 30$  MPa
  - Mutu baja tulangan : -  $f_y 240$  MPa untuk tulangan polos  
-  $f_y 400$  MPa untuk tulangan *deform*
- c. Data gambar struktur terlampir
- d. Data gambar arsitektur terlampir
- e. Data tanah terlampir

#### 3.1.2 Acuan yang Digunakan

Untuk acuan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- a. SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung
- b. SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- c. ASCE 7 -16 : *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*
- d. SNI 1727-2020 : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
- e. ACI 440.2R-17 : *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*
- f. SNI 1729-2020 : Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

### 3.2 Analisa Pembebanan

Analisa pembebanan direncanakan sebelum dilakukan permodelan struktur. Pembebanan yang bekerja pada bangunan gedung ini terdiri dari beban gravitasi yaitu berupa beban hidup dan beban mati, selanjutnya ada beban lateral yaitu berupa beban gempa. Analisa pembebanan pada beban gempa nantinya akan dilakukan dengan mengacu pada peraturan gempa yang terbaru yaitu pada SNI 1726-2019. Sedangkan untuk analisa beban mati dan hidup pada struktur bangunan mengacu pada SNI 1727-2020 dan ASCE 7-16.

a. Beban mati

Perhitungan beban mati pada struktur gedung ini adalah hasil dari beban keseluruhan struktur yang bersifat tetap sesuai dimensi-dimensi elemen struktur gedung yang berupa dimensi dari pelat, balok, dan kolom. Sedangkan untuk perhitungan beban mati tambahan yaitu berupa berat lift, berat keramik dan spesi sebesar  $1.1 \text{ kN/m}^2$ , berat plafond sebesar  $0.05 \text{ kN/m}^2$ , berat penggantung langit-langit sebesar  $0.1 \text{ kN/m}^2$ , berat mekanikal dan elektrik sebesar  $0.19 \text{ kN/m}^2$ , dan berat dinding setengah bata sebesar  $2.5 \text{ kN/m}^2$ .

b. Beban hidup

Perhitungan beban hidup pada struktur gedung ini akan berdasarkan dari fungsi bangunan dan fungsi ruang yang direncanakan pada bangunan gedung ini.

c. Beban air hujan

Perhitungan beban air hujan pada struktur gedung ini terjadi hanya pada bagian atap bangunan saja, dengan mengasumsikan nilai tinggi statis dan tinggi hidrolis.

d. Beban Angin

Perhitungan beban angin pada struktur gedung ini berdasarkan pada ketinggian bangunan dan lokasi bangunan yang dihitung terlebih dahulu sesuai dengan standar yang berlaku.

e. Beban gempa

Perhitungan beban gempa pada struktur gedung ini akan dianalisis dengan 3 dimensi. Analisa beban gempa akan disesuaikan dengan jenis tanah, lokasi gedung, fungsi bangunan dan ruang yang mengacu pada SNI 1726-2019.

### 3.3 Permodelan Struktur

Permodelan struktur pada evaluasi dan perkuatan struktur disini menggunakan program bantu untuk menganalisis struktur bangunan yaitu menggunakan SAP2000. Nantinya struktur gedung ini akan dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi, gedung ini memiliki 10 lantai termasuk lantai atap bangunan. Untuk struktur bawah bangunan tidak perlu dimodelkan namun dibuat menjadi perletakan jepit, karena struktur bawah atau bagian pondasinya diasumsikan kuat yaitu mampu menahan momen, gaya horizontal dan gaya vertikal dalam artian struktur bawah dianggap tidak dapat berputar, dan tidak dapat bergerak ke arah horizontal maupun vertikal. Permodelan pada pelat menggunakan frame area yang akan dibagi merata atau dibuat *divide* agar penyebaran momennya bisa merata pada balok yang digunakan sebagai tumpuan pelat tersebut. Pada bagian atap bangunan ini menggunakan permodelan pelat dan balok beton termasuk bagian kubahnya juga. Permodelan dinding geser pada lift akan dimodelkan, namun untuk komponen seperti tangga, pelat bordes, balok bordes, kolom dinding, dan kolom tangga tidak dimodelkan.

Permodelan struktur akan dilakukan dengan memasukkan macam-macam beban yang terjadi seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang baru. Setelah mengetahui berbagai macam perbedaan yang besar antara peraturan pembebanan gempa yang lama dan baru, maka akan menyebabkan adanya penambahan kekuatan pada elemen-elemen struktur untuk meningkatkan kapasitas dari elemen struktur tersebut akibat dari perhitungan kapasitas elemen eksisting yang tidak dapat menahan beban setelah adanya evaluasi.

### 3.4 Analisa Gaya Dalam Struktur

Analisis gaya dalam didapatkan dengan menggunakan program bantu SAP2000. Dengan adanya kombinasi pembebanan yang dimasukkan saat analisis gaya dalam secara keseluruhan didapatkan kuat perlu elemen-elemen struktur yang nantinya akan dibandingkan dengan kapasitas elemen masing-masing. Jika didapatkan bahwa nilai kuat perlu lebih besar daripada kapasitasnya maka dapat disimpulkan bahwa elemen struktur tersebut tidak mampu menahan beban yang direncanakan. Dengan begitu maka akan menyebabkan perlunya perencanaan perkuatan agar struktur mampu menahan beban yang direncanakan.

### 3.5 Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur

Untuk kapasitas elemen struktur yang diperhitungkan disini yaitu pada elemen kolom dan balok. Elemen kolom dan balok merupakan

elemen struktur yang memikul beban dengan mengandalkan kemampuan kapasitas momennya. Besar kecilnya nilai kapasitas momen ditentukan dari luasan baja tulangan yang terpasang. Perhitungan pada kapasitas elemen struktur ini akan mengacu pada SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Namun untuk perhitungan kapasitas dari elemen kolom akan menggunakan program bantu yaitu SPColumn. Berikut adalah macam-macam elemen struktur yang akan dihitung kapasitasnya :

- Perhitungan kapasitas pelat
- Perhitungan kapasitas lentur dan aksial kolom
- Perhitungan kapasitas geser kolom
- Perhitungan kapasitas lentur balok
- Perhitungan kapasitas geser balok
- Perhitungan kapasitas pondasi

### **3.6 Evaluasi Struktur**

Evaluasi struktur disini meliputi kontrol kinerja struktur akibat beban gempa dan kontrol kapasitas elemen struktur terhadap kuat perlu yang direncanakan (gaya dalam maksimum). Kontrol kinerja struktur akibat dari beban gempa akan mengacu pada peraturan yang mengatur tentang kegempaan yaitu SNI 1726 yang mengatur perilaku bangunan terhadap beban gempa. Sedangkan untuk kontrol kapasitas elemen struktur yaitu perhitungan kapasitas elemen struktur yang selanjutnya akan dibandingkan dengan gaya dalam maksimum pada elemen struktur tersebut yang merupakan hasil dari analisa struktur.

Dengan evaluasi struktur ini nantinya akan diketahui elemen struktur mana saja yang kuat dan tidak menahan beban rencana yang terjadi. Pada elemen struktur yang masih kuat menahan beban maka tidak perlu dilakukan perkuatan, namun pada elemen struktur yang tidak dapat menahan beban berarti elemen tersebut mengalami kegagalan struktur dan perlu dilakukan perkuatan struktur. Dengan evaluasi ini nantinya dapat diketahui juga letak elemen struktur yang mengalami kegagalan dan membutuhkan perkuatan struktur. Untuk mengevaluasi perlunya perkuatan atau tidak pada struktur bangunan ditentukan oleh parameter sebagai berikut :

#### **3.6.1 Kontrol Dinamis Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa**

Kontrol dinamis kinerja struktur akibat beban gempa ini akan mengacu pada SNI 1726-2019. Berikut parameter persyaratan dari kontrol dinamis kinerja struktur :

1. Kontrol partisipasi massa
2. Periode fundamental struktur
3. Kontrol skala gaya geser dasar (*base shear*)
4. Kontrol simpangan (*displacement*) antar lantai
5. Kontrol sistem ganda (*dual system*)

Untuk penjelasan lebih lengkap dapat dilihat di bab 2 pada sub bab 2.5.2 Kontrol Dinamis Kinerja Struktur Akibat Gempa.

### **3.6.2 Perbandingan Kapasitas Elemen Struktur dengan Gaya Dalam Maksimum**

Rasio perbandingan antara kapasitas elemen struktur dengan gaya dalam maksimum yang terjadi disebut dengan *safety factor / SF* dimana nilai SF harus lebih besar dari 1 (satu) yang artinya elemen struktur sudah dapat menahan beban rencana yang terjadi. Kapasitas yang perlu dianalisa adalah kapasitas lentur, geser, dan aksial (kolom) dengan ketentuan yang ada di SNI 2847-2019.

### **3.7 Perkuatan Struktur**

Perkuatan struktur dilakukan setelah mengetahui kondisi sistem struktur. Apabila kondisi sistem struktur tidak memenuhi persyaratan kontrol dinamis, maka diperlukan perkuatan struktur dengan menggunakan bresing baja dengan tipe konsentrik (SRBK). Setelah adanya perkuatan sistem struktur, selanjutnya dilakukan evaluasi untuk mengetahui kekuatan elemen struktur, apabila ditemukan elemen struktur yang mengalami kegagalan maka diperlukan perkuatan dengan menggunakan salah satu metode perkuatan elemen struktur diantaranya ada CFRP atau *concrete jacketing*. Perkuatan pada elemen struktur ada 3 (tiga) macam yaitu perkuatan terhadap lentur, perkuatan terhadap geser, dan perkuatan terhadap beban aksial. Pada tahapan ini akan dilakukan perhitungan perkuatan struktur sebagai berikut :

- Perhitungan perkuatan lentur dan aksial kolom
- Perhitungan perkuatan geser kolom
- Perhitungan perkuatan lentur balok
- Perhitungan perkuatan geser balok

### **3.8 Gambar Rencana Perkuatan**

Untuk gambar rencana perkuatan ini akan dilakukan dengan menggunakan program bantu yaitu AutoCAD. Gambar rencana perkuatan



dibuat berdasarkan pemilihan jenis perkuatan hasil dari pertimbangan dengan beberapa parameter, dan jumlah perkuatan yang dibutuhkan.

### **3.9 Metode Pelaksanaan Perkuatan Struktur**

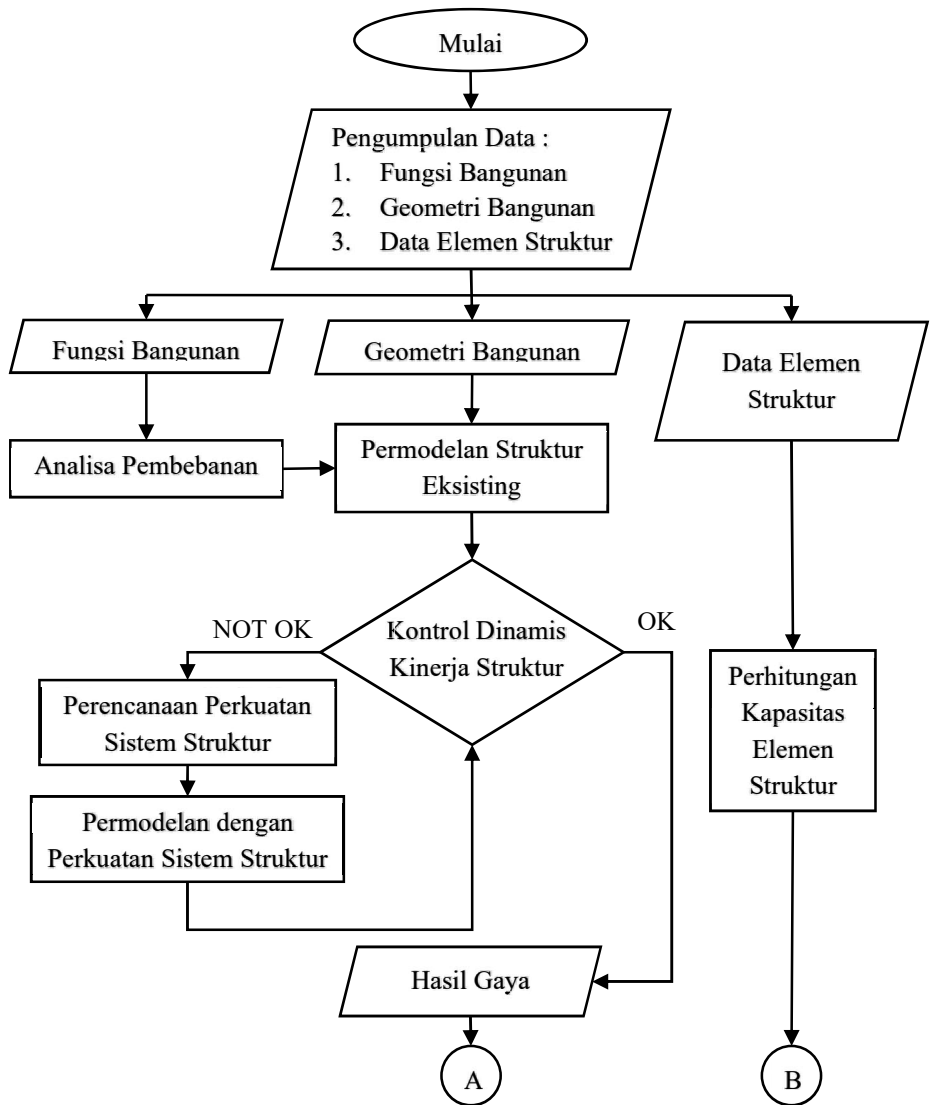
Untuk penjelasan metode pelaksanaan perkuatan struktur ini dilakukan sesuai dengan gambar rencana perkuatan struktur yang sudah dibuat agar didapatkan metode pelaksanaan yang paling efektif dalam memberikan perkuatan struktur.

### **3.10 Rencana Anggaran Biaya**

Untuk rencana anggaran biaya yang dihitung hanya pada bagian perkuatan elemennya saja dan tidak membahas rencana anggaran biaya pada keseluruhan bangunan. Dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya ini guna untuk mengetahui estimasi biaya yang diperlukan untuk memberikan perkuatan pada bangunan gedung ini.

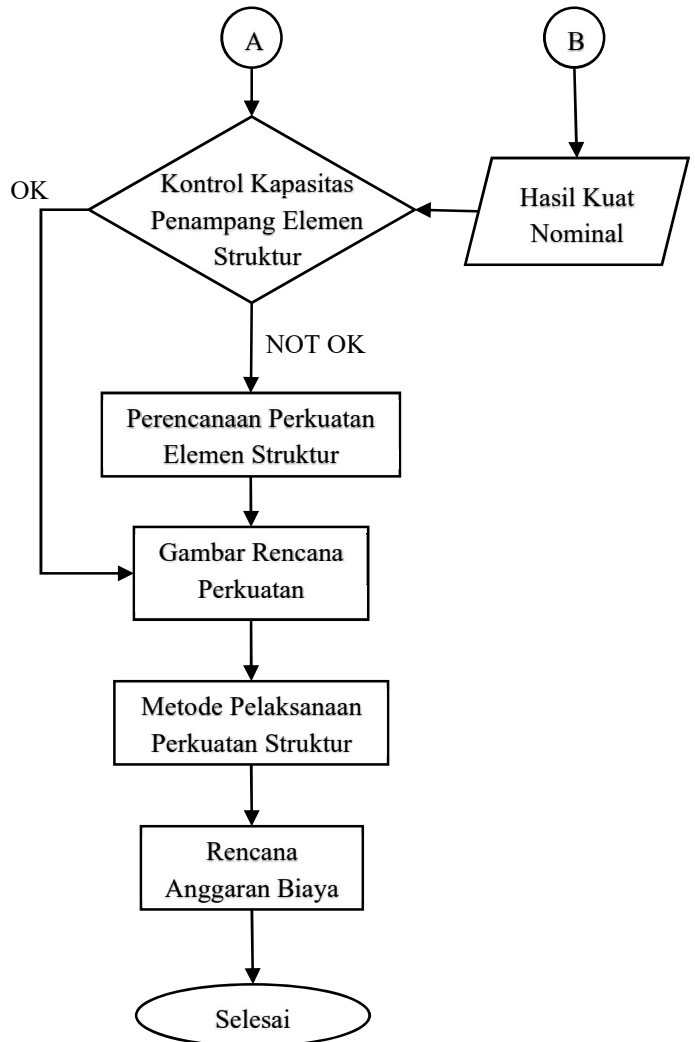
### **3.11 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir**

Untuk meringkas tahapan metodologi yang akan dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka dibuat diagram alir seperti berikut :



(Sumber: Dokumen Pribadi)

**Gambar 3.1 - Diagram alir penyusunan tugas akhir**



(Sumber: Dokumen Pribadi)

**Gambar 3.2 - Diagram alir penyusunan tugas akhir (lanjutan)**

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Pembebanan

Pembebanan merupakan langkah awal sebelum kita melakukan permodelan struktur. Analisa pembebanan dilakukan dengan cara memasukkan beban bangunan pada suatu pemodelan. Beban-beban yang digunakan adalah beban mati, beban hidup, beban air hujan, beban angin, dan beban gempa. Pembebanan pada bangunan akan mengacu pada SNI 1727-2020, sedangkan pada pembebanan gempa akan mengacu pada SNI 1729-2012 dan SNI 1729-2019.

#### 4.1.1 Beban Mati

Beban mati disini meliputi berat struktur itu sendiri, dan beban mati tambahan. Untuk berat struktur itu sendiri akan didapatkan dari permodelan struktur dengan menggunakan program bantu SAP2000. Sedangkan untuk beban mati tambahan adalah sebagai berikut :

1. Berat sendiri  
Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
2. Beban mati tambahan pada lantai  
Berat keramik dan spesi = 1,1 kN/m<sup>2</sup>  
Berat plafond = 0.05 kN/m<sup>2</sup>  
Berat penggantung plafond = 0.1 kN/m<sup>2</sup>  
Berat mekanikal dan elektrikl = 0.19 kN/m<sup>2</sup>
3. Beban mati tambahan pada lantai atap  
Beban penggantung plafond = 0.1 kN/m<sup>2</sup>  
Beban plafond = 0.05 kN/m<sup>2</sup>  
Beban mekanikal dan elektrikl = 0.19 kN/m<sup>2</sup>  
Beban *waterproofing* = 0.05 kN/m<sup>2</sup>
4. Beban dinding  
Beban dinding bata = 3.78 kN/m<sup>2</sup>  
Untuk tinggi dinding 3.88 m, maka :  
3.88 x 3.78 = 14,7 kN/m
5. Beban mati tangga dan bordes  
Berat keramik dan spesi pada tangga = 1.54 kN/m<sup>2</sup>  
Berat keramik dan spesi pada bordes = 1.1 kN/m<sup>2</sup>

#### 4.1.2 Beban Hidup

Beban hidup yang terjadi pada tiap suatu jenis ruangan berbedabeda, tergantung berdasarkan fungsi ruangan tersebut. Beban hidup akan mengacu pada SNI 1727-2020 tabel 4.3.1 sebagai berikut :

1. Beban hidup pada lantai
  - Gedung pertemuan = 4.79 kN/m<sup>2</sup>
  - Koridor lantai 1 = 4.79 kN/m<sup>2</sup>
  - Koridor = 3.83 kN/m<sup>2</sup>
  - Perpustakaan = 2.87 kN/m<sup>2</sup>
  - Ruang kelas = 1.92 kN/m<sup>2</sup>
  - Basement = 1.92 kN/m<sup>2</sup>
2. Beban hidup pada lantai atap
  - Beban atap datar = 0.96 kN/m<sup>2</sup>
3. Beban hidup pada tangga
  - Beban hidup tangga = 1.33 kN/m<sup>2</sup>
  - Beban hidup bordes = 1.33 kN/m<sup>2</sup>

#### 4.1.3 Beban Air Hujan

Perhitungan beban air hujan direncanakan berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 8.3 sebagai berikut :

$$R = 0.0098 (d_s + d_h)$$

Dimana :

$$d_s = \text{tinggi statis} = 10 \text{ mm}$$

$$d_h = \text{tinggi hidrolis} = 10 \text{ mm}$$

Maka :

$$R = 0.0098 (10+10)$$

$$R = 0.196 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.1.4 Beban Angin

Untuk perhitungan beban angin pada bangunan gedung akan dihitung sesuai dengan SNI 1727-2020 pasal 27. Beban angin dinding maksimum dan minimum akan didistribusikan pada kolom. Berikut adalah prosedur perhitungan beban angin :

##### Langkah 1

Menentukan kategori risiko bangunan dengan berdasarkan tabel 1.5-1

- Kategori risiko = IV (gedung pendidikan termasuk fasilitas penting)

**Langkah 2**

Menentukan kecepatan angin dasar,  $v$ , sesuai dengan data BMKG pada lokasi bangunan

- $v = 19 \text{ Knot} = 9.77444 \text{ m/s}$

**Langkah 3**

Menentukan parameter beban angin

- Menentukan faktor arah angin,  $K_d$   
Berdasarkan tipe struktur, termasuk bangunan gedung SPGAU maka,  $K_d = 0.85$
- Menentukan kategori eksposur  
Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.7 kategori kekasaran bangunan ini termasuk kekasaran permukaan B, maka kategori eksposurnya adalah eksposur B
- Menentukan faktor topografi,  $K_{zt}$   
Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.8.1, nilai  $K_{zt} = 1.0$
- Menentukan faktor tiupan angin,  $G$   
Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.11.2, nilai  $G = 0.85$
- Klasifikasi ketertutupan  
Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.12, Bangunan gedung ini termasuk dalam klasifikasi bangunan tertutup
- Menentukan koefisien tekanan internal,  $G_{Cpi}$   
Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.13, nilai  $G_{Cpi} = +0.18$  &  $-0.18$  (karena termasuk klasifikasi bangunan tertutup)

**Langkah 4**

Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas,  $K_z$  atau  $K_h$

- Berdasarkan SNI 1727-2020 tabel 26.11.1 dikarenakan bangunan termasuk eksposur B, maka didapatkan :

$$\alpha = 7$$

$$Z_g = 365.76 \text{ m}$$

Berdasarkan SNI 1727-2020 tabel 26.10-1 dengan tinggi bangunan  $z = 40 \text{ m}$ , maka nilai  $k_z$  adalah :

$$\begin{aligned} K_z &= 2.01 \left( \frac{z}{Z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \\ &= 2,01 \left( \frac{40}{365.76} \right)^{\frac{2}{7}} \\ &= 2.01 (0.109)^{0.286} \\ &= 1.068 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.9-1 perkiraan konservatif, boleh diambil  $ke = 1.0$

#### Langkah 5

Menentukan tekanan velositas,  $qz$  atau  $qh$

- Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 26.10.2, tekanan kecepatan  $qz$  dapat dihitung dengan persamaan berikut :
- $qz = 0.613 \times Kz \times Kzt \times kd \times ke \times v^2$   
 $= 0.613 \times 1.068 \times 1.0 \times 0.85 \times 1.0 \times 9.774^2$   
 $= 53.1678 \text{ N/m}^2$

#### Langkah 6

Menentukan koefisien tekanan eksternal,  $Cp$  atau  $Cn$

- Berdasarkan SNI 1727-2020 gambar 27.3.1 didapatkan :

**Tabel 4.1 – Koefisien tekanan eksternal**

Koefisien tekan dinding, $Cp$			
Permukaan	L/B	$Cp$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0.8	$qz$
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0.5	$qh$
	2	-0.3	
	$\geq 4$	-0.2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0.7	$qh$

$$\frac{L}{B} = \frac{66.55}{24.475}$$

$= 2.719$ , maka nilai  $Cp$  nya adalah sebagai berikut :

Dinding sisi angin datang,  $Cp = 0.8$

Dinding sisi angin pergi,  $Cp = -0.264$

Dinding sisi angin tepi,  $Cp = -0.7$

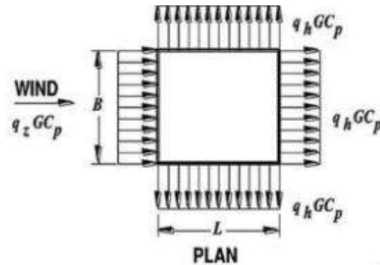
Menentukan koefisien tekanan internal ( $GCpi$ )

- Berdasarkan SNI 1727-2020 tabel 26.13-1, didapatkan :  
 Koefisien tekanan internal bangunan ( $GCpi$ ) adalah 0.18 atau -0.18

#### Langkah 7

Menghitung tekanan angin,  $P$

- Pada bangunan ini, beban angin yang berhembus akan didistribusikan pada elemen kolom, sehingga beban yang terjadi pada kolom adalah :



**Gambar 4.1 – Distribusi Beban Angin**

$$P = q_z \times G \times C_p - q_i \times G C_{pi}$$

Pada angin datang

$$\begin{aligned} &= q_z \times G \times C_p \\ &= 53.1678 \times 0.85 \times 0.8 \\ &= 36.154 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Pada angin pergi

$$\begin{aligned} &= q_z \times G \times C_p \\ &= 53.1678 \times 0.85 \times -0.26 \\ &= -11.75 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Pada arah angin tepi

$$\begin{aligned} &= q_z \times G \times C_p \\ &= 53.1678 \times 0.85 \times -0.7 \\ &= -31.635 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

**Tabel 4.2 – Rekap distribusi beban angin per lantai**

Lantai	Kz	Kzt	Kd	ke	V	V2	qz	G	tekan/datang	hisap/pergi	dinding tepi
					m/s	N/m <sup>2</sup>			kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Basement	0.00	1	0.85	1	9.77	95.53	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00
1	0.55	1	0.85	1	9.77	95.53	27.53	0.85	18.72	-6.08	-16.38
2	0.67	1	0.85	1	9.77	95.53	33.55	0.85	22.81	-7.41	-19.96
3	0.76	1	0.85	1	9.77	95.53	37.68	0.85	25.62	-8.33	-22.42
4	0.82	1	0.85	1	9.77	95.53	40.92	0.85	27.82	-9.04	-24.35
5	0.88	1	0.85	1	9.77	95.53	43.60	0.85	29.65	-9.64	-25.94
6	0.92	1	0.85	1	9.77	95.53	45.94	0.85	31.24	-10.15	-27.34
7	0.97	1	0.85	1	9.77	95.53	48.03	0.85	32.66	-10.62	-28.58
8	1.00	1	0.85	1	9.77	95.53	49.88	0.85	33.92	-11.02	-29.68
9	1.04	1	0.85	1	9.77	95.53	51.57	0.85	35.07	-11.40	-30.68
Atap	1.07	1	0.85	1	9.77	95.53	53.16	0.85	36.15	-11.75	-31.63

Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 27.1.5, beban angin desain minimum adalah sebesar 0.77 kN/m<sup>2</sup> untuk dinding bangunan, sedangkan untuk atap adalah sebesar 0.38 kN/m<sup>2</sup>.



#### 4.1.5 Beban Gempa SNI 1726-2012

Perhitungan pada beban gempa akan menyesuaikan berdasarkan letak kota dimana bangunan tersebut direncanakan. Perhitungan dengan metode analisa respons spektrum dilakukan dengan menggunakan perhitungan gempa secara manual. Perhitungan beban gempa ini dihitung dengan mengacu pada SNI 1726-2012. Berikut adalah tahapan perhitungan spektrum respons gempa rencana desain :

a. Kategori risiko bangunan (I)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 bangunan dengan jenis pemanfaatan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan termasuk dalam kategori risiko IV.

b. Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 2 jika bangunan termasuk dalam kategori risiko IV maka faktor keutamaan gempanya adalah  $I_e = 1.5$

c. Kelas situs tanah

Menentukan klasifikasi situs dengan hasil SPT lokasi bangunan. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata,  $\bar{N}$ , dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

**Tabel 4.3 – Data N-SPT**

Lapisan ke	Tebal Lapisan (di)	Nilai SPT (Ni)	Di/Ni
-			
1	2.5	18	0.139
2	2.5	9	0.278
3	2.5	13	0.192
4	2.5	31	0.081
5	2.5	26	0.096
6	2.5	51	0.049
7	2.5	29	0.086
8	2.5	44	0.057
9	2.5	50	0.050
10	2.5	60	0.042
11	2.5	59	0.042
12	2.5	60	0.042
<b>Jumlah</b>	<b>30</b>		<b>1.154</b>

$$\bar{N} = \frac{30}{1.154} = 26.007$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 5.3 tabel 3 dengan nilai  $\bar{N} = 26.007$ , maka termasuk dalam tanah sedang (SD)

d. Parameter percepatan gempa

Menentukan parameter percepatan gempa berdasarkan peta gempa SNI 1726-2012 gambar 9 dan gambar 10, sesuai dengan lokasi letak bangunan. Nilai parameter percepatan gempa untuk kota Malang adalah untuk periode pendek atau  $S_s = 0.78$ , untuk periode 1 detik atau  $S_1 = 0.329$ .

e. Koefisien situs

Menentukan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  yang berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.2 tabel 4 dan tabel 5. Dengan kondisi tanah sedang (SD), maka didapatkan nilai  $F_a = 1.188$ , dan nilai  $F_v = 1.742$ . Setelah diketahui nilai  $F_a$  dan  $F_v$ , maka nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  adalah sebagai berikut :

- Periode Pendek ( $S_{MS}$ )  
 $S_{MS} = F_a \times S_s = 1.188 \times 0.78 = 0.927$
- Periode 1 detik ( $S_{D1}$ )  
 $S_{M1} = F_v \times S_1 = 1.742 \times 0.329 = 0.573$

f. Parameter percepatan spektral desain

Menentukan parameter percepatan spektral desain berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.3 sebagai berikut :

- Periode pendek ( $S_{DS}$ )  
 $S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0.927 = 0.618$
- Periode 1 detik  
 $S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.573 = 0.382$

g. Kategori desain seismik

Menentukan kategori desain seismik sesuai berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 6 dan 7, untuk nilai  $S_{DS} \geq 0.5$  dan  $S_{D1} \geq 0.20$ , dengan kategori risiko IV, maka kategori desain seismik nya adalah D

h. Sistem penahan gaya seismik

Menentukan kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.2.2 tabel 9. Gedung ini menggunakan sistem struktur kombinasi dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser (*Shearwall*). Parameter untuk sistem struktur ganda atau *dual system* antara SRPMK

dengan dinding geser beton bertulang khusus adalah sebagai berikut :

$$R_0 = 7$$

$$\Omega_0 = 2.5$$

$$C_d = 5.5$$

i. Perhitungan spektrum respons desain

Perhitungan ini diperlukan untuk menggambar spektrum gempa yang akan dimasukkan ke dalam permodelan menjadi beban gempa. Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 ketentuan perhitungan ini adalah sebagai berikut :

- Untuk  $T < T_0$ , nilai  $S_a$  diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Dengan,

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.382}{0.618} = 0.124 \text{ detik}$$

Sehingga untuk  $T = 0$

$$S_a = 0.618 \left( 0.4 + 0.6 \frac{0}{0.124} \right) = 0.2471$$

- Untuk  $T \geq T_0$ , dan  $T \leq T_s$ , nilai  $S_a = S_{DS}$

Dengan,

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.382}{0.618} = 0.618 \text{ detik}$$

Sehingga,

$$T = T_0, \quad S_a = 0.618$$

$$T = T_s, \quad S_a = 0.618$$

- Untuk  $T > T_s$ , Nilai  $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Sehingga

$$T = T_s + 0.1 = 0.618 + 0.1 = 0.718 \text{ detik}$$

$$\text{Nilai } S_a = \frac{0.382}{0.718} = 0.5318$$

Untuk lebih detailnya akan disajikan pada tabel berikut ini :

**Tabel 4.4 – Nilai percepatan gempa**

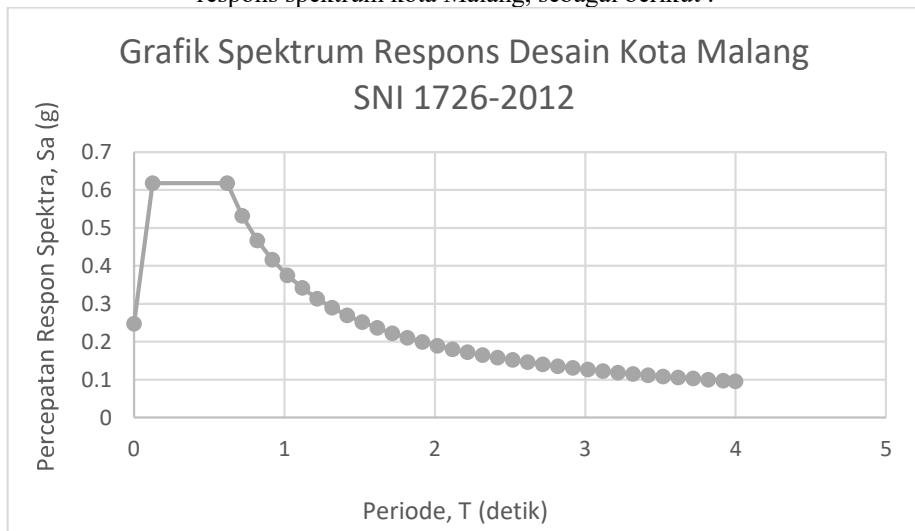
T ke- (detik)	T (detik)	S <sub>a</sub> (g)
0	0	0.247
T <sub>0</sub>	0.124	0.618
T <sub>s</sub>	0.618	0.618
TS+0.1	0.718	0.532
TS+0.2	0.818	0.467

T ke- (detik)	T (detik)	S <sub>a</sub> (g)
TS+1.7	2.318	0.165
TS+1.8	2.418	0.158
TS+1.9	2.518	0.152
TS+2.0	2.618	0.146
TS+2.1	2.718	0.141

TS+0.3	0.918	0.416
TS+0.4	1.018	0.375
TS+0.5	1.118	0.342
TS+0.6	1.218	0.314
TS+0.7	1.318	0.29
TS+0.8	1.418	0.269
TS+0.9	1.518	0.252
TS+1.0	1.618	0.236
TS+1.1	1.718	0.222
TS+1.2	1.818	0.21
TS+1.3	1.918	0.199
TS+1.4	2.018	0.189
TS+1.5	2.118	0.18
TS+1.6	2.218	0.172

TS+2.2	2.818	0.136
TS+2.3	2.918	0.131
TS+2.4	3.018	0.127
TS+2.5	3.118	0.123
TS+2.6	3.218	0.119
TS+2.7	3.318	0.115
TS+2.8	3.418	0.112
TS+2.9	3.518	0.109
TS+3.0	3.618	0.106
TS+3.1	3.718	0.103
TS+3.2	3.818	0.1
TS+3.3	3.918	0.098
4	4	0.096

Sehingga dari rekapitulasi tersebut, dapat digambarkan grafik respons spektrum kota Malang, sebagai berikut :



**Gambar 4.2 – Grafik respons spektrum gempa kota Malang SNI 1726-2012**

#### 4.1.6 Beban Gempa SNI 1726-2019

Perhitungan pada beban gempa akan menyesuaikan berdasarkan letak kota dimana bangunan tersebut direncanakan. Perhitungan dengan metode analisa respons spektrum dilakukan dengan menggunakan perhitungan gempa secara manual. Perhitungan beban gempa ini dihitung dengan mengacu pada SNI 1726-2019. Berikut adalah tahapan perhitungan spektrum respons gempa rencana desain :

a. Kategori risiko bangunan (I)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2 tabel 3 bangunan dengan jenis pemanfaatan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan termasuk dalam kategori risiko IV.

b. Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2 tabel 4 jika bangunan termasuk dalam kategori risiko IV maka faktor keutamaan gempanya adalah  $I_e = 1.5$

c. Kelas situs tanah

Menentukan klasifikasi situs dengan hasil SPT lokasi bangunan. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata,  $\bar{N}$ , dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

**Tabel 4.5 – Data N-SPT**

Lapisan ke	Tebal Lapisan (di)	Nilai SPT (Ni)	Di/Ni
-			
1	2.5	18	0.139
2	2.5	9	0.278
3	2.5	13	0.192
4	2.5	31	0.081
5	2.5	26	0.096
6	2.5	51	0.049
7	2.5	29	0.086
8	2.5	44	0.057
9	2.5	50	0.050
10	2.5	60	0.042
11	2.5	59	0.042
12	2.5	60	0.042
<b>Jumlah</b>	<b>30</b>		<b>1.154</b>

$$\bar{N} = \frac{30}{1.154} = 26.007$$

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 5.3 tabel 5 dengan nilai  $\bar{N} = 26.007$ , maka termasuk dalam tanah sedang (SD)

d. Parameter percepatan gempa

Menentukan parameter percepatan gempa berdasarkan peta gempa SNI 1726-2019 gambar 15 dan gambar 16, sesuai dengan lokasi letak bangunan. Nilai parameter percepatan gempa untuk kota Malang adalah untuk periode pendek atau  $S_s = 1.0$ , untuk periode 1 detik atau  $S_1 = 0.5$ .

e. Koefisien situs

Menentukan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  yang berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.2 tabel 6 dan tabel 7. Dengan kondisi tanah sedang (SD), maka didapatkan nilai  $F_a = 1.1$ , dan nilai  $F_v = 1.8$ . Setelah diketahui nilai  $F_a$  dan  $F_v$ , maka nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$  adalah sebagai berikut :

- Periode Pendek ( $S_{MS}$ )  
 $S_{MS} = F_a \times S_s = 1.1 \times 1.0 = 1.1$
- Periode 1 detik ( $S_{DI}$ )  
 $S_{MI} = F_v \times S_1 = 0.5 \times 1.8 = 0.9$

f. Parameter percepatan spektral desain

Menentukan parameter percepatan spektral desain berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.3 sebagai berikut :

- Periode pendek ( $S_{DS}$ )  
 $S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1.1 = 0.73333$
- Periode 1 detik  
 $S_{DI} = \frac{2}{3} \times S_{MI} = \frac{2}{3} \times 0.9 = 0.6$

g. Kategori desain seismik

Menentukan kategori desain seismik sesuai berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 8 dan 9, untuk nilai  $S_{DS} \geq 0.5$  dan  $S_{DI} \geq 0.20$ , dengan kategori risiko IV, maka kategori desain seismik nya adalah D

h. Sistem penahan gaya seismik

Menentukan kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 tabel 12. Gedung ini menggunakan sistem struktur kombinasi dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser (*Shearwall*). Parameter untuk sistem struktur ganda atau *dual system* antara SRPMK

dengan dinding geser beton bertulang khusus adalah sebagai berikut :

$$R_0 = 7$$

$$\Omega_0 = 2.5$$

$$C_d = 5.5$$

i. Periode panjang ( $T_L$ )

Menentukan nilai periode panjang atau  $T_L$  berdasarkan peta gempa SNI 1726-2019 gambar 20, sesuai dengan lokasi letak bangunan. Untuk periode panjang di kota Malang adalah 20 detik.

j. Perhitungan spektrum respons desain

Perhitungan ini diperlukan untuk menggambar spektrum gempa yang akan dimasukkan ke dalam permodelan menjadi beban gempa. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4 ketentuan perhitungan ini adalah sebagai berikut :

- Untuk  $T < T_0$ , nilai  $S_a$  diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Dengan,

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.6}{0.7333} = 0.1636 \text{ detik}$$

Sehingga untuk  $T = 0$

$$S_a = 0.7333 \left( 0.4 + 0.6 \frac{0}{0.1636} \right) = 0.293$$

- Untuk  $T \geq T_0$ , dan  $T \leq T_s$ , nilai  $S_a = S_{DS}$

Dengan,

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.6}{0.7333} = 0.818 \text{ detik}$$

Sehingga,

$$T = T_0, \quad S_a = 0.7333$$

$$T = T_s, \quad S_a = 0.7333$$

- Untuk  $T > T_s$ , tetapi  $T \leq T_L$ , Nilai  $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Sehingga

$$T = T_s + 0.2 = 0.818 + 0.2 = 1.018 \text{ detik}$$

$$\text{Nilai } S_a = \frac{0.6}{1.018} = 0.589$$

- Untuk  $T > T_L$ , nilai  $S_a = S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$

Sehingga

$$T = T_L + 0.1 = 20 + 0.1 = 20.1 \text{ detik}$$

$$\text{Nilai } S_a = \frac{0.6 \times 20}{20.1^2} = 0.3$$

Untuk lebih detailnya akan disajikan pada tabel berikut ini :

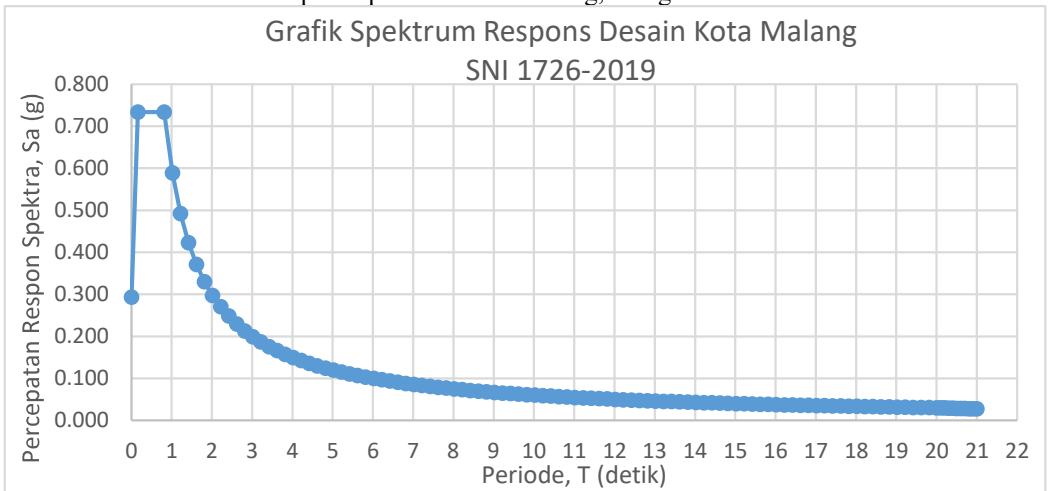
**Tabel 4.6 – Nilai percepatan gempa**

T ke- (detik)	T (detik)	Sa (g)	T ke- (detik)	T (detik)	Sa (g)	T ke- (detik)	T (detik)	Sa (g)
0	0	0.293	TS+7	7.818	0.077	TS+14.4	15.218	0.039
T0	0.164	0.733	TS+7.2	8.018	0.075	TS+14.6	15.418	0.039
TS	0.818	0.733	TS+7.4	8.218	0.073	TS+14.8	15.618	0.038
TS+0.2	1.018	0.589	TS+7.6	8.418	0.071	TS+15	15.818	0.038
TS+0.4	1.218	0.493	TS+7.8	8.618	0.070	TS+15.2	16.018	0.037
TS+0.6	1.418	0.423	TS+8	8.818	0.068	TS+15.4	16.218	0.037
TS+0.8	1.618	0.371	TS+8.2	9.018	0.067	TS+15.6	16.418	0.037
TS+1	1.818	0.330	TS+8.4	9.218	0.065	TS+15.8	16.618	0.036
TS+1.2	2.018	0.297	TS+8.6	9.418	0.064	TS+16	16.818	0.036
TS+1.4	2.218	0.270	TS+8.8	9.618	0.062	TS+16.2	17.018	0.035
TS+1.6	2.418	0.248	TS+9	9.818	0.061	TS+16.4	17.218	0.035
TS+1.8	2.618	0.229	TS+9.2	10.018	0.060	TS+16.6	17.418	0.034
TS+2	2.818	0.213	TS+9.4	10.218	0.059	TS+16.8	17.618	0.034
TS+2.2	3.018	0.199	TS+9.6	10.418	0.058	TS+17	17.818	0.034
TS+2.4	3.218	0.186	TS+9.8	10.618	0.057	TS+17.2	18.018	0.033
TS+2.6	3.418	0.176	TS+10	10.818	0.055	TS+17.4	18.218	0.033
TS+2.8	3.618	0.166	TS10.2	11.018	0.054	TS+17.6	18.418	0.033
TS+3	3.818	0.157	TS+10.4	11.218	0.053	TS+17.8	18.618	0.032
TS+3.2	4.018	0.149	TS+10.6	11.418	0.053	TS+18	18.818	0.032
TS+3.4	4.218	0.142	TS+10.8	11.618	0.052	TS+18.2	19.018	0.032
TS+3.6	4.418	0.136	TS+11	11.818	0.051	TS+18.4	19.218	0.031
TS+3.8	4.618	0.130	TS+11.2	12.018	0.050	TS+18.6	19.418	0.031
TS+4	4.818	0.125	TS+11.4	12.218	0.049	TS+18.8	19.618	0.031
TS+4.2	5.018	0.120	TS+11.6	12.418	0.048	TS+19	19.818	0.030
TS+4.4	5.218	0.115	TS+11.8	12.618	0.048	TL	20.000	0.030
TS+4.6	5.418	0.111	TS+12	12.818	0.047	TL+0.1	20.100	0.030
TS+4.8	5.618	0.107	TS+12.2	13.018	0.046	TL+0.2	20.200	0.029



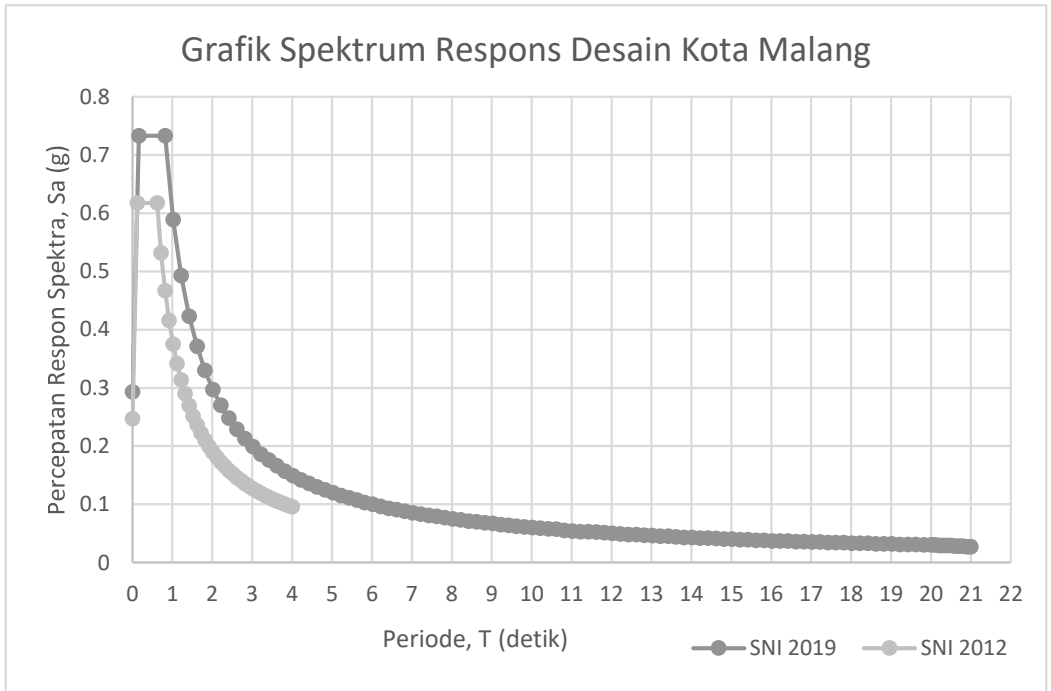
TS+5	5.818	0.103	TS+12.4	13.218	0.045	TL+0.3	20.300	0.029
TS+5.2	6.018	0.100	TS+12.6	13.418	0.045	TL+0.4	20.400	0.029
TS+5.4	6.218	0.096	TS+12.8	13.618	0.044	TL+0.5	20.500	0.029
TS+5.6	6.418	0.093	TS+13	13.818	0.043	TL+0.6	20.600	0.028
TS+5.8	6.618	0.091	TS+13.2	14.018	0.043	TL+0.7	20.700	0.028
TS+6	6.818	0.088	TS+13.4	14.218	0.042	TL+0.8	20.800	0.028
TS+6.2	7.018	0.085	TS+13.6	14.418	0.042	TL+0.9	20.900	0.027
TS+6.4	7.218	0.083	TS+13.8	14.618	0.041	TL+1	21.000	0.027
TS+6.6	7.418	0.081	TS+14	14.818	0.040			
TS+6.8	7.618	0.079	TS+14.2	15.018	0.040			

Sehingga dari rekapitulasi tersebut, dapat digambarkan grafik respons spektrum kota Malang, sebagai berikut :



**Gambar 4.3 – Grafik respons spektrum gempa kota Malang SNI 1726-2019**

Kemudian hasil dari kurva respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 dibandingkan untuk mengetahui perbedaan besar beban gempa yang terjadi.



**Gambar 4.4 – Perbandingan grafik RS SNI 1726-2012 dengan SNI 1726-2019**

#### 4.1.7 Beban Lift

Untuk lift yang dipakai adalah merk Hyundai *Elevator* dengan reaksi sebagaimana berikut :

**Tabel 4.7 – Spesifikasi lift merk hyundai**

Type	Speed (m/sec)	Capacity (person kg)		Reaction Static Load				Door Opening mm
		Person	Load	R1	R2	R3	R4	
1	1.0	9	600	4100	7450	6300	5100	800
2	2.0	17	1150	13080	7150	11000	8700	1000

Type	Car Size		Hoistway Size		Machine Room Size	
	A	B	X1	Y	MX1	MY
1	1460	1285	1800	1750	2000	3500
2	1900	1670	2450	2250	2750	4450



$$21678.8 - pu \cdot x = 0$$

$$Pu = \frac{21678.8}{x}$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$3.525 \cdot 3675 - pu \cdot (3.525 - x) = 0$$

$$12954 - \frac{21678.8}{x} \cdot (3.525 - x) = 0$$

$$12954 - \frac{76417.594}{x} + 21678.8 = 0$$

$$34632.8 = \frac{76417.594}{x}$$

$$x = 2.206 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } Pu = \frac{21678.8}{2.206} = 9825 \text{ kg}$$

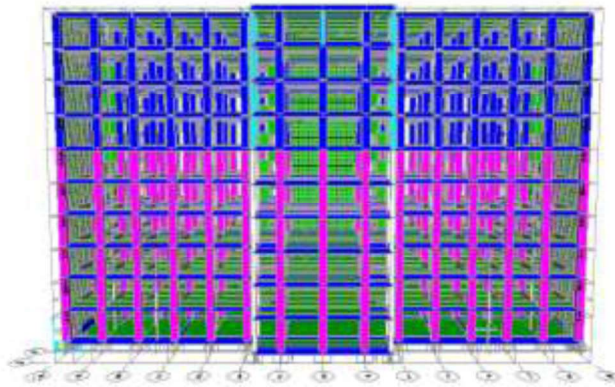
#### 4.1.8 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan berbagai macam pembebanan diatas, komponen elemen struktur didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.2.2 sebagaimana dibawah :

1.  $1.4D$
2.  $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
3.  $1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5W)$
4.  $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
5.  $0.9D + 1.0W$
6.  $1.2D + E_v + E_h + L$
7.  $0.9D - E_v + E_h$

#### 4.2 Permodelan Struktur

Permodelan struktur eksisting gedung kuliah bersama di Malang menggunakan sistem ganda (*dual systems*) yaitu dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dengan dinding geser (*shearwall*). Permodelan struktur ini menggunakan program bantu berupa SAP2000. Permodelan struktur dilakukan untuk menganalisa kekuatan struktur eksisting dan kemudian dilakukan evaluasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur dalam memikul beban yang terjadi. Permodelan ini dievaluasi berdasarkan beban gempa SNI 1726:2019 terhadap SNI 1726:2012. Untuk model 3 dimensinya dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.8 – Permodelan struktur *dual systems* (SRPMK)

### 4.3 Kontrol Dinamis Struktur Eksisting terhadap SNI 1726-2012

#### 4.3.1 Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.9.1, bahwa analisis dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Dari hasil analisa struktur, diketahui partisipasi massa mencapai 90% pada modal ke-121 yaitu untuk partisipasi massa arah X sebesar 0.90451 dan arah Y sebesar 0.9.

Tabel 4.8 – *Modal Participating Mass Ratios*

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	118	0.054441	8.42E-16	0.00004783	0.00383	0.90252	0.89599
MODAL	Mode	119	0.054435	0.00002353	1.422E-15	6.466E-14	0.90252	0.89599
MODAL	Mode	120	0.054406	0.0000102	2.153E-17	3.329E-13	0.90253	0.89599
MODAL	Mode	121	0.054356	1.039E-14	0.000003761	0.00016	0.90253	0.896
MODAL	Mode	122	0.054325	0.000003482	1.247E-15	1.021E-16	0.90253	0.896
MODAL	Mode	123	0.054324	3.035E-16	1.603E-07	0.00444	0.90253	0.896

#### 4.3.2 Kontrol Waktu Geser Alami Fundamental

Periode getar,  $T$ , merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.2, bahwa pada pelaksanaan analisis untuk

menentukan periode fundamental, diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan  $T_a$ . Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dimana  $h_n$  adalah ketinggian struktur,  $C_t$  dan  $x$  adalah koefisien yang didapat dari tabel 15 SNI 1726-2012. Untuk gedung dengan sistem ganda digunakan sistem struktur lainnya. Dikarenakan gedung menggunakan *dual system*, maka untuk tipe strukturnya termasuk dalam tipe semua system struktur lainnya.

**Tabel 4.9– Parameter nilai  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
• Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

Sesuai tabel diatas, maka nilai struktur didapatkan nilai  $C_t = 0.0488$  dan  $x = 0.75$  serta ketinggian struktur adalah 40 m, sehingga didapatkan :

$$T \text{ min } (T_a) = C_t \times h_n^x = 0.0488 \times 40^{0.75} = 0.776184231 \text{ detik}$$

Nilai  $T$  di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai  $S_{D1}$  yang terdapat pada tabel 14 SNI 1726-2012 berikut :

**Tabel 4.10 – Koefisien batas atas periode**

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$> 0.4$	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
$\leq 0.1$	1.7

Karena nilai  $S_{D1} = 0.3821$ , maka nilai koefisien  $C_u = 1.4$

$$T_a \text{ maks} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0.776184231 = 1.086657924 \text{ detik}$$

Dari analisis permodelan struktur didapatkan periode struktur sebesar :

**Tabel 4.11 – Modal periods and frequencies**

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.687257	1.4551	9.1424	83.584
MODAL	Mode	2	0.482271	2.0735	13.028	169.74
MODAL	Mode	3	0.339366	2.9467	18.514	342.79
MODAL	Mode	4	0.202783	4.9314	30.985	960.05
MODAL	Mode	5	0.177253	5.6417	35.448	1256.5

Syarat periode berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.4.1 adalah sebagai berikut :

- Jika  $T_{SAP} < T_{min}$ , maka digunakan  $T = T_{min}$
- Jika  $T_{min} < T_{SAP} < T_{maks}$ , maka digunakan  $T = T_{SAP}$
- Jika  $T_{SAP} > T_{maks}$ , maka digunakan  $T = T_{maks}$

Dari tabel tersebut, didapatkan :

$$T_{min} (T_a) > T_{cy SAP} < T_{maks} (T_a \cdot C_u)$$

$$0.776184231 > 0.687257 < 1.086657924$$

$$T_{min} (T_a) > T_{cx SAP} < T_{maks} (T_a \cdot C_u)$$

$$0.776184231 > 0.482271 < 1.086657924$$

Berdasarkan data diatas maka periode fundamental struktur yang memenuhi, dan digunakan adalah  $T_y$  dan  $T_x = 0.776184231$  detik.

### 4.3.3 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya geser dinamis struktur digunakan untuk mengontrol apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respon spektrum sudah sesuai dengan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1. Nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser dasar seismik adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W_t$  = berat struktur

Diketahui nilai  $S_s = 0.8$  g, nilai  $S_1 = 0.329$ , nilai  $S_{D5} = 0.62$ , nilai  $S_{D1} = 0.382$ , nilai  $R = 7$ , nilai  $I_e = 1.5$ . Perhitungan  $C_s$  adalah sebagai berikut:

- $C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e}$   
 $= \frac{0.62}{7/1.5}$   
 $= 0.1324$
- $C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)}$   
 $= \frac{0.382}{0.7762(7/1.5)}$   
 $= 0.1055$
- $C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$   
 $= 0,044 \times 0.62 \times 1.5 \geq 0,01$   
 $= 0.0408 \geq 0,01$

$C_s \text{ minimum} < C_s \text{ hitungan} > C_s \text{ maksimum}$ ,  
 maka digunakan  $C_s \text{ pakai} = 0.1055$

**Tabel 4.12 – Masses and weights**

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY	TotalMassZ
Text	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	14984.84	146951.064	14984.84	14984.84	14984.84

Dari permodelan struktur menggunakan SAP didapatkan, nilai berat total struktur adalah : 146951.064 kN

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W_t \\
 &= 0.1055 \times 146951.064 \text{ kN} \\
 &= 15497.6019 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Analisa struktur didapatkan nilai gaya geser dasar hasil analisis ragam atau  $V_{dinamik} (V_t)$  sebagai berikut :

**Tabel 4.13 – Base Reactions**

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	12032.349	3964.032
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	3609.779	13214.339

Kontrol :

- Gempa arah X  
 Gempa Dinamis  $> 0.85 \cdot V$   
 $12032.349 \text{ kN} > 13172.96164 \text{ kN}$  (NOT OK)
- Gempa arah Y  
 Gempa Dinamis  $> 0.85 \cdot V$



$$13214.339 \text{ kN} > 13172.96164 \text{ kN (OK)}$$

Dikarenakan kontrol gempa dinamis terhadap gaya geser belum memenuhi atau *not ok*, maka perlu merubah faktor skala pada permodelan yang dilakukan. Untuk perhitungan faktor skala yang baru adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala lama} &= 2.1021 \text{ m/s}^2 \\ 0.85 \cdot V &= 13172.96164 \text{ kN} \\ V_i \text{ arah X} &= 12032.349 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor skala baru

$$\begin{aligned} - \text{Arah X} &= \frac{\text{faktor skala lama} \cdot 0.85 \cdot V}{V_i \text{ arah X}} \\ &= \frac{2.1021 \cdot 13172.962}{12032.349} \\ &= 2.301416557633 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

#### 4.3.4 Kontrol Gaya Geser Dasar Baru

Dikarenakan pada hasil kontrol analisa struktur terdapat salah satu kontrol yaitu kontrol gempa dinamis terhadap gaya geser yang belum memenuhi atau *not ok*, maka perlu dilakukan permodelan baru dengan hanya merubah faktor skalanya saja pada opsi load case gempa X.

Untuk nilai  $C_s$  yang dipakai,  $W_t$ , dan  $V$  masih tetap sama seperti pada kontrol sebelumnya yaitu :

$$\begin{aligned} C_s &= 0.1055 \\ W_t &= 146951.064 \text{ kN (dari permodelan SAP)} \\ V &= 15497.6019 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Tabel 4.14 – Base Reactions**

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	13173.135	4339.943
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	3609.779	13214.339

Kontrol :

- Gempa arah X  
Gempa Dinamis > 0.85 · V  
13173.135 kN > 13172.96164 kN (OK)
- Gempa arah Y  
Gempa Dinamis > 0.85 · V  
13214.339 kN > 13172.96164 kN (OK)

### 4.3.5 Kontrol Sistem Ganda (Dual System)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.2.5.1 bahwa Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Dengan ketentuan pada pasal tersebut, melalui program bantu SAP 2000 v.14 gaya geser dasar yang diterima *shearwall* dan sistem rangka pemikul momen dapat diketahui pada perletakan dinding pada lantai paling dasar. Berikut perhitungan presentase penerimaan beban gempa.

- a. Gaya geser yang diterima keseluruhan

**Tabel 4.15 – Gaya geser yang diterima oleh bangunan**

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	13189.52	5607.008
QUAKE Y	3668.478	13320.87

- b. Gaya geser yang diterima *shearwall* dan SRPM

**Tabel 4.16 – Gaya geser yang diterima *shearwall***

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	6055.614	3682.068
QUAKE Y	1667.276	8548.26

**Tabel 4.17 – Gaya geser yang diterima SRPM**

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	7133.906	1924.94
QUAKE Y	2001.202	4772.609

Presentase gaya geser yang diterima *shearwall*:

$$\text{Gempa X} = \frac{6055.614}{13189.52} \times 100\% = 45.912\%$$

$$\text{Gempa Y} = \frac{8548.26}{13320.87} \times 100\% = 64.172\%$$

Presentase gaya geser yang diterima sistem rangka pemikul momen:

$$\text{Gempa X} = \frac{7133.906}{13189.52} \times 100\% = 54.087\%$$

$$\text{Gempa Y} = \frac{4772.609}{13320.87} \times 100\% = 35.828 \%$$

Untuk kontrol sistem ganda ada dalam tabel berikut:

**Tabel 4.18 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima *shearwall***

No	Arah Gempa	<i>Shearwall</i>	Syarat	Kontrol
1	Gempa X	45.912	$\leq 75$	OK
2	Gempa Y	64.172	$\leq 75$	OK

**Tabel 4.19 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima SRPM**

No	Arah Gempa	SRPM	Syarat	Kontrol
1	Gempa X	54.087	$\geq 25$	OK
2	Gempa Y	35.828	$\geq 25$	OK

#### 4.3.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.3 Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

$$\Delta_i \leq \Delta_A$$

Dimana :

$\Delta_i$  : Simpangan yang terjadi

$$\Delta_i : \frac{C_d \times \delta_{ei}}{l_e}$$

$\Delta_A$  : Batas simpangan

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta_i$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat ijin ( $\Delta_A$ ) yang ditunjukkan pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2012 tabel 16 sebagai berikut :

**Tabel 4.20 – Simpangan antar lantai ijin struktur**

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$ <sup>c</sup>	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

$H_{sx}$  adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

a. Simpangan antar lantai arah X

kontrol simpangan antar lantai arah X disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 4.21 – Simpangan antar lantai arah x**

Lantai	h lantai (mm)	$\delta e$ (mm)	$\delta x_e$ (mm)	$\delta x$ (mm)	$\delta a$ (mm)	Kontrol
Atap	4000	22.216	1.577191	5.78303	40	OK
9	4000	20.63881	2.065595	7.57385	40	OK
8	4000	18.57321	2.40479	8.81756	40	OK
7	4000	16.16842	2.581947	9.46714	40	OK
6	4000	13.58648	2.65911	9.75007	40	OK
5	4000	10.92737	2.653888	9.73092	40	OK
4	4000	8.273479	2.572136	9.43117	40	OK
3	4000	5.701343	2.417905	8.86565	40	OK
2	4000	3.283438	2.094654	7.6804	40	OK
1	4000	1.188784	1.188784	4.35887	40	OK
BM	4000	0	0	0	40	OK

b. Simpangan antar lantai arah Y

kontrol simpangan antar lantai arah Y disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 4.22 – Simpangan antar lantai arah y**

Lantai	h lantai (mm)	$\delta e$ (mm)	$\delta y_e$ (mm)	$\delta y$ (mm)	$\delta a$ (mm)	Kontrol
Atap	4000	11.16	0.789051	2.89319	40	OK
9	4000	10.37095	0.988021	3.62274	40	OK
8	4000	9.382928	1.146563	4.20406	40	OK
7	4000	8.236365	1.24729	4.5734	40	OK

6	4000	6.989075	1.302037	4.77414	40	OK
5	4000	5.687038	1.313724	4.81699	40	OK
4	4000	4.373314	1.279229	4.69051	40	OK
3	4000	3.094085	1.225298	4.49276	40	OK
2	4000	1.868787	1.107209	4.05977	40	OK
1	4000	0.761578	0.761578	2.79245	40	OK
BM	4000	0	0	0	40	OK

Contoh perhitungan simpangan antar lantai (*story drift*) kinerja batas ultimit pada lantai 9 arah Y :

1. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari SAP 2000 v14 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 9, yaitu 10.371 mm. Jadi nilai  $\delta e_9 = 10.371$  mm.
2. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari SAP 2000 v.14 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 8, yaitu 9.383 mm. Jadi nilai  $\delta e_8 = 9.383$  mm.
3. Hitung simpangan atau perpindahan antar lantai untuk lantai 9 yaitu dengan persamaan  $(\delta e_9 - \delta e_8) = (10.371 - 9.383) = 0.988$  mm.

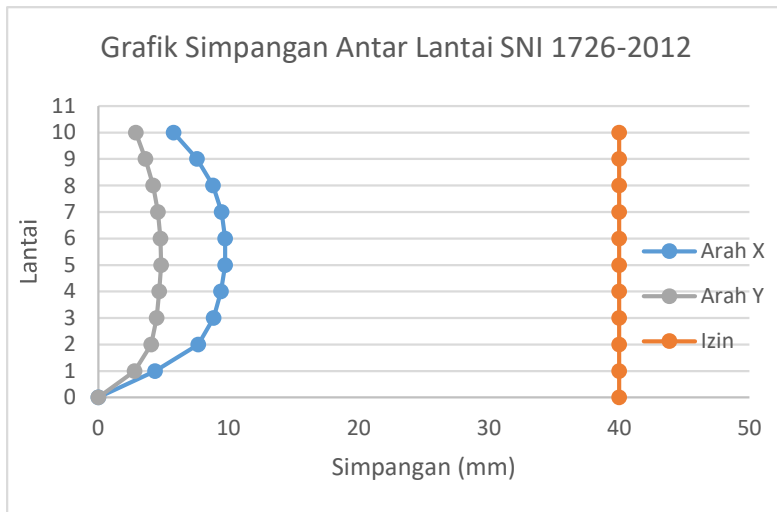
4. Hitung nilai perpindahan antar lantai (*story drift*) yang diperbesar, yaitu:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{C_D \times (\delta e_9 - \delta e_8)}{I_e} \\
 &= \frac{5.5 \times 0.988}{1.5} \\
 &= 3.62274 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Hitung nilai batas untuk simpangan antar lantai (*story drift*)  $\Delta_A$  yang terdapat pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2019, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \Delta_A &< 0,010 h_{sx} \\
 \Delta_A &< 0,010 (4000) \\
 \Delta_A &< 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6. Cek nilai simpangan antar lantai pada lantai 9 yaitu:  
3.62274 mm < 40 mm (OK).



**Gambar 4.9 – Grafik simpangan arah X dan Y struktur eksisting (SNI 1726-2012)**

#### **4.4 Kontrol Dinamis Struktur Eksisting terhadap SNI 1726-2019**

##### **4.4.1 Kontrol Rasio Partisipasi Massa**

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1, bahwa analisis dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (single rigid body) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik. Pengecualian, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Dari hasil analisa struktur, diketahui partisipasi massa mencapai 90% pada modal ke-121.

**Tabel 4.23 – Modal participating mass ratios**

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepType	StepIum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	118	0.054441	8.42E-16	0.00004783	0.00383	0.90252	0.89599
MODAL	Mode	119	0.054435	0.000002353	1.422E-15	6.466E-14	0.90252	0.89599
MODAL	Mode	120	0.054406	0.0000102	2.153E-17	3.329E-13	0.90253	0.89599
MODAL	Mode	121	0.054356	1.039E-14	0.000003761	0.00016	0.90253	0.896
MODAL	Mode	122	0.054325	0.000003482	1.247E-15	1.021E-16	0.90253	0.896

#### 4.4.2 Kontrol Waktu Geser Alami Fundamental

Periode getar,  $T$ , merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1, bahwa pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental, diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan  $T_a$ . Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dimana  $h_n$  adalah ketinggian struktur,  $C_t$  dan  $x$  adalah koefisien yang didapat dari tabel 18 SNI 1726-2019. Untuk gedung dengan sistem ganda digunakan sistem struktur lainnya. Dikarenakan gedung menggunakan *dual system*, maka untuk tipe strukturnya termasuk dalam tipe semua system struktur lainnya.

**Tabel 4.24– Parameter nilai  $C_t$  dan  $x$** 

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
• Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

Sesuai tabel diatas, maka nilai struktur didapatkan nilai  $C_t = 0.0488$  dan  $x = 0.75$  serta ketinggian struktur adalah 40 m, sehingga didapatkan :

$$T \text{ min } (T_a) = C_t \times h_n^x = 0.0488 \times 40^{0.75} = 0.776184231 \text{ detik}$$

Nilai  $T$  di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya

koefisien tersebut tergantung dari nilai  $S_{D1}$  yang terdapat pada tabel 17 SNI 1726-2019 berikut :

**Tabel 4.25 – Koefisien batas atas periode**

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik. $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0.4$	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
$\leq 0.1$	1.7

Karena nilai  $S_{D1} = 0.6$ , maka didapatkan nilai koefisien  $C_u = 1.4$

$T_a \text{ maks} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0.776184231 = 1.086657924$  detik

Dari analisis permodelan struktur didapatkan periode struktur sebesar :

**Tabel 4.26 – Modal periods and frequencies**

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.687257	1.4551	9.1424	83.584
MODAL	Mode	2	0.482271	2.0735	13.028	169.74
MODAL	Mode	3	0.339366	2.9467	18.514	342.79
MODAL	Mode	4	0.202783	4.9314	30.985	960.05
MODAL	Mode	5	0.177253	5.6417	35.448	1256.5
MODAL	Mode	6	0.123096	8.1238	51.043	2605.4

Syarat periode berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 adalah sebagai berikut :

- Jika  $T_{SAP} < T_{min}$ , maka digunakan  $T = T_{min}$
- Jika  $T_{min} < T_{SAP} < T_{maks}$ , maka digunakan  $T = T_{SAP}$
- Jika  $T_{SAP} > T_{maks}$ , maka digunakan  $T = T_{maks}$

Dari tabel tersebut, didapatkan :

$$T_{min} (T_a) > T_{cy SAP} < T_{maks} (T_a \cdot C_u)$$

$$0.776184231 > 0.687257 < 1.086657924$$

$$T_{min} (T_a) > T_{cx SAP} < T_{maks} (T_a \cdot C_u)$$

$$0.776184231 > 0.482271 < 1.086657924$$

Berdasarkan data diatas maka periode fundamental struktur yang memenuhi, dan digunakan adalah  $T_y$  dan  $T_x = 0.776184231$  detik.



#### 4.4.3 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya geser dinamis struktur digunakan untuk mengontrol apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respon spektrum sudah sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1. Rumus gaya geser dasar seismik adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W_t$  = berat struktur

Diketahui nilai  $S_s = 1.0$  g, nilai  $S_1 = 0.5$ , nilai  $S_{DS} = 0.7333$ , nilai  $S_{D1} = 0.6$ , nilai  $R = 7$ , nilai  $I_e = 1.5$ . Perhitungan  $C_s$  adalah sebagai berikut:

- $C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0.7333}{7/1.5} = 0.157142143$
- $C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)} = \frac{0.6}{0.7762(7/1.5)} = 0.1656455$
- $C_s \text{ minimum} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0,01 = 0.044 \times 0.7333 \times 1.5 \geq 0,01 = 0.04839978 \geq 0,01$

$C_s \text{ minimum} < C_s \text{ hitungan} < C_s \text{ maksimum}$ ,  
maka digunakan  $C_s \text{ pakai} = 0.157142143$

**Tabel 4.27 – Masses and weights**

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY	TotalMassZ
Text	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	14984.84	146951.064	14984.84	14984.84	14984.84

Dari permodelan struktur menggunakan SAP didapatkan, nilai berat total struktur adalah : 146951.064 kN

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0.157142143 \times 146951.064 \text{ kN} \\ &= 23092.3101 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan Analisa struktur didapatkan nilai gaya geser dasar hasil analisis ragam atau  $V_{dinamik} (V_t)$  sebagai berikut :

Tabel 4.28 – Base Reactions

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	15689.854	4700.429
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	4707.052	15669.163

Kontrol :

- Gempa arah X  
Gempa Dinamis > V  
15689.854 kN > 23092.3101 kN (Not Ok)
- Gempa arah Y  
Gempa Dinamis > V  
15669.163 kN > 23092.3101 kN (Not Ok)

Dikarenakan kontrol gempa dinamis terhadap gaya geser belum memenuhi atau *not ok*, maka perlu merubah faktor skala pada permodelan yang dilakukan. Untuk perhitungan faktor skala yang baru adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala lama} &= 2.1021 \text{ m/s}^2 \\ V &= 23092.3101 \text{ kN} \\ V_i \text{ arah X} &= 15689.854 \text{ kN} \\ V_i \text{ arah Y} &= 15669.163 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor skala baru

$$\begin{aligned} - \text{Arah X} &= \frac{\text{faktor skala lama} \cdot V}{V_i \text{ arah X}} \\ &= \frac{2.1021 \cdot 23092.3101}{15689.854} \\ &= 3.093931571405 \text{ m/s}^2 \\ - \text{Arah Y} &= \frac{\text{faktor skala lama} \cdot V}{V_i \text{ arah X}} \\ &= \frac{2.1021 \cdot 23092.3101}{15669.163} \\ &= 3.098017082441 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

#### 4.4.4 Kontrol Gaya Geser Dasar Baru

Dikarenakan pada hasil kontrol analisa struktur terdapat salah satu kontrol yaitu kontrol gempa dinamis terhadap gaya geser yang belum memenuhi atau *not ok*, maka perlu dilakukan permodelan baru dengan hanya merubah faktor skala nya saja pada opsi load case gempa X dan gempa Y.

Untuk nilai  $C_s$  yang dipakai,  $W_t$ , dan  $V$  masih tetap sama seperti pada kontrol sebelumnya yaitu :

$$C_s = 0.157142143$$

$$W_t = 146951.064 \text{ kN (dari permodelan SAP)}$$

$$V = 23092.3101 \text{ kN}$$

**Tabel 4.29 – Base Reactions**

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	23092.545	6918.71
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	6936.944	23092.183

Kontrol :

- Gempa arah X  
Gempa Dinamis > V  
23092.545 kN > 23092.3101 kN (OK)
- Gempa arah Y  
Gempa Dinamis > V  
23092.183 kN > 23092.3101 kN (OK)

#### 4.4.5 Kontrol Sistem Ganda (Dual System)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.5.1 bahwa Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Dengan ketentuan pada pasal tersebut, melalui program bantu SAP 2000 v.14 gaya geser dasar yang diterima *shearwall* dan sistem rangka pemikul momen dapat diketahui pada perletakan dinding pada lantai paling dasar. Berikut perhitungan presentase penerimaan beban gempa.

- a. Gaya geser yang diterima keseluruhan

**Tabel 4.30 – Gaya geser yang diterima oleh bangunan**

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	23117.06	9268.365
QUAKE Y	7029.829	23289.62

- b. Gaya geser yang diterima *shearwall* dan SRPM

**Tabel 4.31 – Gaya geser yang diterima *shearwall***

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	10605.8	6102.175
QUAKE Y	3198.438	14946.55

**Tabel 4.32 – Gaya geser yang diterima SRPM**

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	12511.26	3164.87
QUAKE Y	3831.391	8340.157

Presentase gaya geser yang diterima *shearwall*:

$$\text{Gempa X} = \frac{10605.8}{23117.06} \times 100\% = 45.879\%$$

$$\text{Gempa Y} = \frac{14946.55}{23289.62} \times 100\% = 64.177\%$$

Presentase gaya geser yang diterima sistem rangka pemikul momen:

$$\text{Gempa X} = \frac{12511.26}{23117.06} \times 100\% = 54.121\%$$

$$\text{Gempa Y} = \frac{8340.157}{23289.62} \times 100\% = 35.823\%$$

Untuk kontrol sistem ganda ada dalam tabel berikut:

**Tabel 4.33 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima *shearwall***

No	Arah Gempa	<i>Shearwall</i>	Syarat	Kontrol
1	Gempa X	45.879	$\leq 75$	OK
2	Gempa Y	64.177	$\leq 75$	OK

**Tabel 4.34 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima SRPM**

No	Arah Gempa	SRPM	Syarat	Kontrol
1	Gempa X	54.121	$\geq 25$	OK
2	Gempa Y	35.823	$\geq 25$	OK

#### 4.4.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6 Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada

pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

$$\Delta_i \leq \Delta_A$$

Dimana :

$\Delta_i$  : Simpangan yang terjadi

$$\Delta_i : \frac{C_d \times \delta_{ei}}{I_e}$$

$\Delta_A$  : Batas simpangan

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta_i$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat ijin ( $\Delta_A$ ) yang ditunjukkan pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2019 tabel 20 sebagai berikut :

**Tabel 4.35 – Simpangan antar lantai ijin struktur**

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 $h_{sx}$ <sup>c</sup>	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

$H_{sx}$  adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

a. Simpangan antar lantai arah X

kontrol simpangan antar lantai arah X disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 4.36 – Simpangan antar lantai arah x**

Lantai	h lantai (mm)	$\delta_e$ (mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\delta_a$ (mm)	Kontrol
Atap	4000	39.17996	2.778624	10.1883	40	OK
9	4000	36.40134	3.641001	13.3503	40	OK
8	4000	32.76034	4.242357	15.5553	40	OK
7	4000	28.51798	4.558322	16.7138	40	OK
6	4000	23.95966	4.696678	17.2212	40	OK
5	4000	19.26298	4.687771	17.1885	40	OK
4	4000	14.57521	4.541191	16.651	40	OK

3	4000	10.03402	4.263034	15.6311	40	OK
2	4000	5.770985	3.681918	13.5004	40	OK
1	4000	2.089067	2.089067	7.65991	40	OK
BM	4000	0	0	0	40	OK

- b. Simpangan antar lantai arah Y  
kontrol simpangan antar lantai arah Y disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 4.37 – Simpangan antar lantai arah y**

Lantai	h lantai (mm)	$\delta_e$ (mm)	$\delta_{ye}$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_a$ (mm)	Kontrol
Atap	4000	19.51295	1.378948	5.05614	40	OK
9	4000	18.134	1.72763	6.33464	40	OK
8	4000	16.40637	2.004966	7.35154	40	OK
7	4000	14.40141	2.180909	7.99667	40	OK
6	4000	12.2205	2.276466	8.34704	40	OK
5	4000	9.94403	2.297199	8.42306	40	OK
4	4000	7.646831	2.237552	8.20436	40	OK
3	4000	5.409279	2.142875	7.85721	40	OK
2	4000	3.266404	1.935788	7.09789	40	OK
1	4000	1.330616	1.330616	4.87893	40	OK
BM	4000	0	0	0	40	OK

Contoh perhitungan simpangan antar lantai (*story drift*) kinerja batas ultimit pada lantai 9 arah Y :

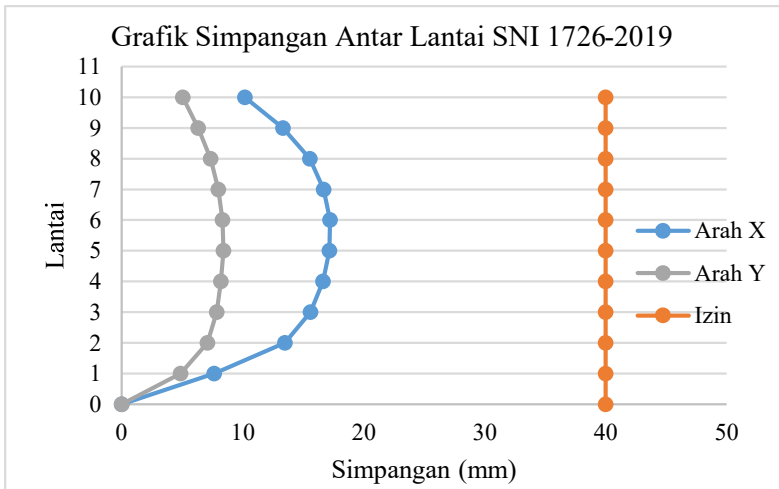
1. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari SAP 2000 v14 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 9, yaitu 18.134 mm. Jadi nilai  $\delta_e 9 = 18.134$  mm.
2. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari SAP 2000 v.14 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 8, yaitu 16.40637 mm. Jadi nilai  $\delta_{e8} = 16.40637$  mm
3. Hitung simpangan atau perpindahan antar lantai untuk lantai 9 yaitu dengan persamaan  $(\delta_{e9} - \delta_{e8}) = (18.134 - 16.40637) = 1.72763$  mm.
4. Hitung nilai perpindahan antar lantai (*story drift*) yang diperbesar, yaitu:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{C_D \times (\delta_{e9} - \delta_{e8})}{1.5} \\
 &= \frac{5.5 \times 1.72763}{1.5} \\
 &= 6.33464 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Hitung nilai batas untuk simpangan antar lantai (*story drift*)  $\Delta_A$  yang terdapat pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2019, yaitu:
 
$$\Delta_A < 0,010 h_{sx}$$

$$\Delta_A < 0,010 (4000)$$

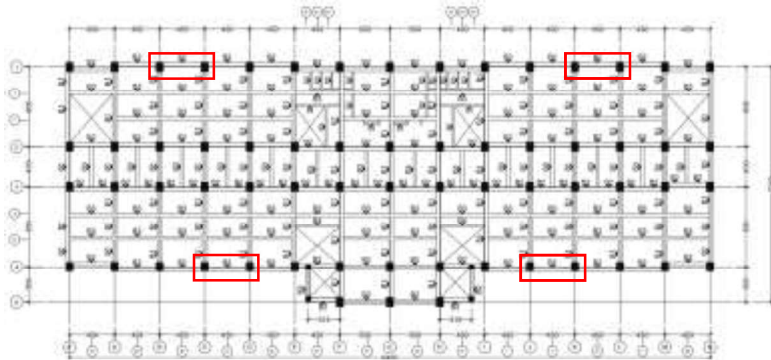
$$\Delta_A < 40 \text{ mm}$$
6. Cek nilai simpangan antar lantai pada lantai 9 yaitu:
 
$$6.33464 \text{ mm} < 40 \text{ mm (OK)}.$$



**Gambar 4.10 – Grafik simpangan arah X dan Y struktur eksisting (SNI 1726-2019)**

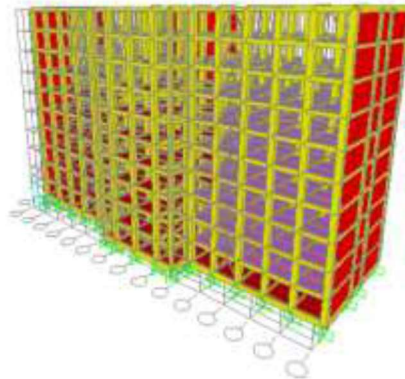
#### 4.5 Permodelan Struktur dengan Perkuatan Bracing

Permodelan struktur dengan perkuatan bresing pada Gedung Kuliah Bersama di Malang dilakukan dengan menambahkan bresing pada sumbu lemah arah Y yaitu pada as 1 titik B-C dan titik K-L, dan pada as 4 titik C-D dan titik J-K. Berikut merupakan denah bangunan gedung kuliah bersama di Malang :



**Gambar 4.11 – Denah Eksisting Gedung dengan Perkuatan B्रेसing**

Dari data struktur yang ada, struktur kemudian dimodelkan dengan program bantu SAP2000. Permodelan dengan program bantu SAP2000 seperti disajikan pada gambar berikut :



**Gambar 4.12 – Permodelan Struktur Eksisting dengan Penambahan B्रेसing**

#### **4.6 Kontrol Dinamis Struktur Eksisting dengan Perkuatan B्रेसing**

##### **4.6.1 Kontrol Rasio Partisipasi Massa**

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1, bahwa analisis dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi



massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (single rigid body) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik. Pengecualian, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Dari hasil analisa struktur, diketahui partisipasi massa mencapai 90% pada modal ke-117.

**Tabel 4.38 – Modal participating mass ratios**

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	116	0.054469	0.00011	2.201E-16	2.673E-13	0.90136	0.89601
MODAL	Mode	117	0.054449	1.829E-18	0.00013	0.00217	0.90136	0.89615
MODAL	Mode	118	0.05441	0.00001083	1.002E-14	1.442E-15	0.90137	0.89615
MODAL	Mode	119	0.054373	0.00001468	1.363E-14	7.089E-11	0.90139	0.89615
MODAL	Mode	120	0.054371	2.226E-13	0.00000124	0.00396	0.90139	0.89615
MODAL	Mode	121	0.054335	1.368E-14	0.000002108	0.00131	0.90139	0.89615

#### 4.6.2 Kontrol Waktu Geser Alami Fundamental

Periode getar,  $T$ , merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1, bahwa pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental, diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan  $T_a$ . Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dimana  $h_n$  adalah ketinggian struktur,  $C_t$  dan  $x$  adalah koefisien yang didapat dari tabel 18 SNI 1726-2019. Untuk gedung dengan sistem ganda digunakan sistem struktur lainnya. Dikarenakan gedung menggunakan *dual system*, maka untuk tipe strukturnya termasuk dalam tipe semua system struktur lainnya.

**Tabel 4.39– Parameter nilai  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rangka baja pemikul momen</li> </ul>	0.0724	0.8

• Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

Sesuai tabel diatas, maka nilai struktur didapatkan nilai  $C_t = 0.0488$  dan  $x = 0.75$  serta ketinggian struktur adalah 40 m, sehingga didapatkan :

$$T \text{ min } (T_a) = C_t \times h_n^x = 0.0488 \times 40^{0.75} = 0.776184231 \text{ detik}$$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai  $S_{D1}$  yang terdapat pada tabel 17 SNI 1726-2019 berikut :

**Tabel 4.40 – Koefisien batas atas periode**

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0.4$	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
$\leq 0.1$	1.7

Karena nilai  $S_{D1} = 0.6$ , maka didapatkan nilai koefisien  $C_u = 1.4$   
 $T_a \text{ maks} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0.776184231 = 1.086657924 \text{ detik}$

Dari analisis permodelan struktur didapatkan periode struktur sebesar :

**Tabel 4.41 – Modal periods and frequencies**

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.669415	1.4938	9.3861	88.098
MODAL	Mode	2	0.482422	2.0729	13.024	169.63
MODAL	Mode	3	0.338833	2.9513	18.544	343.87
MODAL	Mode	4	0.198751	5.0314	31.613	999.4
MODAL	Mode	5	0.177112	5.6461	35.476	1258.5
MODAL	Mode	6	0.12302	8.1288	51.075	2608.6
MODAL	Mode	7	0.113332	8.8236	55.44	3073.6

Syarat periode berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 adalah sebagai berikut :

- Jika  $T \text{ SAP} < T \text{ min}$ , maka digunakan  $T = T \text{ min}$

b. Jika  $T_{\min} < T_{SAP} < T_{\max}$ , maka digunakan  $T = T_{SAP}$

c. Jika  $T_{SAP} > T_{\max}$ , maka digunakan  $T = T_{\max}$

Dari tabel tersebut, didapatkan :

$$\begin{array}{rclcl} T_{\min} (T_a) & > & T_{cy} \text{ SAP} & < & T_{\max} (T_a \cdot C_u) \\ 0.776184231 & > & 0.669415 & < & 1.086657924 \end{array}$$

$$\begin{array}{rclcl} T_{\min} (T_a) & > & T_{cx} \text{ SAP} & < & T_{\max} (T_a \cdot C_u) \\ 0.776184231 & > & 0.482422 & < & 1.086657924 \end{array}$$

Berdasarkan data diatas maka periode fundamental struktur yang memenuhi, dan digunakan adalah  $T_y$  dan  $T_x = 0.776184231$  detik.

**Tabel 4.42 – Rekapitulasi periode struktur**

Mode	Eksisting	Eksisting	Perkuatan Bracing
	SNI 1726-2012	SNI 1726-2019	SNI 1726-2019
1	0.687257	0.687257	0.66942
2	0.482271	0.482271	0.48242
3	0.339366	0.339366	0.33883

Berdasarkan perbandingan pada tabel rekapitulasi periode struktur, perkuatan dengan bracing mampu mereduksi periode struktur sebesar 2.6%, 0% dan 0.2% masing-masing pada mode 1, mode 2 dan mode 3.

#### 4.6.3 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya geser dinamis struktur digunakan untuk mengontrol apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respon spektrum sudah sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1. Rumus gaya geser dasar seismik adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W_t$  = berat struktur

Diketahui nilai  $S_s = 1.0$  g, nilai  $S_1 = 0.5$ , nilai  $S_{DS} = 0.7333$ , nilai  $S_{D1} = 0.6$ , nilai  $R = 7$ , nilai  $I_e = 1.5$ . Perhitungan  $C_s$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - C_s &= \frac{S_{DS}}{R/I_e} \\ &= \frac{0.7333}{7/1.5} \\ &= 0.157142143 \\ - C_s \text{ maksimum} &= \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)} \end{aligned}$$

$$= \frac{0.6}{0.7762^{(7/1.5)}}$$

$$= 0.1656455$$

- Cs minimum =  $0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$
- =  $0,044 \times 0.7333 \times 1.5 \geq 0,01$
- =  $0.04839978 \geq 0,01$

Cs minimum < Cs hitungan < Cs maksimum,  
maka digunakan Cs pakai = 0.157142143

**Tabel 4.43 – Masses and weights**

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY	TotalMassZ
Text	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	14996.11	147061.563	14996.11	14996.11	14996.11

Dari permodelan struktur menggunakan SAP didapatkan, nilai berat total struktur adalah : 147061.563 kN

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0.157142143 \times 147061.563 \text{ kN}$$

$$= 23109.6742 \text{ kN}$$

Berdasarkan Analisa struktur didapatkan nilai gaya geser dasar hasil analisis ragam atau Vdinamik ( $V_t$ ) sebagai berikut :

**Tabel 4.44 – Base Reactions**

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	15739.533	4704.29
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	4721.956	15682.033

Kontrol :

- Gempa arah X  
Gempa Dinamis > V  
 $15739.533 \text{ kN} > 23109.6742 \text{ kN}$  (Not Ok)
- Gempa arah Y  
Gempa Dinamis > V  
 $15682.033 \text{ kN} > 23109.6742 \text{ kN}$  (Not Ok)

Dikarenakan kontrol gempa dinamis terhadap gaya geser belum memenuhi atau *not ok*, maka perlu merubah faktor skala pada permodelan yang dilakukan. Untuk perhitungan faktor skala yang baru adalah sebagai berikut :

$$\text{Faktor skala lama} = 2.1021 \text{ m/s}^2$$

$$V = 23109.6742 \text{ kN}$$

$$V_i \text{ arah X} = 15739.533 \text{ kN}$$

$$V_i \text{ arah Y} = 15682.033 \text{ kN}$$

Faktor skala baru

$$\begin{aligned} - \text{ Arah X} &= \frac{\text{faktor skala lama} \cdot V}{V_i \text{ arah X}} \\ &= \frac{2.1021 \cdot 23109.6742}{15739.533} \\ &= 3.0962580353 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Arah Y} &= \frac{\text{faktor skala lama} \cdot V}{V_i \text{ arah X}} \\ &= \frac{2.1021 \cdot 23109.6742}{15682.033} \\ &= 3.100346618412 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

#### 4.6.4 Kontrol Gaya Geser Dasar Baru

Dikarenakan pada hasil kontrol analisa struktur terdapat salah satu kontrol yaitu kontrol gempa dinamis terhadap gaya geser yang belum memenuhi atau *not ok*, maka perlu dilakukan permodelan baru dengan hanya merubah faktor skala nya saja pada opsi load case gempa X dan gempa Y.

Untuk nilai  $C_s$  yang dipakai,  $W_t$ , dan  $V$  masih tetap sama seperti pada kontrol sebelumnya yaitu :

$$C_s = 0.157142143$$

$$W_t = 147061.563 \text{ kN (dari permodelan SAP)}$$

$$V = 23109.6742 \text{ kN}$$

**Tabel 4.45 – Base Reactions**

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	23183.633	6929.615
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	6963.401	23126.069

Kontrol :

- Gempa arah X  
Gempa Dinamis > V  
23183.633 kN > 23109.6742 kN (OK)
- Gempa arah Y  
Gempa Dinamis > V  
23126.069 kN > 23109.6742 kN (OK)

#### 4.6.5 Kontrol Sistem Ganda (Dual System)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.5.1 bahwa Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Dengan ketentuan pada pasal tersebut, melalui program bantu SAP 2000 v.14 gaya geser dasar yang diterima *shearwall* dan sistem rangka pemikul momen dapat diketahui pada perletakan dinding pada lantai paling dasar. Berikut perhitungan presentase penerimaan beban gempa.

- a. Gaya geser yang diterima keseluruhan

**Tabel 4.46 – Gaya geser yang diterima oleh bangunan**

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	23207.05	9167.293
QUAKE Y	7062.908	23316.82

- b. Gaya geser yang diterima *shearwall* dan SRPM

**Tabel 4.47 – Gaya geser yang diterima *shearwall***

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	10319.17	6034.068
QUAKE Y	3112.266	14966.48

**Tabel 4.48 – Gaya geser yang diterima SRPM**

TABLE: Joint Reactions		
OutputCase	F1	F2
Text	KN	KN
QUAKE X	12887.89	3133.225
QUAKE Y	3950.642	8350.332

Presentase gaya geser yang diterima *shearwall*:

$$\text{Gempa X} = \frac{10319.17}{23207.05} \times 100\% = 44.466\%$$

$$\text{Gempa Y} = \frac{14966.48}{23316.82} \times 100\% = 64.188\%$$

Presentase gaya geser yang diterima sistem rangka pemikul momen:

$$\text{Gempa X} = \frac{12887.89}{23207.05} \times 100\% = 55.534\%$$

$$\text{Gempa Y} = \frac{8350.332}{23316.82} \times 100\% = 35.812\%$$

Untuk kontrol sistem ganda ada dalam tabel berikut:

**Tabel 4.49 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima *shearwall***

No	Arah Gempa	<i>Shearwall</i>	Syarat	Kontrol
1	Gempa X	44.466	$\leq 75$	OK
2	Gempa Y	64.188	$\leq 75$	OK

**Tabel 4.50 – Kontrol gaya seismik desain yang diterima SRPM**

No	Arah Gempa	SRPM	Syarat	Kontrol
1	Gempa X	55.534	$\geq 25$	OK
2	Gempa Y	35.812	$\geq 25$	OK

**Tabel 4.51 – Perbandingan dual system struktur eksisting dan struktur dengan perkuatan bresing**

Case	Eksisting		Eksisting		Perkuatan Bresing	
	(SNI 1726-2012)		(SNI 1726-2019)		(SNI 1726-2019)	
	SW	SRPM	SW	SRPM	SW	SRPM
Gempa X	45.912	54.088	45.879	54.121	44.466	55.534
Gempa Y	64.172	35.828	64.177	35.823	64.188	35.812

Berdasarkan tabel perbandingan diatas didapatkan bahwa struktur dengan perkuatan bresing mampu mereduksi kekuatan pada srpm sebesar 1%

#### 4.6.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6 Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

$$\Delta_i \leq \Delta_A$$

Dimana :

$\Delta_i$  : Simpangan yang terjadi

$$\Delta_i : \frac{C_d \times \delta_{ei}}{I_e}$$

$\Delta_A$  : Batas simpangan

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta_i$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat ijin ( $\Delta_A$ ) yang ditunjukkan pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2019 tabel 20 sebagai berikut :

**Tabel 4.52 – Simpangan antar lantai ijin struktur**

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 $h_{sx}$ <sup>c</sup>	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

$H_{sx}$  adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

a. Simpangan antar lantai arah X

kontrol simpangan antar lantai arah X disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 4.53 – Simpangan antar lantai arah x**

Lantai	h lantai (mm)	$\delta_e$ (mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\delta_a$ (mm)	Kontrol
Atap	4000	37.15652	2.584865	9.47784	40	OK
9	4000	34.57166	3.40891	12.4993	40	OK
8	4000	31.16275	3.989817	14.6293	40	OK
7	4000	27.17293	4.303499	15.7795	40	OK
6	4000	22.86943	4.448294	16.3104	40	OK
5	4000	18.42114	4.452009	16.324	40	OK
4	4000	13.96913	4.32379	15.8539	40	OK
3	4000	9.645337	4.072526	14.9326	40	OK
2	4000	5.572811	3.553272	13.0287	40	OK
1	4000	2.019539	2.019539	7.40498	40	OK
BM	4000	0	0	0	40	OK

b. Simpangan antar lantai arah Y

kontrol simpangan antar lantai arah Y disajikan dalam tabel berikut :



**Tabel 4.54 – Simpangan antar lantai arah y**

Lantai	h lantai (mm)	$\delta_e$ (mm)	$\delta_{ye}$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_a$ (mm)	Kontrol
Atap	4000	19.54073	1.383053	5.07119	40	OK
9	4000	18.15768	1.731721	6.34964	40	OK
8	4000	16.42596	2.00857	7.36476	40	OK
7	4000	14.41739	2.184113	8.00841	40	OK
6	4000	12.23327	2.279464	8.35803	40	OK
5	4000	9.953808	2.300004	8.43335	40	OK
4	4000	7.653804	2.239966	8.21321	40	OK
3	4000	5.413838	2.144677	7.86382	40	OK
2	4000	3.269161	1.937333	7.10355	40	OK
1	4000	1.331828	1.331828	4.88337	40	OK
BM	4000	0	0	0	40	OK

Contoh perhitungan simpangan antar lantai (*story drift*) kinerja batas ultimit pada lantai 9 arah Y :

1. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari SAP 2000 v14 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 9, yaitu 18.15768 mm. Jadi nilai  $\delta_e 9 = 18.15768$  mm.
2. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari SAP 2000 v.14 yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 8, yaitu 16.42596 mm. Jadi nilai  $\delta_e 8 = 16.42596$  mm
3. Hitung simpangan atau perpindahan antar lantai untuk lantai 9 yaitu dengan persamaan ( $\delta_e 9 - \delta_e 8$ ) = (18.15768 – 16.42596) = 1.731721 mm.
4. Hitung nilai perpindahan antar lantai (*story drift*) yang diperbesar, yaitu:
 
$$= \frac{C_D \times (\delta_e 9 - \delta_e 8)}{1.5}$$

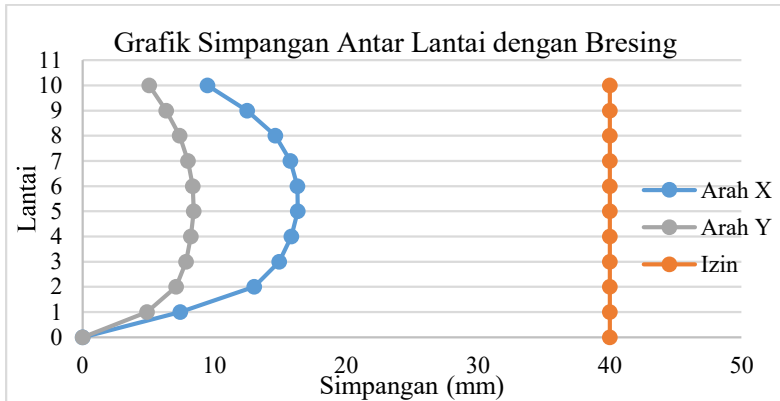
$$= \frac{5.5 \times 1.731721}{1.5}$$

$$= 6.34964 \text{ mm}$$
5. Hitung nilai batas untuk simpangan antar lantai (*story drift*)  $\Delta_A$  yang terdapat pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2019, yaitu:
 
$$\Delta_A < 0,010 h_{sx}$$

$$\Delta_A < 0,010 (4000)$$

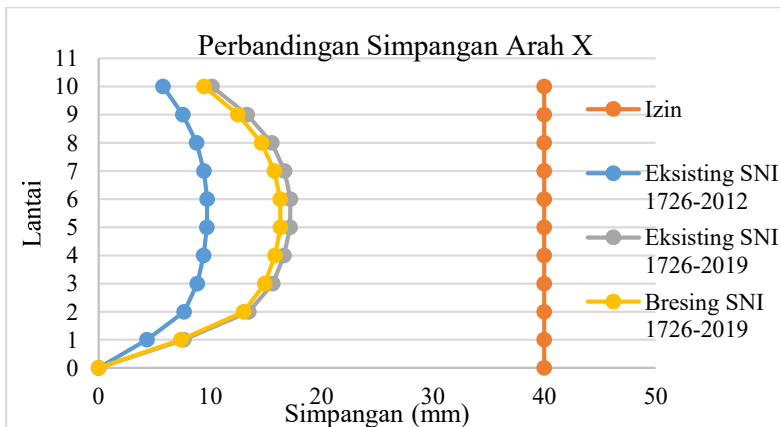
$$\Delta_A < 40 \text{ mm}$$

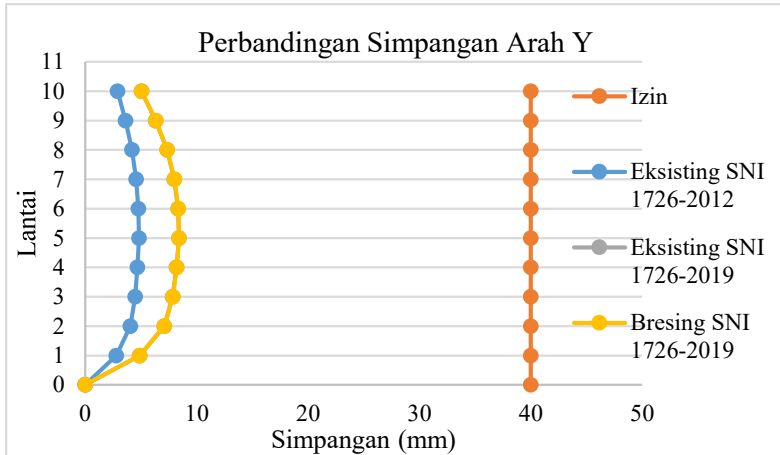
6. Cek nilai simpangan antar lantai pada lantai 9 yaitu:  
 $6.34964 \text{ mm} < 40 \text{ mm (OK)}$ .



**Gambar 4.13 – Grafik simpangan arah X dan Y struktur eksisting (SNI 1726-2019) dengan Bresing**

Berdasarkan dari hasil perhitungan simpangan yang didapatkan dengan menggunakan permodelan eksisting sesuai SNI 1726:2019, permodelan eksisting sesuai SNI 1726:2012 dan permodelan dengan menambahkan bresing sesuai SNI 1726:2019 didapatkan perbandingan simpangan sebagaimana grafik berikut :





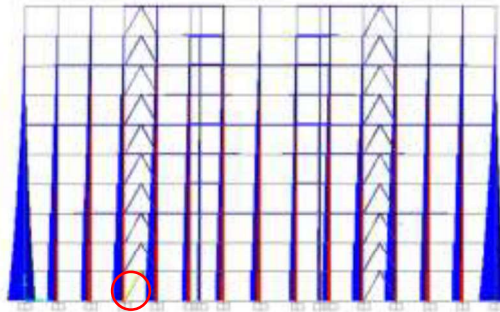
Berdasarkan grafik diatas, simpangan pada struktur gedung eksisting dengan SNI 1726:2012, eksisting dengan SNI 1726:2019 dan struktur eksisting dengan perkuatan bresing dengan SNI 1726:2019 masih memenuhi simpangan ijin. struktur eksisting dengan penambahan steel bracing mampu mengurangi simpangan pada struktur sebesar 1-3 mm. Sehingga penambahan bresing mampu memperbaiki peningkatan simpangan yang terjadi akibat beban gempa SNI 1726:2019.

Berdasarkan hasil analisa kontrol dinamis struktur terhadap gempa, penambahan bresing dapat menambah kekakuan struktur serta struktur dapat dinyatakan memenuhi persyaratan sebagaimana dijelaskan pada SNI 1726-2019.

## 4.7 Perhitungan Perencanaan Perkuatan dengan Bresing

### 4.7.1 Preliminary Batang Bresing

Pada perhitungan bresing arah Y, dipilih bresing yang menerima beban aksial terbesar pada lantai basement, yaitu pada frame 4-C berikut :



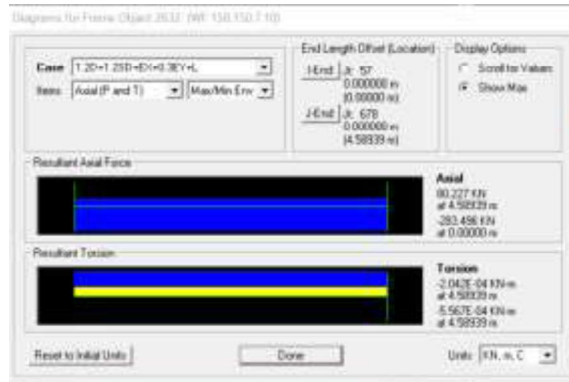
**Gambar 4.14 – Bresing pada sumbu Y**

Bresing pada arah Y direncanakan dengan menggunakan profil WF 150.150.7.10 dengan data-data sebagai berikut:

**1. Data Eksisting**

Modulus Elastisitas Baja	=	200000	MPa
Mutu Baja	=	BJ 41	
Fy	=	250	MPa
Fu	=	410	MPa
Panjang Penampang	$L^2$	=	$1/2L^2 + H1^2$
		=	5.1 + 16
	L	=	4.589 m
Section Indeks	=	WF.150.150.7.10	
Weights	=	31.5	kg/m
Depth of Section, A	=	150	mm
Flange Width, B	=	150	mm
Thickness			
Web, T1	=	7	mm
Flange, T2	=	10	mm
Corner Radius, r	=	11	mm
$h = B - 2(tf+r)$	=	108	mm
Moment of Inertia			
Jx	=	1640	cm <sup>4</sup>
Jy	=	583	cm <sup>4</sup>
Radius of Gyration			
Ix	=	6.39	cm
Iy	=	3.75	cm
Modulus Section			
Zx	=	219	cm <sup>3</sup>

$Z_y = 75.1 \text{ cm}^3$   
 Hasil output SAP2000, dengan kombinasi 1.2D+1.2SD+EX+0.3EY+L untuk bresing arah Y diperoleh gaya dalam sebesar:



$$P_u = 283.496 \text{ kN}$$

## 2. Perhitungan

### a. Kontrol Penampang

Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{0.5 \text{ bf}}{t_f} = \frac{150}{20} = 7.5$$

$$\lambda_r = 0.56 \cdot (E/f_y)^{0.5} = 15.8392$$

Kontrol

$$\lambda < \lambda_r$$

$$7.5 < 16 \quad (\text{Penampang Non Langsing})$$

Pelat Badan

$$\lambda = \frac{0.5 \text{ bf}}{t_f} = \frac{88}{7} = 13$$

$$\lambda_r = 1.49 \cdot (E/f_y)^{0.5} = 42.1436$$

Kontrol

$$\lambda < \lambda_r$$

$$13 < 42 \quad (\text{Penampang Non Langsing})$$

### b. Kontrol Kuat Tekan Rencana

$$K = 1$$

$$L = 4.58939 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah X} &= \lambda_x = \frac{KL}{i_x} = \frac{458.939}{6.39} = 71.8214 \\ \text{Arah Y} &= \lambda_y = \frac{KL}{i_y} = \frac{458.939}{3.75} = 122.384 \text{ (Menentukan)} \end{aligned}$$

Tegangan Kritis

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/i)^2} = \frac{1973921}{14977.8} = 131.79 \text{ MPa}$$

$$\frac{KL}{i_y} \leq 4.71 (E/f_y)^{0.5}$$

$$122 \leq \frac{133.21}{9}$$

Maka nilai tegangan kritis,  $F_{cr}$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= (0.658^{f_y/F_e}) f_y \\ &= 113.01 \\ &= 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kuat Tekan Nominal

$$\begin{aligned} P_{max} &= 1.1 \cdot R_y \cdot F_{cr} \cdot A_g \\ &= 747739.8591 \text{ N} \\ \phi_c P_n &= 0.9 \cdot 747739.8591 \\ &= 672965.8732 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi_c P_n &> P_u \\ 672965.8732 &> 283496 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

**c. Kontrol Kuat Tarik Rencana**

$$\begin{aligned} P_{max} &= R_y \cdot F_y \cdot A_g \\ &= 1505250 \text{ N} \\ \phi_c P_n &= 0.9 \cdot 1505250 \\ &= 1354725 \text{ N} \end{aligned}$$

Leleh Tarik Penampang Bruto

$$\begin{aligned} \phi_t P_n &= \phi_t \cdot f_y \cdot A_g \\ &= 903150 \text{ N} \quad \text{(Menentukan)} \end{aligned}$$

Keruntuhan Tarik Pada Penampang Netto

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - 2 (dh + 2)tw \\ &= 3706 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dari kedua kondisi leleh tarik dan runtuh tarik, didapatkan nilai yang menentukan = 903150 N

Menentukan faktor shear-lag, U

$$\begin{aligned} A &= (1/2 \cdot bf \cdot tf \cdot 2) + 1/2 tw (d-2tf) \\ &= \frac{1500}{2} + \frac{455}{2} \\ &= 1955 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A1 &= \text{Luasan sayap} \\ &= 1500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 &= \text{Luas web} \\ &= 455 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x1 &= 1/2 bf \\ &= 75 \\ &= 0.5 \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= \frac{tw}{2} \\ &= 1.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum A_i \cdot X_i}{A} = \frac{112500 + 796.25}{1955} = 57.952 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l &= s \cdot (0.5 nb/2 - 1) \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Tabel D3.1 SNI 1729-2020)

(kasus 2)

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 0.53264$$

(kasus 7)

$$U = 0.7$$

$$\begin{aligned} Ae &= An \cdot U \\ &= 2594.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Pn &= \phi Fu \cdot Ae \\ &= 797716.5 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi Pn &> Pu \\ 797716.5 &> 283496 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

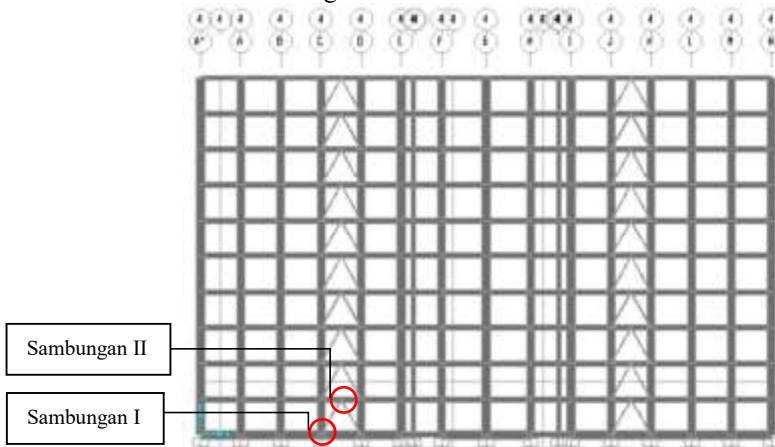
$$\text{Rasio Tegangan} = \frac{Pu}{\phi Pn} = 0.35538$$

Maka profil “IWF 150.150.7.10” dapat digunakan sebagai bresing arah memanjang.

#### 4.7.2 Perencanaan Sambungan I (Sambungan Sudut)

Perencanaan ini digunakan untuk menghubungkan bracing baja dengan kolom-balok beton. Kemudian diambil gaya dalam batang bracing yang ditinjau dari permdelan struktur. Pada sub-bab ini sambungan yang akan dihitung meliputi :

- Gusset – Bracing
- Base Plate – Gusset
- Base Plate – Angkur



Gambar 4.15 – Lokasi *joint* yang ditinjau

#### 1. Data Material

Kolom K1	700	x	900	
Mutu Beton	$f_c'$	=	30	MPa
Panjang, p		=	900	mm
Lebar, l		=	700	mm
Sloof S1	500	x	1000	
Mutu Beton	$f_c'$	=	30	MPa
Panjang, p		=	1000	mm
Lebar, l		=	500	mm
Bresing WF.150.150.7.10				
Mutu Baja		=	BJ 41	
Tegangan leleh, $f_y$		=	250	MPa
Tegangan putus, $f_u$		=	410	MPa



Pelat Landas/pelat sambung

Mutu pelat landas	=	BJ 50
Tegangan leleh, $f_y$	=	290 MPa
Tegangan putus, $f_u$	=	500 MPa

Profil penyambung (4L 40.60.7)

Luas Penampang, $A_{g(L)}$	=	6.6	cm <sup>2</sup>
Tebal, $t$	=	7	mm
Lebar, $b_1$	=	60	mm
lebar, $b_2$	=	40	mm

Baut

Mutu Baut	=	ASTM A325
Diameter rencana, $d_{b(\text{bolt})}$	=	(M16), 18 mm
Kuat tarik nominal, $f_{nt}$	=	620 MPa
Kuat geser nominal, $f_{nv}$	=	457 MPa

Batang angkur

Mutu batang angkur	=	BJ 50
Diameter rencana, $d_{b(\text{rod})}$	=	18 mm
Tegangan leleh, $f_y$	=	290 MPa
Tegangan putus, $f_u$	=	500 MPa

**2. Perhitungan**Kuat geser dan tarik tersedia (baut diameter = 18 mm, ASTM A325N)

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= \phi F_{nv} \cdot A_b \\ &= \phi F_{nv} (0.25 \cdot \pi \cdot d_b^2) \\ &= 174438.5029 \text{ N} \\ \phi R_{nt} &= \phi F_{nt} \cdot A_b \\ &= \phi F_{nt} (0.25 \cdot \pi \cdot d_b^2) \\ &= 87219.25144 \text{ N}\end{aligned}$$

Jumlah Kebutuhan baut ( $N_b$ )

$$N_b = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{283496}{87219.25144} = 3.3 \text{ buah baut}$$

3.3 buah baut  $\approx$  8 buah baut dipasang 2 baris

Berdasarkan SNI pasal J3.3 dan J3.4 tata letak baut :

Spasi minimum, $S_{min}$	=	3 . D	=	54	mm
Spasi maximum, $S_{max}$	=	24 . $t_{pelat}$	=	288	mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak tepi minimum, } X_{\min} &= 22 \text{ mm} \\ \text{Jarak tepi maximum, } X_{\max} &= 12 \cdot t_{\text{pelat}} = 144 \text{ mm} \\ \text{Jadi digunakan baut dengan konfigurasi} & \\ \text{Jumlah baut, nbaut} &= 8 \text{ buah baut} \\ \text{Spasi, } S &= 65 \text{ mm} \\ \text{Jarak tepi, } x &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

**a. Sambungan Gusset – Bracing**

Perencanaan sambungan bresing-gusset bertujuan untuk mendapatkan dimensi gusset.

**Keruntuhan tarik pada batang bresing**

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - 2 (d_h + 2) t_w \\ &= 3706 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan faktor shear-lag, U

$$\begin{aligned} A &= (1/2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot 2) + (1/2 t_w) (d - 2t_f) \\ &= 1500 + 455 \\ &= 1955 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{luasan sayap} \\ &= 1500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \text{luasan web} \\ &= 455 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= 1/2 b_f \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{0.5 \cdot t_w}{2} \\ &= 1.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum A_i \cdot X_i}{A} = \frac{112500 + 796.25}{1955} = 57.952 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l &= s \cdot (0.5 n_b/2 - 1) \\ &= 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Tabel D3.1 SNI 1729-2020)

(kasus 2)

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 0.10843$$

(kasus 7)

$$U = 0.7$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \cdot U \\ &= 2594.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi f_u \cdot A_g \\ &= 769304 \quad \text{N}\end{aligned}$$

**Leleh tarik pada bresing**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.9 \cdot f_y \cdot A_g \\ &= 903150 \quad \text{N}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan 2 kondisi, didapatkan kondisi = 769304 (runtuh tarik menentukan) kontrol  $\phi R_n > R_u$   
769304 > 118105 (OK)

**Kuat tumpu baut tersedia pada bresing**

Untuk baut bagian dalam

$$\begin{aligned}I_c &= \text{jarak bersih antar baut} \\ &= s - d_h \\ &= 45 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot F_u \\ &= 116235 \geq 92988\end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 92988 (menentukan)

$$\begin{aligned}\phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 92988 &< 174439\end{aligned}$$

Karena kuat geser baut tersedia lebih besar dari kuat tumpu, maka keadaan batas mengontrol kekuatan inner bolt.

Untuk baut bagian luar

$$\begin{aligned}I_c &= \text{jarak bersih baut dengan tepi pelat} \\ &= x - 1/2d_h \\ &= 30 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot F_u \\ &= 77490 \leq 92988\end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 77490 (menentukan)

$$\begin{aligned}\phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 77490 &< 174439\end{aligned}$$

Sehingga kuat efektif dari baut grup berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser adalah (ditentukan dengan kekuatan terkecil)

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 2 \times 77490 + 4 \times 92988 \\ &= 526932 \quad \text{N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{kontrol } \phi R_n &> R_u \\ 526932 &> 283496 \quad \text{(OK)}\end{aligned}$$

**Keruntuhan geser-blok pada bresing**

Diasumsikan bentuk garis kegagalan membentuk persegi panjang yang dibatasi 2 baris baut pada web penampang

$$\begin{aligned}
 nb &= 8 \text{ buah baut} \\
 &= 4 \text{ /baris} - 2 \text{ baris} \\
 \text{spasi} &= 65 \text{ mm} \\
 \text{jarak} & \\
 \text{tepi} &= 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Komponen leleh geser

$$\begin{aligned}
 Agv &= [s(nb-1)+x] \cdot tw \\
 &= 3290 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Komponen runtuh geser

$$\begin{aligned}
 Anv &= Agv - (0.5 nb - 0.5) dh \cdot tw \\
 &= 2870 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Komponen tegangan runtuh

$$\begin{aligned}
 Ant &= [x - (2 \cdot 0.5) dh] tw \\
 &= 140 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= 0.6 \cdot Fu \cdot Anv + Ubs \cdot Fu \cdot Ant \leq 0.6 \cdot Fy \cdot Agv + Ubs \cdot Fu \cdot Ant \\
 &= 763420 \text{ N} > 550900 \text{ N}
 \end{aligned}$$

maka digunakan kekuatan batas yang tersedia = 550900 N

$$\begin{aligned}
 \phi Rn &= 0.75 \cdot 550900 \\
 &= 413175 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol } \phi Rn &> Ru \\
 413175 &> 118105 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

### **Keruntuhan tarik pada sambungan LL**

$$\begin{aligned}
 Ant &= Ag - (tLL dh) \\
 &= 1010 - 7 \cdot 20 \\
 &= 870 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

(Tabel D3.1 SNI 1729-2020)

(kasus 2)

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{\bar{l}} = 0.9118 \text{ (menentukan)}$$

(kasus 8)

$$U = 0.8$$

$$Ae = Ant \cdot U$$

$$= 793$$

$$\begin{aligned}
 \phi Rnt &= \phi Fu \cdot Ae \\
 &= 1189892.475 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### **Leleh tarik pada sambungan LL**

$$\begin{aligned}
 \phi Rn &= 0.9 \cdot Fy \cdot Ag \\
 &= 1054440
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Rn &> Ru \\
 1054440 &> 283496 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

**Kuat tumpu baut pada sambungan LL**

Untuk baut bagian dalam

$$\begin{aligned} I_c &= \text{jarak bersih antar baut} \\ &= s - d_h \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot F_u \\ &= 141750 \geq 113400 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 113400 (menentukan)

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 113400 &< 174439 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena kuat geser baut tersedia lebih besar dari kuat tumpu, maka keadaan batas mengontrol kekuatan inner bolt.

Untuk baut bagian luar

$$\begin{aligned} I_c &= \text{jarak bersih baut dengan tepi pelat} \\ &= x - 1/2d_h \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot F_u \\ &= 94500 \leq 113400 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 94500 (menentukan)

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 94500 &< 174439 \end{aligned}$$

Sehingga kuat efektif dari baut grup berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser adalah (ditentukan dengan kekuatan terkecil).

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi r_{nv} \cdot N_{\text{baut}} \\ &= 2 \times 94500 + 4 \times 113400 \\ &= 642600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kontrol } \phi R_n &> R_u \\ 642600 &> 118105 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

**Keruntuhan blok geser pada sambungan LL**

Kekuatan tersedia untuk keadaan batas keruntuhan blok geser

$R_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$   
Asumsikan bentuk garis kegagalan membentuk persegi panjang yang dibatasi 2 baris baut pada web penampang.

$$\begin{aligned} n_b &= 8 \\ 0.5 n_b &= 4 \text{ /baris} \\ \text{spasi} &= 65 \text{ mm} \\ \text{jarak tepi} &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen leleh geser

$$\begin{aligned} A_{gv} &= 4L \cdot t_w \\ &= 7700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Komponen runtuh geser

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 4 [A_{gLL} - 2.5 (d_h \cdot d)] \\ &= 2640 \end{aligned}$$

Komponen tegangan runtuh

$$\begin{aligned} A_{nt} &= 4[(2b_{LL} - s) d - 0.5 d_h d] \\ &= 1740 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \\ &= 1662000 \leq 2209800 \end{aligned}$$

Maka digunakan kekuatan batas yang tersedia sebesar = 1662000

N

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 1662000 \\ &= 1246500 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_u \\ 1246500 &> 118105 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

### **Kuat tumpu baut pada gusset plate**

$$\text{Tebal Gusset plate, } t_p(\text{gusset}) = 7 \text{ mm}$$

Untuk baut bagian dalam

$$\begin{aligned} l_c &= \text{jarak bersih antar baut} \\ &= s - d_h \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot l_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 d_{\text{baut}} \cdot t_w \cdot F_u \\ &= 116235 \geq 92988 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 92988 (menentukan)

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 92988 &< 174439 \end{aligned}$$

Karena kuat geser baut tersedia lebih besar dari kuat tumpu, maka keadaan batas mengontrol kekuatan outer bolt. Maka kuat geser tersedia = 92988 N.

Untuk baut bagian luar

$$\begin{aligned} l_c &= \text{jarak bersih baut dengan tepi pelat} \\ &= x - 1/2 d_h \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot l_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 d_{\text{baut}} \cdot t_w \cdot F_u \\ &= 77490 \leq 92988 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 77490 (menentukan)

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 77490 &< 174439 \end{aligned}$$

Sehingga kuat efektif dari baut grup berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser adalah (ditentukan dengan kekuatan terkecil).

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi r_{nv} \cdot N_{baut} \\ &= 2 \times 77490 + 4 \times 92988 \\ &= 526932 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kontrol } \phi R_n &> R_u \\ 526932 &> 118105 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

### **Keruntuhan geser blok pada gusset plate**

Menghitung kuat tersedia untuk keadaan batas keruntuhan blok geser sepanjang alur kegagalan blok geser berdasarkan SNI 1729-2020 pasal J4.3

Asumsikan bentuk garis kegagalan membentuk persegi panjang yang dibatasi 2 baris baut pada gusset.

$$\begin{aligned} nb &= 8 \text{ buah baut} \\ &= 4 \text{ /baris} - 2 \text{ baris} \\ \text{spasi} &= 65 \text{ mm} \\ \text{jarak tepi} &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen leleh geser

$$\begin{aligned} A_{gv} &= 2L \cdot t_w \\ &= 3850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Komponen runtuh geser

$$\begin{aligned} A_{nv} &= A_{gv} - (nb - 1 - 0.5) (d_h \cdot t_w \cdot 2) \\ &= 3150 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Komponen tegangan runtuh

$$\begin{aligned} A_{nt} &= s \cdot t_p - 1 (d_h \cdot t_p) \\ &= 315 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \\ &= 1102500 \leq 827400 \end{aligned}$$

Maka digunakan kekuatan batas yang tersedia sebesar = 827400 N

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 827400 \\ &= 620550 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_u \\ 620550 &> 118105 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka gusset plate digunakan dengan tebal = 7 mm

**Gaya pada gusset**

$$\begin{aligned} ec &= 300/2 &= 150 \text{ mm} \\ eb &= 200/2 &= 100 \text{ mm} \\ \Theta &= 61^\circ \\ te &= 5 \text{ mm} \\ Lh, \text{gusset} &= 300 \\ Lb, \text{gusset} &= 275 \text{ mm} \\ \text{Asumsi } tp &= 7 \end{aligned}$$

$$Hu = Pu \cdot \sin\Theta = 283 \sin 61 = 247.951 \text{ kN}$$

$$Vu = Pu \cdot \cos\Theta = 283 \cos 61 = 137.442 \text{ kN}$$

$$\bar{\beta} = \frac{Lh_{\text{gusset}} - te}{2} + tp = 152.5 \text{ mm}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{Lb_{\text{gusset}} - te}{2} + tp = 140 \text{ mm}$$

$$r = \sqrt{(\alpha + ec)^2 + (\beta + eb)^2} = 384.521 \text{ mm}$$

$$Huc = \frac{ec}{r} Pu = 110.591 \text{ kN}$$

$$Hus = \frac{\alpha}{r} Pu = 103.218 \text{ kN}$$

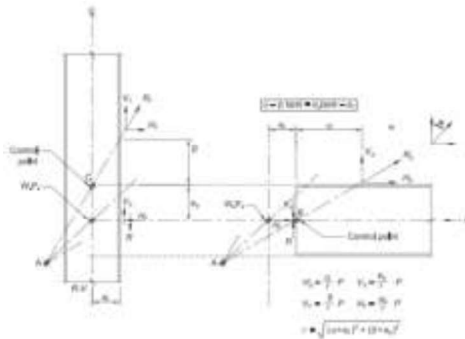
$$\begin{aligned} \Sigma(Huc+Hus) &= Hu \\ 213.809 &= Pu \cdot \sin\Theta \\ 214 &= 248 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$Vuc = \frac{\beta}{r} Pu = 112.434 \text{ kN}$$

$$Vus = \frac{\alpha}{r} Pu = 73.7271 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(Vuc+Vus) &= Vu \\ 186.161 &= Pu \cdot \cos\Theta \\ 186 &= 137 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$





**Gambar 4.16 – Gaya dalam pada sambungan bracing**

**b. Sambungan Base Plate-Angkur**

Direncanakan base plate dengan dimensi :

$$\begin{aligned} B1 &= 200 && \text{mm} \\ N1 &= 230 && \text{mm} \\ A1 &= 46000 && \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Dimensi tumpuan base plate

$$\begin{aligned} B2 &= 250 && \text{mm} \\ N2 &= 300 && \text{mm} \\ A2 &= 75000 && \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung  $P_u < \phi Q_c P_p$  (satuan N)

$$P_u \leq \phi P_p = 0.65 \cdot 0.85 \cdot F_c' \cdot A1 \cdot (A2/A1)^{0.5}$$

$$P_u \cdot \cos \Theta \leq 0.65 \cdot 0.85 \cdot 30 \cdot 46000 \cdot (75000/46000)^{0.5}$$

$$137442 \leq 973561 \text{ (OK)}$$

**Menghitung ketebalan base-plate**

$$m = \frac{N - 0.85 d}{2} = 51.25 \quad \text{mm}$$

$$n = \frac{B - 0.8 bf}{2} = 40 \quad \text{mm}$$

$$X = \left[ \frac{4 b d f}{(d + b f)^2} \right] \frac{P_u}{\phi P_p} = 0.1$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1 - x}} \leq 1$$

$$= \frac{0.39002}{4} \leq 1$$

$$\lambda n' = \frac{\lambda \sqrt{d b f}}{4} = 15 \quad \text{mm}$$

$$l = \max(m; n; \lambda n')$$

$$T_{min} = 1. \frac{\sqrt{2 Pu}}{\phi f_y B N} = 7 \text{ mm}$$

$$\approx 10 \text{ mm}$$

Maka digunakan base plate dengan ketebalan = 10 mm

### **Menghitung kebutuhan batang angkur dan penempatan angkur**

Diameter rod	=	18 mm
Mutu	=	A325
$f_u$	=	825 MPa
panjang rod	=	150 mm
dimensi plate	=	230 x 200
syarat spasi angkur		
spasi minimum, s	=	4 . d0
	=	72 mm
jarak tepi, x	=	40 mm (pasal 20.6.1)

### **Angkur kolom terhadap beban tarik**

$N_{ua,g}$	=	118105 N
nrod	=	12 buah (minimum 4 angkur)
$N_{ua,g}$	=	9842.1 N/batang angkur

#### - **Kuat nominal angkur dalam tarik**

$N_{sa}$	=	$f_{uta} \cdot A_{se}, N$
	=	209937 N
$\phi N_{sa}$	=	157453 N
$\phi N_{sa}$	>	$N_{ua}$
157453	>	9842.1 (OK)

#### - **Kuat nominal las**

Metode SMA W elektrode E70		
$(F_{EXX})$	=	485 MPa
panjang las rencana	=	275 mm

T plat = 10 mm, w min = 5 mm (tabel J2.3, SNI 1729-2020)

cek syarat panjang las, Lw

$$\frac{Lw}{w} = \frac{220}{5} = 44 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \quad (\beta = 1)$$

$$A_{wel} = t_e \times Lw$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.71 \cdot W \\
 &= Lw \\
 &= 781 \text{ mm}^2 \\
 Rn &= F_{nw} \cdot A_{we} \\
 &= 1.5 (0.6 \cdot F_{EXX}) \cdot A_{we} \\
 &= 340907 \text{ N} \\
 \phi Rn &= 255680 \text{ N} > 118105 \text{ N} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Kuat jebol (*break out*) beton terhadap tarik

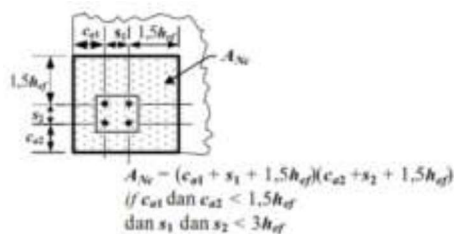
kuat jebol beton terhadap tarik ditentukan dengan persamaan :

$$\phi N_{cbg} = \frac{\phi ANC}{ANCO \cdot \psi_{ec, N} \cdot \psi_{ed, N} \cdot \psi_{c, N} \cdot \psi_{cp} \cdot Nb}$$

dimana :

dimensi pelat yang menahan tarik

$$\begin{aligned}
 B &= 230 \text{ mm} \\
 N &= 200 \text{ mm} \\
 h_{ef} &= 150 \text{ mm} \\
 s_1 &= 150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \\
 s_2 &= 85 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \\
 nbold &= 12 \text{ buah} \\
 \\ \\
 ca_1 &= 87.5 \text{ mm} < 225 \text{ mm} \\
 ca_2 &= 40 \text{ mm} < 225 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.17 – Luas efek *breakout* angruk grup dalam menahan tarik**

area beton yang terkena efek break-out angruk

$$\begin{aligned}
 A_{NC} &= [ca_1 + (nb - 1)s + 1.5 hef] [ca_2 + (nb-1)s + 1.5 hef] \\
 &= 156938 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e^2/N}{3h_{eff}}\right)} = 0.9 \leq 1$$

$$C_{a,min} < 1.5 h_f$$

$$40 < 225$$

$$\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{C_{a,min}}{1.5h_{eff}} = 0.75333$$

Asumsikan beton tidak retak  $\Psi_{ec,N}$

$$\Psi_{c,N} = 1.25 \quad (\text{angkur cor tanam ditempat})$$

$$\Psi_{cp,N} = 1.4$$

Area beton yang terkena efek break-out single angkur

$$ANCO = (2 \cdot 1.5 \cdot H_{ef}) (2 \cdot 1.5 \cdot H_{ef})$$

$$= 202500 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$ANC < n \cdot ANCO$$

$$156938 < 810000$$

- Kuat nominal jebol beton dalam tarik

$$N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot (f_c')^{0.5} \cdot (h_{eff})^{1.5}$$

$$= 100623$$

$$\phi N_{cbg} = \frac{\phi ANC}{ANCO \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b}$$

$$= 594209 > 118105 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

- Kuat cabut (pullout) beton terhadap tarik

Kuat cabut beton terhadap tarik ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,p} \cdot N_p$$

dimana :

$$\text{Panjang jangkar, } e_h = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter baut, } d_a' = 18 \text{ mm}$$

$$3d_a \leq e_h \leq 4.5 d_a$$

$$54 \leq 70 \leq 81$$

$$N_p = 0.9 \cdot f_c' \cdot e_h \cdot d_a$$

$$= 34020 \text{ N}$$

$$\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,p} \cdot N_p$$

$$= 33339.6 > 9842.1$$

- Kuat cabut (*blowout*) muka samping beton

Kuat ambrol muka samping beton ditentukan dengan persamaan :

$$\phi N_{sb} = 0.7 \cdot 0.5 (13 C_{a1} \cdot (A_{brg})^{0.5} \cdot \lambda_a \cdot (f_c')^{0.5})$$

dimana :

$$h_{ef} > 2.5 C_{a1}$$

$$150 > 219$$

$$C_{a2} < 3 \cdot C_{a1}$$

$$40 < 263 \quad \text{dikalikan faktor} = \left(1 \frac{C_{a2}}{C_{a1}}\right) / 4 = 0.5$$

$$A_{brg} = 0.25 \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= 254 \text{ mm}^2$$

Kekuatan ambrol muka samping nominal

$$\phi N_{sb} = 0.7 \cdot 0.5 (13 C_{a1} \cdot (A_{brg})^{0.5} \cdot \lambda_a \cdot (f_c')^{0.5})$$

$$= 208713 > 118105 \text{ N (OK)}$$

Angkur kolom terhadap beban geser

Menentukan kuat perlu akibat geser

$$V_{ua} = 71581.6 \text{ N}$$

$$N_{rod} = 6$$

$$V_{ua,i} = 11930.3 \text{ N/batang ankur}$$

- Kuat geser nominal ankur baut

$$V_{sa} = f_{uta} \cdot A_{se,V}$$

$$= 209937 \text{ N}$$

$$\phi V_{sa} = 0.75 \cdot V_{sa}$$

$$= 157453 \text{ N}$$

$$\phi V_{sa} > V_{ua}$$

$$157453 > 11930.3 \text{ (OK)}$$

- Kuat jungkit (*pryout*) beton ankur dalam geser

$$N_{cpg} = N_{cbg} = 698880 \text{ N}$$

$$K_{cp} = 2$$

$$\phi V_{cpg} = 0.75 \cdot K_{cp} \cdot N_{cpg}$$

$$= 1048320 > 71581.6 \text{ N (OK)}$$

**Tabel 4.55 – Rekapitulasi sambungan base plate angkur**

No.	Kondisi	Kuat Nominal (N)	Besaran gaya (N)	Rasio
1	Kuat baja angkur dalam tarik, $\phi N_{sa}$	157452.6975	9842.1	0.0414
2	Kuat Jebol ( <i>break out</i> ) beton terhadap tarik, $\phi N_{cbg}$	594208.9724	118105	0.13165
3	Kuat cabut ( <i>pull out</i> ) beton terhadap tarik, $\phi N_{pn}$	33339.6	9842.1	0.19553
4	Kekuatan ambrol ( <i>blowout</i> ) muka samping beton, $\phi N_{sb}$	208712.6504	118105	0.37481
5	Kuat geser angkut baut, $\phi V_{sa}$	157452.6975	11930.27	0.07577
6	Kuat jungkit ( <i>pryout</i> ) beton angkur dalam geser, $\phi V_{cp}$	1048320	71581.62	0.06828

**c. Sambungan gusset-base plate**

Kekuatan geser tersedia dari elemen yang dipengaruhi dan elemen yang disambung dalam geser harus memenuhi nilai terendah dari pelelehan geser dan keruntuhan geser.

- Pelelehan geser pada gusset-plate

Diketahui tebal gusset plate = 7 mm

Luas bruto yang menahan geser,

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_p \cdot l(\text{gusset}) \\ &= 2100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} \\ &= 365400 > 65546.4 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Desain las pada sambungan gusset-base plate

Kuat desain pada sambungan las  $\rightarrow$  nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik, keruntuhan geser, dan kekuatan logam las.

Untuk logam dasar

$$R_n = F_n B M \cdot A B M$$

Untuk logam las

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} \cdot A_{we} \\
 t_{plat} &= 7 \text{ mm} , \text{ maka } w_{\min} = 5 \text{ mm} \\
 t_e &= 3.5 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm} \\
 L_w &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Metode SMA W elektrode E70 ( $F_{EXX} = 485 \text{ MPa}$ )

Cek syarat panjang las ,  $L_w$

$$\begin{aligned}
 L_{w1}/w &= 30 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \quad (\beta = 1) \\
 L_{w2}/w &= 30 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \quad (\beta = 1) \\
 A_{we1} &= t_e \times L_w \\
 &= 3000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

menghitung kekuatan las

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} \cdot A_{we} \\
 &= (0.6 \cdot F_{EXX}) \cdot A_{we} \\
 &= 873000 \text{ N} \\
 \phi R_n &= 654750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek leleh tarik penampang bruto

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.9 \cdot f_y \cdot A_g \\
 &= 1047654 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek keruntuhan tarik penampang netto

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n \cdot U \\
 &= 4014 \text{ mm}^2 \\
 \phi R_n &= 0.75 \cdot f_u \cdot A_g \\
 &= 1505250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka kekuatan sambungan ditentukan berdasarkan kekuatan las yang tersedia yaitu sebesar = 654750 N

Kontrol,  $\phi R_n > R_u$

654750 > 118105 (OK)

#### 4.7.3 Perencanaan Sambungan II (Sambungan *Chevron*)

Perencanaan ini digunakan untuk menghubungkan bracing baja dengan kolom-balok beton. Kemudian diambil gaya dalam batang bracing yang ditinjau dari permdelan struktur. Pada sub-bab ini sambungan yang akan dihitung meliputi :

- Gusset – Bracing
- Base Plate – Gusset
- Base Plate – Angkur

## 1. Data Material

<u>Kolom K1</u>	700	x	900	
Mutu Beton	$f_c'$	=	30	MPa
Panjang, p		=	900	mm
Lebar, l		=	700	mm
<u>Balok B2</u>	400	x	600	
Mutu Beton	$f_c'$	=	30	MPa
Panjang, p		=	600	mm
Lebar, l		=	400	mm
<u>Bresing WF.150.150.7.10</u>				
Mutu Baja		=	BJ 41	
Tegangan leleh, $f_y$		=	250	MPa
Tegangan putus, $f_u$		=	410	MPa
<u>Pelat Landas/pelat sambung</u>				
Mutu pelat landas		=	BJ 50	
Tegangan leleh, $f_y$		=	290	MPa
Tegangan putus, $f_u$		=	500	MPa
<u>Profil penyambung (4L 40.60.7)</u>				
Luas Penampang, $A_{g(L)}$		=	6.6	cm <sup>2</sup>
Tebal, t		=	7	mm
Lebar, b1		=	60	mm
lebar, b2		=	40	mm
<u>Baut</u>				
Mutu Baut		=	ASTM A325	
Diameter rencana, $d_{b(bolt)}$		=	(M16),	18 mm
Kuat tarik nominal, $f_{nt}$		=	620	MPa
Kuat geser nominal, $f_{nv}$		=	457	MPa
<u>Batang angkur</u>				
Mutu batang angkur		=	BJ 50	
Diameter rencana, $d_{b(rod)}$		=	18	mm
Tegangan leleh, $f_y$		=	290	MPa
Tegangan putus, $f_u$		=	500	MPa



## 2. Perhitungan

Kuat geser dan tarik tersedia (baut diameter = 18mm, ASTM A325N)

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= \phi F_{nv} \cdot A_b \\ &= \phi F_{nv} (0.25 \cdot \pi \cdot d_b^2) \\ &= 174438.5029 \text{ N} \\ \phi R_{nt} &= \phi F_{nt} \cdot A_b \\ &= \phi F_{nt} (0.25 \cdot \pi \cdot d_b^2) \\ &= 87219.25144 \text{ N}\end{aligned}$$

Jumlah Kebutuhan baut (Nb)

$$N_b = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{283496}{87219.25144} = 3.3 \text{ buah baut}$$

$\approx 8$  buah baut dipasang 2 baris

Berdasarkan SNI pasal J3.3 dan J3.4 tata letak baut :

$$\begin{aligned}\text{Spasi minimum, } S_{min} &= 3 \cdot D = 54 \text{ mm} \\ \text{Spasi maksimum, } S_{max} &= 24 \cdot t_{pelat} = 288 \text{ mm} < 305 \text{ mm} \\ \text{Jarak tepi minimum, } X_{min} &= 22 \text{ mm} \\ \text{Jarak tepi maximum, } X_{max} &= 12 \cdot t_{pelat} = 144 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \\ \text{Jadi digunakan baut dengan konfigurasi} \\ \text{Jumlah baut, } n_{baut} &= 8 \text{ buah baut} \\ \text{Spasi, } S &= 65 \text{ mm} \\ \text{Jarak tepi, } x &= 40 \text{ mm}\end{aligned}$$

### a. Sambungan gusset-Bresing

Perencanaan sambungan bresing-gusset bertujuan untuk mendapatkan dimensi gusset.

Keruntuhan tarik pada batang bresing

$$\begin{aligned}A_n &= A_g - 2 (d_h + 2) t_w \\ &= 3706 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan faktor shear-lag, U

$$\begin{aligned}A &= (1/2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot 2) + (1/2 t_w) (d - 2t_f) \\ &= 1500 + 455 \\ &= 1955 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_1 &= \text{luasan sayap} \\ &= 1500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_2 = \text{luasan web}$$

$$\begin{aligned}
 &= 455 \text{ mm}^2 \\
 x_1 &= 1/2 \text{ bf} \\
 &= 75 \\
 &0.5 \cdot \\
 x_2 &= \frac{tw}{2} \\
 &= 1.75 \text{ mm} \\
 \bar{x} &= \frac{\sum A_i \cdot X_i}{A} = \frac{112500 + 796.25}{1955} = 57.952 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l &= s \cdot (0.5 \text{ nb}/2 - 1) \\
 &= 65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(Tabel D3.1 SNI 1729-2020)

(kasus 2)

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 0.10843$$

(kasus 7)

$$\begin{aligned}
 U &= 0.7 \\
 A_e &= A_n \cdot U \\
 &= 2594.2 \text{ mm}^2 \\
 \phi R_n &= \phi f_u \cdot A_g \\
 &= 769304 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### **Leleh tarik pada bresing**

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.9 \cdot f_y \cdot A_g \\
 &= 903150 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan 2 kondisi, didapatkan kondisi = 769304 (runtuh tarik menentukan)

$$\begin{aligned}
 \text{kontrol } \phi R_n &> R_u \\
 769304 &> 196772 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

### **Kuat tumpu baut tersedia pada bresing**

Untuk baut bagian dalam

$$\begin{aligned}
 I_c &= \text{jarak bersih antar baut} \\
 &= s - d_h \\
 &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot F_u \\
 &= 116235 \geq 92988
 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 92988 (menentukan)

$$\phi R_n > \phi R_{nv}$$

$$92988 < 174439$$

Karena kuat geser baut tersedia lebih besar dari kuat tumpu, maka keadaan batas mengontrol kekuatan inner bolt.

Untuk baut bagian luar

$I_c$  = jarak bersih baut dengan tepi pelat

$$= x - 1/2dh$$

$$= 30 \text{ mm}$$

$$\phi R_n = 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 dbaut \cdot t_w \cdot F_u$$

$$= 77490 \leq 92988$$

Sehingga kondisi batas = 77490 (menentukan)

$$\phi R_n > \phi R_{nv}$$

$$77490 < 174439$$

Sehingga kuat efektif dari baut grup berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser adalah (ditentukan dengan kekuatan terkecil).

$$\phi R_n = 2 \times 77490 + 4 \times 92988$$

$$= 526932 \text{ N}$$

$$\text{kontrol } \phi R_n > R_u$$

$$526932 > 219301 \quad (\text{OK})$$

### **Keruntuhan geser-blok pada bresing**

Diasumsikan bentuk garis kegagalan membentuk persegi panjang yang dibatasi 2 baris baut pada web penampang.

$$nb = 8 \text{ buah baut}$$

$$= 4 \text{ /baris} - 2 \text{ baris}$$

$$\text{spasi} = 65 \text{ mm}$$

jarak

$$\text{tepi} = 40 \text{ mm}$$

Komponen leleh geser

$$A_{gv} = [s(nb-1)+x] \cdot t_w$$

$$= 3290 \text{ mm}^2$$

Komponen runtuh geser

$$A_{nv} = A_{gv} - (0.5 nb - 0.5) dh \cdot t_w$$

$$= 2870 \text{ mm}^2$$

Komponen tegangan runtuh

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= [x - (2 \cdot 0.5) \text{ dh}] \text{ tw} \\ &= 140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot \text{Ant} \leq 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot \text{Ant} \\ &= 763420 \text{ N} > 550900 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan kekuatan batas yang tersedia = 550900 N

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \cdot 550900 \\ &= 413175 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol } \phi R_n &> R_u \\ 413175 &> 196772 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

### **Keruntuhan tarik pada sambungan LL**

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= A_g - (t_{LL} \text{ dh}) \\ &= 1010 - 7 \cdot 20 \\ &= 870 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(Tabel D3.1 SNI 1729-2020)

(kasus 2)

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 0.9118 \quad (\text{menentukan})$$

(kasus 8)

$$\begin{aligned} U &= 0.8 \\ A_e &= \text{Ant} \cdot U \\ &= 793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= \phi F_u \cdot A_e \\ &= 1189892.475 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Leleh tarik pada sambungan LL**

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.9 \cdot F_y \cdot A_g \\ &= 1054440 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &> R_u \\ 1054440 &> 219301 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

### **Kuat tumpu baut pada sambungan LL**

Untuk baut bagian dalam

$$\begin{aligned} I_c &= \text{jarak bersih antar baut} \\ &= s - \text{dh} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\phi R_n = 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot \text{tw} \cdot F_u \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot \text{tw} \cdot F_u$$

$$= 141750 \geq 113400$$

Sehingga kondisi batas = 113400 (menentukan)

$$\phi R_n > \phi R_{nv}$$

$$113400 < 174439 \text{ mm}$$

Karena kuat geser baut tersedia lebih besar dari kuat tumpu, maka keadaan batas mengontrol kekuatan inner bolt.

Untuk baut bagian luar

$$I_c = \text{jarak bersih baut dengan tepi pelat}$$

$$= x - 1/2dh$$

$$= 30 \text{ mm}$$

$$\phi R_n = 0.75 \cdot 1.2 \cdot I_c \cdot t_w \cdot F_u \leq \phi 2.4 dbaut \cdot t_w \cdot F_u$$

$$= 94500 \leq 113400$$

Sehingga kondisi batas = 94500 (menentukan)

$$\phi R_n > \phi R_{nv}$$

$$94500 < 174439$$

Sehingga kuat efektif dari baut grup berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser adalah (ditentukan dengan kekuatan terkecil)

$$\phi R_n = \phi R_{nv} \cdot N_{baut}$$

$$= 2 \times 94500 + 4 \times 113400$$

$$= 642600 \text{ N}$$

$$\text{kontrol } \phi R_n > R_u$$

$$642600 > 196772 \quad (\text{OK})$$

### **Keruntuhan blok geser pada sambungan LL**

Kekuatan tersedia untuk keadaan batas keruntuhan blok geser

$$R_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

Asumsi bentuk garis kegagalan membentuk persegi panjang yang dibatasi 2 baris baut pada web penampang.

$$n_b = 8$$

$$0.5 n_b = 4 \text{ /baris}$$

$$\text{spasi} = 65 \text{ mm}$$

jarak

$$\text{tepi} = 40 \text{ mm}$$

Komponen leleh geser

$$A_{gv} = 4L \cdot t_w$$

$$= 7700 \text{ mm}^2$$

Komponen runtuh geser

$$\begin{aligned} \text{Anv} &= 4 [\text{AgLL} - 2.5 (\text{dh.d})] \\ &= 2640 \end{aligned}$$

Komponen tegangan runtuh

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= 4[(2\text{bLL} - s) d - 0.5 \text{ dh } d] \\ &= 1740 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rn} &= 0.6 \cdot \text{Fu} \cdot \text{Anv} + \text{Ubs} \cdot \text{Fu} \cdot \text{Ant} \leq 0.6 \cdot \text{Fy} \cdot \text{Agv} + \text{Ubs} \cdot \text{Fu} \cdot \text{Ant} \\ &= 1662000 \leq 2209800 \end{aligned}$$

Maka digunakan kekuatan batas yang tersedia sebesar = 1662000 N

$$\begin{aligned} \phi \text{Rn} &= 0.75 \cdot 1662000 \\ &= 1246500 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi \text{Rn} &> \phi \text{Ru} \\ 1246500 &> 196772 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

### **Kuat tumpu baut pada gusset plate**

$$\text{Tebal Gusset plate, } t_p(\text{gusset}) = 7 \text{ mm}$$

Untuk baut bagian dalam

$$\begin{aligned} \text{Ic} &= \text{jarak bersih antar baut} \\ &= s - \text{dh} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \text{Rn} &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot \text{Ic} \cdot t_w \cdot \text{Fu} \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot \text{Fu} \\ &= 116235 \geq 92988 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 92988 (menentukan)

$$\begin{aligned} \phi \text{Rn} &> \phi \text{Rnv} \\ 92988 &< 174439 \end{aligned}$$

Karena kuat geser baut tersedia lebih besar dari kuat tumpu, maka keadaan batas mengontrol kekuatan outer bolt. Maka kuat geser tersedia = 92988 N

Untuk baut bagian luar

$$\begin{aligned} \text{Ic} &= \text{jarak bersih baut dengan tepi pelat} \\ &= x - 1/2\text{dh} \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \text{Rn} &= 0.75 \cdot 1.2 \cdot \text{Ic} \cdot t_w \cdot \text{Fu} \leq \phi 2.4 \text{ dbaut} \cdot t_w \cdot \text{Fu} \\ &= 77490 \leq 92988 \end{aligned}$$

Sehingga kondisi batas = 77490 (menentukan)

$$\begin{aligned}\phi R_n &> \phi R_{nv} \\ 77490 &< 174439\end{aligned}$$

Sehingga kuat efektif dari baut grup berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser adalah (ditentukan dengan kekuatan terkecil)

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi r_{nv} \cdot N_{baut} \\ &= 2 \times 77490 + 4 \times 92988 \\ &= 526932 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{kontrol } \phi R_n &> R_u \\ 526932 &> 196772 \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

### **Keruntuhan geser blok pada gusset plate**

Menghitung kuat tersedia untuk keadaan batas keruntuhan blok geser sepanjang alur kegagalan blok geser berdasarkan SNI 1729:2015 pasal J4.3.

Asumsikan bentuk garis kegagalan membentuk persegi panjang yang dibatasi 2 baris baut pada gusset.

$$\begin{aligned}nb &= 8 \text{ buah baut} \\ &= 4 \text{ /baris} - 2 \text{ baris} \\ \text{spasi} &= 65 \text{ mm} \\ \text{jarak} & \\ \text{tepi} &= 40 \text{ mm}\end{aligned}$$

Komponen leleh geser

$$\begin{aligned}A_{gv} &= 2L \cdot t_w \\ &= 3850 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Komponen runtuh geser

$$\begin{aligned}A_{nv} &= A_{gv} - (nb - 1 - 0.5) (d_h \cdot t_w \cdot 2) \\ &= 3150 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Komponen tegangan runtuh

$$\begin{aligned}A_{nt} &= s \cdot t_p - 1 (d_h t_p) \\ &= 315 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} &\leq 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \\ &= 1102500 \leq 827400\end{aligned}$$

Maka digunakan kekuatan batas yang tersedia sebesar = 827400 N

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \cdot 827400 \\ &= 620550 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi R_n &> \phi R_u \\ 620550 &> 196772 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka gusset plate digunakan dengan tebal = 7 mm (memenuhi)

**Gaya pada gusset**

$$\begin{aligned} \text{Panjang total gusset, } L &= 750 \text{ mm} \\ \text{Center balok B2, } e &= 207 \text{ mm} \\ \text{Tinggi total gusset, } h &= 290 \text{ mm} \\ \text{sudut kemiringan, } & \\ \theta &= 61^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pu bracing kiri, } Pu1 &= -289000 \text{ N} \\ \text{Hu bracing kiri, } Hu1 &= Pu1 \cdot \cos\theta = -140109.98 \text{ N} \\ \text{Vu bracing kiri, } Vu1 &= Pu1 \cdot \sin\theta = -252765.095 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pu bracing kanan, } Pu2 &= 289000 \text{ N} \\ \text{Hu bracing kanan, } Hu2 &= Pu2 \cdot \cos\theta = 140109.9803 \text{ N} \\ \text{Vu bracing kanan, } Vu2 &= Pu2 \cdot \sin\theta = 252765.0954 \text{ N} \end{aligned}$$

**b. Sambungan Base Plate-Angkur**

Direncanakan base plate dengan dimensi :

$$\begin{aligned} B1 &= 150 \text{ mm} \\ N1 &= 750 \text{ mm} \\ A1 &= 112500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dimensi tumpuan base plate

$$\begin{aligned} B2 &= 250 \text{ mm} \\ N2 &= 750 \text{ mm} \\ A2 &= 187500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung  $P_u < \phi Q_c P_p$  satuan (N)

$$P_u \leq \phi P_p = 0.65 \cdot 0.85 \cdot F_c' \cdot A1 \cdot (A2/A1)^{0.5}$$

$$P_u \cdot \cos\theta \leq 0.65 \cdot 0.85 \cdot 30 \cdot 112500 \cdot (187500/112500)^{0.5}$$

$$140110 \leq 2006084 \text{ (OK)}$$

**Menghitung ketebalan base-plate**

$$m = \frac{N - 0.85 d}{2} = 56.25 \text{ mm}$$



$$n = \frac{B - 0.8 bf}{2} = 97.2 \text{ mm}$$

$$X = \frac{\left[ \frac{4 b d f_c}{(d + b f_c)^2} \right] \frac{P_u}{\phi P_p}}{2\sqrt{x}} = 0.01$$

$$\lambda = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - x}} \leq 1$$

$$= 0.08 \leq 1$$

$$\lambda n' = \frac{\lambda \sqrt{d b f_c}}{4} = 1.6 \text{ mm}$$

$$l = \max(m; n; \lambda n')$$

$$= 97 \text{ mm}$$

$$T_{\min} = \left| \frac{\sqrt{2 P_u}}{\phi f_y B N} \right| = 7.8 \text{ mm}$$

$$\approx 10 \text{ mm}$$

Maka digunakan base plate dengan ketebalan = 10 mm

### **Angkur balok terhadap beban tarik**

$$N_{ua,g} = 218111 \text{ N}$$

$$n_{\text{rod}} = 10 \text{ buah (minimum 4 angkur)}$$

$$N_{ua,g} = 21811.1 \text{ N/batang angkur}$$

#### - **Kuat nominal angkur dalam tarik**

$$N_{sa} = f_{uta} \cdot A_{se}, N$$

$$= 209937 \text{ N}$$

$$\phi N_{sa} = 157453 \text{ N}$$

$$\phi N_{sa} > N_{ua}$$

$$157453 > 21811.1 \text{ (OK)}$$

#### - **Kuat nominal las**

Metode SMA W elektrode E70 ( $F_{EXX}$ ) = 485 MPa

Panjang las rencana = 750 mm

Tpelat = 10 mm, w min = 6 mm (tabel J2.3, SNI 1729-2020)

Cek syarat panjang las,  $L_w$

$$\frac{L_w}{w} = \frac{750}{6} = 125 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \quad (\beta = \text{dihitung})$$

$$w = 6$$

$$\beta = 1.2 - 0.002 (L_w/w) < 1$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.2 - 0.002 \cdot 125 < 1 \\
 &= 0.95 \\
 A_{\text{wel}} &= t_e \cdot \beta \cdot L_w \\
 &= 0.71 \cdot W \cdot \beta \cdot L_w \\
 &= 3035.25 \text{ mm}^2 \\
 R_n &= F_{\text{nw}} \cdot A_{\text{we}} \\
 &= 1.5 (0.6 \cdot F_{\text{EXX}}) \cdot A_{\text{we}} \\
 &= 1324887 \text{ N} \\
 \phi R_n &= 993665 \text{ N} > 21811.1 \text{ N} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Kuat jebol (break out) beton terhadap tarik

Kuat jebol beton terhadap tarik ditentukan dengan persamaan:

$$\phi_{ANC}$$

$$\phi_{\text{Ncbg}} = \frac{ANCO \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp} \cdot Nb}{}$$

dimana :

dimensi pelat yang menahan tarik

$$\begin{aligned}
 B &= 750 \text{ mm} \\
 N &= 200 \text{ mm} \\
 \text{hef} &= 200 \text{ mm} \\
 s_1 &= 100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \\
 s_2 &= 165 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \\
 \text{nbold} &= 10 \text{ buah} \\
 \text{ca}_1 &= 88 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \\
 \text{ca}_2 &= 45 \text{ mm} < 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

area beton yang terkena efek break-out angkur

$$\begin{aligned}
 A_{\text{NC}} &= [\text{ca}_1 + (\text{nb} - 1)s + 1.5 \text{ hef}] [\text{ca}_2 + (\text{nb} - 1)s + 1.5 \text{ hef}] \\
 &= 477375 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e^2 N}{3h_{\text{eff}}}\right)} = 0.9 \leq 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ca}_{\text{min}} &< 1.5 \text{ hf} \\
 45 &< 300
 \end{aligned}$$

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{\text{ca}_{\text{min}}}{1.5h_{\text{eff}}} = 0.745$$

Asumsikan beton tidak retak  $\psi_{ec,N}$

$$\psi_{c,N} = 1.25 \quad (\text{angkur cor tanam ditempat})$$

$$\Psi_{cp,N} = 1.4$$

Area beton yang terkena efek break-out single angkur

$$\begin{aligned} ANCO &= (2 \cdot 1.5 \cdot \text{Hef}) (2 \cdot 1.5 \cdot \text{Hef}) \\ &= 360000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} ANC &< n \cdot ANCO \\ 477375 &< 360000 \end{aligned}$$

- Kuat nominal jebol beton dalam tarik

$$\begin{aligned} Nb &= kc \cdot \lambda_a \cdot (fc')^{0.5} \cdot (\text{heff})^{1.5} \\ &= 154919 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_{cbg} &= \frac{\phi ANC}{ANC \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp} \cdot Nb} \\ &= \frac{1180340}{218111} > N \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Kuat cabut (pullout) beton terhadap tarik

Kuat cabut beton terhadap tarik ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,p} \cdot N_p$$

dimana :

$$\text{Panjang jangkar, } e_h = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter baut, } da' = 18 \text{ mm}$$

$$3da \leq e_h \leq 4.5 da$$

$$54 \leq 70 \leq 81$$

$$N_p = 0.9 \cdot fc' \cdot e_h \cdot da$$

$$= 34020 \text{ N}$$

$$\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,p} \cdot N_p$$

$$= 33339.6 > 21811.1$$

- Kekuatan ambrol (blowout) muka samping beton

Kuat ambrol muka samping beton ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$\phi N_{sb} = 0.7 \cdot 0.5 (13 Ca1 \cdot (A_{brg})^{0.5} \cdot \lambda_a \cdot (fc')^{0.5})$$

dimana :

$$\text{hef} > 2.5 Ca1$$

$$200 > 220$$

$$Ca2 < 3 \cdot Ca1$$

$$45 < 264 \quad \text{dikalikan faktor} = \left(1 \frac{Ca2}{Ca1}\right) / 4 = 0.5$$

$$\begin{aligned} A_{brg} &= 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 254 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kekuatan ambrol muka samping nominal

$$\begin{aligned} \phi N_{sb} &= 0.7 \cdot 0.5 (13 \text{ Cal} \cdot (A_{brg})^{0.5} \cdot \lambda_a \cdot (f_c')^{0.5}) \\ &= 349842 > 218111 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

### **Angkur balok terhadap beban geser**

Menentukan kuat perlu akibat geser

$$\begin{aligned} V_{ua} &= 189601 \text{ N} \\ N_{rod} &= 10 \text{ buah} \\ V_{ua,i} &= 18960.1 \text{ N/batang angkur} \end{aligned}$$

#### **Kuat geser nominal angkur baut**

$$\begin{aligned} V_{sa} &= f_{uta} \cdot A_{se,V} \\ &= 209937 \text{ N} \\ \phi V_{sa} &= 0.75 \cdot V_{sa} \\ &= 157453 \text{ N} \\ \phi V_{sa} &> V_{ua} \\ 157453 &> 18960.1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

#### **Kuat jungkit (*pryout*) beton angkur dalam geser**

$$\begin{aligned} N_{cpg} &= N_{cbg} = 1118035 \text{ N} \\ K_{cp} &= 2 \\ \phi V_{cpg} &= 0.75 \cdot K_{cp} \cdot N_{cpg} \\ &= 1677053 > 189601 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

**Tabel 4.56 – Rekapitulasi kuat nominal angkur pada sambungan *chevron***

No.	Kondisi	Kuat Nominal (N)	Besaran gaya (N)	Rasio
1	Kuat baja angkur dalam tarik, $\phi N_{sa}$	157452.6975	21811.11	0.13852
2	Kuat Jebol ( <i>break out</i> ) beton terhadap tarik, $\phi N_{cbg}$	1180340.087	218111.1	0.18479
3	Kuat cabut ( <i>pull out</i> ) beton terhadap tarik, $\phi N_{pn}$	33339.6	21811.11	0.65421

4	Kekuatan ambrol ( <i>blowout</i> ) muka samping beton, $\phi N_{sb}$	349842.1569	218111.1	0.62346
5	Kuat geser angkut baut, $\phi V_{sa}$	157452.6975	18960.11	0.12042
6	Kuat jungkit ( <i>pryout</i> ) beton angkut dalam geser, $\phi V_{cpg}$	1677052.5	189601.1	0.11306

**c. Sambungan gusset-base plate**

Kekuatan geser tersedia dari elemen yang dipengaruhi dan elemen yang disambung dalam geser harus memenuhi nilai terendah dari pelelehan geser dan keruntuhan geser.

- Pelelehan geser pada gusset-plate

Diketahui tebal gusset plate = 7 mm

Luas bruto yang menahan geser,

$$A_{gv} = t_p \cdot l(\text{gusset}) \\ = 2100 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 1 \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} \\ = 365400 > 65546.4 \text{ (OK)}$$

- Desain las pada sambungan gusset-base plate

Kuat desain pada sambungan las  $\rightarrow$  nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik, keruntuhan geser, dan kekuatan logam las.

Untuk logam dasar

$$R_n = F_n B M \cdot A B M$$

Untuk logam las

$$R_n = F_n w \cdot A_w e$$

$$t_{\text{plat}} = 7 \text{ mm}, \text{ maka } w_{\text{min}} = 5 \text{ mm}$$

$$t_e = 3.5 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$$

$$L_w = 750 \text{ mm}$$

$$\text{Metode SMA W elektrode E70 (F}_{EXX} = 485 \text{ MPa)}$$

Cek syarat panjang las,  $L_w$

$$L_w / w = 150 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \quad (\beta \neq 1)$$

$$\beta = 1.2 - 0.002 (L_w / w) < 1$$

$$= 1.2 - 0.002 \cdot 150 < 1$$

$$= 0.9$$

$$\begin{aligned} A_{we1} &= t_e \cdot \beta \cdot L_w \\ &= 3375 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung kekuatan las

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= (0.6 \cdot F_{EXX}) \cdot A_{we} \\ &= 982125 \quad \text{N} \\ \phi R_n &= 736594 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Cek leleh tarik penampang bruto

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.9 \cdot f_y \cdot A_g \\ &= 1047654 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Cek keruntuhan tarik penampang netto

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \cdot U \\ &= 4014 \quad \text{mm}^2 \\ \phi R_n &= 0.75 \cdot f_u \cdot A_g \\ &= 1505250 \quad \text{N} \end{aligned}$$

maka kekuatan sambungan ditentukan berdasarkan kekuatan las yang tersedia yaitu sebesar = 736594 N

$$\begin{aligned} \text{Kontrol, } \phi R_n &> R_u \\ 736594 &> 21811.1 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

## 4.8 Perhitungan Kapasitas Struktur

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas elemen struktur eksisting. Analisa struktur eksisting dilakukan untuk mengetahui kemampuan struktur eksisting dalam memikul beban-beban yang terjadi pada bangunan.

### 4.8.1 Pelat

Pada sub bab ini akan disajikan contoh perhitungan kapasitas pada pelat lantai sebagai berikut :

#### 1. Data Eksisting

Tebal	: 120 mm
Selimut Pelat	: 20 mm
Fy Lentur	: 240 MPa
Fy Geser	: 240 MPa
Fc'	: 30 MPa
Lebar pakai	: 1000 mm
d' arah x	: 94 mm

- d' arah y : 82 mm  
 Penulangan  
 - Tumpuan :  $\emptyset 12 - 200$   
 - Lapangan :  $\emptyset 12 - 200$

2. Menghitung Kapasitas Lentur

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 1000 / 200 \\ &= 565.4866776 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{565.4866776 \cdot 240}{0.85 \cdot 30 \cdot 1000} \\ &= 5.322227554 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} \text{- Arah x} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \alpha/2) \\ &= 565.4866776 \cdot 240 \cdot (94 - 5.322227554/2) \\ &= 12396221.59 \text{ N.mm} \\ &= 12.39622159 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Arah y} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \alpha/2) \\ &= 565.4866776 \cdot 240 \cdot (82 - 5.322227554/2) \\ &= 10767619.96 \text{ N.mm} \\ &= 10.76761996 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

3. Rekapitulasi Momen Nominal Pelat

**Tabel 4.57 – Rekapitulasi Momen Nominal Pelat Arah X**

Jenis Pelat	$M_n$			
	Tumpuan		Lapangan	
Lantai (120 mm)	12.40	kNm	12.40	kNm
Atap (100 mm)	9.68	kNm	9.68	kNm

**Tabel 4.58 - Rekapitulasi Momen Nominal Pelat Arah Y**

Jenis Pelat	$M_n$			
	Tumpuan		Lapangan	
Lantai (120 mm)	10.77	kNm	10.77	kNm
Atap (100 mm)	8.053	kNm	8.053	kNm

#### 4. Kontrol Pelat dengan Momen Maksimum

Selanjutnya setelah diketahui momen nominalnya akan dikontrol dengan gaya dalam berupa momen ultimate ( $M_u$ ) maksimum yang didapatkan dari program bantu SAP2000.

**Tabel 4.59 – Kontrol Kapasitas Pelat Atap Arah X**

Jenis Pelat	$M_n$ (kN.m)	$M_u$ Maksimum (kN.m)	Kontrol
Lapangan	9.68	1.8479	Aman
Tumpuan	9.68	4.8862	Aman

**Tabel 4.60 – Kontrol Kapasitas Pelat Atap Arah Y**

Jenis Pelat	$M_n$ (kN.m)	$M_u$ Maksimum (kN.m)	Kontrol
Lapangan	8.053	2.1345	Aman
Tumpuan	8.053	5.9202	Aman

**Tabel 4.61 – Kontrol Kapasitas Pelat Lantai Arah X**

Jenis Pelat	$M_n$ (kN.m)	$M_u$ Maksimum (kN.m)	Kontrol
Lapangan	12.4	7.92756	Aman
Tumpuan	12.4	9.35478	Aman

**Tabel 4.62 – Kontrol Kapasitas Pelat Lantai Arah Y**

Jenis Pelat	$M_n$ (kN.m)	$M_u$ Maksimum (kN.m)	Kontrol
Lapangan	10.77	7.58568	Aman
Tumpuan	10.77	9.78606	Aman

#### 4.8.2 Balok

Perencanaan balok disesuaikan dengan beban-beban yang bekerja menurut SNI 1727-2020. Pada sub bab ini akan disajikan contoh perhitungan kapasitas pada 1 elemen balok yaitu balok B1 pada As A'



Titik 1-2 lantai 1. Untuk analisa selengkapnya akan disajikan sebagai berikut :

1. Data Eksisting

Tipe balok	:	B1
As (Titik)	:	A' (1-2)
Kolom	:	900 x 700
Fc'	:	30 MPa
Fy deform	:	400 MPa
Fy polos	:	240 MPa
Bentang	:	8000 mm
Lebar balok	:	400 mm
Tinggi balok	:	800 mm
Tebal Decking	:	40 mm
Lapis Tulangan	:	2 lapis
Jarak Lapis Tulangan	:	50 mm
tf (Tebal Pelat)	:	120 mm
Jumlah tulangan geser	:	4 Kaki

Pada SNI 2847-2019 tabel 22.2.2.4.3 didapatkan :

**Tabel 4.63 - Nilai  $\beta_1$  untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen**

$f_c'$ , MPa	$\beta_1$	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,85	c)

Maka, didapatkan nilai  $\beta_1 = 0.835714286$

**Tabel 4.64 – Data tulangan**

Tul. Longitudinal										Tul. Transversal					
Tumpuan					Lapangan										
Atas		Bawah			Atas		Bawah			Tumpuan		Lapangan			
11	D	25	7	D	25	7	D	25	9	D	25	10	100	10	150
Tulangan Samping									4	D	16				

Menggunakan 2 lapis tulangan, maka d :  
d = 712.5 mm

## 2. Gaya Dalam

Dari hasil permodelan dengan SAP2000 didapatkan gaya-gaya sebagaimana berikut :

Mu tumpuan	= 184.437 kN.m
Mu lapangan	= 90.076 kN.m
Vu tumpuan	= 111.808 kN
Vu lapangan	= 74.441 kN
Tu	= 22.8965 kN.m

## 3. Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Periksa persyaratan dimensi penampang untuk komponen lentur bagian SRPMK sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 sebagai berikut:

### a. $l_n > 4d$

$l_n$  adalah bentang bersih balok dari muka kolom ke muka kolom. Pada balok B1, balok tersebut ditumpu oleh kolom dengan dimensi 900 x 700 mm dengan sisi panjang searah dengan panjang balok, sehingga :

$$l_n = 8000 \text{ mm} - 900 \text{ mm} = 7100 \text{ mm}$$

Menggunakan 2 lapis tulangan, maka :

$$d = 800 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (25 \text{ mm}/2) - (50 \text{ mm}/2) \\ = 712.5 \text{ mm}$$

$$4d = 4 \times 712.5 \text{ mm} = 2850 \text{ mm}$$

$$l_n > 4d$$

$$7100 \text{ mm} > 2850 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

### b. $b_w > 0.3h$ atau 250 mm

$b_w$  adalah lebar penampang, dan  $h$  adalah tinggi penampang sehingga :

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$0.3h = 0.3 \times 800 = 240 \text{ mm}$$

$$b_w > 0.3h$$

$$400 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

$$b_w > 250 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

### c. lebar penampang $b_w$ tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang sama atau lebih kecil dari nilai terkecil antara lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali tinggi kolom. Ukuran kolom pendukung adalah 900 x 700 mm, sehingga :

$$700 + 2 \left( \frac{3}{4} \cdot 900 \right) = 2050 \text{ mm}$$

$$b_w = 400 \text{ mm} < 2050 \text{ mm (OK)}$$

#### 4. Tulangan Lentur

##### a. Daerah Tumpuan

Berdasarkan data yang sudah diperoleh dari struktur eksisting tulangan lentur pada tumpuan balok B1, maka didapatkan nilai  $A_s$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 11 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 5400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 7 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 3436 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } d = 712.5 \text{ mm}$$

Menentukan garis netral

$$C_c' + C_s' = T_s$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c + A_s' \cdot (f_s' - 0.85 f_c') = A_s \cdot f_y$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c + A_s' \cdot [(600(1 - d/c)) - 0.85 f_c'] - A_s \cdot f_y = 0$$

$$k_1 \cdot c^2 + k_2 \cdot c - k_3 = 0$$

$$c = \frac{-k_2 \pm \sqrt{k_2^2 - 4 \cdot k_1 \cdot (-k_3)}}{2 \cdot k_1}$$

dengan :

$$\begin{aligned} k_1 &= 0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \\ &= 0.85 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 0.836 \\ &= 8524.286 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2 &= A_s' \cdot 600 - 0.85 \cdot f_c' \cdot A_s' - A_s \cdot f_y \\ &= 3436 \cdot 600 - 0.85 \cdot 25 \cdot 3436 - 5400 \cdot 400 \\ &= -185795.75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_3 &= 600 \cdot A_s' \cdot d \\ &= 600 \cdot 3436 \cdot 712.5 \\ &= 1468940002.48 \end{aligned}$$

$$c = \frac{-(-185795.75) \pm \sqrt{(-185795.75)^2 - 4 \cdot 8524.286 \cdot (-1468940002.48)}}{2 \cdot 8524.286}$$

$$c_1 = 426.16 \text{ mm}$$

$$c_2 = -404.36 \text{ mm}$$

maka  $c$  yang dipilih 426.16 mm

$$f_s' = (1 - d'/d) \cdot 600$$

$$\begin{aligned}
 &= (1 - (h - d) / d) \cdot 600 \\
 &= (1 - (800 - 712.5) / 712.5) \cdot 600 \\
 &= 526.3 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$f_s' \geq f_y$ , maka  $f_s' = f_y = 400 \text{ MPa}$  (leleh)

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \beta_1 \cdot c \\
 &= 0.836 \cdot 426.16 \\
 &= 356.1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Regangan Tarik

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{ty} &= f_y / E_s \\
 &= 400 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= 0.003 \cdot (d - c) / c \\
 &= 0.003 \cdot (712.5 - 426.16) / 426.16 \\
 &= 0.00202
 \end{aligned}$$

$\epsilon_s > \epsilon_{ty}$  (tulangan tarik telah leleh)

Penentuan faktor reduksi untuk perhitungan nominal didapatkan pada SNI 2847-2019 tabel 21.2.2, sebagaimana berikut :

**Tabel 4.65 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen**

Regangan tarik netto ( $\epsilon_s$ )	Klasifikasi	$\phi$			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\epsilon_s \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0.75	a)	0.65	b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_s < 0.005$	Transisi <sup>1)</sup>	$0.75 + 0.15 \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{ty})}{(0.005 - \epsilon_{ty})}$	c)	$0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{ty})}{(0.005 - \epsilon_{ty})}$	d)
$\epsilon_s \geq 0.005$	Tegangan terkontrol	0.90	e)	0.90	f)

Berdasarkan tabel diatas maka dipakai  $\phi = 0.65131$

Momen Nominal

$$\phi M_n = \phi [M_{n1} + M_{n2}]$$

$$\begin{aligned}
 M_{n1} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot \alpha) \\
 &= 5400 \cdot 400 \cdot (712.5 - \frac{1}{2} \cdot 356.1) \\
 &= 1154276889.29 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \cdot (d - d') \\
 &= A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \cdot (d - (h-d)) \\
 &= 3436 \cdot (400 - 0.85 \cdot 25) \cdot (712.5 - (800-712.5)) \\
 &= 804266127.088 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\
 &= 1154276889.29 + 804266127.088
 \end{aligned}$$

$$= 1958543016.38$$

$$\phi M_n = 0.65131 \cdot 1958543016.38$$

$$= 1275618077.33 \text{ N.mm}$$

$$= 1275.618077 \text{ kN.m}$$

Kontrol

$$\phi M_n \geq \mu \text{ Tumpuan}$$

$$1275.618077 \geq 184.437 \text{ kN.m (OK)}$$

b. Daerah Lapangan

Berdasarkan data yang sudah diperoleh dari struktur eksisting tulangan lentur pada tumpuan balok B1, maka didapatkan nilai  $A_s$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 9 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 4418 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 7 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 3436 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } d = 712.5 \text{ mm}$$

Pengaruh Balok T

$$L_n = 8000 - 900 = 7100 \text{ mm}$$

Lebar efektif balok T,  $b_e$ , yang diambil dari nilai terkecil antara :

$$b_w + 2(L_n/2) = 400 + 2(7100/2) = 7700 \text{ mm}$$

$$b_w + 2(8 \text{ tf}) = 400 + 2(8 \cdot 120) = 2320 \text{ mm}$$

$$L_n/4 = 7700/4 = 1825 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil } b_e = 1825 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b_e} \\ &= \frac{4418 \cdot 400}{0.85 \cdot 25 \cdot 1825} \\ &= 37.97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\ &= \frac{37.97}{0.836} \\ &= 45.44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c < \text{tf}$$

$$45.44 < 120 \text{ (Balok T Palsu)}$$

Perhitungan dapat dilakukan seperti penampang balok persegi.

Menentukan garis netral

$$Cc' + Cs' = Ts$$

$$0.85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c + As' \cdot (fs' - 0.85 fc') = As \cdot fy$$

$$0.85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c + As' \cdot [(600 (1 - d/c)) - 0.85 fc'] - As \cdot fy = 0$$

$$k1 \cdot c^2 + k2 \cdot c - k3 = 0$$

$$c = \frac{-k2 \pm \sqrt{k2^2 - 4 \cdot k1 \cdot (-k3)}}{2 \cdot k1}$$

dengan :

$$\begin{aligned} k1 &= 0.85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \\ &= 0.85 \cdot 25 \cdot 400 \cdot 0.836 \\ &= 8524.286 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k2 &= As' \cdot 600 - 0.85 \cdot fc' \cdot As' - As \cdot fy \\ &= 3436 \cdot 600 - 0.85 \cdot 25 \cdot 3436 - 4418 \cdot 400 \\ &= 206903.329 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k3 &= 600 \cdot As' \cdot d \\ &= 600 \cdot 3436 \cdot 712.5 \\ &= 1468940002.48 \end{aligned}$$

$$c = \frac{-(206903.329) \pm \sqrt{(206903.329)^2 - 4 \cdot 8524.286 \cdot (-1468940002.48)}}{2 \cdot 8524.286}$$

$$c1 = 403.161 \text{ mm}$$

$$c2 = -427.43 \text{ mm}$$

maka c yang dipilih 403.161 mm

$$\begin{aligned} fs' &= (1 - d'/d) \cdot 600 \\ &= (1 - (h - d) / d) \cdot 600 \\ &= (1 - (800 - 712.5) / 712.5) \cdot 600 \\ &= 526.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$fs' \geq fy$ , maka  $fs' = fy = 400 \text{ MPa}$  (leleh)

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.836 \cdot 403.161 \\ &= 336.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Regangan Tarik

$$\begin{aligned} \epsilon_{ty} &= fy / Es \\ &= 400 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0.003 \cdot (d - c) / c \\ &= 0.003 \cdot (712.5 - 403.161) / 403.161 \end{aligned}$$

$$= 0.0023$$

$e_s > e_{ty}$  (tulangan tarik telah leleh)

Penentuan faktor reduksi untuk perhitungan nominal bisa dilihat pada tabel 4.66 diatas yaitu tentang faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial. Maka didapatkan faktor reduksi sebesar :

Dipakai  $\phi = 0.67515$

Momen Nominal

$$\phi M_n = \phi [M_{n1} + M_{n2}]$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) \\ &= 4418 \cdot 400 \cdot (712.5 - \frac{1}{2} \cdot 336.9) \\ &= 961391748.85 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \cdot (d - d') \\ &= A_s' \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \cdot (d - (h-d)) \\ &= 3436 \cdot (400 - 0.85 \cdot 25) \cdot (712.5 - (800-712.5)) \\ &= 804266127.088 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\ &= 961391748.85 + 804266127.088 \\ &= 1765657875.94 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.67515 \cdot 1765657875.94 \\ &= 1192092253.07 \text{ N.mm} \\ &= 1192.092253 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi M_n &\geq \mu \text{ Lapangan} \\ 1275.618077 &\geq 90.076 \text{ kN.m} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

## 5. Tulangan Geser

### a. Daerah Tumpuan

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan pada daerah tumpuan adalah gaya geser untuk mengimbangi kapasitas penampang lentur terpasang, sehingga keruntuhan terjadi bukan keruntuhan geser, melainkan keruntuhan lentur.

Tulangan tekan terpasang : 7 D25

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 7 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 3436.116965 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 800 - 40 - 10 - 25 / 2 \\ &= 737.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\begin{aligned}\alpha &= 1,25 \cdot \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \\ &= 1,25 \cdot \frac{3436,116965 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} \\ &= 168,437 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{kap}^- &= 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot \alpha) \\ &= 1,25 \cdot 3436,116965 \cdot 400 \cdot (737,5 - \frac{1}{2} \cdot 168,437) \\ &= 1122375731 \text{ N.mm} \\ &= 1122,375731 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Tulangan tarik terpasang : 11 D25

$$\begin{aligned}As \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 11 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 5399,612373 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= 800 - 40 - 10 - 25 / 2 - 50 / 2 \\ &= 712,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\begin{aligned}\alpha &= 1,25 \cdot \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \\ &= 1,25 \cdot \frac{5399,612373 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} \\ &= 264,687 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{kap}^+ &= 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot \alpha) \\ &= 1,25 \cdot 5399,612373 \cdot 400 \cdot (712,5 - \frac{1}{2} \cdot 268,687) \\ &= 1566310269 \text{ N.mm} \\ &= 1566,310269 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Vu &= \frac{M_{kap}^- + M_{kap}^+}{ln} + Vu \text{ sap} \\ &= \frac{1267,068131 + 1923,611908}{7,1} + 111,808 \\ &= 490,496169 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tulangan geser pada tumpuan yang terpasang adalah 4 kaki dengan  $\emptyset 10-100$ .

$$\begin{aligned}Av &= n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 314,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$d = 800 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} / 2 = 755 \text{ mm}$$

$$Vn = Vc + Vs$$



$$V_c = 0$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{100}$$

$$= \frac{314,2 \cdot 400 \cdot 755}{100}$$

$$= 948760,9814 \text{ N}$$

$$= 948.7609814 \text{ kN}$$

$$V_n = (V_c + V_s)$$

$$= (0 + 948.7609814)$$

$$= 948.7609814 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 948.7609814$$

$$= 711.570736 \text{ kN}$$

Kontrol

$$\phi V_n \geq V_u \text{ Tumpuan}$$

$$711.570736 \geq 490.496169 \text{ kN.m} \quad (\text{OK})$$

#### b. Daerah Lapangan

Gaya geser yang ditinjau pada daerah lapangan, adalah gaya geser setelah sendi plastis, atau gaya geser yang berjarak  $2h$  dari muka kolom/balok.

$$d = 800 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} / 2 = 755 \text{ mm}$$

Untuk faktor modifikasi  $\lambda$  didapatkan pada SNI 2847-2019 tabel 19.2.4.2 sebagai berikut :

**Tabel 4.67 – Faktor modifikasi  $\lambda$**

Kelas	Kategori Agregat	$\lambda$
Medan normal dengan sengkang dengan jarak sengkang $\leq 10d$	Medan A-1 (220-300 mm) Kelas A-2 (300-350 mm)	0,17
Medan normal dengan sengkang dengan jarak sengkang $> 10d$	Kelas Formisasi A-1 (220-300 mm) Kelas Formisasi A-2 (300-350 mm)	0,17
Medan normal dengan sengkang dengan jarak sengkang $\leq 10d$	Medan A-1 (220-300 mm) Kelas A-2 (300-350 mm)	0,17
Medan normal dengan sengkang dengan jarak sengkang $> 10d$	Kelas Formisasi A-1 (220-300 mm) Kelas Formisasi A-2 (300-350 mm)	0,17
Medan normal dengan sengkang dengan jarak sengkang $\leq 10d$	Medan A-1 (220-300 mm) Kelas A-2 (300-350 mm)	0,17
Medan normal dengan sengkang dengan jarak sengkang $> 10d$	Kelas Formisasi A-1 (220-300 mm) Kelas Formisasi A-2 (300-350 mm)	0,17

Nilai  $V_c$  didapatkan pada perhitungan yang berdasar pada SNI 2847-2019 pasal 22.5.5.1 sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 755$$

$$= 281200,8 \text{ N}$$

$$= 281.201 \text{ kN}$$

Tulangan geser pada lapangan yang terpasang adalah 4 kaki dengan  $\emptyset 10-150$ .

$$\begin{aligned} A_v &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 314.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{150} \\ &= \frac{314.2 \cdot 400 \cdot 755}{150} \\ &= 632507.3209 \text{ N} \\ &= 632.5073209 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= (V_c + V_s) \\ &= (281.201 + 632.5073209) \\ &= 913.7081 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.75 \cdot 913.7081 \\ &= 685.2810615 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi V_n &\geq V_u \text{ Lapangan} \\ 685.2810615 &\geq 74.441 \text{ kN.m} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### 6. Tulangan Puntir Momen Ultimate

$$T_u = 40.147 \text{ kN.m}$$

Untuk perhitungan momen nominal disini akan mengacu pada SNI 2847-2019 tabel 22.7.5.1 sebagai berikut :

$$T_n = 0.33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \cdot h \\ &= 400 \cdot 800 \\ &= 320000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2(b + h) \\ &= 2(400 + 800) \\ &= 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0.33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot \left( \frac{320000^2}{2400} \right) \\ &= 77898319.3 \text{ N.mm} \\ &= 77.8983193 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Untuk faktor reduksi kekuatan, didapatkan pada SNI 2847-2019 tabel 21.2.1 sebagai berikut :

**Tabel 4.68 – Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ )**

Gaya atau elemen struktur	$\phi$	Pengecualian
a) Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen plastik (pembesian) dimana standar belum sepenuhnya bekerja, $\phi$ harus sesuai dengan 21.2.3
b) Geser	0,75	Pertimbangan tambahan untuk struktur bahan geser berdasar pada 21.2.4
c) Torsi	0,75	–

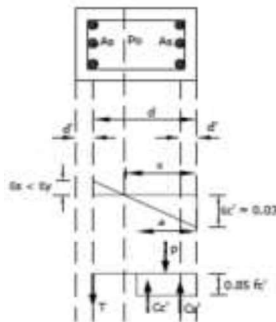
Pada tabel diatas faktor reduksi yang dipakai pada torsi sebesar 0.75

$$\begin{aligned}\phi T_n &= 0.75 \cdot 77.8983193 \\ &= 58.4237395 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}\phi T_n &> T_u \\ 58.4237395 &> 22.8965 \text{ kN.m (OK)}\end{aligned}$$

### 4.8.3 Kolom

**Gambar 4.18 – Diagram ekivalen kolom**

Dalam sub-bab ini akan dibahas 1 contoh perhitungan evaluasi kapasitas penampang kolom. Kapasitas tersebut kemudian dibandingkan dengan gaya aksial maupun momen yang terjadi pada kolom. Pada perhitungan ini akan ditinjau kolom K1 (lantai BM-L1).

#### 1. Data Eksisting

$$\begin{aligned}\text{Tipe Kolom} &= \text{K1 (Lantai BM-L1)} \\ f_c' &= 30 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$f_y$	=	400	MPa
panjang kolom	=	4000	mm
lebar kolom	=	700	mm
tinggi kolom	=	900	mm
tebal decking	=	40	mm
diameter lentur	=	25	mm
diameter sengkang	=	10	mm

## 2. Analisis Kapasitas Kombinasi Aksial dan Lentur Kolom

### a. Arah X

Berdasarkan data yang sudah diperoleh dari struktur eksisting, tulangan yang terpasang pada kolom K1 (lantai BM-L1) adalah 30 D25. Persebaran tulangan arah X adalah sebagai berikut :

Tulangan tarik 8 D25

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 8 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 3926.990817 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 8 D25

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 8 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 3926.990817 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ast} &= \text{As pasang} + \text{As' pasang} \\ &= 3926.990817 + 3926.990817 \\ &= 7853.981634 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Ag} = b \cdot h = 700 \cdot 900 = 630000 \text{ mm}^2$$

Digunakan 1 lapis tulangan, jadi nilai  $d$  :

$$\begin{aligned} d &= 900 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 25 \text{ mm} / 2 \\ &= 837.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'c' - 28)}{7} \\ &= 0.835714286 \end{aligned}$$

### Kondisi Aksial Tekan Murni

$$\begin{aligned} P_0 &= 0.85 \cdot f'c' \cdot (\text{Ag} - \text{Ast}) + \text{Ast} \cdot f_y \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot (630000 - 7853.981634) + 7853.981634 \cdot 400 \\ &= 19006316.12 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_0 &= 0.65 \cdot 19006316.12 \\ &= 12354105.48 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_{n \max} &= 0.8 \cdot 12354105.48 \\ &= 9883284.383 \text{ N} \\ &= 9883.284383 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$M_n = \phi M_n = 0$$

**Kondisi fs = 0 (εs = 0)**

$$\begin{aligned}c &= d \\ &= 837.5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.835714286 \cdot 837.5 \\ &= 699.9107143 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\epsilon_s = 0$$

$\epsilon_s < 0.002$ , maka  $\phi$  lentur = 0.65

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \cdot E_s \\ &= 0 \cdot 200000 \\ &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (837.5 - 62.5) \cdot 0.003 / 837.5 \\ &= 0.003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 / 200000 \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$\epsilon_s' > \epsilon_y$ , maka  $f_s' = f_y$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot 699.9107143 \cdot 700 \\ &= 12493406.25 \text{ N} \\ &= 12493.40625 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\ &= 3926.990817 (400 - 0.85 \cdot 30) \\ &= 1470658.061 \text{ N}\end{aligned}$$

$$= 1470.658061 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 3926.990817 \cdot 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c' + C_s' - T \\ &= 12493.40625 + 1470.658061 - 0 \\ &= 13964.06431 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0.65 \cdot 13964.06431 \\ &= 9076.641802 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) + C_s' \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) \\ &= 1819778.365 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.65 \cdot 1819778.365 \\ &= 1182855.937 \text{ kN.mm} \\ &= 1182.855937 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

**Kondisi fs = 0.5 fy (εs = 0.5 εy)**

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= 0.5 \cdot \varepsilon_y \\ &= 0.5 \cdot 0.002 \\ &= 0.001 \end{aligned}$$

εs < 0.002, maka φ lentur = 0.65

$$\begin{aligned} f_s &= \varepsilon_s \cdot E_s \\ &= 0.001 \cdot 200000 \\ &= 200 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{d}{\varepsilon_s + \varepsilon_{cu}} \cdot \varepsilon_{cu} \\ &= \frac{837.5}{0.001 + 0.003} \cdot 0.003 \\ &= 628.125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\alpha = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0.835714286 \cdot 628.125$$

$$= 524.9330357 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = (c - d') \cdot \varepsilon_{cu} / c$$

$$= (628.125 - 62.5) \cdot 0.003 / 628.125$$

$$= 0.003$$

$$\varepsilon_s' > \varepsilon_y, \text{ maka } f_s' = f_y$$

$$C_c' = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0.85 \cdot 30 \cdot 524.9330357 \cdot 700$$

$$= 9370054.688 \text{ N}$$

$$= 9370.054688 \text{ kN}$$

$$C_s' = A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c')$$

$$= 3926.990817 (400 - 0.85 \cdot 30)$$

$$= 1470658.061 \text{ N}$$

$$= 1470.658061 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 3926.990817 \cdot 200$$

$$= 785398.1634 \text{ N}$$

$$= 785.3981634 \text{ kN}$$

$$P_n = C_c' + C_s' - T_s$$

$$= 9370.054688 + 1470.658061 - 785.3981634$$

$$= 10055.31459 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \cdot 10055.31459$$

$$= 6535.95448 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c' \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) + C_s' \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + T_s \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$= 2631420.77 \text{ kN.mm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \cdot 2631420.77$$

$$= 1710423.501 \text{ kN.mm}$$

$$= 1710.423501 \text{ kN.m}$$

**Kondisi  $f_s = f_y$  ( $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ )**

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 / 200000$$

$$=0.002$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \epsilon_y \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$$\epsilon_s \leq 0.002, \text{ maka } \phi \text{ lentur} = 0.65$$

$$\begin{aligned}f_s &= f_y \\ &= 400 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{d}{\epsilon_s + \frac{\epsilon_{cu}}{837.5}} \cdot \epsilon_{cu} \\ &= \frac{837.5}{0.002 + 0.003} \cdot 0.003 \\ &= 502.5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.835714286 \cdot 502.5 \\ &= 419.9464286 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (502.5 - 62.5) \cdot 0.003 / 502.5 \\ &= 0.003\end{aligned}$$

$$\epsilon_s' > \epsilon_y, \text{ maka } f_s' = f_y$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot 419.9464286 \cdot 700 \\ &= 7496043.75 \text{ N} \\ &= 7496.04375 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\ &= 3926.990817 (400 - 0.85 \cdot 30) \\ &= 1470658.061 \text{ N} \\ &= 1470.658061 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 3926.990817 \cdot 400 \\ &= 1570796.327 \text{ N} \\ &= 1570.796327 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$P_n = C_c' + C_s' - T_s$$



$$\begin{aligned}
 &= 7496.04375 + 1470.658061 - 1570.796327 \\
 &= 7395.905484 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0.65 \cdot 7395.905484 \\
 &= 4807.338565 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Cc' \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{\infty}{2} \right) + Cs' \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + Ts \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 2977814.862 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.65 \cdot 2977814.862 \\
 &= 1935579.66 \text{ kN.mm} \\
 &= 1935.57966 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**Kondisi  $\epsilon_s = 0.005$**

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 400 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_s = 0.005$$

$\epsilon_s > 0.002$ , maka  $\phi$  lentur = 0.9

$$\begin{aligned}
 f_s &= f_y \\
 &= 400 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{d}{\epsilon_s + \epsilon_{cu}} \cdot \epsilon_{cu} \\
 &= \frac{837.5}{0.005 + 0.003} \cdot 0.003 \\
 &= 314.0625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \beta_1 \cdot c \\
 &= 0.835714286 \cdot 314.0625 \\
 &= 262.4665179 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\
 &= (314.0625 - 62.5) \cdot 0.003 / 314.0625 \\
 &= 0.0024
 \end{aligned}$$

$\epsilon_s' > \epsilon_y$ , maka  $f_s' = f_y$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0.85 \cdot fc' \cdot \alpha \cdot b \\
 &= 0.85 \cdot 30 \cdot 262.4665179 \cdot 700 \\
 &= 4685027.344 \text{ N} \\
 &= 4685.027344 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' (fs' - 0.85 \cdot fc') \\
 &= 3926.990817 (400 - 0.85 \cdot 30) \\
 &= 1470658.061 \text{ N} \\
 &= 1470.658061 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ts &= As \cdot fs \\
 &= 3926.990817 \cdot 400 \\
 &= 1570796.327 \text{ N} \\
 &= 1570.796327 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= Cc' + Cs' - Ts \\
 &= 4685.027344 + 1470.658061 - 1570.796327 \\
 &= 4584.889078 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0.65 \cdot 4584.889078 \\
 &= 2980.177901 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= Cc' \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) + Cs' \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + Ts \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) \\
 &= 2671994.473 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0.9 \cdot 2671994.473 \\
 &= 2404795.026 \text{ kN.mm} \\
 &= 2404.795026 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

### **Kondisi Lentur Murni**

$$\alpha = \beta_1 \cdot c$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0.85 \cdot fc' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b \\
 &= 0.85 \cdot 30 \cdot 0.835714286 \cdot c \cdot 700 \\
 &= 14917.5 \cdot c
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\
 &= (\epsilon_{cu} - d' \cdot \epsilon_{cu} / c) \\
 &= (0.003 - 62.5 \cdot 0.003 / c)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs' &= Es \cdot \varepsilon s' \\
 &= 200000 \cdot (0.003 - 62.5 \cdot 0.003 / c) \\
 &= 600 - 37500 / c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' (fs' - 0.85 \cdot fc') \\
 &= 3926.990817 (fs' - 0.85 \cdot 30) \\
 &= 3926.990817 \cdot fs' - 100138.2658 \\
 &= 3926.990817 \cdot (600 - 37500 / c) - 100138.2658 \\
 &= 2356194.49 - 147262155.6 / c - 100138.2658 \\
 &= 2256056.224 - 147262155.6 / c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ts &= As \cdot fs \\
 &= 3926.990817 \cdot 400 \\
 &= 1570796.327
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pn &= Cc' + Cs' - Ts \\
 0 &= 14917.5 \cdot c + 2256056.224 - 147262155.6 / c - 1570796.327 \\
 &= 14917.5 \cdot c - 147262155.6 / c + 685259.8976 \\
 &= 14917.5 \cdot c^2 + 685259.8976 \cdot c - 147262155.6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x1, x2 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \\
 &= \frac{-685259.8976 \pm \sqrt{685259.8976^2 - 4 \cdot 14917.5 \cdot (-147262155.6)}}{2 \cdot 14917.5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x1 &= \frac{-685259.8976 + \sqrt{685259.8976^2 - 4 \cdot 14917.5 \cdot (-147262155.6)}}{2 \cdot 14917.5} \\
 &= 79.00871241 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x2 &= \frac{-685259.8976 - \sqrt{685259.8976^2 - 4 \cdot 14917.5 \cdot (-147262155.6)}}{2 \cdot 14917.5} \\
 &= -124.9453571 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai c yang dipakai = 79.00871241 mm

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \beta 1 \cdot c \\
 &= 0.835714286 \cdot 79.00871241 \\
 &= 66.02870965 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon y &= fy / Es \\
 &= 400 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= (d - c) \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (837.5 - 79.00871241) \cdot 0.003 / 79.00871241 \\ &= 0.029\end{aligned}$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y, \text{ maka } \phi \text{ lentur} = 0.9$$

$$\begin{aligned}f_s &= f_y \\ &= 400 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (79.00871241 - 62.5) \cdot 0.003 / 79.00871241 \\ &= 0.00063\end{aligned}$$

$$\epsilon_s' < \epsilon_y$$

$$\begin{aligned}f_s' &= \epsilon_s' \cdot E_s \\ &= 0.00063 \cdot 200000 \\ &= 125.3687997 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot 66.02870965 \cdot 700 \\ &= 1178612.467 \text{ N} \\ &= 1178.612467 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\ &= 3926.990817 (125.3687997 - 0.85 \cdot 30) \\ &= 392183.8595 \text{ N} \\ &= 392.1838595 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 3926.990817 \cdot 400 \\ &= 1570796.327 \text{ N} \\ &= 1570.796327 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= C_c' + C_s' - T_s \\ &= 1178.612467 + 392.1838595 - 1570.796327 \\ &= 0 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0.65 \cdot 0 \\ &= 0 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$M_n = C_c' \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) + C_s' \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + T_s \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$= 1252119.302 \text{ kN.mm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.9 \cdot 1252119.302 \\ &= 1126907.372 \text{ kN.mm} \\ &= 1126.907372 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

**Kondisi Aksial Tarik Murni**

$$\begin{aligned}P_{nt} &= (A_s + A_s') \cdot f_y \\ &= (3926.990817 + 3926.990817) \cdot 400 \\ &= 3141592.654 \text{ N} \\ &= 3141.592654 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_{nt} &= 0.9 \cdot 3141.592654 \\ &= 2827.433388 \text{ kN}\end{aligned}$$

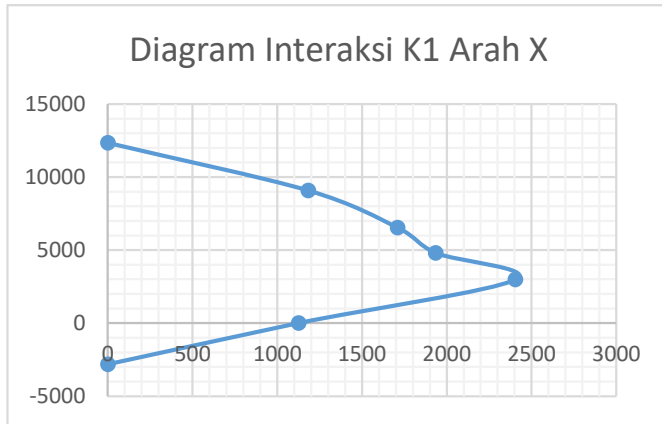
$$M_n = \phi M_n = 0$$

Hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.69 - Rekapitulasi perhitungan diagram interaksi kolom K1 arah X**

Kondisi	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kN.m)
<b>Aksial Tekan Murni</b>	12354.105	0.000
<b>fs = 0 (εs = 0)</b>	9076.642	1182.856
<b>fs = 0.5 fy (εs = 0.5 εy)</b>	6535.954	1710.424
<b>fs = fy (εs = εy)</b>	4807.339	1935.580
<b>Es = 0.005</b>	2980.178	2404.795
<b>Lentur Murni</b>	0.000	1126.907
<b>Aksial Tarik Murni</b>	-2827.433	0.000

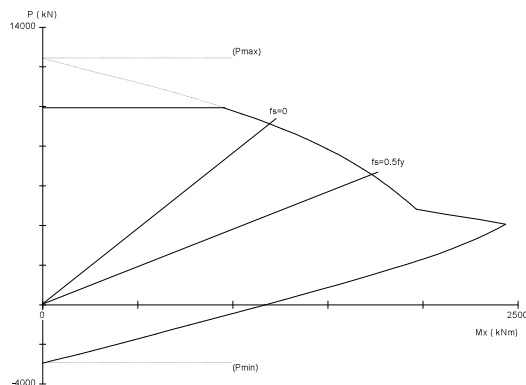
Kemudian digambarkan pada diagram interaksi, diagram interaksi diperoleh sebagai berikut :



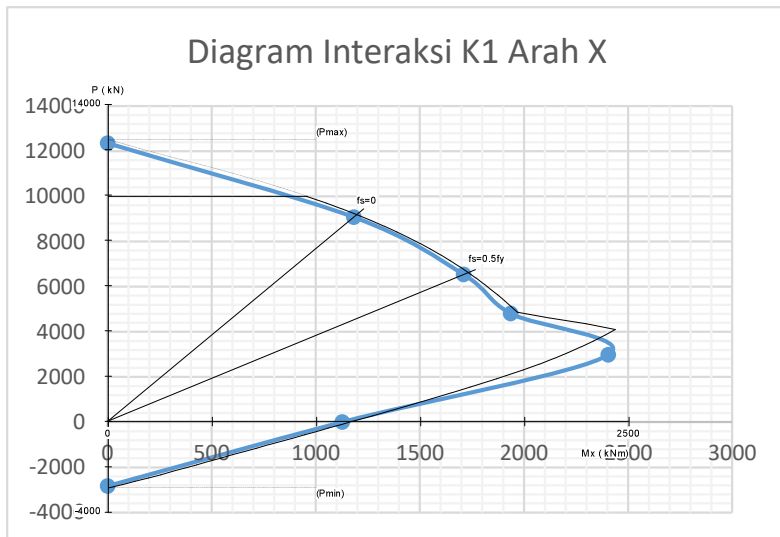
**Gambar 4.19 – Diagram interaksi kolom K1 arah X**

#### **Perbandingan dengan program bantu SPColumn**

Setelah dilakukan perhitungan manual pada kapasitas aksial lentur kolom, selanjutnya akan dibandingkan dengan analisa melalui program bantu SPColumn. Hal ini dilakukan sebagai kontrol perhitungan dan perbandingan analisa apakah telah sesuai atau belum sesuai. Berikut hasil dari analisa dengan program bantu SPColumn :



**Gambar 4.20 – Diagram interaksi kolom K1 dengan SPColumn arah X**



**Gambar 4.21 – Perbandingan diagram interaksi kolom k1 arah X**

Terdapat sedikit selisih antara perhitungan manual dengan analisa melalui SPColumn hal ini dikarenakan regangan ( $\epsilon_s$ ) yang didapatkan berbeda, terutama pada kondisi lentur murni, dimana nilai  $c$  harus diiterasi hingga didapatkan nilai  $P_n = 0$ .

b. Arah Y

Berdasarkan data yang sudah diperoleh dari struktur eksisting, tulangan yang terpasang pada kolom K1 (lantai BM-L1) adalah 30 D25. Persebaran tulangan arah Y adalah sebagai berikut :

Tulangan tarik 9 D25

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 9 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 4417.864669 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 9 D25

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 9 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 4417.864669 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ast} &= \text{As pasang} + \text{As}' \text{ pasang} \\ &= 4417.864669 + 4417.864669 \\ &= 8835.729338 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Ag} = b \cdot h = 900 \cdot 700 = 630000 \text{ mm}^2$$

Digunakan 1 lapis tulangan, jadi nilai  $d$  :

$$\begin{aligned} d &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 25 \text{ mm} / 2 \\ &= 637.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f_c' - 28)}{7} \\ &= 0.835714286 \end{aligned}$$

### **Kondisi Aksial Tekan Murni**

$$\begin{aligned} P_0 &= 0.85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot (630000 - 8835.729338) + 8835.729338 \cdot 400 \\ &= 19373980.64 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_0 &= 0.65 \cdot 19373980.64 \\ &= 12593087.41 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_{n \max} &= 0.8 \cdot 12593087.41 \\ &= 10074469.93 \text{ N} \\ &= 10074.46993 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_n = \phi M_n = 0$$

### **Kondisi $f_s = 0$ ( $\epsilon_s = 0$ )**

$$\begin{aligned} c &= d \\ &= 637.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.835714286 \cdot 637.5 \\ &= 532.7678571 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\epsilon_s = 0$$

$$\epsilon_s < 0.002, \text{ maka } \phi \text{ lentur} = 0.65$$

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \cdot E_s \\ &= 0 \cdot 200000 \\ &= 0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (637.5 - 62.5) \cdot 0.003 / 637.5 \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$



$$= 400 / 200000$$

$$= 0.002$$

$\epsilon_s' > \epsilon_y$ , maka  $f_s' = f_y$

$$C_c' = 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b$$

$$= 0.85 \cdot 30 \cdot 532.7678571 \cdot 900$$

$$= 12227022.32 \text{ N}$$

$$= 12227.02232 \text{ kN}$$

$$C_s' = A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c')$$

$$= 4417.864669 (400 - 0.85 \cdot 30)$$

$$= 1654490.319 \text{ N}$$

$$= 1654.490319 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 4417.864669 \cdot 0$$

$$= 0$$

$$P_n = C_c' + C_s' - T$$

$$= 12227.02232 + 1654.490319 - 0$$

$$= 13881.51264 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \cdot 13881.51264$$

$$= 9022.983216 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c' \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) + C_s' \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + T_s \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$= 1498041.538 \text{ kN.mm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \cdot 1498041.538$$

$$= 973726.9999 \text{ kN.mm}$$

$$= 973.7269999 \text{ kN.m}$$

**Kondisi  $f_s = 0.5 f_y$  ( $\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y$ )**

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 / 200000$$

$$= 0.002$$

$$\epsilon_s = 0.5 \cdot \epsilon_y$$

$$= 0.5 \cdot 0.002$$

$$= 0.001$$

$\epsilon_s < 0.002$ , maka  $\phi$  lentur = 0.65

$$\begin{aligned}
 f_s &= \varepsilon_s \cdot E_s \\
 &= 0.001 \cdot 200000 \\
 &= 200 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{d}{\varepsilon_s + \varepsilon_{cu}} \cdot \varepsilon_{cu} \\
 &= \frac{637.5}{0.001 + 0.003} \cdot 0.003 \\
 &= 478.125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \beta_1 \cdot c \\
 &= 0.835714286 \cdot 478.125 \\
 &= 399.5758929 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s' &= (c - d') \cdot \varepsilon_{cu} / c \\
 &= (478.125 - 62.5) \cdot 0.003 / 478.125 \\
 &= 0.003
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_s' > \varepsilon_y, \text{ maka } f_s' = f_y$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\
 &= 0.85 \cdot 30 \cdot 399.5758929 \cdot 900 \\
 &= 9170266.741 \text{ N} \\
 &= 9170.266741 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\
 &= 4417.864669 (400 - 0.85 \cdot 30) \\
 &= 1654490.319 \text{ N} \\
 &= 1654.490319 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \cdot f_s \\
 &= 4417.864669 \cdot 200 \\
 &= 883572.9338 \text{ N} \\
 &= 883.5729338 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_c' + C_s' - T_s \\
 &= 9170.266741 + 1654.490319 - 883.5729338 \\
 &= 9941.184126 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0.65 \cdot 9941.184126 \\
 &= 6461.769682 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Cc' \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) + Cs' \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + Ts \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) \\ &= 2107177.784 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.65 \cdot 2107177.784 \\ &= 1369665.56 \text{ kN.mm} \\ &= 1369.66556 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

**Kondisi fs = fy ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ )**

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_y \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$\epsilon_s \leq 0.002$ , maka  $\phi$  lentur = 0.65

$$\begin{aligned} f_s &= f_y \\ &= 400 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{d}{\epsilon_s + \epsilon_{cu}} \cdot \epsilon_{cu} \\ &= \frac{637.5}{0.002 + 0.003} \cdot 0.003 \\ &= 382.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.835714286 \cdot 382.5 \\ &= 319.6607143 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (382.5 - 62.5) \cdot 0.003 / 382.5 \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

$\epsilon_s' > \epsilon_y$ , maka  $f_s' = f_y$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot 319.6607143 \cdot 900 \\ &= 7336213.393 \text{ N} \\ &= 7336.213393 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\
 &= 4417.864669 (400 - 0.85 \cdot 30) \\
 &= 1654490.319 \text{ N} \\
 &= 1654.490319 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \cdot f_s \\
 &= 4417.864669 \cdot 400 \\
 &= 1767145.868 \text{ N} \\
 &= 1767.145868 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_c' + C_s' - T_s \\
 &= 7336.213393 + 1654.490319 - 1767.145868 \\
 &= 7223.557844 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0.65 \cdot 7223.557844 \\
 &= 4695.312598 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c' \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) + C_s' \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 2378845.484 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.65 \cdot 2378845.484 \\
 &= 1546249.565 \text{ kN.mm} \\
 &= 1546.249565 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**Kondisi  $\epsilon_s = 0.005$**

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 400 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_s = 0.005$$

$\epsilon_s > 0.002$ , maka  $\phi$  lentur = 0.9

$$\begin{aligned}
 f_s &= f_y \\
 &= 400 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{d}{\epsilon_s + \epsilon_{cu}} \cdot \epsilon_{cu} \\
 &= \frac{637.5}{0.005 + 0.003} \cdot 0.003 \\
 &= 239.0625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.835714286 \cdot 239.0625 \\ &= 199.7879464 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (239.0625 - 62.5) \cdot 0.003 / 239.0625 \\ &= 0.0022\end{aligned}$$

$$\epsilon_s' > \epsilon_y, \text{ maka } f_s' = f_y$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot 199.7879464 \cdot 900 \\ &= 4585133.371 \text{ N} \\ &= 4585.133371 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\ &= 4417.864669 (400 - 0.85 \cdot 30) \\ &= 1654490.319 \text{ N} \\ &= 1654.490319 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 4417.864669 \cdot 400 \\ &= 1767145.868 \text{ N} \\ &= 1767.145868 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= C_c' + C_s' - T_s \\ &= 4585.133371 + 1654.490319 - 1767.145868 \\ &= 4472.477821 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0.65 \cdot 4472.477821 \\ &= 2907.110584 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= C_c' \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) + C_s' \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + T_s \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) \\ &= 2130489.893 \text{ kN.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.9 \cdot 2130489.893 \\ &= 1917440.904 \text{ kN.mm} \\ &= 1917.440904 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

### Kondisi Lentur Murni

$$\alpha = \beta_1 \cdot c$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0.85 \cdot fc' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b \\
 &= 0.85 \cdot 30 \cdot 0.835714286 \cdot c \cdot 900 \\
 &= 19179.64286 \cdot c
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.003$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s' &= (c - d') \cdot \varepsilon_{cu} / c \\
 &= (\varepsilon_{cu} - d' \cdot \varepsilon_{cu} / c) \\
 &= (0.003 - 62.5 \cdot 0.003 / c)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs' &= E_s \cdot \varepsilon_s' \\
 &= 200000 \cdot (0.003 - 62.5 \cdot 0.003 / c) \\
 &= 600 - 37500 / c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' (fs' - 0.85 \cdot fc') \\
 &= 4417.864669 (fs' - 0.85 \cdot 30) \\
 &= 4417.864669 \cdot fs' - 112655.5491 \\
 &= 4417.864669 \cdot (600 - 37500 / c) - 112655.5491 \\
 &= 2650718.801 - 165669925.1 / c - 112655.5491 \\
 &= 2538063.252 - 165669925.1 / c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ts &= As \cdot fs \\
 &= 4417.864669 \cdot 400 \\
 &= 1767145.868
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= Cc' + Cs' - Ts \\
 0 &= 19179.64286 \cdot c + 2538063.252 - 165669925.1 / c - 1767145.868 \\
 &= 19179.64286 \cdot c - 165669925.1 / c + 770917.3848 \\
 &= 19179.64286 \cdot c^2 + 770917.3848 \cdot c - 165669925.1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \\
 &= \frac{-770917.3848 \pm \sqrt{770917.3848^2 - 4 \cdot 19179.64286 \cdot (-165669925.1)}}{2 \cdot 19179.64286}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{-770917.3848 + \sqrt{770917.3848^2 - 4 \cdot 19179.64286 \cdot (-165669925.1)}}{2 \cdot 19179.64286} \\
 &= 74.99057763 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \frac{-770917.3848 - \sqrt{770917.3848^2 - 4 \cdot 19179.64286 \cdot (-165669925.1)}}{2 \cdot 19179.64286} \\
 &= -115.1851418 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai  $c$  yang dipakai = 74.99057763 mm

$$\begin{aligned}\alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0.835714286 \cdot 74.99057763 \\ &= 62.67069702 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 / 200000 \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= (d - c) \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (637.5 - 74.99057763) \cdot 0.003 / 74.99057763 \\ &= 0.023\end{aligned}$$

$\epsilon_s > \epsilon_y$ , maka  $\phi$  lentur = 0.9

$$\begin{aligned}f_s &= f_y \\ &= 400 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= (c - d') \cdot \epsilon_{cu} / c \\ &= (74.99057763 - 62.5) \cdot 0.003 / 74.99057763 \\ &= 0.00050\end{aligned}$$

$\epsilon_s' < \epsilon_y$

$$\begin{aligned}f_s' &= \epsilon_s' \cdot E_s \\ &= 0.00050 \cdot 200000 \\ &= 99.93717628 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0.85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0.85 \cdot 30 \cdot 62.67069702 \cdot 900 \\ &= 1438292.497 \text{ N} \\ &= 1438.292497 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c') \\ &= 4417.864669 (99.93717628 - 0.85 \cdot 30) \\ &= 328853.3711 \text{ N} \\ &= 328.8533711 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 4417.864669 \cdot 400 \\ &= 1767145.868 \text{ N}\end{aligned}$$

$$= 1767.145868 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_n &= Cc' + Cs' - Ts \\ &= 1438.292497 + 328.8533711 - 1767.145868 \\ &= 0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0.65 \cdot 0 \\ &= 0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Cc' \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) + Cs' \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + Ts \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) \\ &= 1060932.758 \text{ kN.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \cdot 1060932.758 \\ &= 954839.4825 \text{ kN.mm} \\ &= 954.8394825 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

#### Kondisi Aksial Tarik Murni

$$\begin{aligned} P_{nt} &= (A_s + A_s') \cdot f_y \\ &= (4417.864669 + 4417.864669) \cdot 400 \\ &= 3534291.735 \text{ N} \\ &= 3534.291735 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_{nt} &= 0.9 \cdot 3534.291735 \\ &= 3180.862562 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_n = \phi M_n = 0$$

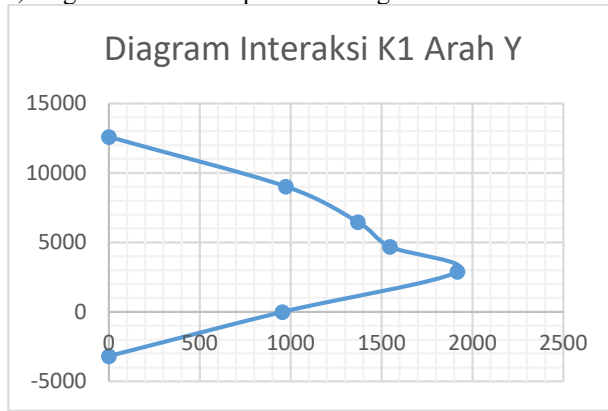
Hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan pada tabel sebagai berikut :

**Tabel 4.70 – Rekapitulasi perhitungan diagram interaksi kolom K1 arah Y**

Kondisi	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kN.m)
<b>Aksial Tekan Murni</b>	12593.087	0.000
<b>fs = 0 (εs = 0)</b>	9022.983	973.727
<b>fs = 0.5 fy (εs = 0.5 εy)</b>	6461.770	1369.666
<b>fs = fy (εs = εy)</b>	4695.313	1546.250
<b>Es = 0.005</b>	2907.111	1917.441
<b>Lentur Murni</b>	0.000	954.839
<b>Aksial Tarik Murni</b>	-3180.863	0.000



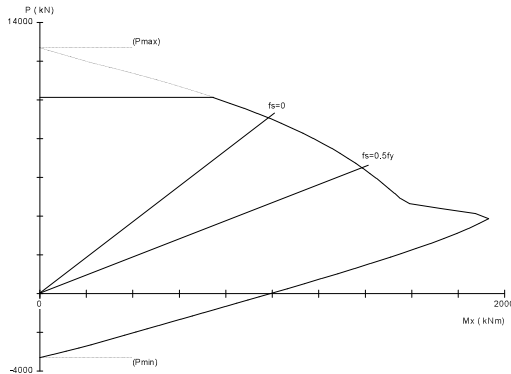
Berdasarkan tabel diatas kemudian digambarkan pada diagram interaksi, diagram interaksi diperoleh sebagai berikut :



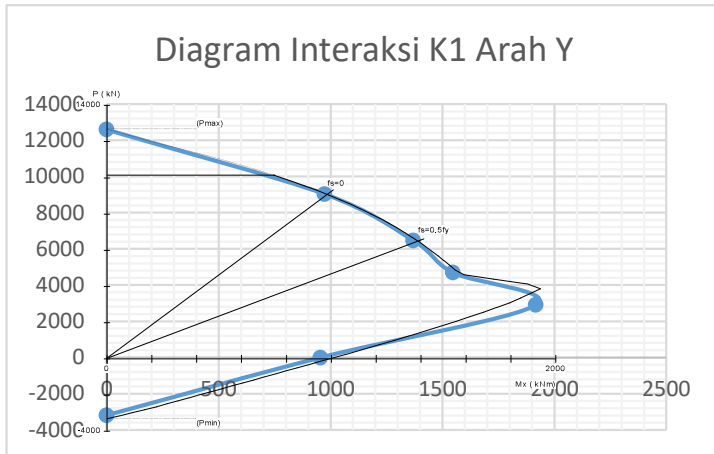
**Gambar 4.22 – Diagram interaksi kolom K1 arah Y**

### Perbandingan dengan program bantu SPColumn

Hasil perhitungan manual kapasitas aksial lentur kolom akan dibandingkan dengan analisa melalui program bantu spColumn. Hal ini dilakukan sebagai kontrol perhitungan dan analisa apakah telah sesuai atau belum sesuai. Berikut hasil analisa program bantu SPColumn :



**Gambar 4.23 – Diagram interaksi kolom K1 dengan SPColumn arah Y**



**Gambar 4.24 – Perbandingan diagram interaksi kolom K1 arah Y**

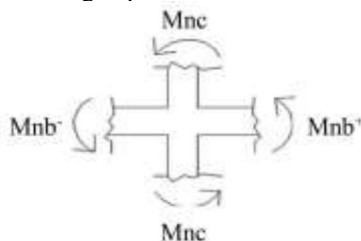
Terdapat sedikit selisih antara perhitungan manual dengan analisa melalui spColumn hal ini dikarenakan regangan ( $\epsilon_s$ ) yang didapatkan berbeda, terutama pada kondisi lentur murni, dimana nilai  $c$  harus diiterasi hingga didapatkan nilai  $P_n = 0$ .

### 3. Cek Syarat "Strong Column Weak Beam"

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2, kekuatan kolom harus memenuhi nilai  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$ , dimana :

$\sum M_{nc}$  = Jumlah  $M_n$  dua kolom yang bertemu di joint

$\sum M_{nb}$  = Jumlah  $M_n$  dua balok yang bertemu di joint (termasuk sumbangan tulangan pelat di selebar efektif pelat lantai).



**Gambar 4.25 – Skema hubungan balok kolom**

#### a. Arah X

Pada arah X terdapat 2 balok yang berbeda pada 1 joint, yaitu balok B2 As 3 titik D-E dengan tulangan lentur atas (7 D25) dan balok

B2 As 3 titik C-D dengan tulangan lentur bawah (5 D22). Pada balok B2 menggunakan sengkang  $\emptyset 10 - 150$  dengan selimut 40 mm.

### Menentukan Lebar Efektif (Be)

Lebar balok kanan (bka) = 400 mm

Lebar balok kiri (bki) = 400 mm

Tinggi balok (hw) = 600 mm

Tebal pelat (hf) = 120 mm

Balok T terjadi pada balok sebelah kanan, dimana tulangan atas sebagai tulangan tarik, maka :

$$Be = bka + 8 \cdot hf = 400 + 8 \cdot 120 = 1360 \text{ mm}$$

$$Be = bka + 2 \cdot hw = 400 + 2 \cdot 600 = 1600 \text{ mm}$$

Dipilih nilai Be yang terkecil yaitu = 1360 mm

### Menentukan Tinggi Manfaat (d)

As tulangan lentur atas balok kanan

$$= 7 \text{ D25} = 3436.116965 \text{ mm}^2$$

As tulangan lentur bawah balok kiri

$$= 5 \text{ D25} = 2454.369261 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan atas (As Tarik)

$$= \text{As tarik balok (7 D25)} + \text{As pelat } (\emptyset 12-200)$$

$$= 3436.116965 + 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot (1360/200)$$

$$= 4974.240728 \text{ mm}^2$$

$$d' = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 537.5 \text{ mm}$$

$$d'' = 40 + 10 + 25/2 = 62.5 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan balok dan pelat (atas)

$$s1 = d'' - \text{selimut pelat} - \text{diameter tulangan pelat}/2$$

$$= 62.5 - 20 - 12/2$$

$$= 36.5 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan balok dan pelat (bawah)

$$s2 = \text{tebal pelat} - d'' - \text{diameter tulangan pelat}/2$$

$$= 120 - 62.5 - 12/2$$

$$= 51.5 \text{ mm}$$

$$d_{\text{atas}} = d' \text{ balok} - ((\text{As pelat} / \text{As balok}) \cdot s1) + ((\text{As pelat} / \text{As atas}) \cdot s2)$$

$$= 537.5 - ((1538.12 / 3436.12) \cdot 36.5) + ((1538.12 / 4974.24) \cdot 51.5)$$

$$= 537.0860652 \text{ mm}$$

$$d_{\text{bawah}} = d' \text{ balok} = 537.5 \text{ mm}$$

**Menentukan  $\Sigma Mnb$** 

Besar  $Mnb^+$  adalah :

$$\alpha = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{4974.240728 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 1360} = 57.37301878 \text{ mm}$$

$$Mnb^+ = As \cdot Fy \cdot (d' - \alpha / 2) = 4974.240728 \cdot 400 \cdot (537.0860652 - 57.37301878 / 2) = 1011560710.564 \text{ N.mm} = 1011.561 \text{ kN.m}$$

Besar  $Mnb^-$  adalah :

$$\alpha = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{2454.369261 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 400} = 96.24977493 \text{ mm}$$

$$Mnb^- = As \cdot Fy \cdot (d' - \alpha / 2) = 2454.369261 \cdot 400 \cdot (537.5 - 96.24977493 / 2) = 480442893.249 \text{ N.mm} = 480.443 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma Mnb = Mnb^+ + Mnb^- = 1011.561 + 480.443 = 1492.004 \text{ kN.m}$$

$$(1.2) \Sigma Mnb = 1.2 \cdot 1492.004 = 1790.404 \text{ kN.m}$$

**Menentukan  $\Sigma Mnc$** 

Nilai  $MnC$  dapat diketahui melalui diagram interaksi P-M antara kolom yang ditinjau K1 titik D - 3 lantai (BM – L1) dengan kolom di atasnya (L1 – L2). Nilai  $MnC$  akan didapatkan melalui program bantu spColumn sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pu kolom atas} &= 4872.040 \text{ kN} \\ \text{Pu kolom yang ditinjau} &= 5405.098 \text{ kN} \\ \text{Mux kolom atas} &= 282.5607 \text{ kN.m} \\ \text{Mux kolom yang ditinjau} &= 475.5809 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

No	Pu	Mux	$\phi Mnx$	$\phi Mn/Mu$
	kN	kNm	kNm	
1	5405.10	475.58	1893.49	3.981
2	4872.04	282.56	1958.39	6.931

Dari gambar diatas, didapatkan nilai Mnc kolom yang ditinjau dengan kolom diatasnya, yaitu :

$$\text{Mnc kolom atas} = 1958.39 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mnc kolom yang ditinjau} = 1893.49 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Mnc} &= \text{Mnc kolom atas} + \text{Mnc kolom yang ditinjau} \\ &= 1958.39 + 1893.49 \\ &= 3851.88 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

### Kontrol

$$\Sigma \text{Mnc} \geq (1.2) \Sigma \text{Mnb}$$

$$3851.88 \geq 1790.404 \text{ (OK)}$$

#### b. Arah Y

Pada arah Y terdapat 2 balok yang berbeda pada 1 joint, yaitu balok B1 As D titik 2-3 dengan tulangan lentur atas (11 D25) dan balok B1 As D titik 3-4 dengan tulangan lentur bawah (7 D22). Pada balok B1 menggunakan sengkang  $\emptyset 10 - 100$  dengan selimut 40 mm.

### Menentukan Lebar Efektif (Be)

$$\text{Lebar balok kanan (bka)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok kiri (bki)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (hf)} = 120 \text{ mm}$$

Balok T terjadi pada balok sebelah kanan, dimana tulangan atas sebagai tulangan tarik, maka :

$$\text{Be} = \text{bka} + 8 \cdot \text{hf} = 400 + 8 \cdot 120 = 1360 \text{ mm}$$

$$\text{Be} = \text{bka} + 2 \cdot \text{hw} = 400 + 2 \cdot 800 = 2000 \text{ mm}$$

Dipilih nilai Be yang terkecil yaitu = 1360 mm

### Menentukan Tinggi Manfaat (d)

As tulangan lentur atas balok kanan

$$= 9 \text{ D25} = 5399.612373 \text{ mm}^2$$

As tulangan lentur bawah balok kiri

$$= 7 \text{ D25} = 3436.116965 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan atas (As Tarik)

$$= \text{As tarik balok (11 D25)} + \text{As pelat } (\emptyset 12-200)$$

$$= 5399.612373 + 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot (1360/200)$$

$$= 6937.736137 \text{ mm}^2$$

$$d' = 800 - 40 - 10 - 25/2 = 737.5 \text{ mm}$$

$$d'' = 40 + 10 + 25/2 = 62.5 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan balok dan pelat (atas)

$$\begin{aligned} s1 &= d'' - \text{selimut pelat} - \text{diameter tulangan pelat}/2 \\ &= 62.5 - 20 - 12/2 \\ &= 36.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak antar As tulangan balok dan pelat (bawah)

$$\begin{aligned} s2 &= \text{tebal pelat} - d'' - \text{diameter tulangan pelat}/2 \\ &= 120 - 62.5 - 12/2 \\ &= 51.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{atas}} &= d' \text{ balok} - ((\text{As pelat} / \text{As balok}) \cdot s1) + (\text{As pelat} / \text{As atas}) \cdot s2 \\ &= 737.5 - ((1538.12 / 5399.61) \cdot 36.5) + ((1538.12 / 6937.74) \cdot 51.5) \\ &= 738.5204317 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_{\text{bawah}} = d' \text{ balok} = 737.5 \text{ mm}$$

### Menentukan $\Sigma Mnb$

Besar  $Mnb^+$  adalah :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc' \cdot b} \\ &= \frac{6937.736137 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 1360} \\ &= 80.02002464 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mnb^+ &= As \cdot Fy \cdot (d' - \alpha / 2) \\ &= 6937.736137 \cdot 400 \cdot (738.5204317 - 80.02002464 / 2) \\ &= 1938432391.317 \text{ N.mm} \\ &= 1938.432 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Besar  $Mnb^-$  adalah :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc' \cdot b} \\ &= \frac{3436.116965 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 400} \\ &= 134.7496849 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mnb^- &= As \cdot Fy \cdot (d' - \alpha / 2) \\ &= 3436.116965 \cdot 400 \cdot (737.5 - 134.7496849 / 2) \\ &= 921051368.978 \text{ N.mm} \\ &= 921.051 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Mnb &= Mnb^+ + Mnb^- \\ &= 1938.432 + 921.051 \\ &= 2859.484 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1.2) \Sigma Mnb &= 1.2 \cdot 2859.484 \\ &= 3431.381 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

### Menentukan $\Sigma M_{nc}$

Nilai  $M_{nC}$  dapat diketahui melalui diagram interaksi P-M antara kolom yang ditinjau K1 titik D - 3 lantai (BM - L1) dengan kolom di atasnya (L1 - L2). Nilai  $M_{nC}$  akan didapatkan melalui program bantu spColumn sebagai berikut :

Pu kolom atas = 4872.040 kN  
 Pu kolom yang ditinjau = 5405.098 kN  
 Muy kolom atas = 298.6784 kN.m  
 Muy kolom yang ditinjau = 271.2283 kN.m

No	Pu	Mux	$\phi M_{ux}$	$\phi M_{u/Mu}$
	kN	kNm	kNm	
1	4872.04	298.68	1797.22	6.017
2	5405.10	271.23	1752.55	6.462

Dari gambar diatas, didapatkan nilai  $M_{nc}$  kolom yang ditinjau dengan kolom di atasnya, yaitu :

$M_{nc}$  kolom atas = 1797.22 kN.m  
 $M_{nc}$  kolom yang ditinjau = 1752.55 kN.m  
 $\Sigma M_{nc}$  =  $M_{nc}$  kolom atas +  $M_{nc}$  kolom yang ditinjau  
 = 1797.22 + 1752.55  
 = 3549.77 kN.m

### Kontrol

$\Sigma M_{nc}$   $\geq (1.2) \Sigma M_{nb}$   
 3549.77  $\geq$  3431.381 (OK)

#### 4. Kontrol tulangan *confinement*

##### a. Luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.4, total luas penampang sengkang tidak kurang dari salah satu yang terbesar dari :

$$A_{sh} = 0,3 \left( \frac{sbc \cdot f_{cr}}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh} = \frac{0,09 \cdot sbc \cdot f_{cr}}{f_{yt}}$$

$$\begin{aligned} B_c &= bw - 2 \text{ (decking + 1.2 db)} \\ &= 400 - 2 (40 + 1.2 \cdot 25) \\ &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= (bw - 2(\text{decking})) \cdot (hw - 2(\text{decking})) \\ &= (400 - 2(40)) \cdot (800 - 2(40)) \\ &= 230400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} Ash &= 0,3 \left( \frac{sb.c. f'c'}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ \frac{Ash}{s} &= 0,3 \left( \frac{bc. f'c'}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 2.275 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ Ash &= \frac{0,09. sb.c. f'c'}{f_{yt}} \\ \frac{Ash}{s} &= \frac{0,09. bc. f'c'}{f_{yt}} \\ &= 1.755 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Jadi diambil nilai  $\frac{Ash}{s}$  yang terbesar 2.275 mm<sup>2</sup>/mm

Digunakan sengkang 4 Ø10 – 100

$$\begin{aligned} As &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 314.1592654 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ash &= \frac{Ash}{s} \cdot s \\ &= 2.275 \cdot 100 \\ &= 227.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} As &> Ash \\ 314.1592654 &> 227.5 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka, tulangan *confinement* yang terpasang Ø10-100 mm mencukupi untuk menahan gaya geser pada bentang kolom sepanjang ( $l_0$ ).

b. Daerah pemasangan tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.1, tulangan *confinement* harus dipasang sepanjang panjang  $l_0$  dari masing-masing muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara :

- Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi.  
Tinggi elemen kolom adalah 900 mm
- Seperenam tinggi bersih kolom  
Tinggi bersih kolom adalah 4000 mm – 800 mm = 3200 mm  
 $1/6 \cdot 3200 = 533.333 \text{ mm}$



- 450 mm

Sehingga diambil nilai  $l_0$  terbesar yaitu 900 mm.

- c. Spasi maksimum tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari :

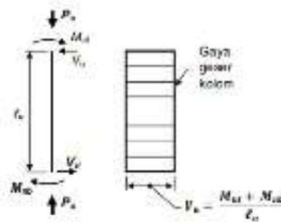
- Seperempat dimensi terkecil penampang kolom  
Dimensi penampang kolom adalah 700 x 900, maka  $\frac{1}{4} \times 700 = 175$  mm
- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil  
Tulangan longitudinal yang dipakai adalah 25 mm, maka  $6 \times 25 = 150$  mm
- $S_0$ , yang dihitung dengan

$$\begin{aligned} S_0 &= 100 + \left( \frac{350 - hx}{3} \right) \\ &= 100 + \left( \frac{350 - \left( \frac{900 - 2 \cdot 40 - 10}{3} \right)}{3} \right) \\ &= 126.6666667 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai  $S_0$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Maka spasi maksimum tulangan *confinement* adalah 126.6666667, spasi tulangan yang terpasang adalah 100 mm < 126.6666667 mm (OK).

#### 5. Kontrol tulangan geser



**Gambar 4.26 – Skema perhitungan geser kolom**

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.6.1, gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi ( $M_{pr}$ ) di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor ( $P_u$ ) yang bekerja pada kolom. Geser

kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan Mpr balok yang merangka ke *joint*. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

Dari ketentuan tersebut, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- a. Menentukan  $V_e$

$$V_e = V_{\text{sway}} = \frac{M_{pr}^{\text{atas}} \cdot DF^{\text{atas}} + M_{pr}^{\text{bawah}} \cdot DF^{\text{bawah}}}{ln}$$

DF = faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah kolom yang didesain.

$$DF^{\text{atas}} = DF^{\text{bawah}} = 0.5$$

$M_{pr}^{\text{atas}}$  dan  $M_{pr}^{\text{bawah}}$  adalah penjumlahan Mpr untuk masing masing balok di lantai atas dan di lantai bawah di muka kolom.

$$M_{pr}^+ = 1938.432 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr}^- = 921.051 \text{ kN.m}$$

Balok pada kedua lantai adalah sama sehingga :

$$M_{pr}^{\text{atas}} = M_{pr}^{\text{bawah}} = 1938.432 + 921.051 = 2859.484 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{M_{pr}^{\text{atas}} \cdot DF^{\text{atas}} + M_{pr}^{\text{bawah}} \cdot DF^{\text{bawah}}}{ln} \\ &= \frac{2859.484 \cdot 0.5 + 2859.484 \cdot 0.5}{4 - 0.8} \\ &= 893.5886751 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b.  $V_u$  akibat gaya geser terfaktor

Untuk menentukan  $V_u$  akibat gaya geser terfaktor, digunakan program bantu SAP2000 sehingga didapatkan gaya geser maksimum dari kolom yang ditinjau yaitu  $V_u = 143.6399 \text{ kN}$



Kontrol,

$$V_e > V_u$$

$$893.5886751 > 143.6399 \text{ (OK)}$$

## c. Menentukan kekuatan geser kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2, tulangan transversal sepanjang  $l_0$ , harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bilamana kedua hal berikut terjadi :

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung ( $V_{sway}$ ) mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.

- Gaya tekan aksial terfaktor ( $P_u$ ) termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g \cdot f_c' / 20$

$$P_u < A_g \cdot f_c' / 20$$

$$5405098 < (400 \cdot 800) \cdot 30 / 20$$

$$5405098 > 480000 \text{ (NOT OK)}$$

d. Menentukan  $V_c$ 

$$d_v = 900 - 40 - 10/2 = 855$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d_v$$

$$= 1/6 \cdot \sqrt{30} \cdot 700 \cdot 855$$

$$= 546353.2511 \text{ N}$$

$$= 546.3532511 \text{ kN}$$

**Cek kondisi 1**

$$V_u < 1/2 \cdot \phi \cdot V_c$$

$$893.5886751 < 1/2 \cdot 0.75 \cdot 546.3532511$$

$$893.5886751 > 204.8824692 \text{ kN (Tidak Memenuhi)}$$

**Cek kondisi 2**

$$V_u < \phi \cdot V_c$$

$$893.5886751 > 409.7649383 \text{ kN (Tidak Memenuhi)}$$

Gaya geser desain tidak memenuhi pada kedua kondisi, hal tersebut berarti diperlukan tulangan geser minimum pada tulangan transversal. Tulangan transversal minimum meliputi  $A_v$  minimum dan  $V_s$  minimum.

Nilai  $A_v$  diambil yang terbesar dari kedua persamaan berikut :

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0.062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \\ &= 0.062 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{700 \cdot 100}{400} \\ &= 59.42789749 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0.35 \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \\ &= 0.35 \cdot \frac{700 \cdot 100}{400} \end{aligned}$$

$$= 61.25 \text{ mm}^2$$

Av min yang dipakai adalah 61.25 mm<sup>2</sup>

Tulangan geser terpasang adalah 4 kaki Ø10 – 100

$$\begin{aligned} Av \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 314.1592654 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} Av \text{ min} &< Av \text{ pasang} \\ 61.25 &< 314.1592654 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs \text{ min} &= \frac{1}{3} \cdot bw \cdot dv \\ &= \frac{1}{3} \cdot 700 \cdot 855 \\ &= 199500 \text{ N} \\ &= 199.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs \text{ pasang} &= \frac{Av \cdot fy \cdot dv}{s} \\ &= \frac{314.1592654 \cdot 400 \cdot 855}{100} \\ &= 1074424.688 \text{ N} \\ &= 1074.424688 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} Vs \text{ min} &< Vs \text{ pasang} \\ 199.5 &< 1074.424688 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

6. Analisa kapasitas aksial lentur kolom pada tiap tipe kolom

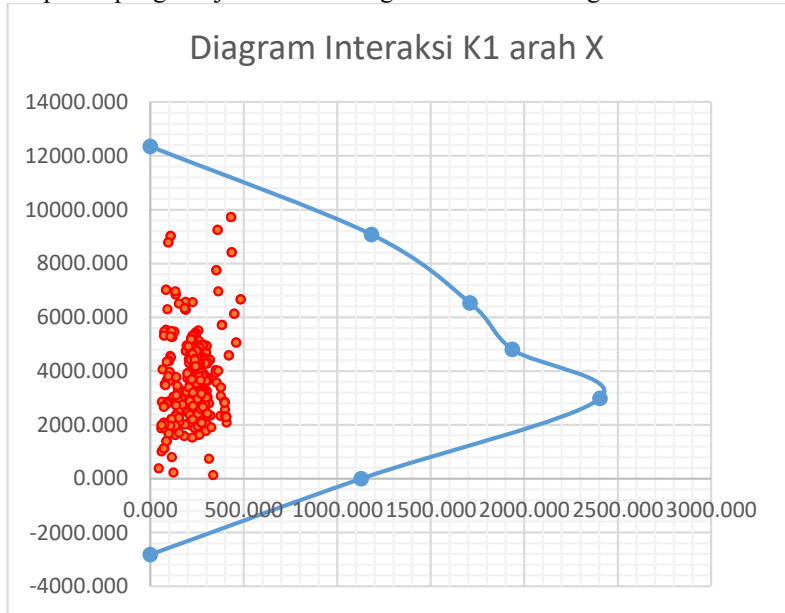
a. Kolom K1 lantai BM - L5 (Arah X)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K1 arah X adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.71 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1 BM – L5**

Kondisi	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kN.m)
<b>Aksial Tekan Murni</b>	12354.105	0.000
<b>fs = 0 (εs = 0)</b>	9076.642	1182.856
<b>fs = 0.5 fy (εs = 0.5 εy)</b>	6535.954	1710.424
<b>fs = fy (εs = εy)</b>	4807.339	1935.580
<b>Es = 0.005</b>	2980.178	2404.795
<b>Lentur Murni</b>	0.000	1126.907
<b>Aksial Tarik Murni</b>	-2827.433	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.27 – Diagram interaksi kolom K1 lantai BM – L5**

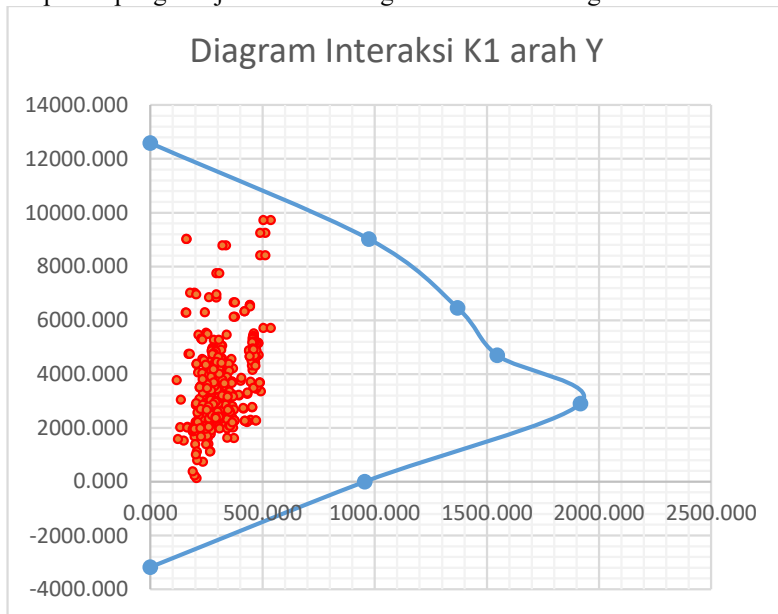
b. Kolom K1 lantai BM - L5 (Arah Y)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K1 arah Y adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.72 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1 BM – L5**

Kondisi	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kN.m)
<b>Aksial Tekan Murni</b>	12593.087	0.000
<b>fs = 0 (<math>\epsilon_s = 0</math>)</b>	9022.983	973.727
<b>fs = 0.5 fy (<math>\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y</math>)</b>	6461.770	1369.666
<b>fs = fy (<math>\epsilon_s = \epsilon_y</math>)</b>	4695.313	1546.250
<b>Es = 0.005</b>	2907.111	1917.441
<b>Lentur Murni</b>	0.000	954.839
<b>Aksial Tarik Murni</b>	-3180.863	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.28 – Diagram interaksi kolom K1 lantai BM – L5**

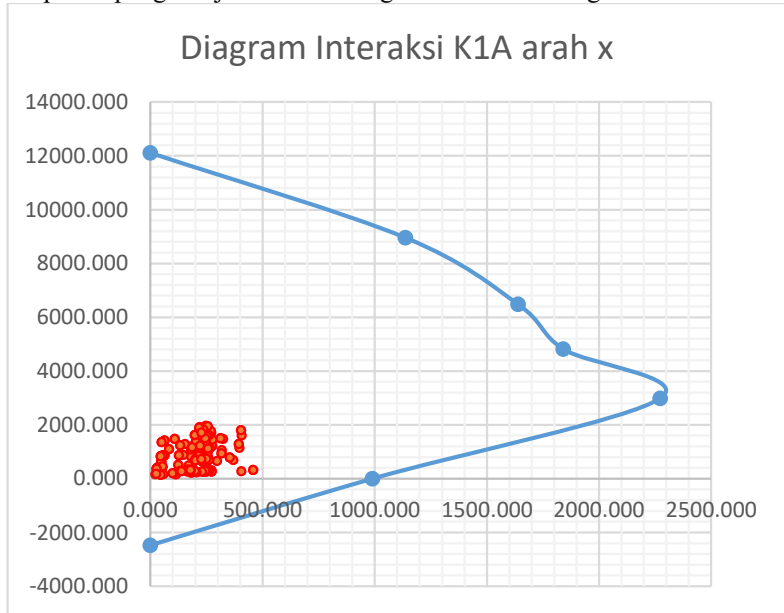
- c. Kolom K1A lantai L6 - L9 (Arah X)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K1A arah X adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.73 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1A L6 – L9**

Kondisi	$\phi P_n$	$\phi M_n$
<b>Aksial Tekan Murni</b>	12115.124	0.000
<b>fs = 0 (<math>\epsilon_s = 0</math>)</b>	8957.151	1136.553
<b>fs = 0.5 fy (<math>\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y</math>)</b>	6480.277	1639.393
<b>fs = fy (<math>\epsilon_s = \epsilon_y</math>)</b>	4815.475	1839.821
<b>Es = 0.005</b>	2988.314	2272.207
<b>Lentur Murni</b>	0.000	990.053
<b>Aksial Tarik Murni</b>	-2474.004	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.29 – Diagram interaksi kolom K1A lantai L6 – L9**

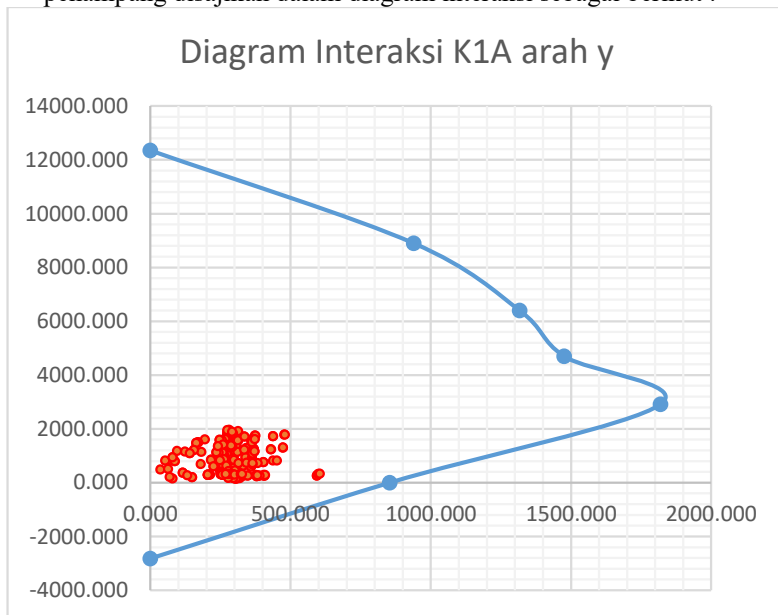
d. Kolom K1A lantai L6 - L9 (Arah Y)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K1A arah Y adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.74 – Perhitungan diagram interaksi kolom K1A L6 – L9**

Kondisi	$\phi P_n$	$\phi M_n$
Aksial Tekan Murni	12354.105	0.000
$f_s = 0$ ( $\epsilon_s = 0$ )	8903.492	939.373
$f_s = 0.5 f_y$ ( $\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y$ )	6406.092	1316.965
$f_s = f_y$ ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ )	4703.449	1475.203
$E_s = 0.005$	2915.247	1819.069
Lentur Murni	0.000	853.154
Aksial Tarik Murni	-2827.433	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.30 – Diagram interaksi kolom K1A lantai L6 – L9**

- e. Kolom K2 lantai BM – L5 (Arah X)

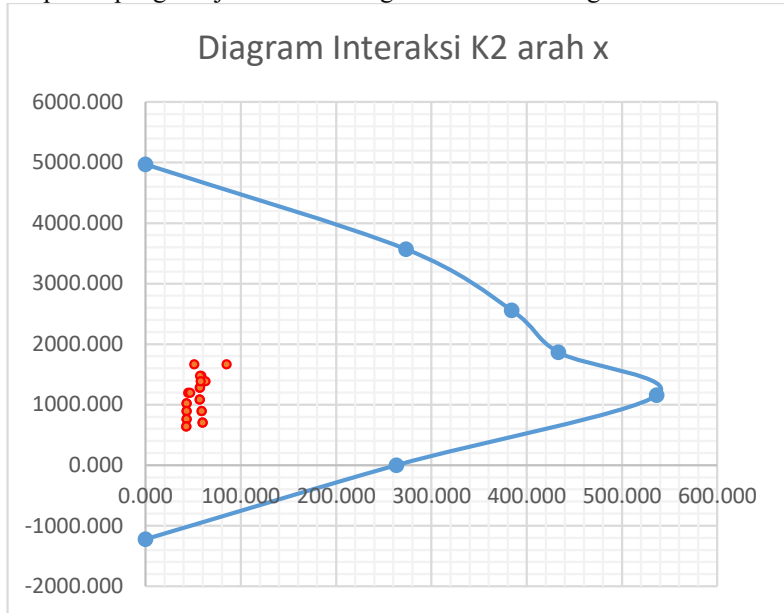
Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K2 arah X adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.75 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2 BM – L5**

Kondisi	$\phi P_n$	$\phi M_n$
Aksial Tekan Murni	4971.966	0.000
$f_s = 0$ ( $\epsilon_s = 0$ )	3568.893	273.333
$f_s = 0.5 f_y$ ( $\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y$ )	2559.044	384.308
$f_s = f_y$ ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ )	1864.674	433.044
$E_s = 0.005$	1154.847	536.281
Lentur Murni	0.000	263.066
Aksial Tarik Murni	-1224.844	0.000



Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.31 – Diagram interaksi kolom K2 lantai BM – L5**

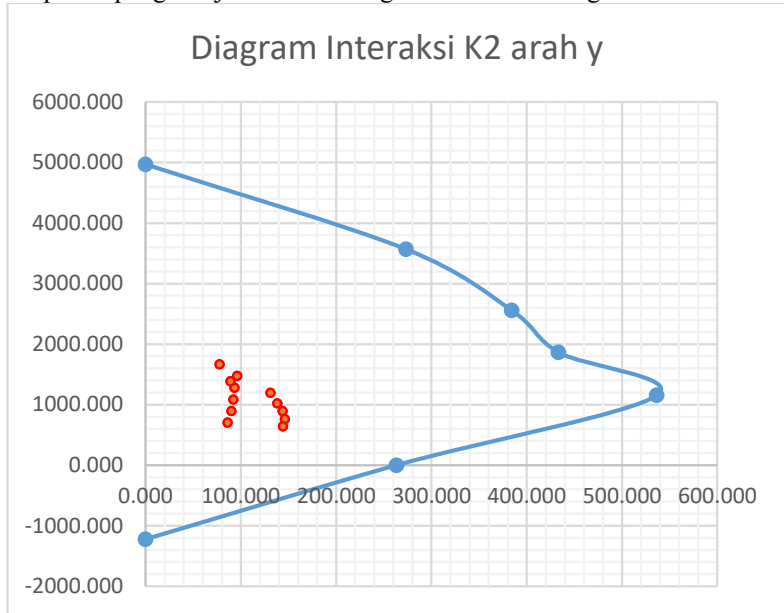
f. Kolom K2 lantai BM – L5 (Arah Y)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K2 arah Y adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.76 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2 BM – L5**

Kondisi	$\phi P_n$	$\phi M_n$
Aksial Tekan Murni	4971.966	0.000
$f_s = 0$ ( $\epsilon_s = 0$ )	3568.893	273.333
$f_s = 0.5 f_y$ ( $\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y$ )	2559.044	384.308
$f_s = f_y$ ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ )	1864.674	433.044
$E_s = 0.005$	1154.847	536.281
Lentur Murni	0.000	263.066
Aksial Tarik Murni	-1224.844	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.32 – Diagram interaksi kolom K2 lantai BM – L5**

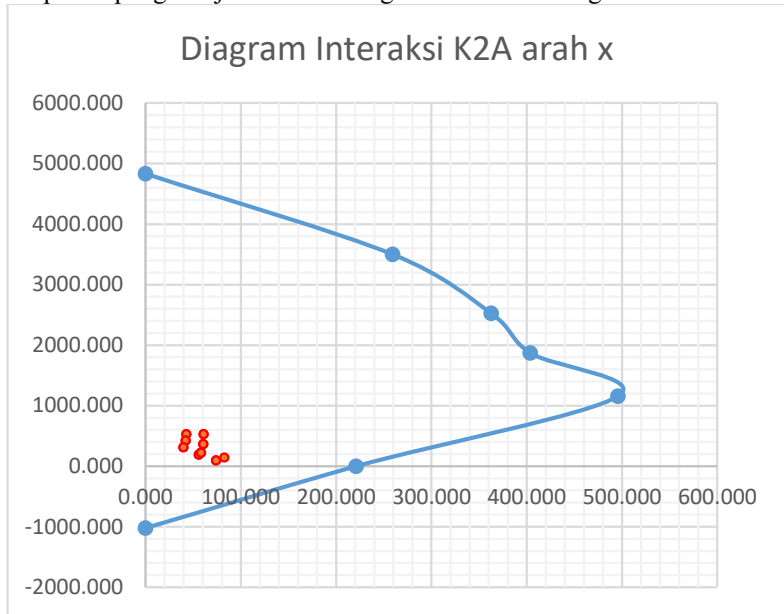
- g. Kolom K2A lantai L6 – L9 (Arah X)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K2A arah X adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.77 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2A L6 – L9**

Kondisi	$\phi P_n$	$\phi M_n$
Aksial Tekan Murni	4833.930	0.000
$f_s = 0$ ( $\epsilon_s = 0$ )	3499.875	259.150
$f_s = 0.5 f_y$ ( $\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y$ )	2526.885	362.550
$f_s = f_y$ ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ )	1869.373	403.712
$E_s = 0.005$	1159.547	495.667
Lentur Murni	0.000	221.048
Aksial Tarik Murni	-1020.703	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.33 – Diagram interaksi kolom K2A lantai L6 – L9**

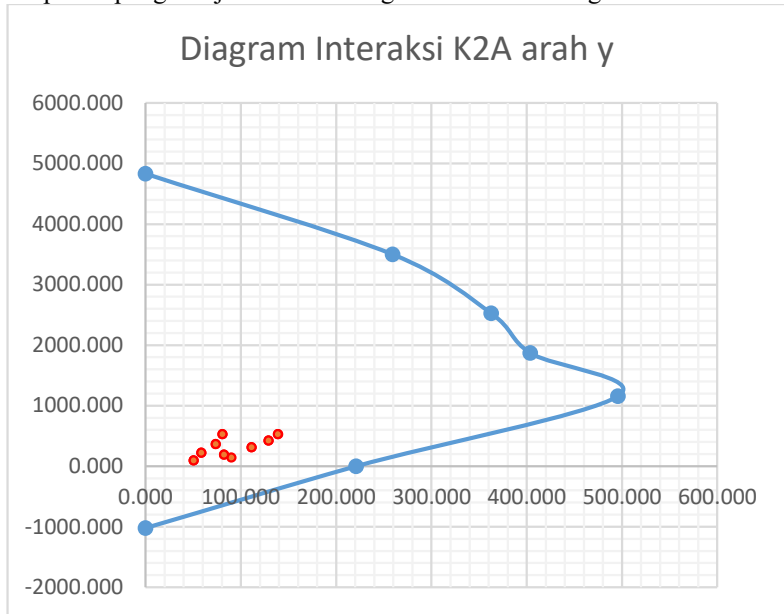
h. Kolom K2A lantai L6 – L9 (Arah Y)

Hasil perhitungan aksial lentur pada kolom K2A arah Y adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.78 – Perhitungan diagram interaksi kolom K2A L6 – L9**

Kondisi	$\phi P_n$	$\phi M_n$
Aksial Tekan Murni	4833.930	0.000
$f_s = 0$ ( $\epsilon_s = 0$ )	3499.875	259.150
$f_s = 0.5 f_y$ ( $\epsilon_s = 0.5 \epsilon_y$ )	2526.885	362.550
$f_s = f_y$ ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ )	1869.373	403.712
$E_s = 0.005$	1159.547	495.667
Lentur Murni	0.000	221.048
Aksial Tarik Murni	-1020.703	0.000

Sedangkan perbandingan gaya dalam aksial dan momen yang didapatkan pada permodelan struktur terhadap kapasitas penampang disajikan dalam diagram interaksi sebagai berikut :



**Gambar 4.34 – Diagram interaksi kolom K2A lantai L6 – L9**

#### 4.8.4 Hubungan Balok Kolom

##### a. Hubungan balok kolom tipe 1

Pada sub bab ini akan membahas hubungan balok dengan kolom pada kolom K1 dengan balok B1.

##### 1. Syarat panjang *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.3 dimensi kolom yang paralel atau sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

$$B = 900 \text{ mm}$$

$$20 \text{ db} = 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm}$$

Kontrol

$$B \geq 20 \text{ db}$$

$$900 \geq 500 \text{ mm (OK)}$$

2. Tentukan luas efektif *joint* ( $A_j$ )

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.3 luas penampang efektif dalam suatu *joint* ( $A_j$ ) harus dihitung dari tinggi *joint* dikali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom ( $h$ ). Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :

- Lebar balok ditambah tinggi *joint*  
 $B + H = 400 \text{ mm} + 900 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$
- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.  
 $B + 2x = 400 + 2 (700-400) / 2 = 700 \text{ mm}$

Maka

$$\begin{aligned} A_j &= \text{Tinggi } joint \times \text{Lebar efektif } joint \\ &= 900 \times 700 \\ &= 630000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Tulangan transversal untuk *confinement*

Untuk *joint* interior, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom.

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ Joint} &= 0.5 \cdot \frac{A_{sh}}{s} \\ &= 0.5 \cdot 2.275 \\ &= 1.1375 \end{aligned}$$

Senggang yang terpasang adalah 4 kaki  $\emptyset 10 - 100$

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 314.1592654 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh \text{ joint}} &= A_{sh} / s \cdot s \\ &= 1.1375 \cdot 100 \\ &= 113.75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} A_s &> A_{sh} \\ 314.1592654 &> 113.75 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4. Gaya geser pada *joint*a. Menentukan  $M_e$ 

Balok yang memasuki *joint*, memiliki

$$M_{nb}^+ = 1938.432391 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb}^- = 921.051369 \text{ kN.m}$$

Kekakuan kolom atas dengan bawah sama, maka nilai DF adalah sama yaitu 0.5, sehingga :

$$\begin{aligned} M_e &= 0.5 (M_{nb}^+ + M_{nb}^-) \\ &= 0.5 (1938.432391 + 921.051369) \\ &= 1429.74188 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- b. Menentukan geser pada kolom atas

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{M_e + M_e}{L_u} = \frac{1429.74188 + 1429.74188}{3.2} \\ &= 893.5886751 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Menentukan gaya-gaya pada tulangan longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kiri

Terdapat balok dengan tulangan 11 D 25

$$A_s = 5399.612373 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1.25 \cdot 5399.612373 \cdot 400$$

$$= 2699806.187 \text{ N}$$

$$= 2699.806187 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri

$$C_1 = T_1 = 2699.806187 \text{ kN}$$

- Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kanan

Terdapat balok dengan tulangan 11 D 25

$$A_s = 5399.612373 \text{ mm}^2$$

$$T_2 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1.25 \cdot 5399.612373 \cdot 400$$

$$= 2699806.187 \text{ N}$$

$$= 2699.806187 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan

$$C_2 = T_2 = 2699.806187 \text{ kN}$$

- d. Menentukan gaya geser pada *joint*

$$V_j = V_{\text{sway}} - T_1 - C_2$$

$$= 893.5886751 - 2699.806187 - 2699.806187$$

$$= 4506.023698 \text{ kN}$$

5. Cek kuat geser *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 untuk kekuatan geser ( $V_n$ ) *joint* yang terkekang oleh balok pada keempat sisinya adalah sebagai berikut :

$$V_n = 1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$$

$$= 1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 630000$$

$$= 5866108.591 \text{ N}$$

$$= 5866.108591 \text{ kN}$$

Kontrol

$$V_n > V_j$$

$$5866.108591 > 4506.023698 \text{ kN (OK)}$$

b. Hubungan balok kolom tipe 2

Pada sub bab ini akan membahas hubungan balok dengan kolom pada kolom K1A dengan balok B1A.

1. Syarat panjang *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.3 dimensi kolom yang paralel atau sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

$$B = 900 \text{ mm}$$

$$20 d_b = 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm}$$

Kontrol

$$B \geq 20 d_b$$

$$900 \geq 500 \text{ mm (OK)}$$

2. Tentukan luas efektif *joint* ( $A_j$ )

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.3 luas penampang efektif dalam suatu *joint* ( $A_j$ ) harus dihitung dari tinggi *joint* dikali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom ( $h$ ). Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :

- Lebar balok ditambah tinggi *joint*

$$B + H = 400 \text{ mm} + 900 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$$

- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

$$B + 2x = 400 + 2(700-400) / 2 = 700 \text{ mm}$$

Maka

$$A_j = \text{Tinggi } joint \times \text{Lebar efektif } joint$$

$$= 900 \times 700$$

$$= 630000 \text{ mm}^2$$

3. Tulangan transversal untuk *confinement*

Untuk *joint* interior, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom.

$$\begin{aligned}\frac{Ash}{s} Joint &= 0.5 \cdot \frac{Ash}{s} \\ &= 0.5 \cdot 2.275 \\ &= 1.1375\end{aligned}$$

Senggang yang terpasang adalah 4 kaki  $\emptyset 10 - 150$

$$\begin{aligned}As &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 314.1592654 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ash joint &= Ash/s \cdot s \\ &= 1.1375 \cdot 150 \\ &= 170.625 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}As &> Ash \\ 314.1592654 &> 170.625 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

#### 4. Gaya geser pada *joint*

##### a. Menentukan $M_e$

Balok yang memasuki *joint*, memiliki

$$M_{nb}^+ = 1409.499969 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb}^- = 921.051369 \text{ kN.m}$$

Kekakuan kolom atas dengan bawah sama, maka nilai DF adalah sama yaitu 0.5, sehingga :

$$\begin{aligned}M_e &= 0.5 (M_{nb}^+ + M_{nb}^-) \\ &= 0.5 (1409.499969 + 921.051369) \\ &= 1165.275669 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

##### b. Menentukan geser pada kolom atas

$$\begin{aligned}V_{sway} &= \frac{M_e + M_e}{Lu} = \frac{1165.275669 + 1165.275669}{3.2} \\ &= 728.2972931 \text{ kN}\end{aligned}$$

##### c. Menentukan gaya-gaya pada tulangan longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kiri

Terdapat balok dengan tulangan 7 D 25

$$As = 3436.116965 \text{ mm}^2$$

$$T1 = 1.25 \cdot As \cdot fy$$

$$= 1.25 \cdot 3436.116965 \cdot 400$$

$$= 1718058.482 \text{ N}$$

$$= 1718.058482 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri

$$C1 = T1 = 1718.058482 \text{ kN}$$

- Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kanan

Terdapat balok dengan tulangan 7 D 25



$$\begin{aligned}
 A_s &= 3436.116965 \text{ mm}^2 \\
 T_2 &= 1.25 \cdot A_s \cdot f_y \\
 &= 1.25 \cdot 3436.116965 \cdot 400 \\
 &= 1718058.482 \text{ N} \\
 &= 1718.058482 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan  
 $C_2 = T_2 = 1718.058482 \text{ kN}$

- d. Menentukan gaya geser pada *joint*

$$\begin{aligned}
 V_j &= V_{\text{sway}} - T_1 - C_2 \\
 &= 728.2972931 - 1718.058482 - 1718.058482 \\
 &= 2707.819672 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Cek kuat geser *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 untuk kekuatan geser ( $V_n$ ) *joint* yang terkekang oleh balok pada keempat sisinya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j \\
 &= 1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 720000 \\
 &= 5866108.591 \text{ N} \\
 &= 5866.108591 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 V_n &> V_j \\
 5866.108591 &> 2707.819672 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

- c. Hubungan balok kolom tipe 3

Pada sub bab ini akan membahas hubungan balok dengan kolom pada kolom K2 dengan balok B2.

1. Syarat panjang *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.3 dimensi kolom yang paralel atau sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

$$\begin{aligned}
 B &= 500 \text{ mm} \\
 20 \text{ db} &= 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 B &\geq 20 \text{ db} \\
 500 &\geq 500 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Tentukan luas efektif *joint* ( $A_j$ )

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.3 luas penampang efektif dalam suatu *joint* ( $A_j$ ) harus dihitung dari tinggi *joint* dikali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom ( $h$ ). Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :

- Lebar balok ditambah tinggi *joint*  
 $B + H = 400 \text{ mm} + 500 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$
- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.  
 $B + 2x = 400 + 2(500-400) / 2 = 500 \text{ mm}$

Maka

$$\begin{aligned} A_j &= \text{Tinggi } joint \times \text{Lebar efektif } joint \\ &= 500 \times 500 \\ &= 2500000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Tulangan transversal untuk *confinement*

Untuk *joint* interior, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom.

$$\begin{aligned} \frac{Ash}{s} \text{ Joint} &= 0.5 \cdot \frac{Ash}{s} \\ &= 0.5 \cdot 2.5875 \\ &= 1.29375 \end{aligned}$$

Senggang yang terpasang adalah 3 kaki  $\emptyset 10 - 100$

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 235.619449 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ash \text{ joint} &= Ash/s \cdot s \\ &= 1.29375 \cdot 100 \\ &= 129.375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} A_s &> Ash \\ 235.619449 &> 129.375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4. Gaya geser pada *joint*

a. Menentukan  $M_e$

Balok yang memasuki *joint*, memiliki

$$M_{nb}^+ = 1155.560711 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb}^- = 560.4428932 \text{ kN.m}$$

Kekakuan kolom atas dengan bawah sama, maka nilai DF adalah sama yaitu 0.5, sehingga :

$$\begin{aligned} M_e &= 0.5 (M_{nb}^+ + M_{nb}^-) \\ &= 0.5 (1155.560711 + 560.4428932) \\ &= 858.0018019 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- b. Menentukan geser pada kolom atas

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{M_e + M_e}{L_u} = \frac{858.0018019 + 858.0018019}{3.4} \\ &= 504.7069423 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Menentukan gaya-gaya pada tulangan longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kiri

Terdapat balok dengan tulangan 5 D 25

$$A_s = 2454.369261 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1.25 \cdot 2454.369261 \cdot 400$$

$$= 1227184.63 \text{ N}$$

$$= 1227.18463 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri

$$C_1 = T_1 = 1227.18463 \text{ kN}$$

- Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kanan

Terdapat balok dengan tulangan 5 D 25

$$A_s = 2454.369261 \text{ mm}^2$$

$$T_2 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1.25 \cdot 2454.369261 \cdot 400$$

$$= 1227184.63 \text{ N}$$

$$= 1227.18463 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan

$$C_2 = T_2 = 1227.18463 \text{ kN}$$

- d. Menentukan gaya geser pada *joint*

$$V_j = V_{\text{sway}} - T_1 - C_2$$

$$= 504.7069423 - 1227.18463 - 1227.18463$$

$$= 1949.662318 \text{ kN}$$

5. Cek kuat geser *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 untuk kekuatan geser ( $V_n$ ) *joint* yang terkekang oleh balok pada ketiga sisinya atau dua sisi berlawanan adalah sebagai berikut :

$$V_n = 1.2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$$

$$= 1.2 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 300000$$

$$= 1971801.207 \text{ N}$$

$$= 1971.801207 \text{ kN}$$

Kontrol

$$V_n > V_j$$

$$1971.801207 > 1949.662318 \text{ kN (OK)}$$

d. Hubungan balok kolom tipe 4

Pada sub bab ini akan membahas hubungan balok dengan kolom pada kolom K2A dengan balok B2.

1. Syarat panjang *joint*

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.3 dimensi kolom yang paralel atau sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal balok terbesar.

$$B = 500 \text{ mm}$$

$$20 db = 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm}$$

Kontrol

$$B \geq 20 db$$

$$500 \geq 500 \text{ mm (OK)}$$

2. Tentukan luas efektif *joint* ( $A_j$ )

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.3 luas penampang efektif dalam suatu *joint* ( $A_j$ ) harus dihitung dari tinggi *joint* dikali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom ( $h$ ). Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :

- Lebar balok ditambah tinggi *joint*  
 $B + H = 400 \text{ mm} + 500 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$
- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.  
 $B + 2x = 400 + 2(600 - 400) / 2 = 600 \text{ mm}$

Maka

$$A_j = \text{Tinggi } joint \times \text{Lebar efektif } joint$$

$$= 500 \times 600$$

$$= 300000 \text{ mm}^2$$

### 3. Tulangan transversal untuk *confinement*

Untuk *joint* interior, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom.

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ Joint} &= 0.5 \cdot \frac{A_{sh}}{s} \\ &= 0.5 \cdot 2.5875 \\ &= 1.29375\end{aligned}$$

Sengkang yang terpasang adalah 3 kaki  $\emptyset 10 - 100$

$$\begin{aligned}A_s &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 235.619449 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh \text{ joint}} &= A_{sh}/s \cdot s \\ &= 1.29375 \cdot 100 \\ &= 129.375 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}A_s &> A_{sh} \\ 235.619449 &> 129.375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

### 4. Gaya geser pada *joint*

#### a. Menentukan $M_e$

Balok yang memasuki *joint*, memiliki

$$M_{nb}^+ = 1155.560711 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb}^- = 560.4428932 \text{ kN.m}$$

Kekakuan kolom atas dengan bawah sama, maka nilai DF adalah sama yaitu 0.5, sehingga :

$$\begin{aligned}M_e &= 0.5 (M_{nb}^+ + M_{nb}^-) \\ &= 0.5 (1155.560711 + 560.4428932) \\ &= 858.0018019 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

#### b. Menentukan geser pada kolom atas

$$\begin{aligned}V_{sway} &= \frac{M_e + M_e}{L_u} = \frac{858.0018019 + 858.0018019}{3.4} \\ &= 504.7069423 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### c. Menentukan gaya-gaya pada tulangan longitudinal

##### - Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kiri

Terdapat balok dengan tulangan 5 D 25

$$A_s = 2454.369261 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1.25 \cdot 2454.369261 \cdot 400$$

$$= 1227184.63 \text{ N}$$

$$= 1227.18463 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri  
 $C1 = T1 = 1227.18463 \text{ kN}$
  - Gaya tarik pada tulangan balok dibagian kanan  
 Terdapat balok dengan tulangan 5 D 25  
 $A_s = 2454.369261 \text{ mm}^2$   
 $T2 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y$   
 $= 1.25 \cdot 2454.369261 \cdot 400$   
 $= 1227184.63 \text{ N}$   
 $= 1227.18463 \text{ kN}$
  - Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan  
 $C2 = T2 = 1227.18463 \text{ kN}$
- d. Menentukan gaya geser pada *joint*
- $$V_j = V_{\text{sway}} - T1 - C2$$
- $$= 504.7069423 - 1227.18463 - 1227.18463$$
- $$= 1949.662318 \text{ kN}$$

#### 5. Cek kuat geser joint

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 untuk kekuatan geser ( $V_n$ ) *joint* yang terkekang oleh balok pada ketiga sisinya atau dua sisi berlawanan adalah sebagai berikut :

$$V_n = 1.2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$$

$$= 1.2 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 250000$$

$$= 1971801.207 \text{ N}$$

$$= 1971.801207 \text{ kN}$$

Kontrol

$$V_n > V_j$$

$$1971.801207 > 1949.662318 \text{ kN (OK)}$$

#### 4.8.5 Pondasi

Dalam evaluasi struktur pondasi akan dilakukan pengecekan terhadap daya dukung tanah, gaya aksial ijin, kekuatan tiang pancang grup, dan kapasitas penulangan poer berdasarkan permodelan struktur dengan SAP2000, data tanah dan material eksisting pondasi. Sebagai contoh akan dilakukan perhitungan elemen struktur pondasi pada pondasi footplat 1 yang dijelaskan sebagaimana berikut ini:

##### a. Data Eksisting

###### Data eksisting pilecap

Mutu beton	: 30 MPa
Mutu tulangan pilecap, $f_y$	: 400 MPa

Faktor keamanan, SF	: 2
Panjang pilecap, B	: 22600 mm
Lebar pilecap, L	: 7100 mm
Tebal pilecap, H	: 1000 mm

Data eksisting bored pile

Jumlah tiang, n	: 34
Dalam kolom, m	: 10
Dalam baris, n	: 4
Jarak antar tiang, s	: 1500 mm
Diameter bored pile, D	: 800 mm
Kedalaman tiang	: 20000 mm
Tebal selimut	: 50 mm

b. Daya dukung tanah

Perhitungan daya dukung tanah di bawah pondasi menggunakan persamaan meyerhoff dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:  
Data tanah SPT

N-SPT ujung tiang = 30 blow/feet

**Tabel 4.79 – Data Tanah N-SPT**

Kedalaman	N-SPT	Grafik SPT	Tebal Lapisan (d)	d/N	
(m)			(m)		
2.5	18		2.5	0.14	
5	9		2.5	0.28	
7.5	13		2.5	0.19	
10	31		2.5	0.08	
12.5	26		2.5	0.10	
15	51		2.5	0.05	
17.5	29		2.5	0.09	
20	44		2.5	0.06	
22.5	50		2.5	0.05	
25	60		2.5	0.04	
27.5	59		2.5	0.04	
30	60		2.5	0.04	
	Σ			30	1.15

Keterangan :

$d_i$  = tebal setiap lapisan

$N_i$  = tahanan penetrasi standar setiap lapisan

Maka nilai N-SPT rata-rata tanah :

$$N_{av} = \frac{\sum d_i}{\sum d_i/N_i} = 26.0073$$

$$N = 30$$

Kedalaman tiang = 20 m

Dimensi tiang = Diameter 80 cm

Luas penampang,  $A_p = 0.50265 \text{ m}^2$

Luas selimut,  $A_s = 50.2655 \text{ m}$

Dengan persamaan mayerhoff :

$$Q_u = 40 \cdot N \cdot A_p + (N_{av} \cdot A_s)/5$$

$$= 864.639 \text{ ton}$$

$$Q \text{ ijin} = Q_u/SF = 432.32 \text{ ton}$$

- c. Evaluasi pondasi terhadap beban ijin yang terjadi

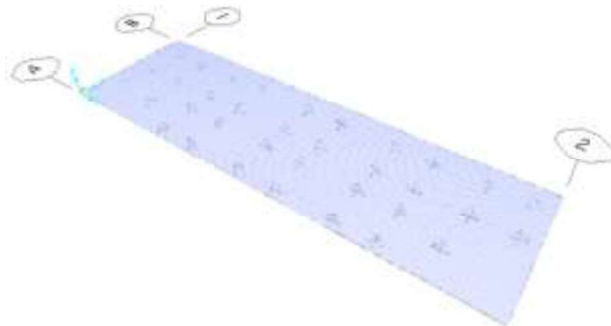
Konfigurasi tiang pancang

Jumlah tiang,  $n = 34$

Jumlah baris,  $m = 4$

Jumlah dalam satu baris,  $n = 10$

Dilakukan evaluasi dengan menggunakan program bantu SAP2000 sebagaimana berikut :



**Gambar 4.35 – Gambar permodelan pondasi footplat 1**



Setelah dilakukan permodelan pondasi tersebut didapatkan nilai Pmax pada masing-masing tiang pancang yang akan dikontrol dengan Pijin.

d. Efisiensi tiang pancang

Efisiensi tiang pancang grup dihitung menggunakan metode “Converce Labarre” dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} (D/s) \\ = 28.1^\circ$$

$$\eta = 1 - \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \theta \\ = 0.5$$

$$Q_{ijin} = 4323.2 \text{ kN}$$

$$P_{ijin} \text{ 1 tiang} = Q_{ijin} \cdot \eta = 2098.21 \text{ kN}$$

e. Kontrol beban ijin

Kontrol kapasitas satu tiang terhadap beban ijin yang terjadi dapat dilakukan berdasarkan hasil perhitungan diatas :

**Tabel 4.80 – Kontrol Pmax terhadap Pijin**

No	Pmax 1 tiang (kN)	Pijin 1 tiang (kN)	Kontrol
1	652.637	4196.421	OK
2	1478.771	4196.421	OK
3	916.763	4196.421	OK
4	663.742	4196.421	OK
5	881.584	4196.421	OK
6	922.853	4196.421	OK
7	670.467	4196.421	OK
8	914.807	4196.421	OK
9	1473.396	4196.421	OK
10	647.988	4196.421	OK
11	1005.364	4196.421	OK
12	1739.349	4196.421	OK
13	1289.723	4196.421	OK
14	1048.898	4196.421	OK
15	1246.507	4196.421	OK
16	1290.083	4196.421	OK
17	1057.497	4196.421	OK
18	1288.089	4196.421	OK

19	1735.531	4196.421	OK
20	1002.38	4196.421	OK
21	1725.738	4196.421	OK
22	1018.759	4196.421	OK
23	957.148	4196.421	OK
24	1061.056	4196.421	OK
25	1104.187	4196.421	OK
26	965.656	4196.421	OK
27	1017.319	4196.421	OK
28	1725.913	4196.421	OK
29	880.321	4196.421	OK
30	813.512	4196.421	OK
31	871.861	4196.421	OK
32	912.552	4196.421	OK
33	819.955	4196.421	OK
34	878.316	4196.421	OK

Pada permodelan pondasi juga didapatkan nilai  $V$  dari pelat pilecap yaitu sebesar 5703.31 kN.

f. Kontrol geser 1 arah

$$\text{Ø tul utama} = \text{D16} - 100$$

$$d = H - t_s - \text{Ø} - 0.5 \text{Ø} = 926 \text{ mm}$$

Kapasitas geser pilecap 1 arah

$$V_c = 0.17 \cdot f_c^{0.5} \cdot B \cdot d$$

$$= 19486281.61 \text{ N}$$

$$= 19486.28161 \text{ kN}$$

Kontrol

$$V_u < \phi V_c$$

$$5703.31 \text{ kN} < 14614.71121 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

g. Kontrol geser 2 arah

$$\beta = B_{\text{kolom}} / H_{\text{kolom}}$$

$$= 0.777777778$$

$$b_0 = 2 (B_{\text{kolom}} + H_{\text{kolom}}) + 4d$$

$$= 6904 \text{ mm}$$

$$= 6.904 \text{ m}$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{beton normal})$$

$$\alpha_s = 40 \quad (\text{kolom tengah})$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, pasal 22.6.5, kekuatan geser beton dua arah harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai  $V_c$  terkecil dari nilai berikut:

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0.17 \cdot (1+2/\beta) \lambda \cdot (f_c')^{0.5} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 21260001.3 \text{ N} \\ &= 21260.0013 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= 0.083 \cdot (\alpha_s \cdot d/b_0 + 2) \cdot \lambda \cdot (f_c')^{0.5} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 21405411.54 \text{ N} \\ &= 21405.41154 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c3} &= 0.33 \cdot \lambda \cdot (f_c')^{0.5} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 11555436 \text{ N} \\ &= 11555.436 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari ketiga persamaan diatas diambil  $V_c$  yang terkecil :

$$V_c = 11555.436 \text{ kN}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} V_u &< \phi V_c \\ 5703.31 \text{ kN} &< 8666.577001 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

## 4.9 Perencanaan Perkuatan Elemen Struktur

Dari permodelan dan analisis struktur yang telah dilakukan, ada beberapa elemen struktur yang tidak aman atau membutuhkan perkuatan pada elemen struktur tersebut, dikarenakan elemen tersebut tidak mampu menahan gaya-gaya yang diakibatkan oleh adanya perubahan beban gempa pada SNI 1726-2019.

Metode perkuatan elemen yang digunakan adalah dengan memberikan penambahan material berupa CFRP atau *Carbon Fiber Reinforced Polymer* yang dapat menambahkan kekuatan geser pada suatu elemen struktur.

### 4.9.1 Perkuatan Balok

Pada sub bab ini akan membahas salah satu contoh perhitungan perencanaan perkuatan lentur maupun geser pada balok. Dipilih balok pada lantai 7 as F titik 2 - 3. Dengan nilai  $V_u = 652.330178 \text{ kN}$  dan  $\phi V_n = 474.38 \text{ kN}$ .

#### 1. Perencanaan Perkuatan Geser Balok

##### a. Data Material CFRP

Digunakan produk Sika Wrap 231 C

Spesifikasi :

Lebar = 400 mm

Tinggi balok		= 800 mm
Tebal	( $t_f$ )	= 0.127 mm
Tensile Strength	( $f_{fu}$ )	= 4900 MPa
E-Modulus	( $E_f$ )	= 230000 MPa
Regangan max	( $\epsilon_{fu}^*$ )	= 0.021

Balok ini memerlukan perkuatan geser dikarenakan kekuatan nominal penampang lebih kecil daripada gaya geser akibat beban terfaktor yang terjadi pada elemen struktur. Oleh karena itu diperlukan perkuatan menggunakan CFRP dengan menambah kekuatan geser yang direduksi dengan faktor reduksi  $\Psi_f$ .

b. Perhitungan Desain CFRP

▪ Luasan CFRP

$$\begin{aligned} A_{fv} &= 2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f \\ &= 2 \cdot 2 \cdot 0.127 \cdot 500 \\ &= 254 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▪ Mencari Nilai  $d'$ ,  $d$ ,  $df$

Berikut adalah perhitungannya :

$$\begin{aligned} d' &= \text{tebal selimut} - \text{diameter sengkang} - 0.5 \text{ diameter lentur} \\ &= 40 - 10 - 0.5 \cdot 25 \\ &= 62.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 800 - 62.5 \\ &= 737.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} df &= d - \text{tebal pelat} \\ &= 737.5 - 120 \\ &= 617.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

▪ Desain Regangan Putus

Desain regangan putus CFRP ( $\epsilon_{fu}$ ) harus direduksi akibat pengaruh lingkungan.

$$\begin{aligned} \epsilon_{fu} &= C_E \cdot \epsilon_{fu} \\ &= 0.95 \cdot 0.021 \\ &= 0.01995 \end{aligned}$$

▪ Regangan Efektif CFRP ( $\epsilon_{fe}$ )

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{416}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0.58}} \\ &= \frac{416}{(2 \cdot 0.127 \text{ mm} \cdot 230 \text{ kN/mm}^2)^{0.58}} \\ &= 39.309 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \left( \frac{f_{c'}}{254} \right)^{2/3} \\
 &= \left( \frac{30}{254} \right)^{2/3} \\
 &= 0.241
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_2 &= \frac{dfv - Le}{dfv} \\
 &= \frac{617.5 - 39.309}{617.5} \\
 &= 0.936
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_v &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot Le}{468 \cdot \epsilon_{fu}} && \leq 0.75 \\
 &= \frac{0.241 \cdot 0.936 \cdot 39.309}{468 \cdot 0.01995} && \leq 0.75 \\
 &= 0.94898 && \leq 0.75
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $K_v = 0.75$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{fe} &= K_v \cdot \epsilon_{fu} && \leq 0.004 \\
 &= 0.75 \cdot 0.01995 && \leq 0.004 \\
 &= 0.01496 && \leq 0.004
 \end{aligned}$$

Maka digunakan  $\epsilon_{fe} = 0.004$

- Tegangan Efektif CFRP ( $f_{fe}$ )

$$\begin{aligned}
 f_{fe} &= \epsilon_{fe} \cdot E_f \\
 &= 0.004 \cdot 230000 \\
 &= 920 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Gaya Geser Perlu ( $V_f$  perlu)

$$\begin{aligned}
 V_u &= \phi (V_n + \Psi_f \cdot V_f) \\
 652330 &= 474380 + (0.85 \cdot 0.85 \cdot V_f) \\
 V_f &= 246297.824
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Jarak Antar CFRP

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 90^\circ (\sin 90^\circ = 1, \cos 90^\circ = 0) \\
 V_f &= \frac{Afv \cdot f_{fe} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot dfv}{sf} \\
 246297.824 &= \frac{254 \cdot 920 \cdot (1 + 0) \cdot 617.5}{sf} \\
 sf &= 585.866 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak bersih maksimum antar CFRP adalah 150 mm (ACI 4402R-17 Chapter 13.3.4)

Maka jarak maksimum antar as pada masing-masing CFRP adalah = 500 mm + 150 mm = 650 mm

Namun pemasangan pada balok ini diberi jarak bersih 50 mm, maka jarak maksimum antar as pada masing-masing CFRP adalah =  $500 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 550 \text{ mm}$ .

Jadi CFRP Wrap dapat dipasang pada balok secara melingkar sebanyak 2 lapis dengan jarak dari as ke as adalah 550 mm.

#### **4.10 Metode Pelaksanaan**

Berikut ini adalah penjelasan metode pelaksanaan dalam perkuatan struktur dengan bresing dan perkuatan elemen dengan CFRP.

##### **4.10.1 Metode Pelaksanaan Pemasangan Bresing**

###### **1. PEKERJAAN PERSIAPAN**

Sebelum melaksanakan pekerjaan, perencana harus melakukan pekerjaan persiapan. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses pemasangan bresing di lapangan.

- a. Melakukan pemeriksaan shop drawing dan spesifikasi teknis.  
Utuk mempermudah perencana gambar shop drawing harus berisi berupa gambar potongan, gambar perakitan, gambar pemasangan, tabel material serta tabel perakitan, serta pola 1: 1 untuk identifikasi kebutuhan bahan dan alat sambung.
- b. Grouting Kolom  
Grouting bertujuan untuk dilakukan penanaman angkur pada kolom.
- c. Pembersihan Permukaan beton  
Tujuan dilakukannya pembersihan permukaan beton yaitu untuk membebaskan area kerja dari material penghambat lekatan bila nanti dilakukan grouting pada area penanaman angkur. Apabila ada bagian beton yang megalami kerusakan harus di chipping hingga mencapai bagian beton yang padat.
- d. Membuat pengkodean elemen struktur.  
Pengkodean perlu dilakukan dalam pelaksanaan pekerjaan struktur baja karena sistem yang digunakan adalah sistem bongkar pasang (knock down) yang membutuhkan banyak 319 komponen. Sehingga pengkodean akan memudahkan dalam pemasangan struktur baja.

###### **2. PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN**

Struktur baja akan berdiri kokoh setelah semua elemen struktur disatukan/dirakit. Namun pada saat pemasangan (erection) struktur kadangkala tidak stabil sehingga sangat mungkin mudah roboh. Untuk

mengatasi hal ini, perlu dipersiapkan struktur penopang sementara sehingga struktur menjadi stabil dan mampu menahan beban akibat berat sendiri maupun beban mati.

- Persiapan perlengkapan alat penopang batang baja
- Persiapan tower crane
- Perlengkapan penyambungan di lapangan



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.36 – (a) ball pen hammer (b) rivet gun (c) kunci pas (d) kunci inggris**

Sedangkan penyambungan menggunakan las, digunakan alat las listrik ataupun las karbit.



(a)



(b)

**Gambar 4.37 – (a) las listrik (b) las karbit**

### 3. METODE KERJA DILAPANGAN

- Batang bresing dipasang mengikuti koordinat grid yang telah ditentukan sebelumnya. Profil diangkat menggunakan crane.
- Atur posisi dasar dan titik join sesuai perencanaan. Profil perlu diangkat/ayun hingga stabilitas kedudukan dapat dipastikan hingga posisi terbentuk.
- Profil kemudian dipasang pada tempatnya dan diikat dengan dua baut pada masing-masing ujungnya. Ketika seluruh profil baja

sudah pada tempatnya, sisa lubang pada setiap ujung profil yang belum terpasang baut, dilengkapi.

- d. Apabila seluruh pekerjaan ereksi diatas telah dilakukan, tim pekerja ereksi dapat berpindah ke lokasi/area berikutnya. Tim berikutnya akan melakukan pekerjaan lining dan levelling di lokasi yang sama, untuk memastikan struktur yang telah dipasang sudah menempati posisi yang tepat (alignment). Apabila posisi yang diinginkan telah diperoleh, seluruh baut dikencangkan lalu dilanjutkan dengan pekerjaan pengelasan pada bagian-bagian tertentu sebagai penopang.

#### **4.10.2 Metode Pelaksanaan Perkuatan CFRP**

##### **1. BAHAN YANG DIGUNAKAN**

Bahan yang akan digunakan dibedakan menjadi 2 yaitu bahan perekat dan bahan perkuatan yang nanti akan digunakan untuk memperkuat elemen struktur.

- a. Bahan perekat yang digunakan adalah (Sikadur 30) untuk merekatkan bahan perkuatan Sika CarboDur Laminates dan (Sikadur 330) untuk merekatkan Sika Wrap 231C.
- b. Bahan perkuatan yang kuat untuk beton bertulang yaitu Sika CarboDur S512 dan Sika Wrap 231C. Sika CarboDur S512 dan Sika Wrap 231 C merupakan bahan dari serat karbon yang berbentuk laminate yang memnuhi persyaratan spesifikasi sistem perkuatan ekstra kuat untuk balok beton bertulang.
- c. Sika Colma Cleaner untuk membersihkan bahan perekat dari debu dan kotoran.

##### **2. PERSIAPAN PERMUKAAN**

Pada persiapan permukaan ini akan dibagi menjadi 2 bagian yaitu persyaratan teknis dan langkah kerja sebagai berikut :

###### **A. Persyaratan Teknis**

1. Permukaan beton yang akan diperkuatan harus bersih, kering, dan rata.
2. Jika ada kerusakan pada permukaan beton yang akan diperkuat, maka beton harus diperbaiki terlebih dahulu.
3. Apabila ada bagian beton yang mengalami kerusakan, bagian beton tersebut harus *dichipping* hingga bagian beton yang padat. Proses *chipping* ini dapat menggunakan alat manual atau alat mekanis.



4. Seluruh bagian bekisting harus dipasang dengan baik dan bebas dari kebocoran. Selain itu. Bekisting harus dilapisi dengan minyak bekisting untuk memudahkan ketika proses pelepasan bekisting.

#### B. Langkah Kerja

1. Pekerjaan pembongkaran dinding dan lantai, untuk mempermudah pemasangan CFRP pada permukaan balok.
2. Permukaan beton yang akan dipasang CFRP harus dikasarkan terlebih dahulu hingga bagian beton yang padat. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat manual atau mekanis.
3. Setelah dikasarkan selanjutnya permukaan yang akan diberi perkuatan harus dibersihkan dengan menggunakan kompresor udara atau *vacuum cleaner*.

### 3. PROSEDUR APLIKASI

Pada prosedur aplikasi ini akan dibagi menjadi 2 bagian yaitu persyaratan teknis dan langkah kerja sebagai berikut :

#### A. Persyaratan Teknis

1. Aplikasikan bahan perekat (Sikadur 30 / Sikadur 330) pada permukaan CFRP yang telah disiapkan dengan menggunakan spatula untuk membentuk suatu lapisan dengan tebal 2 mm.
2. Lapisan pada Sikadur 30 maupun Sikadur 330 harus membentuk lapisan lekatan yang benar-benar baik pada permukaan beton.

#### B. Langkah Kerja

1. Letakkan Sika CarboDur Laminates / Sika Wrap pada tempat yang bersih lalu bersihkan dengan menggunakan Sika Colma Cleaner.
2. Aplikasikan bahan perekat (Sikadur 30 / Sikadur 330) dengan “Roof shaped spatula” pada permukaan CFRP sehingga membentuk permukaan cembung dengan tebal 1.5 mm pada bagian tepi dan 2.5 mm pada bagian tengah dari arah lebar.
3. Kemudian lekatkan Sikadur 30 pada permukaan beton yang akan diperkuat.
4. Tekan bahan perkuatan CFRP terhadap bahan perekat epoxy dengan menggunakan roller. Proses ini dilakukan agar bahan perkuatan akan tertekan secara merata dan menyebabkan bahan perekat akan terdorong keluar dari sisi samping CFRP.
5. Kemudian bersihkan bahan perekat yang terdorong keluar pada lapisan CFRP agar terlihat rapi dan mendapatkan penampilan yang baik.

#### 4. PEMBERSIHAN

1. Setelah pemasangan selesai kemudian dilanjutkan dengan pekerjaan perbaikan lantai dan dinding ruangan disekitar lokasi perkuatan yang telah dibongkar agar kembali seperti kondisi sebelumnya dan bisa kembali digunakan sesuai dengan fungsinya.
2. Finishing lantai dan dinding agar kembali terlihat seperti kondisi semula dan terlihat rapi, serta agar tidak mengganggu interior bangunan tersebut.
3. Pembersihan bahan perekat epoxy resin pada peralatan yang telah digunakan dengan menggunakan air, namun untuk bahan perekat yang telah mengeras hanya dapat dibersihkan secara mekanis.
4. Setelah pekerjaan selesai, pekerjaan perkuatan dan daerah kerja disekitarnya harus ditinggalkan dalam keadaan rapi, bersih, dan tidak terdapat tumpahan bahan di area sekitar.

#### 4.11 Rencana Anggaran Biaya

Berikut adalah uraian mengenai estimasi biaya yang harus dikeluarkan untuk pelaksanaan perkuatan dengan bresing baja dan serat karbon. Tiap pembahasan akan dibagi menjadi 3 bagian sebagai berikut :

1. Volume
2. Analisa Harga Satuan Pekerjaan
3. Rencana Anggaran Biaya

##### 4.11.1 Biaya Perkuatan Bresing

##### 4.11.1.1 Volume

**Tabel 4.81 – Volume perkuatan bresing**

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan
<b>A</b>	<b>Bresing Lantai 1 As 1(B-C)</b>		
1	Pembersihan lapangan		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
2	Grouting elemen tumpu		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
3	Pemasangan Bresing	289.131566	kg
4	Pengelasan	61.6225	kg
5	Perakitan Bresing		
	Base-plate	5298.75	kg
	Gusset sudut	2390.325	kg

	Gusset chevron	2390.325	kg
	Pelat sambung LL	4047.586	kg
6	Pemasangan Mur Baut		
	Sambungan sudut	3.808	kg
	Sambungan chevron	3.808	kg
	Angkur chevron	7.48	kg
	Angkur sudut	11.968	kg
<b>B</b>	<b>Bresing Lantai 1 As 1(K-L)</b>		
1	Pembersihan lapangan		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
2	Grouting elemen tumpu		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
3	Pemasangan Bresing	289.131566	kg
4	Pengelasan	61.6225	kg
5	Perakitan Bresing		
	Base-plate	5298.75	kg
	Gusset sudut	2390.325	kg
	Gusset chevron	2390.325	kg
	Pelat sambung LL	4047.586	kg
6	Pemasangan Mur Baut		
	Sambungan sudut	3.808	kg
	Sambungan chevron	3.808	kg
	Angkur chevron	7.48	kg
	Angkur sudut	11.968	kg
<b>C</b>	<b>Bresing Lantai 1 As 4(C-D)</b>		
1	Pembersihan lapangan		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
2	Grouting elemen tumpu		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
3	Pemasangan Bresing	289.131566	kg
4	Pengelasan	61.6225	kg
5	Perakitan Bresing		
	Base-plate	5298.75	kg

	Gusset sudut	2390.325	kg
	Gusset chevron	2390.325	kg
	Pelat sambung LL	4047.586	kg
6	Pemasangan Mur Baut		
	Sambungan sudut	3.808	kg
	Sambungan chevron	3.808	kg
	Angkur chevron	7.48	kg
	Angkur sudut	11.968	kg
<b>D</b>	<b>Bresing Lantai 1 As 1(J-K)</b>		
1	Pembersihan lapangan		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
2	Grouting elemen tumpu		
	area smb. sudut	0.36	m <sup>2</sup>
	area smb. chevron	0.225	m <sup>2</sup>
3	Pemasangan Bresing	289.131566	kg
4	Pengelasan	61.6225	kg
5	Perakitan Bresing		
	Base-plate	5298.75	kg
	Gusset sudut	2390.325	kg
	Gusset chevron	2390.325	kg
	Pelat sambung LL	4047.586	kg
6	Pemasangan Mur Baut		
	Sambungan sudut	3.808	kg
	Sambungan chevron	3.808	kg
	Angkur chevron	7.48	kg
	Angkur sudut	11.968	kg

#### 4.11.1.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Tabel 4.82 – AHSP perkuatan bresing

No	Uraian	Koefisien	Satuan	Harga	Jumlah Harga
1	2	3	4	5	6
1	<b>Pembersihan Lapangan</b>		m <sup>2</sup>		
	Upah :				
	Mandor	0.0625	OH	Rp 171,000.00	Rp 10,687.50
	Pekerja Lapangan	0.0625	OH	Rp 145,000.00	Rp 9,062.50
				Jumlah	Rp 19,750.00
				<b>Nilai HSPK</b>	<b>Rp 19,750.00</b>
2	<b>Pekerjaan Grouting Permukaan Tumpu</b>		m <sup>2</sup>		
	Upah :				
	Mandor	0.0625	OH	Rp 171,000.00	Rp 10,687.50

	Pekerja Lapangan	0.0625	OH	Rp 145,000.00	Rp 9,062.50
				Jumlah	Rp 19,750.00
	<u>Peralatan :</u>				
	Cutter, Hammer, Drill, dll	1	ls	Rp 125,000.00	Rp 125,000.00
				Jumlah	Rp 125,000.00
				<b>Nilai HSPK</b>	<b>Rp 144,750.00</b>
<b>3</b>	<b>Pekerjaan Besi dan Baja</b>		kg		
	Pekerjaan pemasangan besi profil				
	<u>Upah :</u>				
	Mandor	0.006049	OH	Rp 171,000.00	Rp 1,034.38
	Tukang	0.0605369	OH	Rp 156,000.00	Rp 9,443.76
	Pembantu tukang	0.0605777	OH	Rp 145,000.00	Rp 8,783.77
				Jumlah	Rp 19,261.90
	<u>Bahan :</u>				
	Besi profil WF	1.15	kg	Rp 12,500.00	Rp 14,375.00
				Jumlah	Rp 14,375.00
				<b>Nilai HSPK</b>	<b>Rp 33,636.90</b>
<b>4</b>	<b>Pekerjaan Pengelasan dengan Listrik</b>		cm		
	<u>Upah :</u>				
	Mandor	0.0002016	OH	Rp 171,000.00	Rp 34.47
	Tukang	0.0020179	OH	Rp 156,000.00	Rp 314.79
	Pembantu tukang	0.0040385	OH	Rp 145,000.00	Rp 585.58
				Jumlah	Rp 934.85
	<u>Bahan :</u>				
	Electrode las	0.04	OH	Rp 59,000.00	Rp 2,360.00
	Solar	0.03	OH	Rp 5,500.00	Rp 165.00
	Minyak Pelumas	0.004	OH	Rp 27,100.00	Rp 108.40
				Jumlah	Rp 2,633.40
				<b>Nilai HSPK</b>	<b>Rp 3,568.25</b>
<b>5</b>	<b>Pekerjaan perakitan besi</b>		kg		
	<u>Upah :</u>				
	Mandor	0.00001008	OH	Rp 171,000.00	Rp 1.72
	Tukang	0.0010089	OH	Rp 156,000.00	Rp 157.39
	Pembantu tukang	0.0010096	OH	Rp 145,000.00	Rp 146.39
				Jumlah	Rp 305.50
	<u>Bahan :</u>				
	Solar	0.01	OH	Rp 5,500.00	Rp 55.00
	Minyak Pelumas	0.001	OH	Rp 27,100.00	Rp 27.10
				Jumlah	Rp 82.10
	<u>Sewa Peralatan :</u>				
	Sewa alat bantu 1 set @3alat	0.17	m <sup>3</sup>	Rp 1,100.00	Rp 187.00
				Jumlah	Rp 187.00
				<b>Nilai HSPK</b>	<b>Rp 574.60</b>
<b>6</b>	<b>Pekerjaan Pemasangan Baut Mur</b>		kg		
	<u>Upah :</u>				
	Mandor	0.003025	OH	Rp 171,000.00	Rp 517.28
	Mandor	0.006049	OH	Rp 171,000.00	Rp 1,034.38
	Tukang	0.0605369	OH	Rp 156,000.00	Rp 9,443.76
	Pembantu tukang	0.0605777	OH	Rp 145,000.00	Rp 8,783.77
				Jumlah	Rp 19,779.18

	Bahan :				
	Besi profil WF	1.15	kg	Rp 12,500.00	Rp 14,375.00
				Jumlah	Rp 14,375.00
				Nilai HSPK	Rp 34,154.18

#### 4.11.1.3 Biaya Perkuatan Bresing

Tabel 4.83 – Total biaya perkuatan bresing

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
<b>A</b>	<b>Bresing As 1(B-C)</b>				
1	Pembersihan lapangan	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 19,750.00	Rp 11,553.75
2	Fabrikasi dan pemotongan	143.910	m <sup>2</sup>	Rp 159,764.25	Rp 22,991,673.22
3	Grouting elemen tumpu	0.585	m <sup>3</sup>	Rp 144,750.00	Rp 84,678.75
4	Pemasangan Bresing	289.132	kg	Rp 33,636.90	Rp 9,725,490.12
5	Pengelasan	61.623	kg	Rp 3,568.25	Rp 219,884.39
6	Perakitan Bresing	14126.986	kg	Rp 574.60	Rp 8,117,423.79
7	Pemasangan Mur Baut	27.064	kg	Rp 34,154.18	Rp 924,348.64
				Jumlah	Rp 42,075,052.67
				Jumlah . n lantai	Rp 420,750,526.73
<b>B</b>	<b>Bresing As 1(K-L)</b>				
1	Pembersihan lapangan	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 19,750.00	Rp 11,553.75
2	Fabrikasi dan pemotongan	143.910	m <sup>2</sup>	Rp 159,764.25	Rp 22,991,673.22
3	Grouting elemen tumpu	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 144,750.00	Rp 84,678.75
4	Pemasangan Bresing	289.132	kg	Rp 33,636.90	Rp 9,725,490.12
5	Pengelasan	61.623	kg	Rp 3,568.25	Rp 219,884.39
6	Perakitan Bresing	14126.986	kg	Rp 574.60	Rp 8,117,423.79
7	Pemasangan Mur Baut	27.064	kg	Rp 34,154.18	Rp 924,348.64
				Jumlah	Rp 42,075,052.67
				Jumlah . n lantai	Rp 420,750,526.73
<b>C</b>	<b>Bresing As 4(C-D)</b>				
1	Pembersihan lapangan	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 19,750.00	Rp 11,553.75
2	Fabrikasi dan pemotongan	143.910	m <sup>2</sup>	Rp 159,764.25	Rp 22,991,673.22
3	Grouting elemen tumpu	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 144,750.00	Rp 84,678.75
4	Pemasangan Bresing	289.132	kg	Rp 33,636.90	Rp 9,725,490.12
5	Pengelasan	61.623	kg	Rp 3,568.25	Rp 219,884.39
6	Perakitan Bresing	14126.986	kg	Rp 574.60	Rp 8,117,423.79
7	Pemasangan Mur Baut	27.064	kg	Rp 34,154.18	Rp 924,348.64
				Jumlah	Rp 42,075,052.67
				Jumlah . n lantai	Rp 420,750,526.73
<b>D</b>	<b>Bresing As 4(J-K)</b>				
1	Pembersihan lapangan	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 19,750.00	Rp 11,553.75
2	Fabrikasi dan pemotongan	143.910	m <sup>2</sup>	Rp 159,764.25	Rp 22,991,673.22
3	Grouting elemen tumpu	0.585	m <sup>2</sup>	Rp 144,750.00	Rp 84,678.75
4	Pemasangan Bresing	289.132	kg	Rp 33,636.90	Rp 9,725,490.12
5	Pengelasan	61.623	kg	Rp 3,568.25	Rp 219,884.39
6	Perakitan Bresing	14126.986	kg	Rp 574.60	Rp 8,117,423.79
7	Pemasangan Mur Baut	27.064	kg	Rp 34,154.18	Rp 924,348.64
				Jumlah	Rp 42,075,052.67
				Jumlah . n lantai	Rp 420,750,526.73
Jumlah total I = A + B + C + D					Rp 1,683,002,106.92
PPN 10 %					Rp 168,300,210.69
Jumlah Total 2					Rp 1,851,302,317.61

## 4.11.2 Biaya Perkuatan CFRP

### 4.11.2.1 Volume

#### A. Volume Perkuatan Geser Balok

Diambil contoh perkuatan geser balok B1A bagian tumpuan pada as F titik 2-3 lantai 7.

$$\text{Jarak pemasangan CFRP } as \text{ to } as = 550 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah lapis (ply)} = 2$$

Menentukan kebutuhan CFRP pada tumpuan.

Pada samping kanan dan kiri balok terdapat kolom dengan dimensi 900 x 700

$$\text{Bentang} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Bentang bersih } (l_n) = 4000 - \frac{1}{2} \cdot 900 - \frac{1}{2} \cdot 900$$

$$= 3100 \text{ mm}$$

Untuk panjang kebutuhan lapangan digunakan  $\frac{1}{2}$  dari bentang bersih ( $l_n$ ), sedangkan untuk tumpuan  $\frac{1}{4}$  dari bentang bersih. Maka :

$$\frac{1}{4} \cdot 3100 = 775 \text{ mm}$$

Hasil bagi panjang kebutuhan dengan jarak pemasangan adalah sebagai berikut :

$$\text{Panjang kebutuhan / jarak pemasangan} = 775 / 550$$

$$= 1.409 \approx 2$$

Selanjutnya kebutuhan CFRP didapatkan dari hasil bagi dikalikan dengan jumlah lapis adalah sebagai berikut :

$$\text{Hasil bagi} \cdot \text{jumlah lapis} \cdot \text{sisi tump.} = 2 \cdot 2 \cdot 2$$

$$= 8$$

Menentukan keliling balok

Dimensi balok adalah 400 x 800

Keliling balok dapat dihitung dengan lebar balok ditambah 2 kali tinggi balok :

$$b + 2 \cdot h = 400 + 2 \cdot (800-120)$$

$$= 400 + 1360$$

$$= 1760 \text{ mm}$$

$$= 1.76 \text{ m}$$

Panjang CFRP adalah keliling dikalikan kebutuhan CFRP sebagai berikut :

$$\text{Keliling} \cdot \text{Kebutuhan CFRP} = 1.76 \cdot 8$$

$$= 14.08 \text{ m}^2$$

Kemudian untuk mempermudah perhitungan biaya maka digunakan satuan  $\text{m}^2$  yaitu dengan cara panjang CFRP dikalikan dengan lebar CFRP sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Panjang CFRP} \cdot \text{lebar CFRP} &= 14.08 \cdot 0.5 \\ &= 7.04 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk total volume semua perkuatan geser pada gedung ini adalah sebesar = 620.24 m<sup>2</sup>

#### 4.11.2.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

##### A. Pekerjaan Persiapan

**Tabel 4.84 – AHSP persiapan pemasangan CFRP**

No	Uraian	Koefisien	Satuan	Harga	Jumlah Harga
1	Mobilisasi Tenaga dan Peralatan	1	ls	Rp 5,000,000.00	Rp 5,000,000.00
2	Pembuatan Gambar Kerja	1	ls	Rp 2,500,000.00	Rp 2,500,000.00
3	Pembuatan Laporan Pekerjaan	1	ls	Rp 1,000,000.00	Rp 1,000,000.00
Total Harga					<b>Rp 8,500,000.00</b>

##### B. Pemasangan CFRP Wrap per m<sup>2</sup>

**Tabel 4.85 – AHSP pemasangan CFRP Wrap per m<sup>2</sup>**

No	Uraian	Koefisien	Satuan	Harga	Jumlah Harga
<b>Tenaga Kerja</b>					
1	Supervisor	0.0625	hari	Rp 250,000.00	Rp 15,625.00
2	Pekerja Lapangan 4 org @Rp150rb	0.0625	hari	Rp 600,000.00	Rp 37,500.00
<b>Material</b>					
1	CFRP Sika Wrap 231C, Rol 100 m	1	m <sup>2</sup>	Rp 825,000.00	Rp 825,000.00
2	Sikadur 330	0.7	kg	Rp 344,400.00	Rp 241,080.00
<b>Peralatan</b>					
1	Cutter, Hammer Drill dll	1	ls	Rp 200,000.00	Rp 200,000.00
Total Harga					<b>Rp 1,319,205.00</b>

#### 4.11.2.3 Biaya Perkuatan CFRP

**Tabel 4.86 – Total biaya perkuatan CFRP**

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pekerjaan Persiapan	1	ls	Rp 8,500,000.00	Rp 8,500,000.00
2	Pekerjaan Pemasangan CFRP Wrap	620.24	m <sup>2</sup>	Rp 1,319,205.00	Rp 818,223,709.20
Jumlah total 1 = 1 + 2					Rp 826,723,709.20
PPN 10%					Rp 82,672,370.92
Jumlah total 2					Rp 909,396,080.12



**4.11.3 Rencana Anggaran Biaya****Tabel 4.87 – Rencana anggaran biaya**

<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>Jumlah</b>
1	Total Biaya Perkuatan Bresing + PPN	Rp 1,851,302,317.61
2	Total Biaya Perkuatan CFRP + PPN	Rp 909,396,080.12
Jumlah total = 1 + 2		Rp 2,760,698,397.73

Jadi total biaya yang dibutuhkan untuk memperkuat gedung adalah sebesar Rp. 2,760,698,397,73 atau *Dua Miliar Tujuh Ratus Enam Puluh Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Delapan Ribu Tiga Ratus Sembilan Puluh Tujuh Rupiah.*

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa pada Bab 4, didapatkan kesimpulan sesuai dengan tugas akhir terapan berikut :

1. Hasil analisa struktur gedung yang dievaluasi dengan SNI 1726-2019 sebagai berikut :
  - a. Kontrol jumlah ragam memenuhi persyaratan, yaitu sebesar 100% (minimum 90%) partisipasi massa ragam terkombinasi dari massa struktur pada modal ke-121.
  - b. Kontrol periode struktur tidak memenuhi batas minimum yang disyaratkan ( $T_{min} = 0.776184231$  sec), yaitu sebesar 0.687257 sec pada sumbu-Y dan 0.482271 sec pada sumbu-X.
  - c. Kontrol gaya geser tidak memenuhi persyaratan 100%  $V_{statik}$  ( $V_{statik} = 23092.3101$  kN), yaitu sebesar 15689.854 kN pada sumbu-X dan 15669.163 pada sumbu-Y.
  - d. Kontrol dual sistem memenuhi persyaratan SRPM memikul minimal 25% gaya seismik yang ditetapkan, yaitu sebesar 54.1% pada sumbu-X dan 35.8% pada sumbu-Y.
  - e. Kontrol simpangan antar lantai ( $\Delta_{max} = 17.22$  mm) memenuhi persyaratan batas ijin yang disyaratkan yaitu sebesar 40 mm.
2. Pemberian steel bracing memberikan pengaruh peningkatan kontrol dinamik struktur seperti berikut :
  - a. Mereduksi periode struktur pada arah Y yaitu sebesar 2.6%, yang awalnya 0.687257 sec menjadi 0.669415 sec.
  - b. *Dual system* pada SRPM mengalami peningkatan pada arah sumbu-X yang awalnya 54.1% menjadi 55.6%.
  - c. Simpangan antar lantai tereduksi sebesar 6% untuk simpangan pada arah sumbu-X yang semula  $\Delta_{max}$  arah X sebesar 17.22 mm menjadi  $\Delta_{max}$  arah X sebesar 16.32 mm.
3. Perkuatan struktur dilakukan dengan memasang bresing pada as 1 (titik B-C; titik K-L) dan as 4 (titik C-D; titik J-K). Bresing yang digunakan yaitu baja WF 150.150.7.10 yang diangkurkan pada kolom dan balok.
4. Dari hasil perhitungan kapasitas elemen struktur menunjukkan bahwa struktur pelat, kolom, dan pondasi masih mampu menahan beban yang terjadi.

5. Dari hasil analisa perencanaan perkuatan elemen struktur balok terdapat 133 balok yang memerlukan perkuatan geser pada daerah tumpuan.
6. Perkuatan geser pada balok dilakukan dengan menambahkan CFRP tipe SIKAWRAP 231C sebanyak 1-2 lapis dengan jarak pemasangan yang berbeda-beda sesuai kebutuhan pada masing-masing tumpuan balok yang membutuhkan perkuatan geser.
7. Estimasi biaya perkuatan yang dibutuhkan yaitu :
  - a. Biaya perkuatan bresing sebesar Rp. 1,851,302,318
  - b. Biaya Perkuatan CFRP sebesar Rp. 909,396,080
 Jadi total estimasi biaya perkuatan yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 2,760,698,398,- atau *Dua Miliar Tujuh Ratus Enam Puluh Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Delapan Ribu Tiga Ratus Sembilan Puluh Tujuh Rupiah*.

## 5.2 Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk kemajuan penulis tugas akhir terapan ini, diantaranya yaitu :

1. Diperlukan ketelitian lebih untuk meminimalisir kesalahan pada saat melakukan analisa dan evaluasi struktur.
2. Diperlukan studi literatur yang lebih lanjut untuk pemasangan perkuatan *steel bracing* terutama mengenai standar perencanaan.
3. Diperlukan perangkat yang memenuhi spesifikasi karena proses analisis bangunan gedung tinggi dengan *software* membutuhkan waktu yang cukup lama.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai perkuatan sistem struktur agar didapatkan jenis perkuatan yang efektif dari segi kekuatan, biaya dan kemudahan pekerjaan.
5. Berdasarkan hasil perhitungan evaluasi pondasi *footplate* tipe 2, pondasi tersebut tidak memenuhi pada bagian geser pondasinya. Sehingga perlu perkuatan pada bagian pondasi tersebut.
6. CFRP merupakan metode perkuatan yang efisien karena tidak akan mengubah desain arsitektural (tebal  $\pm 1$  mm). oleh karena itu cocok digunakan untuk bangunan komersil.

## DAFTAR PUSTAKA

- BMKG. (2020). *Apakah Gempabumi itu ? Yang Perlu Diketahui Karakteristik Gempabumi Upaya Mitigasi Gempa Bumi Mengapa Gempabumi Terjadi ? Akibat Gempabumi Faktor-faktor yang Mengakibatkan Kerusakan Akibat Gempabumi Dampak Gempabumi Terhadap Alam Dampak Gempabumi Terhadap*. 2020.
- Cornelis, R., Bunganaen, W., & Haryanto Uumbu Tay, B. (2014). *ANALISIS PERBANDINGAN GAYA GESER TINGKAT, GAYA GESER TINGKAT AKIBAT BEBAN GEMPA BERDASARKAN*. III(2), 205–216.
- Dewi, L. C., Prihantono, J., Purbani, D., & Pradono, M. H. (2015). Respon Spektrum Desain Pada Lokasi Tempat Evakuasi Sementara Tsunami Di Kota Pariaman. *Jurnal Segara*, 10(2), 163–169. <https://doi.org/10.15578/segara.v10i2.26>
- Farlianti, S. (2019). *Perhitungan Respon Spektra Percepatan Gempa Kota Palembang Berdasarkan Sni 1726;2019 Sebagai Revisi Terhadap Sni 1726;2012*. 6(2), 167–177.
- Refani, A. N., Alrasyid, H., & Irmawan, M. (2015). Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2012 dan SNI 2847 2013. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 13(2), 17. <https://doi.org/10.12962/j12345678.v13i2.1586>
- Rosyidah, A., Rinawati, Wiratenaya, D., & Pattisia, A. (2010). Perkuatan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal 3 Lantai. *Politeknologi*, 9(1), 8–21. <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/politeknologi>
- SNI 1727. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Bandung: *Badan Standardisasi Indonesia*, 196. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Sukrawa, M., Dharma Giri, I. B., Deskarta, I. P., & Prayoga, M. H. (2016). Perkuatan Seismik Struktur Rangka Beton Bertulang Menggunakan Breising Baja Tipe X Dan V Terbalik. *Jurnal Spektran*, 4(2). <https://doi.org/10.24843/spektran.2016.v04.i02.p10>

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Mohamad Alfien Arisandy Armansyah ini dilahirkan di Surabaya pada tanggal 01 Oktober 1999 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Petemon XIII Surabaya, SMP Negeri 4 Surabaya, dan SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana terapan (D-IV) di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS pada tahun 2017 melalui jalur SMITS dan terdaftar dengan NRP 10111710010088. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa kegiatan kampus seperti kepanitiaan. Salah satu kegiatan kepanitiaan di jurusan yaitu D'Village<sup>9th</sup> yang bergabung dalam sie transport, selain itu pada tingkat institut tahun 2019 penulis juga aktif sebagai panitia dalam acara ITS Futsal Championship sebagai staff lapangan. Penulis juga aktif dalam organisasi yaitu Bonek Heroes Campus. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, penulis mengambil proyek akhir bidang struktur dengan judul “Evaluasi dan Perkuatan Struktur Gedung Kuliah Bersama di Malang Akibat Beban Gempa SNI 1726-2019”.

Penulis dapat dihubungi melalui,  
Email : [alfinarisandy23@gmail.com](mailto:alfinarisandy23@gmail.com)

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **LAMPIRAN**



## 1. Kontrol Elemen Balok yang Membutuhkan Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	$A_v$ mm <sup>2</sup>	$\phi V_n$ kN	$V_u$ kN	Kontrol
L1 B1 F(1-2)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	753.017169	Perkuatan
L1 B1 H(1-2)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	753.030169	Perkuatan
L2 B1 F(1-2)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	813.639169	Perkuatan
L2 B1 H(1-2)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	813.702169	Perkuatan
L3 B1 F(1-2)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	718.400169	Perkuatan
L3 B1 H(1-2)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	718.481169	Perkuatan
L5 B1 F(2-3)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	715.097169	Perkuatan
L6 B1 F(2-3)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	719.544169	Perkuatan
L6 B1 H(2-3)	Tump.	Ø10 - 100	4	314.1593	711.5707	719.523169	Perkuatan
L7 B1A A(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	500.238178	Perkuatan
L7 B1A A(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	561.716178	Perkuatan
L7 B1A B(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	507.685178	Perkuatan
L7 B1A B(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	507.286178	Perkuatan
L7 B1A C(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	569.977178	Perkuatan
L7 B1A C(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	564.619178	Perkuatan
L7 B1A D(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	511.596178	Perkuatan
L7 B1A D(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	507.700178	Perkuatan
L7 B1A E(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	536.353178	Perkuatan
L7 B1A E(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	541.935178	Perkuatan
L7 B1A F(4-5)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	476.788178	Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	Av mm <sup>2</sup>	$\phi V_n$ kN	Vu kN	Kontrol
L7 B1A F(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	497.438178	Perkuatan
L7 B1A F(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	652.330178	Perkuatan
L7 B1A F(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	492.191178	Perkuatan
L7 B1A G(4-5)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	481.061178	Perkuatan
L7 B1A G(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	540.602178	Perkuatan
L7 B1A G(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	570.603178	Perkuatan
L7 B1A G(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	574.790178	Perkuatan
L7 B1A H(4-5)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	476.757178	Perkuatan
L7 B1A H(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	497.426178	Perkuatan
L7 B1A H(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	652.304178	Perkuatan
L7 B1A H(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	495.607178	Perkuatan
L7 B1A I(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	536.415178	Perkuatan
L7 B1A I(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	542.031178	Perkuatan
L7 B1A J(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	512.129178	Perkuatan
L7 B1A J(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	508.331178	Perkuatan
L7 B1A K(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	570.584178	Perkuatan
L7 B1A K(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	565.311178	Perkuatan
L7 B1A L(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	508.044178	Perkuatan
L7 B1A L(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	507.823178	Perkuatan
L7 B1A M(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	500.995178	Perkuatan
L7 B1A M(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	561.833178	Perkuatan
L8 B1A A(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	498.086178	Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	Av mm <sup>2</sup>	$\phi V_n$ kN	Vu kN	Kontrol
L8 B1A A(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	559.629178	Perkuatan
L8 B1A B(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	505.785178	Perkuatan
L8 B1A B(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	506.190178	Perkuatan
L8 B1A C(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	568.031178	Perkuatan
L8 B1A C(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	562.063178	Perkuatan
L8 B1A D(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	509.213178	Perkuatan
L8 B1A D(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	505.113178	Perkuatan
L8 B1A E(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	533.944178	Perkuatan
L8 B1A E(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	550.268178	Perkuatan
L8 B1A F(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	494.470178	Perkuatan
L8 B1A F(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	548.112178	Perkuatan
L8 B1A G(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	537.868178	Perkuatan
L8 B1A G(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	476.141178	Perkuatan
L8 B1A G(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	574.887178	Perkuatan
L8 B1A H(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	494.452178	Perkuatan
L8 B1A H(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	548.086178	Perkuatan
L8 B1A I(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	533.940178	Perkuatan
L8 B1A I(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	550.308178	Perkuatan
L8 B1A J(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	509.822178	Perkuatan
L8 B1A J(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	505.816178	Perkuatan
L8 B1A K(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	568.773178	Perkuatan
L8 B1A K(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	562.873178	Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	Av mm <sup>2</sup>	$\phi V_n$ kN	Vu kN	Kontrol
L8 B1A L(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	506.278178	Perkuatan
L8 B1A L(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	506.812178	Perkuatan
L8 B1A M(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	498.401178	Perkuatan
L8 B1A M(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	559.740178	Perkuatan
L9 B1A A(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	586.630178	Perkuatan
L9 B1A A(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	572.393178	Perkuatan
L9 B1A B(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	549.589178	Perkuatan
L9 B1A B(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	545.089178	Perkuatan
L9 B1A C(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	545.549178	Perkuatan
L9 B1A C(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	539.836178	Perkuatan
L9 B1A D(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	547.477178	Perkuatan
L9 B1A E(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	547.058178	Perkuatan
L9 B1A E(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	562.246178	Perkuatan
L9 B1A F(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	491.048178	Perkuatan
L9 B1A F(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	531.443178	Perkuatan
L9 B1A G(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	575.006178	Perkuatan
L9 B1A H(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	491.054178	Perkuatan
L9 B1A H(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	531.420178	Perkuatan
L9 B1A I(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	547.673178	Perkuatan
L9 B1A I(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	562.873178	Perkuatan
L9 B1A J(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	548.471178	Perkuatan
L9 B1A J(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	547.170178	Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	Av mm <sup>2</sup>	$\phi V_n$ kN	Vu kN	Kontrol
L9 B1A K(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	546.933178	Perkuatan
L9 B1A K(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	540.915178	Perkuatan
L9 B1A L(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	547.736178	Perkuatan
L9 B1A L(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	546.054178	Perkuatan
L9 B1A M(3-4)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	536.810178	Perkuatan
L9 B1A M(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	572.916178	Perkuatan
L.ATP B1A F(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	491.756178	Perkuatan
L.ATP B1A H(1-2)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	491.710178	Perkuatan
L.ATP B1A F(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	476.404178	Perkuatan
L.ATP B1A H(2-3)	Tump.	Ø10 - 150	4	314.1593	474.38	476.373178	Perkuatan
L7 B2 4(E-F)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	246.754	Perkuatan
L6 B2 4(E-F)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	257.403	Perkuatan
L3 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	237.903	Perkuatan
L3 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	238.855	Perkuatan
L3 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	256.825	Perkuatan
L4 B2 4(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	237.597	Perkuatan
L5 B2 4(E-F)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	263.295	Perkuatan
L4 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	252	Perkuatan
L4 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	261.863	Perkuatan
L4 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	279.165	Perkuatan
L4 B2 4(E-F)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	262.735	Perkuatan
L5 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	260.949	Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	Av mm <sup>2</sup>	$\phi V_n$ kN	Vu kN	Kontrol
L5 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	275.748	Perkuatan
L5 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	291.952	Perkuatan
L6 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	250.994	Perkuatan
L3 B2 4(E-F)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	259.011	Perkuatan
L6 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	264.637	Perkuatan
L6 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	280.733	Perkuatan
L6 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	296.047	Perkuatan
L7 B2 4(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	243.288	Perkuatan
L2 B2 4(E-F)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	255.546	Perkuatan
L7 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	256.097	Perkuatan
L7 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	278.9	Perkuatan
L7 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	294.002	Perkuatan
L8 B2 4(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	237.789	Perkuatan
L8 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	250.346	Perkuatan
L8 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	269.764	Perkuatan
L8 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	286.501	Perkuatan
L9 B2 3(A'-A)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	240.92	Perkuatan
L9 B2 2(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	263.067	Perkuatan
L9 B2 1(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	280.387	Perkuatan
L7 B2 4(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	246.626	Perkuatan
L6 B2 4(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	257.246	Perkuatan
L5 B2 4(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	263.097	Perkuatan

Tipe Balok	Lokasi	Senggang Pasang	Kaki	$A_v$ $\text{mm}^2$	$\phi V_n$ kN	$V_u$ kN	Kontrol
L4 B2 4(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	262.46	Perkuatan
L3 B2 4(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	258.6	Perkuatan
L2 B2 4(H-I)	Tump.	Ø10 - 100	3	235.6194	235.384	254.63	Perkuatan

## 2. Analisa Kapasitas Geser Kolom pada Setiap Tipe Kolom

Analisa kekuatan atau kapasitas geser pada tiap tipe kolom menggunakan nilai  $V_u$  dan  $P_u$  maksimal yang didapatkan dari permodelan struktur, untuk hasil rekapnya disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tipe	Lantai	Arah	Balok Kiri		Balok Kanan		Mpr (kN.m)		V sway (kN)	$\phi V_n$ (kN)	Kontrol Geser
			Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah			
K1	BM - L5	X			B2	B2	746.0	746.0	233.1	819.1	Aman
			B2	B2	B2	B2	1439.7	1439.7	449.9	819.1	Aman
			B2	B2			693.7	693.7	216.8	819.1	Aman
		Y			B1	B1	1429.7	1429.7	446.8	1010.7	Aman
			B1	B1	B1	B1	2779.8	2779.8	868.7	1010.7	Aman
			B1	B1			1350.1	1350.1	421.9	1010.7	Aman
K1	L6	Y			B1A	B1	1165.3	1429.7	393.0	1010.7	Aman
			B1A	B1	B1A	B1	2260.1	2859.5	775.0	1010.7	Aman
			B1A	B1			1094.8	1429.7	382.0	1010.7	Aman
K1A	L7	Y			B1	B1A	1429.7	1165.3	393.0	791.6	Aman
			B1	B1A	B1	B1A	2859.5	2260.1	775.0	791.6	Aman
			B1	B1A			1429.7	1094.8	382.0	791.6	Aman



Tipe	Lantai	Arah	Balok Kiri		Balok Kanan		Mpr (kN.m)		V sway (kN)	$\phi V_n$ (kN)	Kontrol Geser
			Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah			
K1A	L7 - L.Atap	X			B2	B2	746.0	746.0	233.1	654.2	Aman
			B2	B2	B2	B2	1439.7	1439.7	449.9	654.2	Aman
			B2	B2			693.7	693.7	216.8	654.2	Aman
		Y			B1A	B1A	1165.3	1165.3	353.1	791.6	Aman
			B1A	B1A	B1A	B1A	2260.1	2260.1	695.3	791.6	Aman
			B1A	B1A			1094.8	1094.8	342.1	791.6	Aman
K2	BM - L6	X			B2	B2	746.0	746.0	233.1	540.5	Aman
			B2	B2			693.7	693.7	216.8	540.5	Aman
		Y			B2	B2	746.0	746.0	233.1	540.5	Aman
K2A	L7 - L.Atap	X			B2	B2	746.0	746.0	233.1	388.0	Aman
			B2	B2			693.7	693.7	216.8	388.0	Aman
		Y			B2	B2	746.0	746.0	233.1	388.0	Aman

### 3. Analisa Kapasitas Pondasi

#### a. Pondasi FootPlat Tipe 1

Kontrol kapasitas satu tiang terhadap beban ijin yang terjadi:

No	Pmax 1 tiang (kN)	Pijin 1 tiang (kN)	Kontrol
1	652.637	4196.421	OK
2	1478.771	4196.421	OK
3	916.763	4196.421	OK
4	663.742	4196.421	OK
5	881.584	4196.421	OK
6	922.853	4196.421	OK
7	670.467	4196.421	OK
8	914.807	4196.421	OK
9	1473.396	4196.421	OK
10	647.988	4196.421	OK
11	1005.364	4196.421	OK
12	1739.349	4196.421	OK
13	1289.723	4196.421	OK
14	1048.898	4196.421	OK
15	1246.507	4196.421	OK
16	1290.083	4196.421	OK
17	1057.497	4196.421	OK
18	1288.089	4196.421	OK

19	1735.531	4196.421	OK
20	1002.38	4196.421	OK
21	1725.738	4196.421	OK
22	1018.759	4196.421	OK
23	957.148	4196.421	OK
24	1061.056	4196.421	OK
25	1104.187	4196.421	OK
26	965.656	4196.421	OK
27	1017.319	4196.421	OK
28	1725.913	4196.421	OK
29	880.321	4196.421	OK
30	813.512	4196.421	OK
31	871.861	4196.421	OK
32	912.552	4196.421	OK
33	819.955	4196.421	OK
34	878.316	4196.421	OK

Kontrol kapasitas geser satu arah dan dua arah :

Vu (kN)	Geser 1 Arah		Geser 2 Arah				
	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol	Vc1 (kN)	Vc2 (kN)	Vc3 (kN)	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol
5703.31	14614.71121	OK	21260.0013	21405.41154	11555.436	8666.577001	OK

**b. Pondasi FootPlat Tipe 2**

Kontrol kapasitas satu tiang terhadap beban ijin yang terjadi:

No	Pmax 1 tiang (kN)	Pijin 1 tiang (kN)	Kontrol
1	7363.962	4779.508	NOT OK
2	8835.035	4779.508	NOT OK
3	2997.916	4779.508	OK
4	2998.452	4779.508	OK
5	8814.920	4779.508	NOT OK
6	7388.473	4779.508	NOT OK
7	8990.694	4779.508	NOT OK
8	10046.135	4779.508	NOT OK
9	4161.383	4779.508	OK
10	4162.191	4779.508	OK
11	10028.599	4779.508	NOT OK
12	9015.462	4779.508	NOT OK
13	716.127	4779.508	OK
14	397.060	4779.508	OK
15	-194.494	4779.508	OK
16	-195.131	4779.508	OK
17	393.825	4779.508	OK
18	-713.606	4779.508	OK

19	-716.041	4779.508	OK
20	416.409	4779.508	OK
21	-193.676	4779.508	OK
22	-194.330	4779.508	OK
23	413.100	4779.508	OK
24	-713.438	4779.508	OK
25	9255.914	4779.508	NOT OK
26	10339.408	4779.508	NOT OK
27	4248.400	4779.508	OK
28	4249.278	4779.508	OK
29	10321.315	4779.508	NOT OK
30	9281.647	4779.508	NOT OK
31	7586.614	4779.508	NOT OK
32	9101.620	4779.508	NOT OK
33	3061.523	4779.508	OK
34	3062.119	4779.508	OK
35	9080.847	4779.508	NOT OK
36	7612.075	4779.508	NOT OK

Kontrol kapasitas geser satu arah dan dua arah :

Vu (kN)	Geser 1 Arah		Geser 2 Arah				
	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol	Vc1 (kN)	Vc2 (kN)	Vc3 (kN)	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol
30842.05	8794.694	NOT OK	21260.0013	21405.41154	11555.436	8666.577001	NOT OK

**c. Pondasi FootPlat Tipe 3 Kiri**

Kontrol kapasitas satu tiang terhadap beban ijin yang terjadi:

No	Pmax 1 tiang (kN)	Pijin 1 tiang (kN)	Kontrol
1	1217.755	2632.466	OK
2	1252.683	2632.466	OK
3	1598.188	2632.466	OK
4	1635.591	2632.466	OK
5	61.094	2632.466	OK
6	86.570	2632.466	OK
7	18.577	2632.466	OK
8	32.794	2632.466	OK
9	587.249	2632.466	OK
10	619.950	2632.466	OK
11	636.131	2632.466	OK
12	680.109	2632.466	OK
13	622.350	2632.466	OK
14	672.865	2632.466	OK
15	656.347	2632.466	OK
16	695.922	2632.466	OK
17	30.340	2632.466	OK
18	45.638	2632.466	OK

19	36.859	2632.466	OK
20	63.213	2632.466	OK
21	1605.245	2632.466	OK
22	1654.030	2632.466	OK
23	1388.363	2632.466	OK
24	1437.513	2632.466	OK

Kontrol kapasitas geser satu arah dan dua arah :

Vu (kN)	Geser 1 Arah		Geser 2 Arah				
	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol	Vc1 (kN)	Vc2 (kN)	Vc3 (kN)	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol
5453.49	15261.380	OK	21260.0013	21405.41154	11555.436	8666.577001	OK

**d. Pondasi FootPlat Tipe 3 Kanan**

Kontrol kapasitas satu tiang terhadap beban ijin yang terjadi:

No	Pmax 1 tiang (kN)	Pijin 1 tiang (kN)	Kontrol
1	1203.925	2632.466	OK
2	1284.658	2632.466	OK
3	1569.623	2632.466	OK
4	1650.186	2632.466	OK
5	55.801	2632.466	OK
6	88.470	2632.466	OK
7	16.173	2632.466	OK

8	35.778	2632.466	OK
9	572.018	2632.466	OK
10	633.602	2632.466	OK
11	619.822	2632.466	OK
12	694.627	2632.466	OK
13	609.418	2632.466	OK
14	681.344	2632.466	OK
15	644.975	2632.466	OK
16	702.497	2632.466	OK
17	28.932	2632.466	OK
18	47.409	2632.466	OK
19	35.442	2632.466	OK
20	64.896	2632.466	OK
21	1592.885	2632.466	OK
22	1659.033	2632.466	OK
23	1376.402	2632.466	OK
24	1443.872	2632.466	OK

Kontrol kapasitas geser satu arah dan dua arah :

Vu (kN)	Geser 1 Arah		Geser 2 Arah				
	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol	Vc1 (kN)	Vc2 (kN)	Vc3 (kN)	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol
5468.21	15261.380	OK	21260.0013	21405.41154	11555.436	8666.577001	OK



**e. Pondasi FootPlat Tipe 4**

Kontrol kapasitas satu tiang terhadap beban ijin yang terjadi:

No	Pmax 1 tiang (kN)	Pijin 1 tiang (kN)	Kontrol
1	1272.96	3036.99	OK

Kontrol kapasitas geser satu arah dan dua arah :

Vu (kN)	Geser 1 Arah		Geser 2 Arah				
	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol	Vc1 (kN)	Vc2 (kN)	Vc3 (kN)	$\phi V_c$ (kN)	Kontrol
722.776	2328.007	OK	21260.0013	21405.41154	11555.436	8666.577001	OK

#### 4. Perencanaan Perkuatan Geser Balok

Type Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc\ use}$	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)
L1 B1 F(1-2)	Tump.	0.004	920	57365.3	1257.7062	650	1
L1 B1 H(1-2)	Tump.	0.004	920	57383.3	1257.3118	650	1
L2 B1 F(1-2)	Tump.	0.004	920	141271	510.71065	500	1
L2 B1 H(1-2)	Tump.	0.004	920	141358	510.39562	500	1
L3 B1 F(1-2)	Tump.	0.004	920	9452.5	7632.7619	650	1
L3 B1 H(1-2)	Tump.	0.004	920	9564.61	7543.2952	650	1
L5 B1 F(2-3)	Tump.	0.004	920	4880.88	14781.916	650	1
L6 B1 F(2-3)	Tump.	0.004	920	11035.9	6537.6402	650	1
L6 B1 H(2-3)	Tump.	0.004	920	11006.8	6554.9041	650	1
L7 B1A A(3-4)	Tump.	0.004	920	35789.9	2015.8975	650	1
L7 B1A A(1-2)	Tump.	0.004	920	120881	596.85959	550	1
L7 B1A B(3-4)	Tump.	0.004	920	46097.1	1565.1451	650	1
L7 B1A B(1-2)	Tump.	0.004	920	45544.9	1584.1231	650	1
L7 B1A C(3-4)	Tump.	0.004	920	132314	545.28216	500	1
L7 B1A C(1-2)	Tump.	0.004	920	124899	577.65858	550	1
L7 B1A D(3-4)	Tump.	0.004	920	51510.3	1400.666	650	1
L7 B1A D(1-2)	Tump.	0.004	920	46117.9	1564.4405	650	1
L7 B1A E(3-4)	Tump.	0.004	920	85776	841.12898	650	1
L7 B1A E(1-2)	Tump.	0.004	920	93502	771.62754	650	1

Tipe Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc\ use}$	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)
L7 B1A F(4-5)	Tump.	0.004	920	3333.12	21646.006	650	1
L7 B1A F(3-4)	Tump.	0.004	920	31914.4	2260.6919	650	1
L7 B1A F(2-3)	Tump.	0.004	920	246298	585.86551	550	2
L7 B1A F(1-2)	Tump.	0.004	920	24652.1	2926.6697	650	1
L7 B1A G(4-5)	Tump.	0.004	920	9247.31	7802.1325	650	1
L7 B1A G(3-4)	Tump.	0.004	920	91657	787.15979	650	1
L7 B1A G(2-3)	Tump.	0.004	920	133181	541.73471	500	1
L7 B1A G(1-2)	Tump.	0.004	920	138976	519.14494	500	1
L7 B1A H(4-5)	Tump.	0.004	920	3290.21	21928.285	650	1
L7 B1A H(3-4)	Tump.	0.004	920	31897.8	2261.869	650	1
L7 B1A H(2-3)	Tump.	0.004	920	246262	585.95112	550	2
L7 B1A H(1-2)	Tump.	0.004	920	29380.2	2455.6932	650	1
L7 B1A I(3-4)	Tump.	0.004	920	85861.8	840.28832	650	1
L7 B1A I(1-2)	Tump.	0.004	920	93634.8	770.53257	650	1
L7 B1A J(3-4)	Tump.	0.004	920	52248	1380.8893	650	1
L7 B1A J(1-2)	Tump.	0.004	920	46991.2	1535.3646	650	1
L7 B1A K(3-4)	Tump.	0.004	920	133155	541.8417	500	1
L7 B1A K(1-2)	Tump.	0.004	920	125856	573.26251	550	1
L7 B1A L(3-4)	Tump.	0.004	920	46594	1548.4541	650	1
L7 B1A L(1-2)	Tump.	0.004	920	46288.1	1558.6867	650	1
L7 B1A M(3-4)	Tump.	0.004	920	36837.6	1958.5605	650	1

Tipe Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc\ use}$	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfRP (mm)	ply (lapis)
L7 B1A M(1-2)	Tump.	0.004	920	121042	596.06108	550	1
L8 B1A A(3-4)	Tump.	0.004	920	32811.3	2198.8967	650	1
L8 B1A A(1-2)	Tump.	0.004	920	117992	611.47142	600	1
L8 B1A B(3-4)	Tump.	0.004	920	43467.4	1659.8357	650	1
L8 B1A B(1-2)	Tump.	0.004	920	44027.9	1638.7031	650	1
L8 B1A C(3-4)	Tump.	0.004	920	129621	556.61271	550	1
L8 B1A C(1-2)	Tump.	0.004	920	121361	594.49756	550	1
L8 B1A D(3-4)	Tump.	0.004	920	48212	1496.4881	650	1
L8 B1A D(1-2)	Tump.	0.004	920	42537.3	1696.129	650	1
L8 B1A E(3-4)	Tump.	0.004	920	82441.8	875.1474	650	1
L8 B1A E(1-2)	Tump.	0.004	920	105036	686.89797	650	1
L8 B1A F(3-4)	Tump.	0.004	920	27806.5	2594.6727	650	1
L8 B1A F(2-3)	Tump.	0.004	920	102051	706.98353	650	1
L8 B1A G(3-4)	Tump.	0.004	920	87872.9	821.05736	650	1
L8 B1A G(2-3)	Tump.	0.004	920	2437.62	29598.051	650	1
L8 B1A G(1-2)	Tump.	0.004	920	139110	518.64391	500	1
L8 B1A H(3-4)	Tump.	0.004	920	27781.6	2596.9995	650	1
L8 B1A H(2-3)	Tump.	0.004	920	102015	707.23292	650	1
L8 B1A I(3-4)	Tump.	0.004	920	82436.2	875.20618	650	1
L8 B1A I(1-2)	Tump.	0.004	920	105091	686.53611	650	1
L8 B1A J(3-4)	Tump.	0.004	920	49054.9	1470.7741	650	1

Tipe Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc\ use}$	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfRP (mm)	ply (lapis)
L8 B1A J(1-2)	Tump.	0.004	920	43510.3	1658.1989	650	1
L8 B1A K(3-4)	Tump.	0.004	920	130648	552.23732	550	1
L8 B1A K(1-2)	Tump.	0.004	920	122482	589.05598	550	1
L8 B1A L(3-4)	Tump.	0.004	920	44149.7	1634.1822	650	1
L8 B1A L(1-2)	Tump.	0.004	920	44888.8	1607.2752	650	1
L8 B1A M(3-4)	Tump.	0.004	920	33247.3	2170.0616	650	1
L8 B1A M(1-2)	Tump.	0.004	920	118146	610.67628	600	1
L9 B1A A(3-4)	Tump.	0.004	920	155364	928.77244	650	2
L9 B1A A(1-2)	Tump.	0.004	920	135658	531.84109	500	1
L9 B1A B(3-4)	Tump.	0.004	920	104096	693.09939	650	1
L9 B1A B(1-2)	Tump.	0.004	920	97867.4	737.20891	650	1
L9 B1A C(3-4)	Tump.	0.004	920	98504.1	732.44398	650	1
L9 B1A C(1-2)	Tump.	0.004	920	90596.8	796.37152	650	1
L9 B1A D(3-4)	Tump.	0.004	920	101173	713.12515	650	1
L9 B1A E(3-4)	Tump.	0.004	920	100593	717.23641	650	1
L9 B1A E(1-2)	Tump.	0.004	920	121614	593.2594	550	1
L9 B1A F(3-4)	Tump.	0.004	920	23070.1	3127.3626	650	1
L9 B1A F(2-3)	Tump.	0.004	920	78980.2	913.5039	650	1
L9 B1A G(1-2)	Tump.	0.004	920	139275	518.03056	500	1
L9 B1A H(3-4)	Tump.	0.004	920	23078.4	3126.2372	650	1
L9 B1A H(2-3)	Tump.	0.004	920	78948.3	913.87225	650	1

Tipe Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc}$ use	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)
L9 B1A I(3-4)	Tump.	0.004	920	101444	711.21811	650	1
L9 B1A I(1-2)	Tump.	0.004	920	122482	589.05598	550	1
L9 B1A J(3-4)	Tump.	0.004	920	102548	703.55793	650	1
L9 B1A J(1-2)	Tump.	0.004	920	100748	716.13282	650	1
L9 B1A K(3-4)	Tump.	0.004	920	100420	718.47212	650	1
L9 B1A K(1-2)	Tump.	0.004	920	92090.2	783.45677	650	1
L9 B1A L(3-4)	Tump.	0.004	920	101531	710.6073	650	1
L9 B1A L(1-2)	Tump.	0.004	920	99203	727.28334	650	1
L9 B1A M(3-4)	Tump.	0.004	920	86408.6	834.97176	650	1
L9 B1A M(1-2)	Tump.	0.004	920	136382	529.01824	500	1
L.ATP B1A F(1-2)	Tump.	0.004	920	24050.1	2999.9368	650	1
L.ATP B1A H(1-2)	Tump.	0.004	920	23986.4	3007.8996	650	1
L.ATP B1A F(2-3)	Tump.	0.004	920	2801.63	25752.397	650	1
L.ATP B1A H(2-3)	Tump.	0.004	920	2758.72	26152.926	650	1
L7 B2 4(E-F)	Tump.	0.004	920	15737	3099.7411	650	1
L6 B2 4(E-F)	Tump.	0.004	920	30476.1	1600.6202	650	1
L3 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	3486.51	13991.289	650	1
L3 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	4804.15	10153.862	650	1
L3 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	29676.1	1643.7692	650	1
L4 B2 4(A'-A)	Tump.	0.004	920	3062.98	15925.918	650	1
L5 B2 4(E-F)	Tump.	0.004	920	38631.1	1262.73	650	1

Tipe Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc\ use}$	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfRP (mm)	ply (lapis)
L4 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	22997.9	2121.0915	650	1
L4 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	36649.1	1331.0191	650	1
L4 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	60596.5	805.00801	650	1
L4 B2 4(E-F)	Tump.	0.004	920	37856.1	1288.5838	650	1
L5 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	35384.1	1378.6057	650	1
L5 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	55867.1	873.15568	650	1
L5 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	78294.8	623.03875	600	1
L6 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	21605.5	2257.787	650	1
L3 B2 4(E-F)	Tump.	0.004	920	32701.7	1491.6856	650	1
L6 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	40488.6	1204.8014	650	1
L6 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	62766.8	777.17382	650	1
L6 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	83962.6	580.98109	550	1
L7 B2 4(A'-A)	Tump.	0.004	920	10939.8	4459.0152	650	1
L2 B2 4(E-F)	Tump.	0.004	920	27905.9	1748.0436	650	1
L7 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	28668.5	1701.5428	650	1
L7 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	60229.8	809.91028	650	1
L7 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	81132.2	601.24971	600	1
L8 B2 4(A'-A)	Tump.	0.004	920	3328.72	14654.493	650	1
L8 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	20708.7	2355.5712	650	1
L8 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	47584.8	1025.1325	650	1
L8 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	70750.2	689.47817	650	1

Tipe Balok	Lokasi	$\epsilon_{fc}$ use	$f_{fe}$ (MPa)	Vf perlu (N)	sf (mm)	jarak cfRP (mm)	ply (lapis)
L9 B2 3(A'-A)	Tump.	0.004	920	7662.28	6366.3396	650	1
L9 B2 2(H-I)	Tump.	0.004	920	38315.6	1273.1299	650	1
L9 B2 1(H-I)	Tump.	0.004	920	62287.9	783.14903	650	1
L7 B2 4(H-I)	Tump.	0.004	920	15559.9	3135.0343	650	1
L6 B2 4(H-I)	Tump.	0.004	920	30258.8	1612.1149	650	1
L5 B2 4(H-I)	Tump.	0.004	920	38357.1	1271.7517	650	1
L4 B2 4(H-I)	Tump.	0.004	920	37475.4	1301.6714	650	1
L3 B2 4(H-I)	Tump.	0.004	920	32132.9	1518.0934	650	1
L2 B2 4(H-I)	Tump.	0.004	920	26638.1	1831.2406	650	1



## 5. Volume Kebutuhan CFRP Geser

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L1 B1 F(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L1 B1 H(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L2 B1 F(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L2 B1 H(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L3 B1 F(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L3 B1 H(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L5 B1 F(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L6 B1 F(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L6 B1 H(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L7 B1A A(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A A(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A B(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A B(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A C(3-4)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A C(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A D(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A D(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A E(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A E(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L7 B1A F(4-5)	Tump.	650	1	650	1	1	0.4	1.36	3.52
L7 B1A F(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A F(2-3)	Tump.	550	2	775	2	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A F(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A G(4-5)	Tump.	650	1	650	1	1	0.4	1.36	3.52
L7 B1A G(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A G(2-3)	Tump.	500	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L7 B1A G(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A H(4-5)	Tump.	650	1	650	1	1	0.4	1.36	3.52
L7 B1A H(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A H(2-3)	Tump.	550	2	775	2	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A H(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A I(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A I(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A J(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A J(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A K(3-4)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A K(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L7 B1A L(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A L(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L7 B1A M(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L7 B1A M(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L8 B1A A(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A A(1-2)	Tump.	600	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A B(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A B(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A C(3-4)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L8 B1A C(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L8 B1A D(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A D(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A E(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A E(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A F(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A F(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L8 B1A G(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A G(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L8 B1A G(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L8 B1A H(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A H(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L8 B1A I(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A I(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A J(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L8 B1A J(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A K(3-4)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L8 B1A K(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L8 B1A L(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A L(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A M(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L8 B1A M(1-2)	Tump.	600	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A A(3-4)	Tump.	650	2	1775	3	6	0.4	1.36	21.12
L9 B1A A(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L9 B1A B(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A B(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A C(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A C(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A D(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A E(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A E(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L9 B1A F(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A F(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04
L9 B1A G(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L9 B1A H(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A H(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.36	7.04

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L9 B1A I(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A I(1-2)	Tump.	550	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L9 B1A J(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A J(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A K(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A K(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A L(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A L(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A M(3-4)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.36	10.56
L9 B1A M(1-2)	Tump.	500	1	1775	4	4	0.4	1.36	14.08
L.ATP B1A F(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.4	10.8
L.ATP B1A H(1-2)	Tump.	650	1	1775	3	3	0.4	1.4	10.8
L.ATP B1A F(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.4	7.2
L.ATP B1A H(2-3)	Tump.	650	1	775	2	2	0.4	1.4	7.2
L7 B2 4(E-F)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L6 B2 4(E-F)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L3 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L3 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L3 B2 1(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L4 B2 4(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L5 B2 4(E-F)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L4 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L4 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L4 B2 1(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L4 B2 4(E-F)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L5 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L5 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L5 B2 1(H-I)	Tump.	600	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L6 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L3 B2 4(E-F)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L6 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L6 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L6 B2 1(H-I)	Tump.	550	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L7 B2 4(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L2 B2 4(E-F)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L7 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L7 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L7 B2 1(H-I)	Tump.	600	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L8 B2 4(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L8 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L8 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L8 B2 1(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44

Tipe Balok	Lokasi	jarak cfrp (mm)	ply (lapis)	Panjang (mm)	hasil bagi	kebutuhan CFRP	keliling (m)		Tumpuan kanan + kiri total panjang (m')
							b	2h	
L9 B2 3(A'-A)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L9 B2 2(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L9 B2 1(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L7 B2 4(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L6 B2 4(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L5 B2 4(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L4 B2 4(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L3 B2 4(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
L2 B2 4(H-I)	Tump.	650	1	950	2	2	0.4	0.96	5.44
Volume Total (m')									1240.48
Volume Total (m <sup>2</sup> )									620.24

## 6. Data Tanah N-SPT

DRILLING LOG												
Project No. : 1		Project :		Type of Drilling : Rotary								
Bore Hole No. : 1		Lokasi : Maling		Date : 22-Nov-18								
Water Table : 7,0 m		Elevation : ± 0.0 ( muka tanah setempat )		Driller : Dwi Santoso								
Scale in m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Description & Colour	Relative Density or Consistency	UD / SPT		Standard Penetration Test			N - Value
							Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30	Blows per click 15		
									15 cm	15 cm	15 cm	
0		0.00			Lempung Berlanau							
1		-1.00	1.00		Lempung Berlanau Berpasir Berkerkil		23					
2							30	PT-1	18	6	8	10
3												
4		-4.00	3.00		Lempung Berpasir Berlanau		43					
5							44	UD - 1				
6							55	PT-2	9	3	4	5
7												
8		-8.00	4.00				73					
9							80	PT-3	13	4	5	8
10												
11							95	UD - 2				
12							100	PT-4	31	9	13	18
13												
14							123					
15							130	PT-5	26	6	9	17
16												
17							143					
18							150	UD - 3				
19							155	PT-6	51	17	27	24
20												
21							174					
22							180	PT-7	29	20	11	18
23												
24							195					
25							200	UD - 4				
26							205	PT-8	44	15	21	23
27												
28							223					
29							230	PT-9	50	16	23	27
30												
31							245					
32							250	UD - 5				
33							255	PT-10	>60	18	23	38
34												
35							275					
36							280	PT-11	59	20	33	26
37												
38							295					
39							300	UD - 6				
40		-30.00	22.00				305	PT-12	>60	19	27	34

<b>Legenda :</b>	= Lempung	= Pasir	= Batu
	= Lanau	= Kerikil	= Muka air Tanah



## 7. Brosur

Technical Data Sheet  
Edition 4, 2008  
Identification no.  
02.04.01.01 System  
Version no. 0010  
Sika® CarboDur® Plates

# Sika® CarboDur® Plates

## Pultruded Carbon Fiber Plates for Structural Strengthening

Construction

<b>System Description</b>	Sika® CarboDur® plates are pultruded carbon fiber reinforced polymer (CFRP) laminates designed for strengthening concrete, timber and masonry structures. Sika® CarboDur® plates are bonded onto the structure as external reinforcement using Sikadur® 30 for normal - or Sikadur® 30 LP epoxy resin for elevated application temperatures (for details on the adhesive see the relevant Product Data Sheet)
<b>Uses</b>	<p>To strengthen structures for:</p> <p>Load increase :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Increasing the capacity of floor slabs and beams</li><li>■ Increasing the capacity of bridges to accommodate increase axle loads</li><li>■ Installation of heavier machinery</li><li>■ Stabilising vibrating structures</li><li>■ Changes of building use</li></ul> <p>Damage to structural elements:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Deterioration of original construction materials</li><li>■ Steel reinforcement corrosion</li><li>■ Vehicle impact</li><li>■ Fire</li><li>■ Earthquakes</li></ul> <p>Service improvements:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Reduced deflection</li><li>■ Stress reduction in steel reinforcement</li><li>■ Crack width reduction</li><li>■ Reduced fatigue</li></ul> <p>Change in structural system</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Removal of walls or columns</li><li>■ Removal of slab sections for openings</li></ul> <p>Change in specification:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Earthquakes</li><li>■ Changed design philosophy</li></ul> <p>Design or construction defects:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Insufficient / inadequate reinforcement</li><li>■ Insufficient / inadequate structural depth</li></ul>



Table of contents

**Characteristics / Advantages**

- Non corrosive
- Very high strength
- Excellent durability
- Lightweight
- Unlimited lengths, no joints required
- Low overall thickness, can be coated
- Easy to transportation (rolls)
- Simple plate intersections or crossings
- Very easy to install, especially overhead
- Outstanding fatigue resistance
- Minimal preparation of plate, applicable in several layers
- Combinations of high strength and modulus of elasticity available
- High alkali resistance
- Clean edges without exposed fibers thanks to pultrusion process
- Approvals from many countries worldwide

**Tests****Approval / Standards**

Deutsches Institut für Bautechnik Z-36.12-29, 2006: General Construction Authorisation for Sika® CarboDur®.

SOCOTEC Rapport No. HX0823, 2000: Rapport d'enquete technique / cahier des charges - Sika® CarboDur® / SikaWrap® (French).

NBI Teknisk Godkjenning, NBI Technical Approval, No. 2178, 2001, (Norwegian).

ZAG, Technical Approval No. S418/99-620-2, za uporabo nacina ojacitev armirano betonskih in prednapetih elementov konstrukcij z dolepljenjem lamel iz karbonskih vlakn "Sika" CarboDur® v Republiki Sloveniji (Slovenian).

TSUS, Building Testing and research institutes, Technical approval No. 5502A/02/0633/0/004, 2003: Systém dodatocného zosilnovania zelezobetonových a drevenych konstrukcil Sika CarboDur® (Slovak).

Instytut badawczy dróg i mostow, technical approval No. AT/2003-04-0336, System materialow Sika® CarboDur® do wzmacniania konstrukcji obiektow mostowych (Polish).

Fib, Technical Report, bulletin 14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, July 2001 (International).

ACI 440.2R-02, Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening concrete structures, October 2002. (USA).

Concrete Society Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite material, 2000 (UK).

SIA 166, Klebebewehrungen, 2003 /2004 (CH).

**Product Data**

Sika® CarboDur® CFRP plates

**Form****Appearance / Colour**

Carbon fiber reinforced polymer with an epoxy matrix, black.

**Packaging**

Cut to size according parts list in reusable packaging.

Supplied in rolls of 250 m in reusable packing boxes.

**Types**

Sika® CarboDur® S

Tensile E-Modulus 165 000 N/mm<sup>2</sup>

Type	Width	Thickness	Cross sectional area
Sika® CarboDur® S512/80	50 mm	1.2 mm	60 mm <sup>2</sup>
Sika® CarboDur® S1012/160	100 mm	1.2 mm	120 mm <sup>2</sup>

**Storage****Storage Conditions / Shelf Life**

Unlimited (no exposure to direct sunlight, dry).

**Technical Data**

Density	1.60 g/cm <sup>3</sup>
Temperature Resistance	> 150°C
Fiber Volume Content	> 68% (type S)

**Mechanical / Physical****Properties****Plate Properties**

		Sika CarboDur S
E-Modulus	Mean Value	165'000 N/mm <sup>2</sup>
	Min. Value	> 160'000 N/mm <sup>2</sup>
	5% Fractile-Value	162'000 N/mm <sup>2</sup>
	95% Fractile-Value	180'000 N/mm <sup>2</sup>
Tensile Strength*	Mean Value	3'100 N/mm <sup>2</sup>
	Min. Value	> 2'800 N/mm <sup>2</sup>
	5% Fractile-Value	3'000 N/mm <sup>2</sup>
	95% Fractile-Value	3'600 N/mm <sup>2</sup>
Strain at break* (min. value)		> 1.70 %
Design strain**		< 0.85%

\* Mechanical values obtained from longitudinal direction of fibers.

\*\* These values should be used for design as the maximum strains in the CFRP-plates and must be adapted to local design regulations as necessary. Dependent upon the structure and the load situation, they may also have to be decreased by the responsible Engineer according to requirements and standards.

**System****Information**

Sika® CarboDur® + Sikadur®-30

**Application Details****Consumption**

Width of plate	Sikadur®-30
50 mm	0.35 kg/m <sup>2</sup>
100 mm	0.80 kg/m <sup>2</sup>

Dependent on the surface plane, profile and roughness of the substrate as well as any plate crossings and loss or wastage, the actual consumption of adhesive may be higher.

**Substrate Quality**

*Evenness / plane or level* (according to FIB14)

The surface to be strengthened must be levelled, with variations and formwork marks not greater than 0.50 mm. Plane and level of the substrate to be checked with a metal batten. Tolerance for 2 m length max. 10 mm and for 0.30 m length 4 mm. These tolerances shall be adapted to local guidelines if there are any. They might be more restrictive.

Substrate strength (concrete, masonry, natural stone) must be verified in all cases; Mean adhesive tensile strength of the prepared concrete substrate should be 2.0 N/mm<sup>2</sup>, min. 1.5 N/mm<sup>2</sup>. If these values can not be reached, then see the SikaWrap® Fabric Product Data Sheets for alternative Sika® solutions.

Concrete must be older than 28 days (dependent on environment and strengths).

## Substrate Preparation

### Concrete and masonry :

Substrate must be sound, dry, clean and free from laitance, ice, standing water, grease, oils, old surface treatments or coatings and all loosely adhering particles. Concrete must be cleaned and prepared to achieve a laitance and contaminant free, open textured surface.

Repairs and levelling must be undertaken with structural repair materials such as Sikadur<sup>®</sup>-41 CF Normal repair mortar or Sikadur<sup>®</sup>-30 adhesive, filled max. 1 : 1 by weight with Sikadur<sup>®</sup>-501 quartz sand. The prior wetting of the substrate with Sikadur<sup>®</sup>-30 improves the bond (wet in wet). If levelling has been conducted more than 2 days before applying the plates, the levelled surface has to be ground again to ensure a proper bond between Sikadur<sup>®</sup>-41 CF Normal and Sikadur<sup>®</sup>-30 (see the relevant Product Data Sheets).

### Timber surfaces:

Must be prepared by planing, grinding or sanding. Dust must be removed by vacuum.

### Steel surfaces:

Must be prepared by blastcleaning to Sa 2.5 free from grease, oil, rust and any other contaminants which could reduce or prevent adhesion.

Use the correct primer (see table).

Be careful to avoid water condensation on the surfaces (dew point conditions).

Priming can be done with Icosit-277 or with Sikagard<sup>®</sup>-63 N as temporary corrosion protection, or Icosit-EG1 as permanent corrosion protection.

	+10°C	+20°C	+30°C
1) Maximum waiting time between - Blastcleaning of steel and - Primer J or Sikadur <sup>®</sup> -30 (application without priming possible, if no corrosion protection is needed)	48 hours	48 hours	48 hours
2) Minimum waiting time between - Primer and - Sikadur <sup>®</sup> -30 application (without additional preparation of the Primer)	48 hours	24 hours	12 hours
3) Maximum waiting time between - Primer and - Sikadur <sup>®</sup> -30 application (without additional preparation of the Primer)	7 days	3 days	36 hours
4) Waiting time between - Primer and - Sikadur <sup>®</sup> -30 application (with additional preparation of the Primer)*	> 7 days	> 3 days	> 36 hours

\* If additional preparation of the primer is necessary (4), it shall be done at earliest the day before application. After preparation of the Primer, the surface has to be cleaned / vacuumed free from dust.

### Plate preparation :

Prior to the application of Sikadur<sup>®</sup> 30, solvent wipe the bonding surface with Sika<sup>®</sup> Colma Cleaner to remove contaminants. Wait until the surface is dry before applying the adhesive(>10 minutes).

## Application

### Conditions /

### Instructions

**Substrate Temperature** See the Product Data Sheets of Sikadur<sup>®</sup>-30

**Ambient Temperature** See the Product Data Sheets of Sikadur<sup>®</sup>-30

**Substrate Moisture Content** See the Product Data Sheets of Sikadur<sup>®</sup>-30

**Dew Point** See the Product Data Sheets of Sikadur<sup>®</sup>-30

## Application

### Instructions

**Mixing** See the Product Data Sheets of Sikadur<sup>®</sup>-30

**Mixing Time** See the Product Data Sheets of Sikadur<sup>®</sup>-30

<b>Application Method / Tools</b>	<p>Place the Sika® CarboDur® plate on a table and clean the unlabelled side with Colma Cleaner using a white rag. Wait &gt; 10 minutes to allow the surface to dry completely. Apply the well-mixed Sikadur®-30 adhesive with a special "dome" shaped spatula onto the cleaned CarboDur® laminate. Apply the Sikadur®-30 adhesive carefully to the properly cleaned and prepared substrate, with a spatula to form a thin layer for substrate wetting.</p> <p>Within the open time of the adhesive, place the Sikadur®-30 coated Sika® CarboDur® plate onto the Sikadur® coated concrete surface. Using a Sika® rubber roller, press the plate into the adhesive until the material is forced out on both sides of the laminate. Remove surplus adhesive.</p> <p><b>Intersection / multiple layers</b> Where there are to be plate intersections or crossovers, the first Sika® CarboDur® plate should be cleaned with Sika® Colma Cleaner before overlaying with adhesive and then the second plate applied. If more than one plate is to be bonded together, they all have to be cleaned on both sides with Sika® Colma Cleaner - use Sikadur®-330 or Sikadur®-30 adhesive in these instances (for details see the Product Data Sheets of Sikadur®-330 and Sikadur®-30).</p> <p><b>Quality assurance:</b> For quality control of curing rate and strength, samples may be made up on site if requested by code or project engineer.</p> <p>Average standard values after curing 7 days at +23°C are:  - Compressive strength &gt; 75 N/mm<sup>2</sup>  - Flexural tensile strength &gt; 35 N/mm<sup>2</sup></p> <p>These values can differ by up to 20% dependent on the circumstances. The following are the most important factors which can have an influence on the mechanical properties of the samples:  - Mixing ratio (A : B = 3 : 1 exactly)  - Air entrapment in the sample (from mixing or filling into the mould!)  - Curing temperature / time  - Contamination of the adhesive!</p> <p>Therefore care should be taken to avoid these situations.</p> <p>When the Sikadur®-30 has cured, test for voids by tapping the surface of the plate with metallic object or impuls-thermography.</p> <p><b>Application Tools:</b>  Sika® Colma Cleaner:  For cleaning of Sika® CarboDur® plate before bonding, cleaning of application tools. In 1 and 5 kg pails, 20 kg mini drum and 160 kg drum.</p> <p>Sika® CarboDur® Rubber Roller:  For pressing the Sika® CarboDur® plate onto the surface.  Sales unit 1 pce.</p> <p>Sika® Mixing Spindle:  For minimizing air entrapment.  Sales unit 1 pce.</p>
<b>Cleaning of Tools</b>	<p>Clean all tools and application equipment with Sika® Colma Cleaner immediately after use. Cured material can only be removed mechanically.</p>
<b>Potlife</b>	<p>See the Product Data Sheets of Sikadur®-30</p>



**Notes on Application / Limitations**

A suitably qualified Engineer must be responsible for the design of the strengthening works.

**This application is structural and great care must be taken in selecting suitably experienced and trained specialist labour.**

Only apply plates within the open time of Sikadur® 30.  
Site quality control should be supported / monitored by an independent testing authority.

Care must be taken when cutting the plates. Use suitable protective clothing, gloves, eye protection and respirator.

The Sika® CarboDur® system must be protected from permanent exposure to direct sunlight.

Coating:  
The exposed plate-surface can be painted with a coating material such as Sikagard®-550 W Elastic or Sikagard®-ElastoColor W for UV protection.

Maximum permissible service temperature is approx. +50°C.  
Note: When using the Sika® CarboHeater together with Sikadur®-30 LP this can be increased to max.+80°C (see the Sika® CarboHeater Product Data Sheet).

The instructions in the Technical Data Sheet must be followed when applying Sikadur® - 30 adhesive.

Note:  
Detailed advice on the above must always be obtained from Sika® Services AG.

**Fire Protection**

If required Sika® CarboDur® plates may be protected with fire resistant material.

**Value Base**

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

**Local Restrictions**

Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.

**Health and Safety Information**

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

**Legal Notes**

The information and in particular the recommendations relating to the application and end-use of Sika products are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under-normal conditions. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sales and delivery. Users should always refer to the most recent issue of the technical Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



**PT. Sika Indonesia**  
Jl. Raya Cibinong-Bekasi km. 20  
Limasunggar- Cikupa  
BOGOR 16820 - Indonesia  
Tel. +62 21 8230025  
Fax +62 21 8230025  
Website: www.sika.co.id  
e-mail: sikasara@id.sika.com

**Branches**  
Surabaya  
Puri Raya Blok G No. 29, Jl. Raya Hurling Menanggal 11, Surabaya  
Tel. 031-8650202; Fax: 031-8662123  
Medan  
Kawasan Industri Medan Sika\*, Tanjung Morisa Km.10,2  
Jl. Peta Raya Blok # No.32, Duri Siantar 20362  
Tel. 061-7041200; Fax: 061-7940822  
Batam  
Jl. Laksamana Djarum, Komp. Bumi Raya Makmur SIA C No.2,  
Sungai Jempur, Batam  
Tel. 1075-40022; Fax: 0778-450189



## Sikadur® 30

### Adhesive for Bonding Reinforcement

<b>Description</b>	Solvent-free, thixotropic, epoxy-based on two-component adhesive mortar.
<b>Use</b>	<p><i>As an adhesive for bonding reinforcements, adhesive mortar and filler to :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Concrete, stone</li> <li>■ Steel</li> <li>■ Epoxy</li> </ul> <p><i>For structural bonding of :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sika CarboDur, brickwork, timber to concrete</li> <li>■ Steel plates to concrete</li> <li>■ Concrete elements</li> <li>■ Bridge segments</li> </ul> <p><i>Bonding of :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Starter bars</li> <li>■ Wall anchors</li> <li>■ Fixings, etc.</li> </ul> <p><i>For vertical and overhead filling of :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Holes</li> <li>■ Dimensional inaccuracies, etc.</li> </ul>
<b>Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Easy to mix and apply</li> <li>■ No primer needed</li> <li>■ Non-sag in vertical and overhead applications</li> <li>■ Solvent free</li> <li>■ Hardening is not affected by high humidity</li> <li>■ Hardens without shrinkage</li> <li>■ High creep resistance under permanent load</li> <li>■ High mechanical strength</li> <li>■ High abrasion and shock resistance</li> <li>■ Shrinkage-free curing</li> <li>■ Impermeable to liquids and water vapour</li> <li>■ Components come in different colors therefore homogeneity of mix is easy to check</li> </ul>
<b>Test reports</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IBMB, TU Braunschweig, test report No. 1871/0054, 1994 : approval for Sikadur-30 Epoxy adhesive.</li> <li>- IBMB, TU Braunschweig, test report No. 1734/6434, 1995: Testing for Sikadur-41 Epoxy mortar in combination with Sikadur-30 Epoxy adhesive for bonding of steel plates.</li> </ul>



Table of Contents

## Technical Data

<b>Colour</b>	Comp. A :	white
	Comp. B:	black
	Comp. A+B mixed:	light grey
<b>Consistency</b>	Comp. A+B mixed:	creamy paste
<b>Mix ratio</b>	Comp. A: B = 3 : 1 by weight and volume	
<b>Storage</b>	Store in dry condition at temperatures between +5°C and +30°C. Protect from direct sunlight	
<b>Shelf life</b>	24 months from date of production if stored in original unopened packing.	
<b>Packaging</b>	- Pre-dosed units (Comp. A+B) at 6 kg	

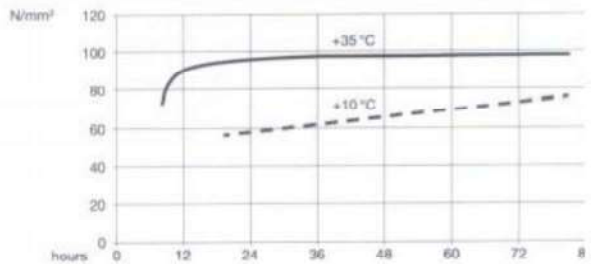
## Physical Data

<b>Density</b>	- 1.65 kg/l (mixed)	
<b>Pot life (to F.I.P.*)<sup>4</sup></b>	40 minutes (at +35°C)	
	110 minutes (at +20°C)	
<b>Open time (to F.I.P.*)<sup>4</sup></b>	30 minutes (at +35°C)	
<b>Layer Thickness</b>	Max 30 mm layer thickness	
<b>Sag flow</b> (to F.I.P.*)	3-5 mm (at +35°C) (on vertical surfaces)	
<b>Squeezability at 15 kg</b> (to F.I.P.*)	4'000 mm <sup>2</sup> (at +15°C)	
<b>Shrinkage</b> (to F.I.P.*)	0.04%	
<b>Glass transition temperature</b> (to F.I.P.*)	62°C	
<b>Heat deflection temperature</b> (ASTM 648)	Curing :	HDT:
	7d, 10°C:	36°C:
	7d, 35°C:	53°C:
<b>Modulus of elasticity</b> static (to F.I.P.*)	12'800 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Compressive strength</b> (to DIN 53455)	> 80 N/mm <sup>2</sup> (at 35°C)	
<b>Tensile strength</b> (to EN 196)	> 25 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Shear strength</b> (to F.I.P.*)	Concrete failure (~15 N/mm <sup>2</sup> )	
<b>Adhesive Tensile strength on steel</b>	>21 N/mm <sup>2</sup> (to sandblasted substrate to Sa 2.5)	
<b>Coefficient of thermal expansion</b>	9 x 10 <sup>-5</sup> per °C (-10°C to +40°C)	
<b>Note</b>	The figures given may vary according to the mixing intensity and the amount of air introduced.	

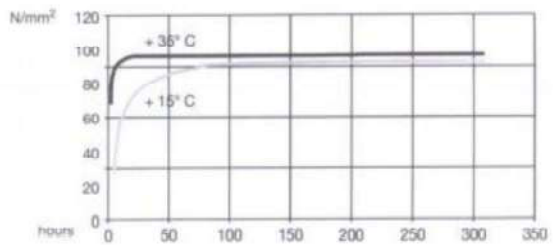
<sup>4</sup> Fédération Internationale de la Précontrainte



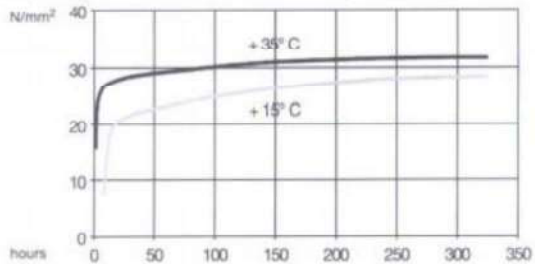
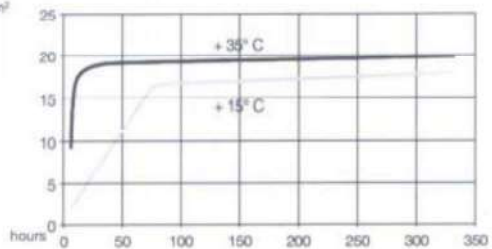
## Compressive strength



## Compressive strength (to EN 196)



## Tensile strength (to DIN 53455)

Shear strength (to Sika) N/mm<sup>2</sup>

## Application

### Substrate

Concrete, stone, brickwork :

- Clean, free from and grease, dry, no loose particles or laitance.
- Concrete age, depending on climate, 3 to 6 weeks.
- Preparation : Sandblasting, high-pressure water jetting, grinding
- Max. substrate moisture : 4% pbv  
When applied to mat moisture concrete, brush Sikadur-30 well into substrate
- If the concrete surface has large uneven sections or holes after preparation, these must first be filled with Sikadur-41 or a mixture of Sikadur-30 and quartz sand Sikadur-501 (mixing ratio 1 : 1 by weight)

Timber :

- Clean, free from oil and grease
- Sandblast or grind

Structural steel 37, V2A-Steel (WN 1.4 301) :

- Free from grease and oil, free from rust, scale and rolling "skin"
- Preparation : Sandblast SA 2.5
- Beware of condensation (Dew point), application only at  $>3^{\circ}\text{C}$  above dew point
- If the cleaned steel is not bonded immediately, the surface must be given one coat of Sikagard-63 N or Icost 277 to protect it from further corrosion.

Epoxy :

- Free from oil and grease
- Grind well using coarse abrasive

### Mixing

Part A : part B = 3 : 1 by weight or volume



#### Pre-dosed packs :

Add component B to component A and stir with a mixing spindle fitted to an electric low speed mixer (max. 500 rpm) to avoid entrapping of air. Mix thoroughly for about 3 minutes to uniform appearance. Then, pour the whole mix into a clean container and

stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum.

#### Bulk packing, not pre-dosed:

Add the components in the correct proportion using a scale. Pour them into a suitable mixing container and stir correctly using an electric low speed mixer as indicated for ready to use pre-dosed packs.

The pot life begins when the resin and hardener are mixed. It is shorter at high temperatures and longer at low temperatures. The greater the quantity mixed, the shorter the pot life. To obtain longer workability at high temperatures, the mixed adhesive may be divided into portions. Another method is to chill components A and B before mixing them.

<b>Application</b>	<p>The homogenously-mixed Sikadur-30 is applied with a spatula, trowel or float. When bonding steel plates Sikadur-30 is applied to the strips in „pitched-roof“ shape. Within the open time the steel plates must be fixed in their final position.</p> <p>Steel plates are being fixed to the concrete substrate with the aid of specially prepared supporting scaffolding, since at normal ambient temperature sikadur-30 cures very fast, the scaffolding can be removed within 2-3 days (please refer to the curing times at various temperatures).</p> <p>For the application of Sika CarboDur laminates, please refer to the corresponding product data sheet.</p> <p>It is recommended to check the adhesive with regard to strength development by producing cubes at site and to test them for compressive and flexural strength.</p>
--------------------	---

<b>Cleaning</b>	<p>Clean tools immediately with Colma cleaner. Wash hands and skin thoroughly in warm soap water.</p> <p>When uncured, Sikadur-30 components A+B, are water pollutants and should not be discharged into drains, waterways or the ground.</p> <p>Colma cleaner and Sikadur-30 residues must always be disposed of in accordance with the regulations.</p> <p>Cured material can only be removed mechanically.</p>
-----------------	---

### Application Limitations

<b>Temperature</b>	Substrate and ambient: +10°C to +35°C
<b>Material temperature</b>	Sikadur 30 must be applied at temperature between: +5°C to +30°C
<b>Dew point</b>	Beware of condensation ! Ambient temperature during application must be at least 3 °C above dew point

### Safety Instructions

<b>Safety precautions</b>	Product can cause skin irritation. Wear protective clothing (gloves, safety glasses). Cover hands with barrier cream before application. In contact with eyes or mucous membranes, rinse thoroughly with clean warm water immediately and seek medical attention without delay.
---------------------------	---

<b>Ecology</b>	In a liquid state material contaminates water. Do not dispose into water or soil but according to local regulations
----------------	---

<b>Toxicity</b>	<p>Comp. A : Class 4 under the relevant Swiss Health and Safety Codes. Observe warning on packing.</p> <p>Comp. B : Non Toxic</p>
-----------------	---

<b>Transport</b>	<p>Comp. A : Non hazardous</p> <p>Comp. B : 8/65 c)</p>
------------------	---

### Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under normal conditions, in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



**PT. Sika Indonesia**  
 J. Raya Cikarang-Sekeloa Km. 20  
 Lingsinggal-Cikarang  
 40132-Indonesia  
 Tel. +62 21 8230025  
 Fax +62 21 8230025  
 Website : www.sika.co.id  
 e-mail: sikaicare@id.sika.com

**Branches**  
**Surabaya**  
 Puri Nagas Blok G No. 29 J. Raya Rungkut Menanggal 11, Surabaya  
 Tel. 031-8699009 ; Fax: 031-8682123  
**Medan**  
 Yayasan Industrial \* Medan Star \* Tanjung Merdeka Km. 19.2  
 J. Pella Raya Blok R No.55, Duli Sebeling 20362  
 Tel. : 061-7941200 ; Fax : 061-7940822  
**Batam**  
 J. Laksmasari Biran, Komp. Bumi Riau Makin or Blok E No.3,  
 Sungai Panas, Batam  
 Tel. : 0778-4349028 ; Fax : 0778-430189



**Technical Data Sheet**  
Edition 1, 2008  
Identification no.  
02 04 01 02 001 0 000010  
Version no. 0010  
SikaWrap® -231 C

## SikaWrap® -231 C

Woven carbon fiber fabric for structural strengthening

**Product Description** SikaWrap® -231 C is a unidirectional woven carbon fiber fabric for the dry application process.



**Uses** Strengthening of reinforced concrete structures, brickwork and timber in case of flexural and shear load capacity. reasons :

- Improved seismic performance of masonry walls.
- Substitute missing rebars.
- Strength and ductility of columns.
- Increasing loading capacity of structural elements.
- Changes of building utilisation.
- Structural design construction defects
- Seismic movement.
- Improved serviceability.
- Structural upgrading to comply with current standards.

**Characteristic / Advantages**

- Manufactured with weft fibers to keep the fabric stable (heat-set process)
- Multifunctional use for every kind of strengthening requirement.
- Flexibility of surface geometry (Beams, columns, chimneys, piles, walls, silos)
- High strength
- Fabric available in several widths for optimum utilisation.
- Low density for minimal additional weight.
- Economical compared to traditional techniques.

### Product Data

#### Form

**Fiber Type** High strength carbon fibers.

#### Fabric Construction

Fiber orientation: 0° (unidirectional)  
Warp: carbon fibers (98% of total areal weight)  
Weft: thermoplastic heat-set fibers (2% of total areal weight)

#### Packaging

	Fabric length /roll	Fabric width
1 roll in cardboard box	100 m	500 mm

#### Storage

#### Storage Conditions / Shelf Life

24 months from date of production if stored properly in undamaged original sealed packaging in dry conditions at temperatures between +5 °C and +35 °C.  
Protect from direct sunlight.



Table of Contents

## Technical Data

**Areal Weight** 230 g/m<sup>2</sup> ± 12 g/m<sup>2</sup>

**Fabric Design Thickness** 0.127 mm (based on total carbon content)

**Fiber Density** 1.80 g/cm<sup>3</sup>

## Mechanical / Physical Properties

**Dry Fiber Properties**

Tensile strength:  
4'900 N/mm<sup>2</sup> (nominal)

Tensile E-modulus:  
230'000 N/mm<sup>2</sup> (nominal)

Elongation at break:  
2.1% (nominal)

**Laminate Properties**

Laminate thickness:  
1.0 mm per layer (impregnated with Sikadur<sup>®</sup>-330)

Ultimate load:  
420 kN/m width per layer (at typical laminate thickness of 1.0 mm)

Tensile E-modulus:  
25.0 kN/mm<sup>2</sup> (based on typical laminate thickness of 1.0 mm)

**Note:**  
The above values are typical and indicative only.  
The achievable laminate properties obtained from tensile test are dependant on the impregnating/laminating resin used and the type of tensile testing procedure.  
Apply material reduction factors according to the relevant design standard.

**Design**

Design strain  
This value is dependent on the type of loading and must be adapted according to the relevant local design standards

## System Information

**System Structure**

The system configuration as described must be fully complied with and may not be changed.

Concrete primer -Sikadur<sup>®</sup> -330

Impregnating / laminating resin -Sikadur<sup>®</sup> -330

Structural strengthening fabric -SikaWrap<sup>®</sup> -231 C.

For detailed resin properties, fabric application details and general information, refer to Sikadur<sup>®</sup> -330 Product Data Sheet.

## Application Details

**Consumption**

Depending on the roughness of the substrate:

- Impregnating of the first layer incl. primer: ~ 0.7 -1.2 kg/m<sup>2</sup> (Sikadur<sup>®</sup> -330)
- Impregnating of the following layers: ~ 0.5 kg/m<sup>2</sup> (Sikadur<sup>®</sup> -330)

**Substrate Quality**

Specific requirements:  
Minimal substrate tensile strength: 1.0 N/mm<sup>2</sup> or as specified in the strengthening design.

**Substrate Preparation**

Refer to Sikadur<sup>®</sup> -330.

## Application Instructions

**Application Method / Tools**

The fabric can be cut with special scissors or razor knife. Never fold the fabric!  
Refer to Sikadur<sup>®</sup> -330 Product Data Sheet for impregnating / laminating procedure.

<b>Notes on Application / Limitations</b>	<p>This product may only be used by experienced professionals.</p> <p>Minimum radius required for application around corners: &gt;10 mm. Grinding edges or building up with Sikadur® mortars may be necessary.</p> <p>In fiber direction, overlapping of the fabric must be at least 100 mm depending on SikaWrap® type or as specified in the strengthening design.</p> <p>For side-by-side application, no overlapping length in the weft direction is required. Overlaps of additional layers must be distributed over the column circumference.</p> <p>The strengthening application is inherently structural and great care must be taken when choosing suitably experienced contractors.</p> <p>The SikaWrap® -231 C fabric is coated to ensure maximum bond and durability with the Sikadur® impregnating/laminating resins. To maintain system compatibility do not interchange system parts.</p> <p>The SikaWrap® -231 C may be / must be coated with a cementitious overlay or coatings for aesthetic and/or protective purposes. Selection will be dependent on exposure requirements. For basic UV protection use Sikagard®-550 W Elastic, Sikagard® ElastoColor-675 W or Sikagard® -680 S.</p>
<b>Value Base</b>	<p>All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.</p>
<b>Local Restrictions</b>	<p>Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.</p>
<b>Health and Safety Information</b>	<p>For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.</p>
<b>Legal Notes</b>	<p>The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.</p>



**PT. Sika Indonesia**  
 J. Raya Cikarang - Bekasi km. 20  
 Lingsununggal - Cikarang  
 BOGOR 16820 - Indonesia  
 Tel: +62 21 8230025  
 Fax: +62 21 8230025  
 Website: www.sika.co.id  
 e-mail: sikacare@id.sika.com

**Branches**  
**Surabaya**  
 Puri Indah Blok G No. 29, J. Raya Rungkut Menanggal 11, Surabaya  
 Tel: 031-8560002 Fax: 031-8560123  
**Medan**  
 Kawasan Industrial Medan Star, Tanjung Morawa Kot. 19.2  
 J. Peta Raya Blok R No. 32, Deli Serdang 20362  
 Tel: 061-7941200 Fax: 061-7940022  
**Batam**  
 J. Laksamana Biran Komp. Bumi Riau Makmur Blok E No.3,  
 Sungai Panas, Batam  
 Tel: 0778-424028 Fax: 0778-450180





**Technical Data Sheet**  
Edition 2, 2005  
Identification no.:  
02 04 01 04 001 0 000004  
Version no. 0010  
Sikadur® -330

## Sikadur®-330

### 2-part epoxy impregnation resin

<b>Product Description</b>	Sikadur®-330 is a two part, solvent free, thixotropic epoxy based impregnating resin / adhesive.	
<b>Uses</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Impregnation resin for SikaWrap® fabric reinforcement for the dry application method.</li> <li>■ Primer resin for the wet application system.</li> <li>■ Structural adhesive for bonding Sika® CarboDur® plates to even surfaces.</li> </ul>	
<b>Characteristics / Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Easy mix and application by trowel and impregnation roller.</li> <li>■ Manufactured for manual saturation methods.</li> <li>■ Excellent application behaviour to vertical and overhead surfaces.</li> <li>■ Consistency can be chosen for application by brush or by trowel</li> <li>■ Good adhesion to many substrates.</li> <li>■ High mechanical properties.</li> <li>■ No separate primer required.</li> <li>■ Solvent free.</li> </ul>	
<b>Tests</b>		
<b>Approval / Standards</b>	Conform to the requirements of : <ul style="list-style-type: none"> <li>- SOCOTEC (France): Cashier des charges Sika® CarboDur, SikaWrap®</li> <li>- Road and Bridges Research Institute (Poland): IBDiM No AT/2003-04-336</li> </ul>	
<b>Product Data</b>		
<b>Form</b>		
<b>Appearance / Colours</b>	Resin part A:	paste
	Hardener part B:	paste
	<b>Colour</b>	
	Part A:	white
	Part B:	grey
	Part A+B mixed	light grey
<b>Packaging</b>	Standard:	
	5 kg (A+B) pre-dosed units	
<b>Storage</b>		
<b>Storage Conditions / Shelf life</b>	24 months from date of production if stored properly in original unopened, sealed and undamaged packaging in dry conditions at temperatures between +5°C and +25°C. Protect from direct sunlight.	



Table of Contents

## Technical Data

<b>Chemical Base</b>	Epoxy resin		
<b>Density</b>	Mixed Resin: 1.31 kg/l (at +23°C)		
<b>Viscosity</b>	Shear rate: 50 /s		
	Temperature	Viscosity	
	+10°C	~ 10'000 mPas	
	+23°C	~ 6'000 mPas	
+35°C	~ 5'000 mPas		
<b>Thermal Expansion Coefficient</b>	45 x 10 <sup>-6</sup> per °C (-10°C to +40°C)		
<b>Thermal Stability</b>	Heat Distortion Temperatures (HDT) (ASTM D648)		
	Curing	Temperature	HDT
	7 days	+10°C	+36°C
	7 days	+23°C	+47°C
	7 days	+35°C	+53°C
	7 days, +10°C plus 7 days, +23°C	-	+43°C
<b>Service Temperature</b>	-40°C to +50°C		

## Mechanical / Physical Properties

<b>Tensile Strengths</b>	30 N/mm <sup>2</sup> (7 days at +23°C)	(DIN 53455)
<b>Bond Strengths</b>	Concrete fracture on sandblasted substrate: > 1 day	(EN 24624)
<b>E-Modulus</b>	<i>Flexural</i>	
	3800 N/mm <sup>2</sup> (7 days at +23°C)	(DIN 53452)
	<i>Tensile</i>	
	4500 N/mm <sup>2</sup> (7 days at +23°C)	(DIN 53455)
<b>Elongation at Break</b>	0.9% (7 days at +23°C)	(DIN 53455)

## Resistance

<b>Chemical Resistance</b>	The product is not suitable for chemical exposure.
<b>Thermal Resistance</b>	Continuous exposure +50°C


## System Information

<b>System Structure</b>	Substrate primer - Sikadur <sup>®</sup> -330 Impregnating/laminating resin - Sikadur <sup>®</sup> -330 Structural strengthening fabric - SikaWrap <sup>®</sup> type to suit requirements.
-------------------------	---

## Application Details

<b>Consumption</b>	This will be dependant on the roughness of the substrate and the type of SikaWrap <sup>®</sup> fabric to be impregnated. See respective SikaWrap <sup>®</sup> fabric Product Data Sheet.  Guide: 0.7 – 1.5 kg/m <sup>2</sup>
--------------------	--



<b>Substrate Quality</b>	<p>The substrate must be sound and of sufficient tensile strength to provide a minimum pull off strength of 1.0 N/mm<sup>2</sup> or as per the requirements of the design specification.</p> <p>The surface must be dry and free of all contaminants such as oil, grease, coatings and surface treatments etc.</p> <p>The surface to be bonded must be level (max. deviation 2 mm per 0.3 m length), with steps and formwork marks not greater than 0.5 mm. High spots can be removed by abrasive blasting or grinding.</p> <p>Wrapped corners must be rounded to a minimum radius of 20 mm (depending on the SikaWrap<sup>®</sup> fabric type) or as per the design specification. This can be achieved by grinding edges or by building up with Sikadur<sup>®</sup> mortars.</p>
<b>Substrate Preparation</b>	<p>Concrete and masonry substrates must be prepared mechanically using abrasive blast cleaning or grinding equipment, to remove cement laitance, loose and friable material to achieve a profiled open textured surface.</p> <p>Timber substrates must be planed or sanded.</p> <p>All dust, loose and friable material must be completely removed from all surfaces before application of the Sikadur<sup>®</sup> -330 preferably by brush and industrial vacuum cleaner. Weak concrete/masonry must be removed and surface defects such as honeycombed areas, blowholes and voids must be fully exposed.</p> <p>Repairs to substrate, filling of blowholes/voids and surface levelling must be carried out using Sikadur<sup>®</sup> -41 or a mixture of Sikadur<sup>®</sup> -30 and Sikadur<sup>®</sup> -501 quartz sand (mix ratio 1 : 1 max parts by weight)</p> <p>Bond tests must be carried out to ensure substrate preparation is adequate.</p> <p>Inject cracks wider than 0.25 mm with Sikadur<sup>®</sup> -52 or either suitable Sikadur<sup>®</sup> injection resin.</p>
<b>Application Conditions / Limitations</b>	
<b>Substrate Temperature</b>	+10°C min. / +35°C max.
<b>Air Temperature</b>	+10°C min. / +35°C max.
<b>Substrate Humidity</b>	≤4% moisture content. Test method: Sika-Tramex meter
<b>Dew Point</b>	<p>Beware of condensation!</p> <p>Ambient temperature during application must be at least 3°C above dew point.</p>
<b>Application Instructions</b>	
<b>Mixing</b>	<p>Part A : part B = 4 : 1 by weight</p> <p>When using bulk material the exact mixing ratio must be safeguarded by accurately weighing and dosing each component.</p>
<b>Mixing Time</b>	<p><i>Pre-batched units</i></p>  <p>Mix parts A+B together for at least 3 minutes with a mixing spindle attached to a slow speed electric drill (max. 600 rpm) until the material becomes smooth in consistency and a uniform grey colour. Avoid aeration while mixing. Then pour the whole mix into a clean container and stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum. Mix only that quantity which can be used within its pot life.</p> <p><i>Bulk packing, not pre-batched</i></p> <p>First, stir each part thoroughly. Add the parts in the correct proportions into a suitable mixing pail and stir correctly using an electric low speed mixer as above for pre-batched units.</p>

## Application Method / Tools



### Preparation:

Prior to application confirm substrate moisture content, relative humidity and dew point.

Cut the specified SikaWrap<sup>®</sup> fabric to the desired dimensions.

### Resin Application

Apply the SikaDur<sup>®</sup> -330 to the prepared substrate using a trowel, roller or brush.

### Fabric Placement and Laminating

Place the SikaWrap<sup>®</sup> fabric in the required direction onto the SikaDur<sup>®</sup> -330. Carefully work the fabric into the resin with the Sika plastic impregnation roller parallel to the fiber direction until the resin is squeezed out between and through the fiber strands and distributed evenly over the whole fabric surface. Avoid excessive force when laminating to prevent folding or creasing of the SikaWrap<sup>®</sup> fabric.

### Additional Fabric Layers

For additional layers of SikaWrap<sup>®</sup> fabric, apply SikaDur<sup>®</sup> -330 to previous applied layer wet on wet within 60 minutes (at +23°C) after application of the previous layer and repeat laminating procedure.

If it is not possible to apply within 60 minutes, a waiting time of at least 12 hours must be observed before application of next layer.

### Overlays

If a cementitious overlay is to be applied over SikaWrap<sup>®</sup> fabric an additional Sikadur-330 resin layer must be applied over final layer at a max. 0.5 kg/m<sup>2</sup>. Broadcast with quartz sand while wet which will serve as a key for the overlay.

If a coloured coating is to be applied, the wet Sikadur<sup>®</sup>-330 surface can be smoothed with a brush.

### Overlaps

#### Fiber Direction

- Overlapping of the SikaWrap<sup>®</sup> fabric must be at least 100 mm (depending on the SikaWrap<sup>®</sup> fabric type) or as specified in the strengthening design.

#### Side by Side

- Unidirectional fabrics: when placing several unidirectional SikaWrap<sup>®</sup> fabric side by side no overlapping is required unless specified in the strengthening design.
- Multi-directional fabrics: overlapping in the weft direction must be at least 100 mm (depending on the SikaWrap<sup>®</sup> fabric type) or as specified in the strengthening design

## Cleaning of Tools

Clean all equipment immediately with Sika<sup>®</sup> Colma Cleaner. Cured material can only be mechanically removed.

**Pot life (max. open time)****Pot life**

Temperature	Time
+10°C	90 minutes (5 kg)
+35°C	30 minutes (5 kg)

Pot life starts with the mixing of both parts (resin and hardener). At low ambient temperature pot life will be extended, at elevated temperatures this will be reduced. The higher the quantity of material mixed, the shorter the pot life. To achieve a longer pot life at high temperatures the mixed material may be divided into smaller units or both parts may be cooled before mixing.

**Open time**

Temperature	Time
+10°C	60 minutes
+35°C	30 minutes

**Waiting Time / Overcoatability****To (pre-) cured resin:**

Products	Substrate Temperature	Minimum	Maximum
Sikadur®-330	+10°C	24 hours	Cured resin older than 7 days has to be degreased with Sika® Colma Cleaner and gently grinded with a sand paper before coating.
	+23°C	12 hours	
	+35°C	6 hours	

Products	Substrate Temperature	Minimum	Maximum
Sikadur®-330	+10°C	5 days	Cured resin older than 7 days has to be degreased with Sika® Colma Cleaner and gently grinded with a sandpaper before coating.
Sikagard®-coloured coatings	+23°C	3 days	
	+35°C	1 day	

Times are approximate and will be affected by changing ambient conditions.

**Notes on Application / Limitations**

This product may only be used by experienced professionals.

The SikaDur® -330 must be protected from rain for at least 24 hours after application.

Ensure placement of fabric and laminating with roller takes place within open time. The SikaWrap® fabric must be coated with a cementitious overlay or coating for aesthetic and/or protective purposes. Selection will be dependent on exposure requirements. For basic UV protection use Sikagard® -650 W elastic, Sikagard® -ElastoColor-675W or Sikagard® -680S.

At low temperatures and / or high relative humidity, a tacky residue (blush) may form on the surface of the cured Sikadur-330 epoxy. If an additional layer of fabric, or a coating is to be applied onto the cured epoxy, this residue must first be removed to ensure adequate bond. The residue can be removed with water. In both cases, the surface must be wiped dry prior to application of the next layer or coating.

For application in cold or hot conditions, pre-condition material for 24 hours in temperature controlled storage facilities to improve mixing, application and pot life limits.

The number of additional fabric layers applied wet on wet must be closely controlled to avoid creeping, creasing or slippage of the fabric during curing of the Sikadur® -330. The number of layers will be dependent on the type of SikaWrap® fabric used and the ambient climate conditions.

**Applied product ready for use**

Temperature	Full cure
+10°C	7 days
+23°C	5 days
+35°C	2 days

All cure times are approximate and will be affected by changing ambient conditions.

**Notes**

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

**Health and Safety Information****Protective Measures**

To avoid rare allergic reactions, we recommend the use of protective gloves and goggles. Change soiled work clothes and wash hands before eating and after finishing work.

Local regulations as well as health and safety advice on packaging labels must be observed.

**Important Notes**

Residues of material must be removed according to local regulations. Fully cured material can be disposed of as household waste under agreement with the responsible local authorities.

Mixed leftovers of Sikadur-330 may only be left to cure in metal containers and in quantities of max. 1 kg.

Detailed health and safety information as well as detailed precautionary measures e.g. physical, toxicological and ecological data can be obtained from the safety data sheet.

**Legal Notes**

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



**PT. Sika Indonesia**  
 J. Raya Cibinong-Bekasi km. 20  
 Limasunggal, Cibinong  
 16008 16000 Indonesia  
 Tel. +62 21 8230025  
 Fax +62 21 8230025  
 Website : www.sika.co.id  
 e-mail: sikaindonesia@sika.com

**Branches**  
**Surabaya**  
 Puri Maja Blok G No. 29, J. Raya Pongkor Mingsagal 11, Surabaya  
 Tel. 031-8500002; Fax: 031-8502123  
**Medan**  
 Kawasan Industri "Medan Star", Tanjung Morawa Km. 10.2  
 J. Petra Raya Blok R No.32, Deli Serdang 20362  
 Tel. 061-7941020; Fax: 061-7940322  
**Batam**  
 J. Laksmiana Britan, Komp. Bumi Riau Makmur Blok E No.3,  
 Simpang Pemas, Batam  
 Tel. 0778-424028; Fax: 0778-450189



# Wide Flange S hape



**PT. GUNUNG GARUDA**

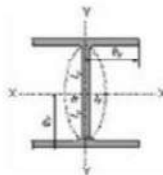
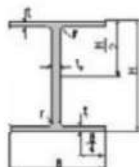
*Steel Is Our Business*



**IWF**



**H-BEAM**



**JIS G3192/TIS 1227-194 (HOT ROLLED H-SECTION)**

Metric Size

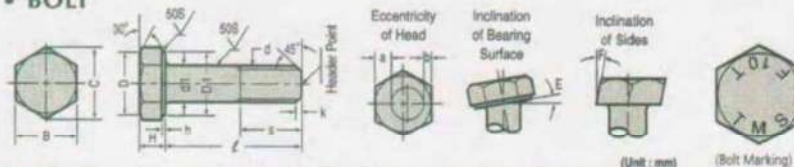
Standard Sectional Dimension					Sectional		Informative Reference					
Nominal Dimensional	H x B	t1	t2	r	Area	Unit Mass	Geometrical moment of inertia		Radius of gyration of area		Modulus of Section	
					A	kg/m	Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
mm x mm	mm x mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
100 x 100	100 x 100	6	8	10	21.90	17.20	383	134.0	4.18	2.47	76.5	26.7
125 x 125	125 x 125	6.5	9	10	30.31	23.80	847	293.0	5.29	3.11	136.0	47.0
150 x 75	150 x 75	5	7	8	17.85	14.00	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
150 x 100	148 x 100	6	9	11	26.84	21.10	1 020	151.0	6.17	2.37	138.0	30.1
150 x 150	150 x 150	7	10	11	40.14	31.50	1 640	563.0	6.39	3.75	219.0	75.1
175 x 175	175 x 175	7.5	11	12	51.21	40.20	2 880	984.0	7.50	4.38	330.0	112.0
200 x 100	198 x 99	4.5	7	11	23.18	18.20	1 580	114.0	8.26	2.21	160.0	23.0
	200 x 100	5.5	8	11	27.16	21.30	1 840	134.0	8.24	2.22	184.0	26.8
200 x 150	194 x 150	6	9	12	38.80	30.60						
200 x 200	200 x 200	8	12	13	63.53	49.90	4 720	1 600	8.62	5.02	472.0	160.0
250 x 125	248 x 124	5	8	12	32.68	25.70	3 540	255.0	10.40	2.79	285.0	41.1
	250 x 125	6	9	12	37.66	29.60	4 050	294.0	10.40	2.79	324.0	47.0
250 x 250	250 x 250	9	14	16	92.18	72.40	10 800	3 650	10.80	6.29	867.0	292.0
300 x 150	298 x 149	5.5	8	13	40.80	32.00	6 320	442.0	12.40	3.29	424.0	59.3
	300 x 150	6.5	9	13	46.78	36.70	7 210	508.0	12.40	3.29	481.0	67.7
300 x 300	300 x 300	10	15	18	119.80	94.00	20 400	6 750	13.10	7.51	1 360	450.0
350 x 175	346 x 174	6	9	14	52.68	41.40	11 100	792.0	14.50	3.88	641.0	91.0
	350 x 175	7	11	14	63.14	49.60	13 600	984.0	14.70	3.95	775.0	112.0
350 x 350	350 x 350	12	19	20	173.90	137.00	40 300	13 600	15.20	8.84	2 300	776.0
400 x 200	396 x 199	7	11	16	72.16	56.60	20 000	1 450	16.70	4.48	1 010	145.0
	400 x 200	8	13	16	84.10	66.00	23 700	1 740	16.8	4.54	1 190	174.0
*400 x 400	400 x 400	13	21	22	218.70	172.00	66 600	22 400	17.5	10.10	3 330	1 120
450 x 200	450 x 200	9	14	18	96.80	76.00	33 500	1 870	18.6	4.40	1 490	187.0
500 x 200	500 x 200	10	16	20	114.20	89.60	47 800	2 140	20.5	4.33	1 910	214.0
600 x 200	600 x 200	11	17	22	134.40	106.00	77 600	2 280	24.0	4.12	2 590	228.0
600 x 300	588 x 300	12	20	28	192.50	151.00	118 000	9 020	24.8	6.85	4 020	601.0
*700 x 300	700 x 300	13	24	28	235.50	185.00	201 000	10 800	29.3	6.78	5 760	722.0
*800 x 300	800 x 300	14	26	28	267.40	210.00	292 000	11 700	33.0	6.62	7 290	782.0
*900 x 300	900 x 300	16	28	28	309.8	243.00						

Note : \* Special size for welded beam



# 1. DIMENSION AND TOLERANCES

## • BOLT

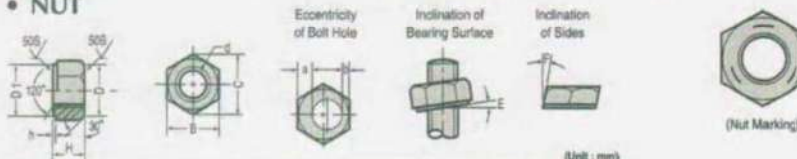


(Unit : mm)

Designation of Bolt (S)	d		H		B		C		D		D1		k		E		F		S	
	Basic Dimension	Tolerance	Basic Dimension	Tolerance	Basic Dimension	Tolerance	Approx.	Approx.	Min.	r	Approx.	Max.	Max.	Max.	h	Basic Dimension	Tolerance	Basic Dimension	Tolerance	
M 12	12	+0.17 -0.2	8	±0.08	22	-0.08	25.4	20	20	0.8 -1.8	2	0.7			21	+0.5 -0				
M 16	16		10		27		31.2	25	25						30					
M 20	20		13		32		37	30	29	1.2 -2.0	2.5	0.9	1°	2°	36					
M 22	22		14	±0.09	36		41.8	34	33			1.1			46					
M 24	24	+0.08 -0.1	15		41	-0.1	47.3	38	36	1.8 -2.4	3	1.2			46	+0.6 -0				
M 27	27		17		46		53.1	44	43			1.3			50					
M 30	30		19	±0.10	50		57.7	48	47	2.0 -2.8	3.5	1.5			51					

E	
Length	Tolerance
Under 55	±1.0
55 & Over - Under 125	±1.4
125 & Over	±1.8

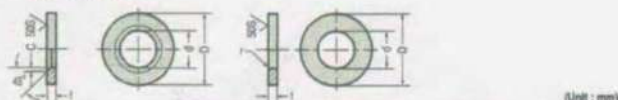
## • NUT



(Unit : mm)

Nominal Size of Thread (S)	Outside Diameter External Thread	H		B		C		D		D1		e-b		E		F		h	
		Basic Dimension	Tolerance	Basic Dimension	Tolerance	Approx.	Approx.	Min.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	
M 12	12	12		22	±0.35	25.4	20	20	0.7										
M 16	16	16		27		31.2	25	25	0.8										
M 20	20	20		32		37	30	29	0.9										
M 22	22	22		36		41.8	34	33	1.1	1°	2°	0.4 - 0.8							
M 24	24	24	±0.4	41	-0.1	47.3	38	36	1.2										
M 27	27	27		46		53.1	44	43	1.3										
M 30	30	30		50		57.7	48	47	1.5										

## • WASHER



(Unit : mm)

Nominal Size of Washer	d		D		t		e or f
	Basic Dimension	Tolerance	Basic Dimension	Tolerance	Basic Dimension	Tolerance	
12	13	+0.7 0	26	+0.8 -0.8	3.2	±0.4	1.5
16	17		32		4.8	±0.5	2
20	21		40	+0.8 -1	8	±0.7	
22	23	+0.8 0	44				
24	25		48		80	±0.7	2.4
27	28	+1.2 0	56	+0 -1.2			
30	31		60				2.8

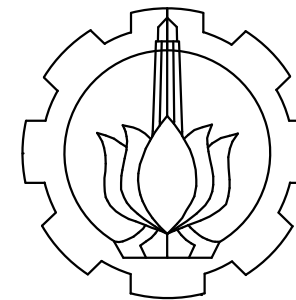
## DAFTAR GAMBAR

No. Urut	Kode Gambar	Nama Gambar
1	ARS-01	Tampak Depan
2	ARS-02	Tampak Samping
3	ARS-03	Potongan 1
4	ARS-04	Potongan 2
5	STR-01	Denah Pondasi Footplat
6	STR-02	Denah Sloof
7	STR-03	Denah Kolom Lt. Basement
8	STR-04	Denah Balok Lt.1
9	STR-05	Denah Pelat Lt.1
10	STR-06	Denah Kolom Tipikal Lt.1 – Lt.5
11	STR-07	Denah Balok Tipikal Lt.2 – Lt.6
12	STR-08	Denah Kolom Tipikal Lt.6 – Lt.8
13	STR-09	Denah Balok Tipikal Lt.7 – Lt.9
14	STR-10	Denah Pelat Tipikal Lt.2 – Lt.9
15	STR-11	Denah Kolom
16	STR-12	Denah Balok Lt.10
17	STR-13	Denah Pelat Lt.10
18	STR-14	Detail Type Footplat 1
19	STR-15	Detail Type Footplat 2
20	STR-16	Detail Type Footplat 3
21	STR-17	Detail Type Footplat 4
22	STR-18	Tabel Penulangan
23	STR-19	Detail Penulangan Pelat
24	STR-20	Joint Kolom K1 dengan Balok B1 & B2
25	STR-21	Detail Penulangan Shearwall 1

No. Urut	Kode Gambar	Nama Gambar
26	STR-22	Denah Spot Shearwall 2 dan Detail 2A
27	STR-23	Detail Spot Shearwall 2B dan Detail 2C
28	STR-24	Detail Portal Line 4-4
29	STR-25	Detail Portal Line A' – A'
30	STR-26	Denah Perkuatan Lt. Basement
31	STR-27	Denah Perkuatan Lt.1
32	STR-28	Denah Perkuatan Lt.2
33	STR-29	Denah Perkuatan Lt.3
34	STR-30	Denah Perkuatan Lt.4
35	STR-31	Denah Perkuatan Lt.5
36	STR-32	Denah Perkuatan Lt.6
37	STR-33	Denah Perkuatan Lt.7
38	STR-34	Denah Perkuatan Lt.8
39	STR-35	Denah Perkuatan Lt.9
40	STR-36	Denah Perkuatan Lt. Atap
41	STR-37	Konfigurasi Bresing As 1 (Join B-C; Join K-L)
42	STR-38	Konfigurasi Bresing As 4 (Join C-D; Join J-K)
43	STR-39	Detail Bresing
44	STR-40	Detail Sambungan Tipe 1
45	STR-41	Detail Sambungan Tipe 2
46	STR-42	Detail Potongan B1 Perkuatan Geser
47	STR-43	Detail Potongan B1A Perkuatan Geser
48	STR-44	Detail Potongan B2 Perkuatan Geser
49	STR-45	Gambar Tampak Detail Perkuatan Geser







Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

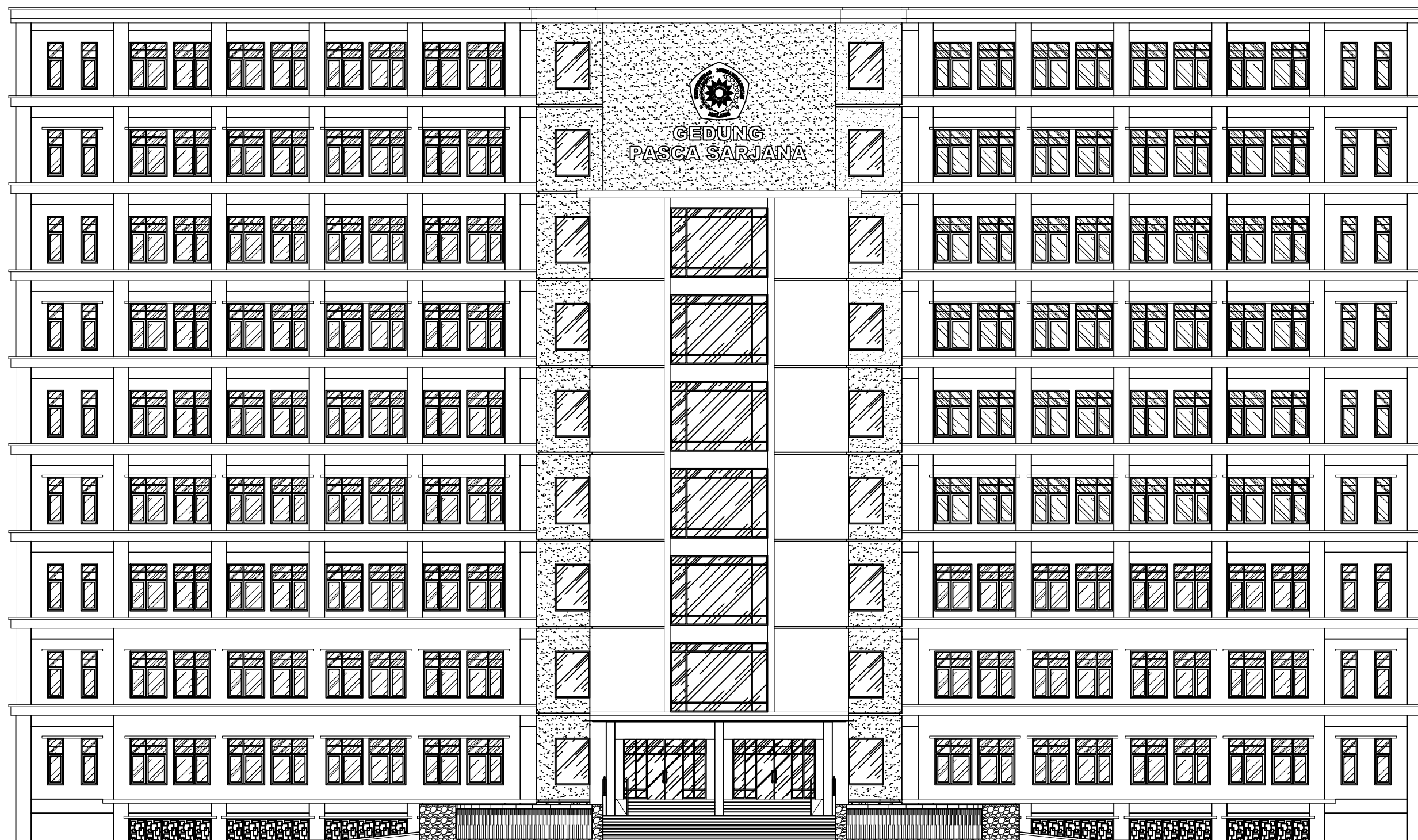
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

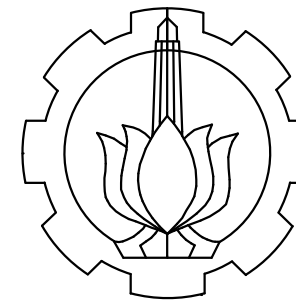
**KETERANGAN**

Tampak Depan

KODE	NO.LMB	JML.LMB
ARS-01	1	49



Tampak Depan  
SKALA 1:200



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### SPESIFIKASI

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

### NAMA PROYEK

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

### DOSEN PEMBIMBING I

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

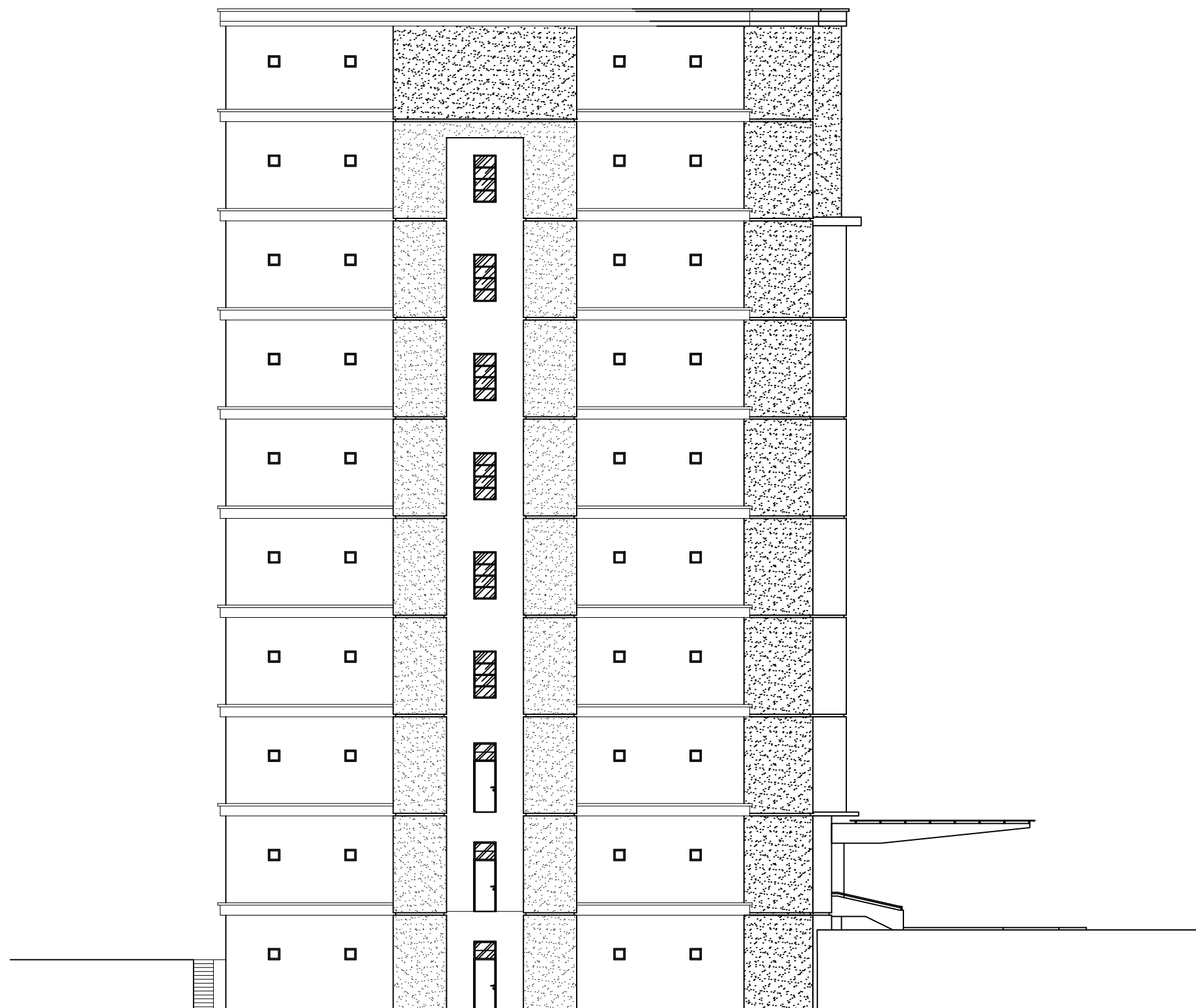
### NAMA MAHASISWA

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

### KETERANGAN

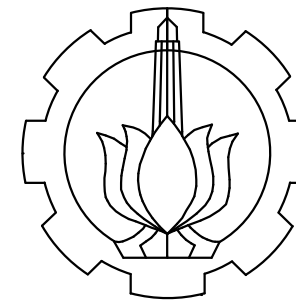
Tampak Samping

KODE	NO.LMB	JML.LMB
ARS-02	2	49



Tampak Samping  
SKALA 1:200





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

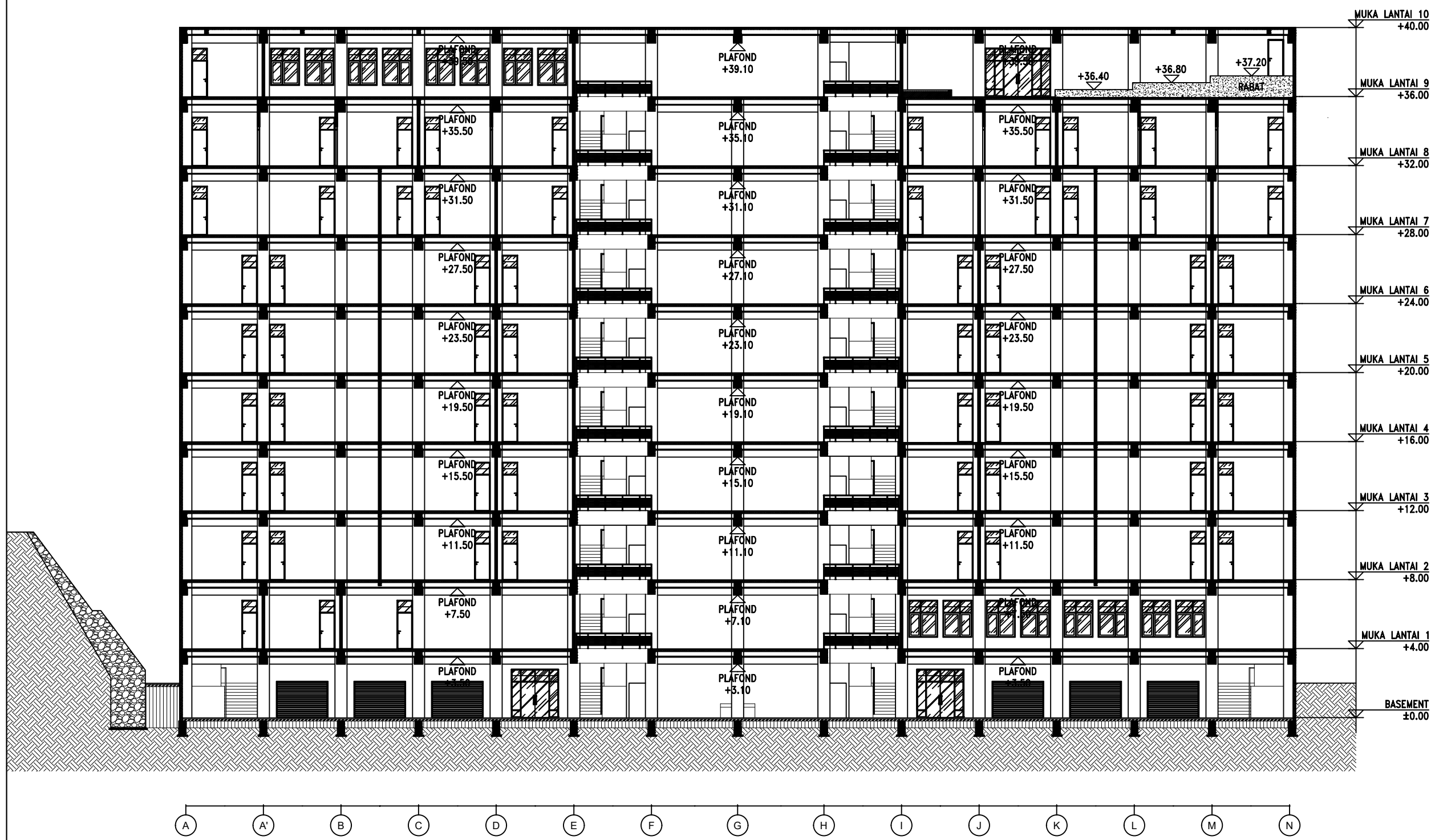
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

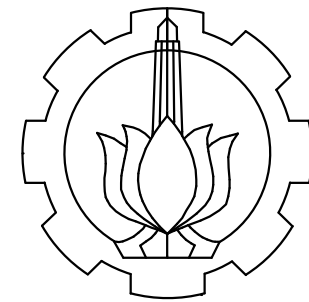
**KETERANGAN**

Potongan 1

KODE	NO.LMB	JML.LMB
ARS-03	3	49



Potongan 1  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### SPESIFIKASI

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

### NAMA PROYEK

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

### DOSEN PEMBIMBING I

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

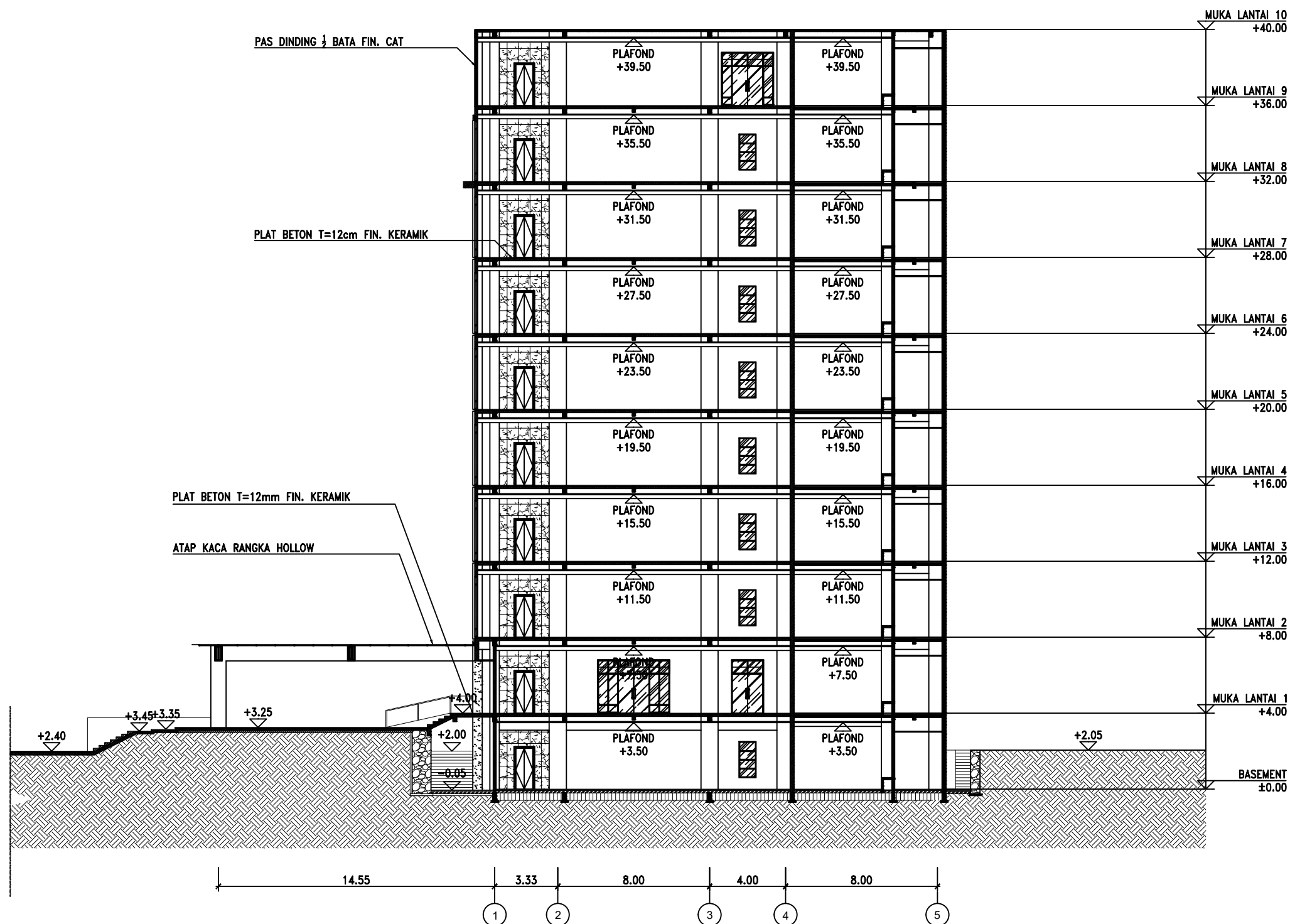
### NAMA MAHASISWA

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

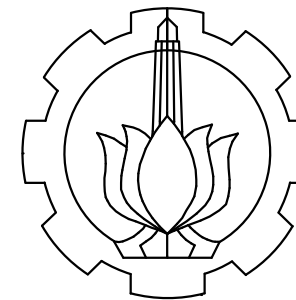
### KETERANGAN

Potongan 2

KODE	NO.LMB	JML.LMB
ARS-04	4	49



Potongan 2  
SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

**NAMA MAHASISWA**

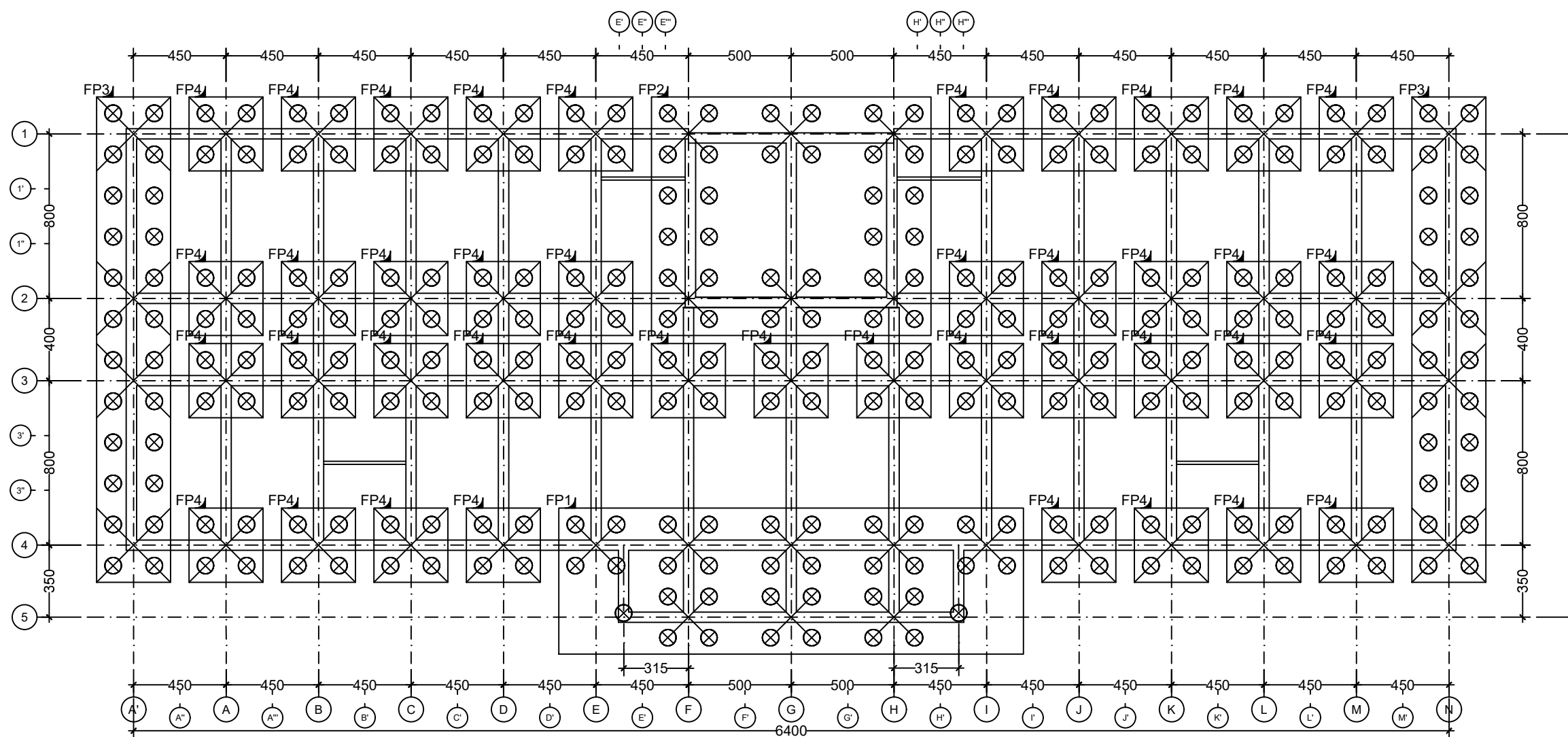
Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

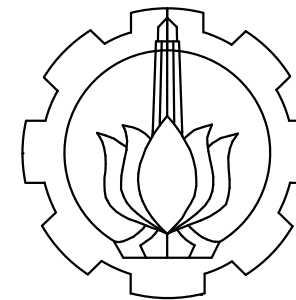
Denah Pondasi Footplat

KODE	NO.LMB	JML.LMB
------	--------	---------

STR-01	5	49
--------	---	----



Denah Pondasi Footplat  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

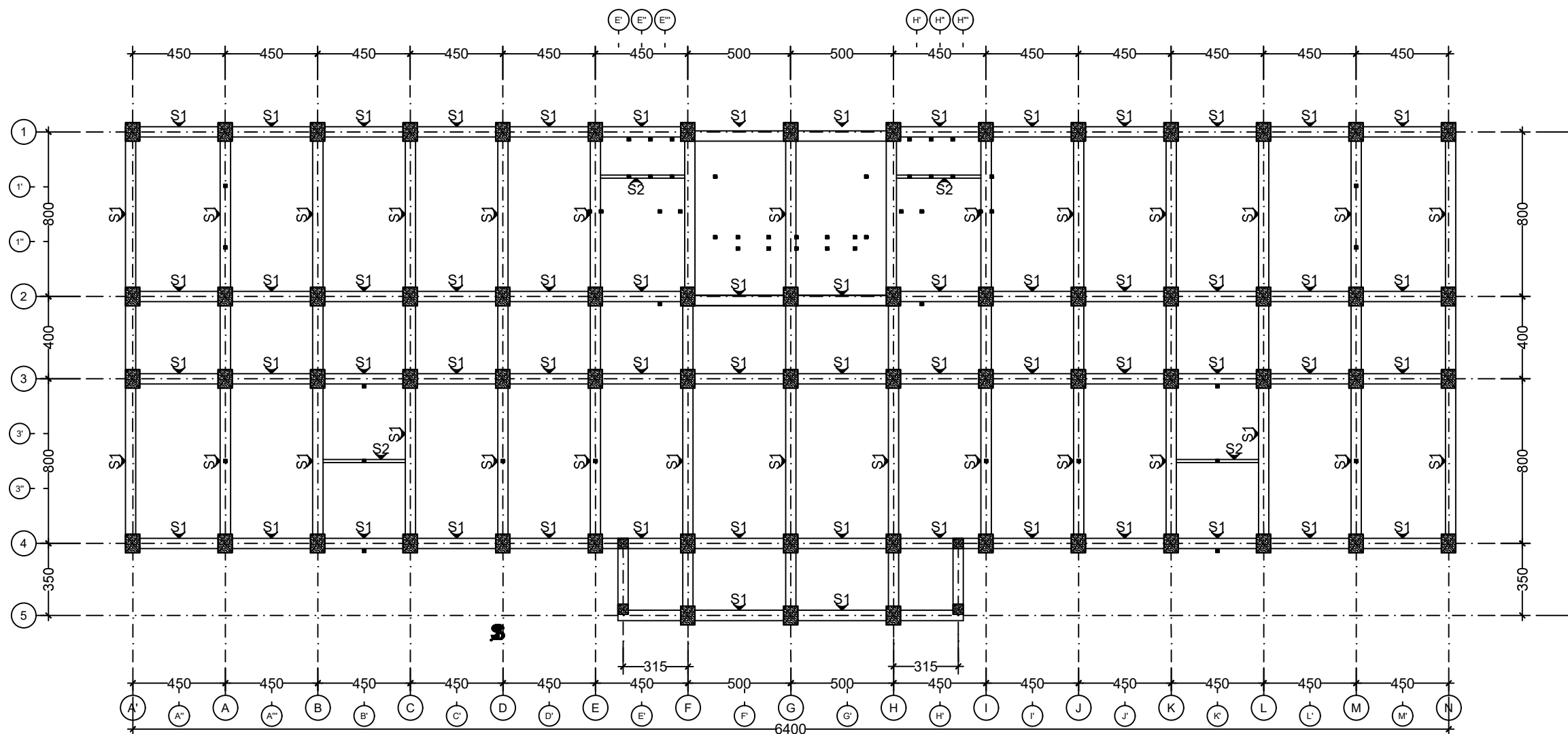
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Sloof

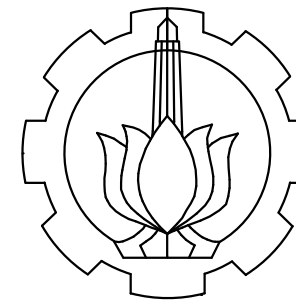
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-02	6	49



**LEGENDA :**

S1 : KOLOM 50 X100 CM  
 S2 : KOLOM 15 X 30 CM

Denah Sloof  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

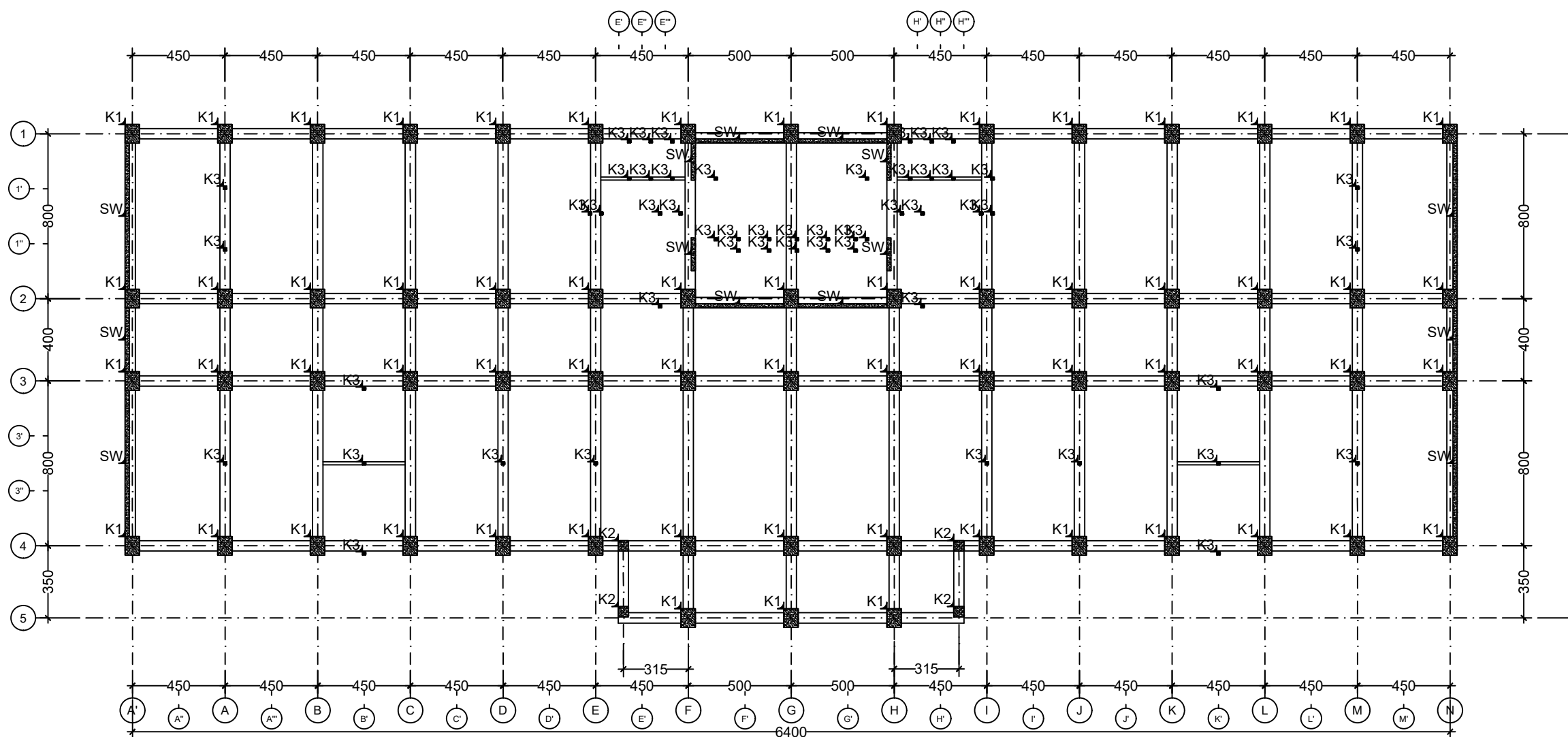
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Kolom Lt. Basement

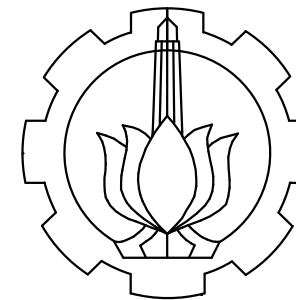
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-03	7	49



**LEGENDA :**

- K1** : KOLOM 70 X 90 CM
- K2** : KOLOM 50 X 50 CM
- K3** : KOLOM 15 X 15 CM
- SW** : SHEAR WALL Tb. 20 CM

Denah Kolom Lt. Basement  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

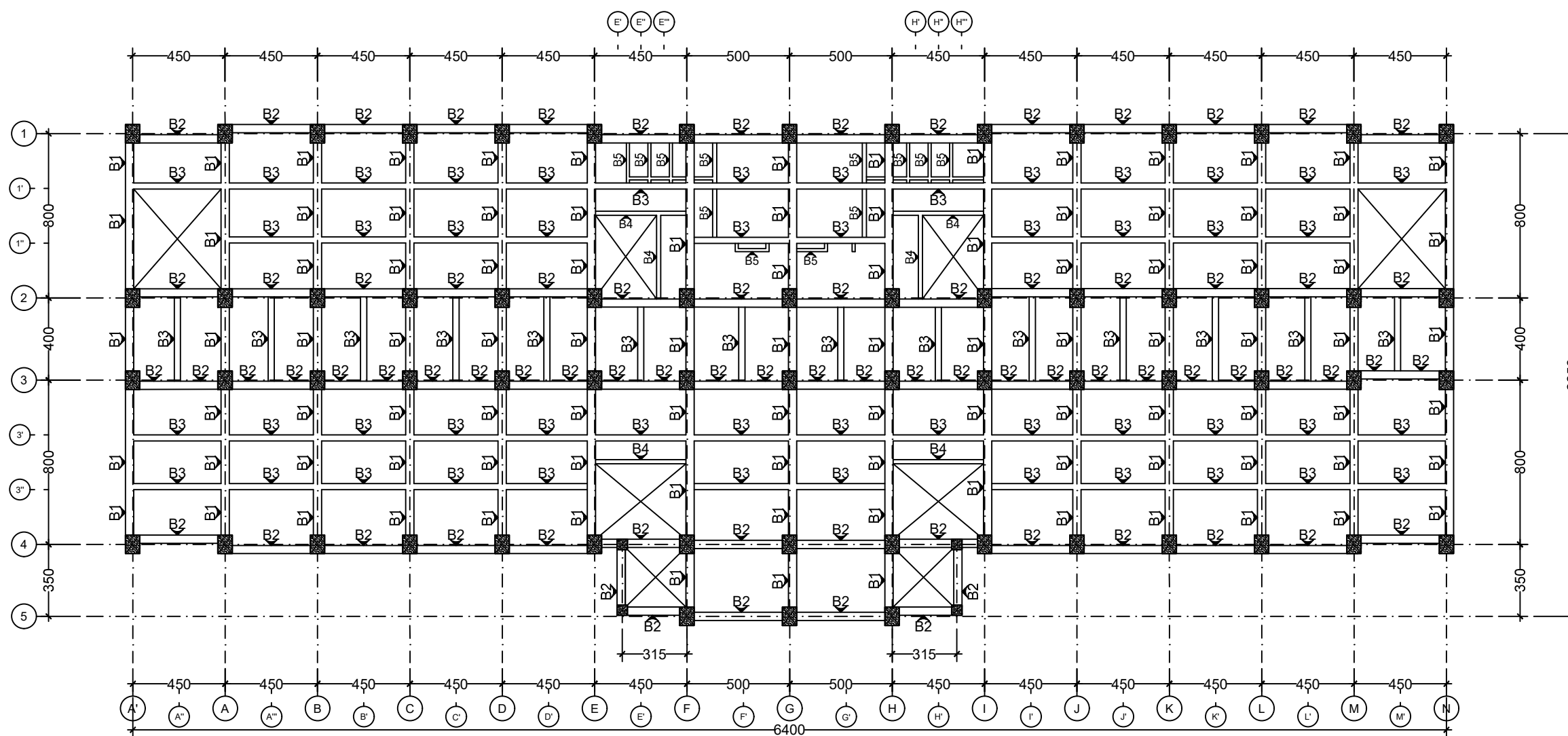
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Balok Lt.1

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-04	8	49



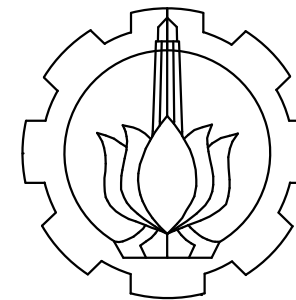
**LEGENDA :**

- B1** : BALOK 40 X 80 CM
- B2** : BALOK 40 X 60 CM
- B3** : BALOK 30 X 40 CM
- B4** : BALOK 20 X 30 CM
- B5** : BALOK 15 X 25 CM

Denah Balok Lt.1  
 SKALA 1:250







Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

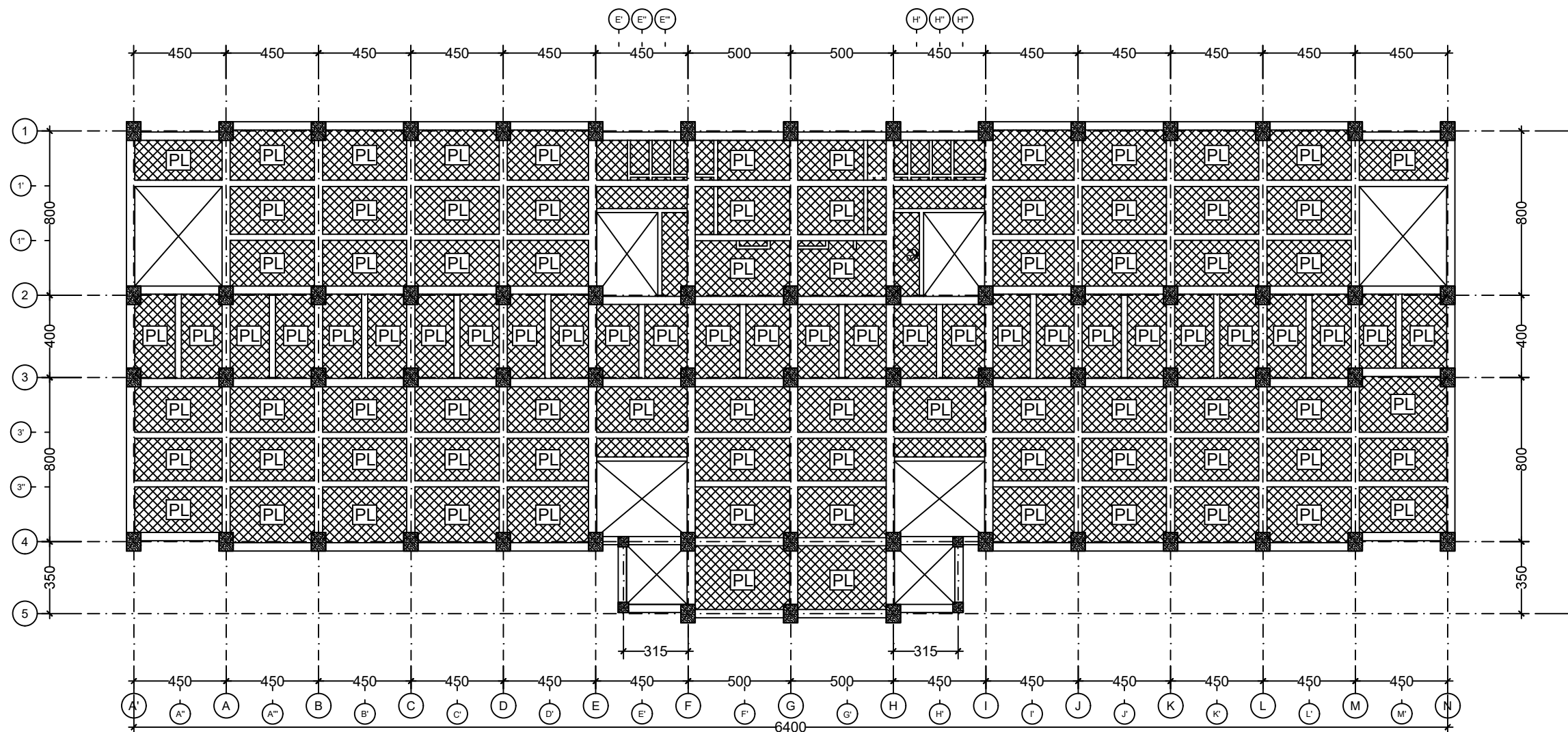
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Pelat Lt.1

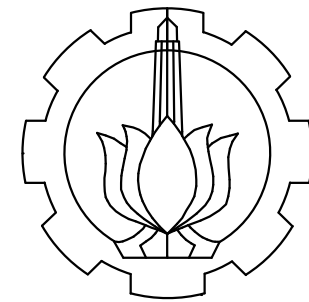
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-05	9	49



**LEGENDA :**

- PL** : PLAT LANTAI Tb. 12 CM
- PA** : PLAT ATAP Tb. 10 CM

Denah Pelat Lt.1  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Senggang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

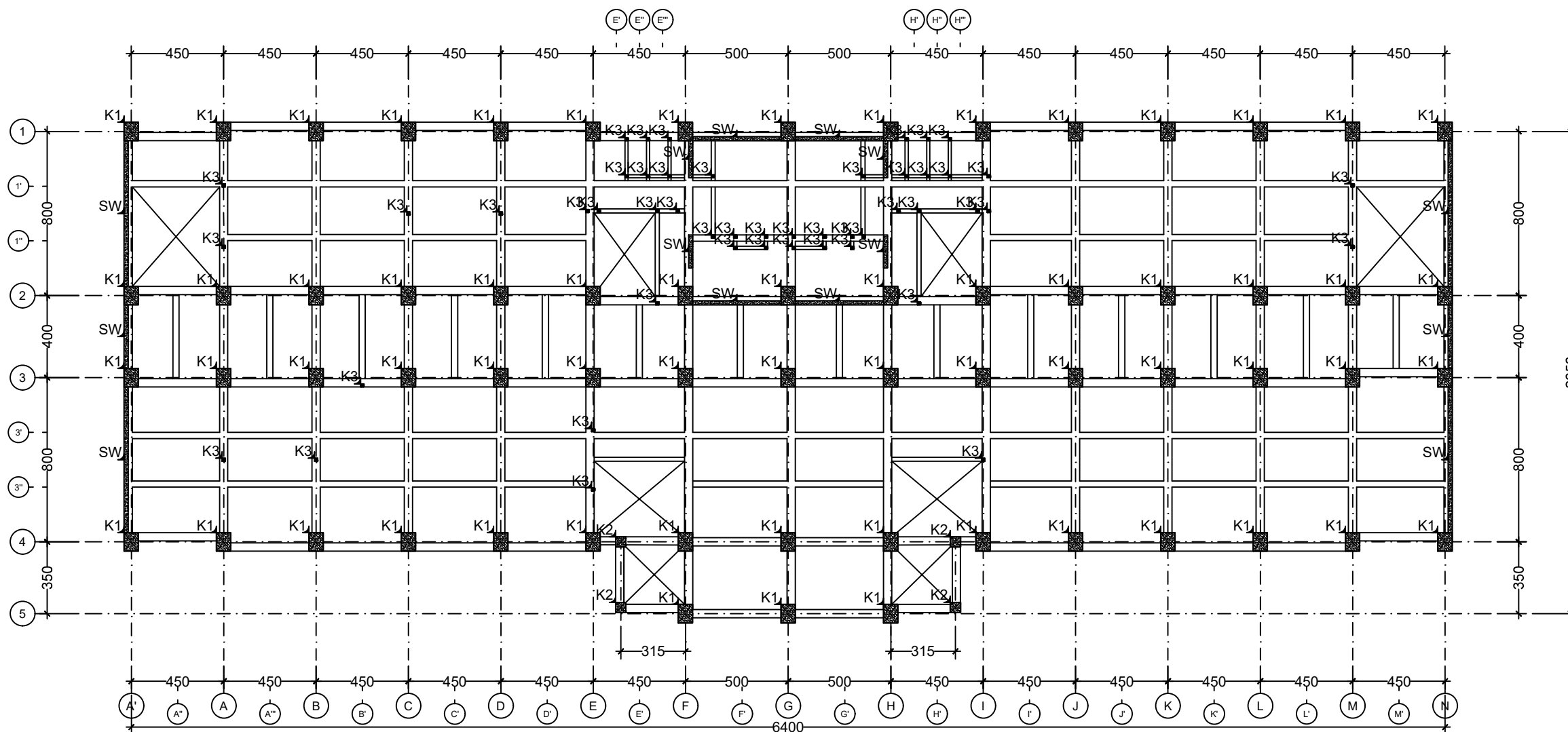
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Kolom Tipikal Lt.1 - Lt.5

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-06	10	49

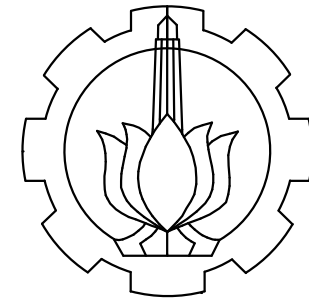


**LEGENDA :**

- K1** : KOLOM 70 X 90 CM
- K2** : KOLOM 50 X 50 CM
- K3** : KOLOM 15 X 15 CM
- SW** : SHEAR WALL Tb. 20 CM

Denah Kolom Tipikal Lt.1 - Lt.5  
 SKALA 1:250





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPEKIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

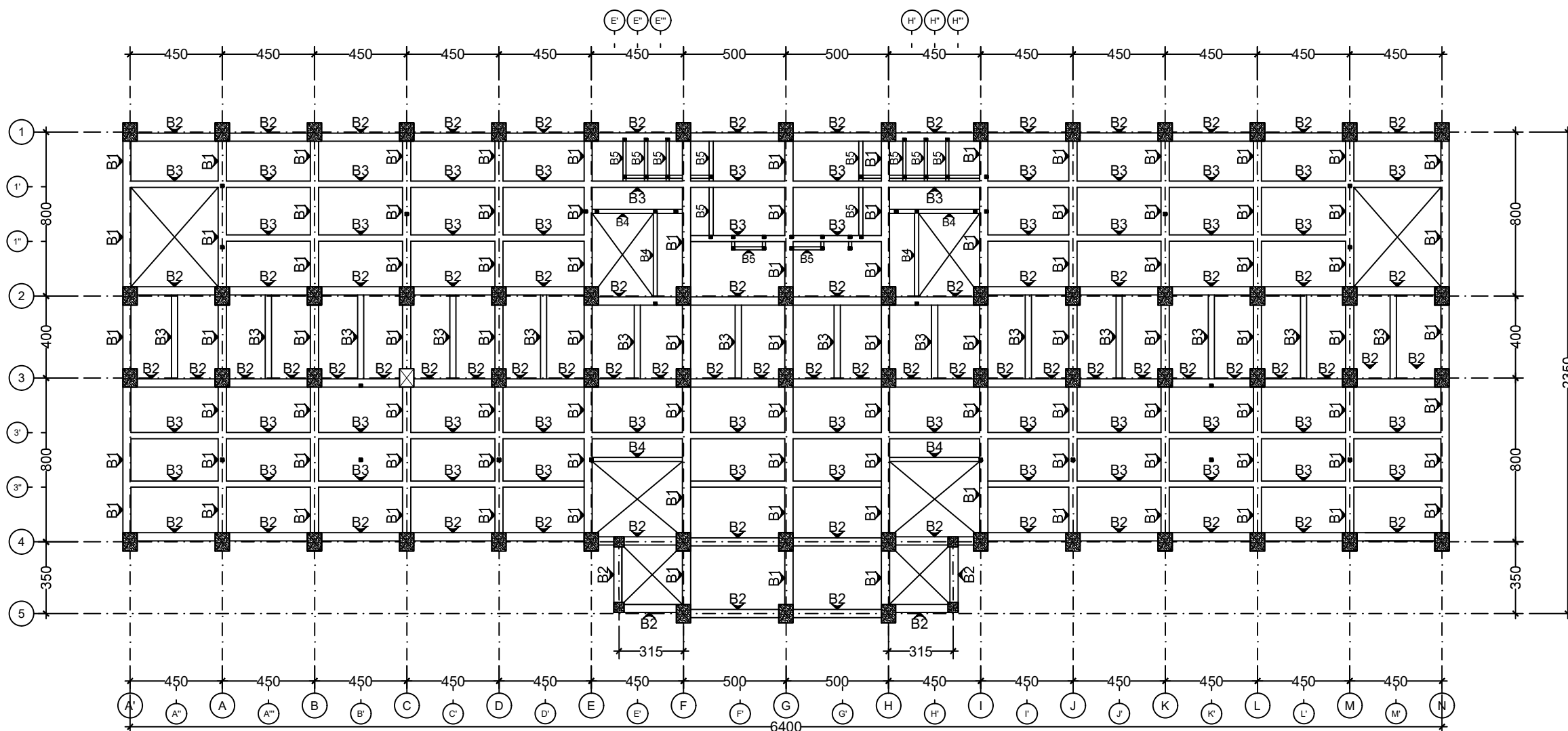
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Balok Tipikal Lt.2 - Lt.6

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-07	11	49

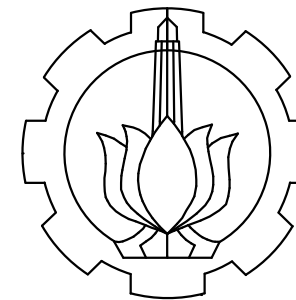


**LEGENDA :**

- B1** : BALOK 40 X 80 CM
- B2** : BALOK 40 X 60 CM
- B3** : BALOK 30 X 40 CM
- B4** : BALOK 20 X 30 CM
- B5** : BALOK 15 X 25 CM

Denah Balok Tipikal Lt.2 - Lt.6  
SKALA 1:250





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

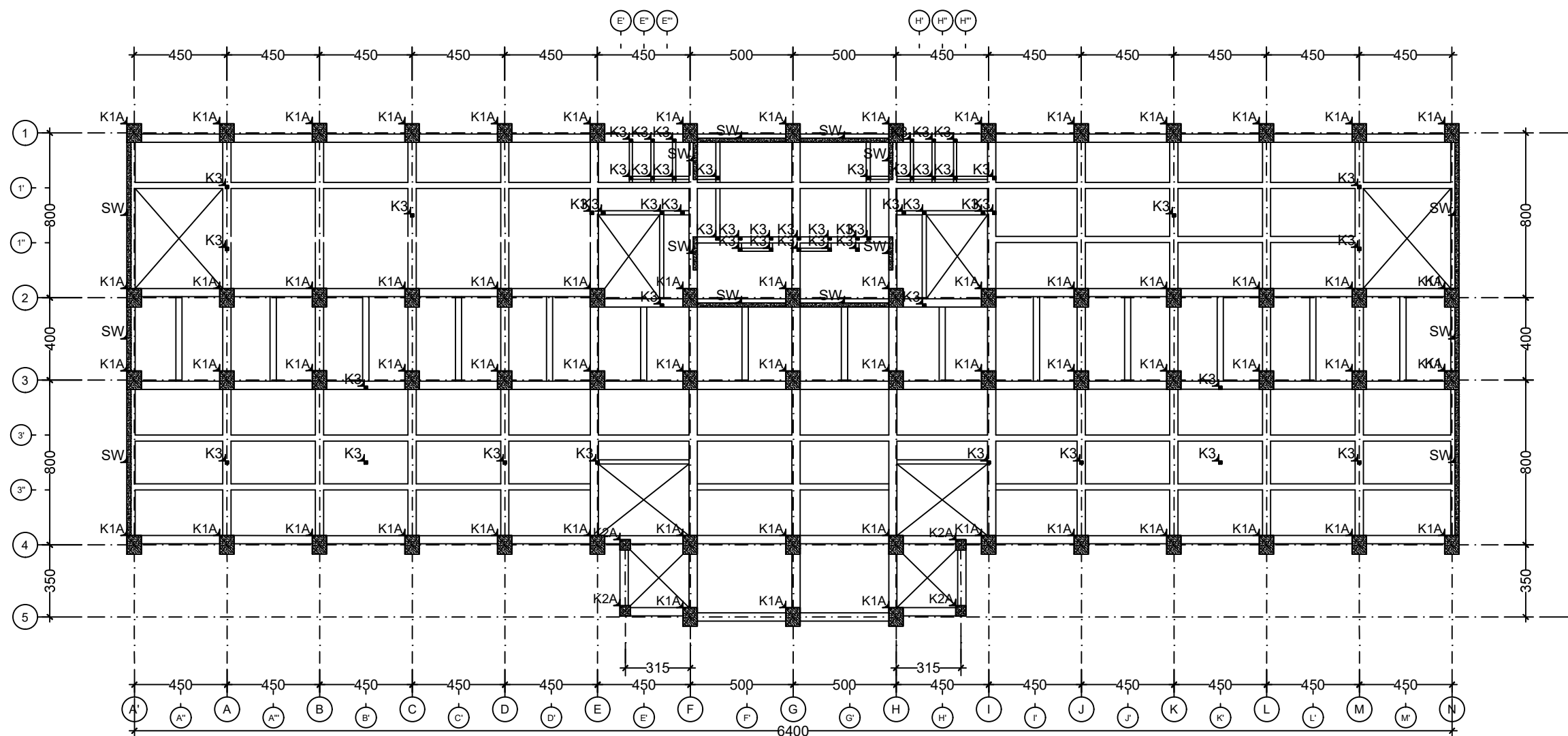
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Kolom Tipikal Lt.6 - Lt.8

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-08	12	49

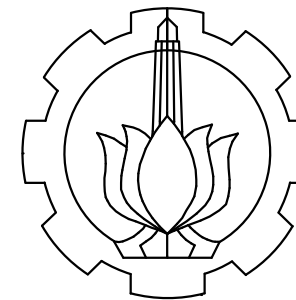


**LEGENDA :**

**K1A** : KOLOM 70 X 90 CM  
**K2A** : KOLOM 50 X 50 CM  
**K3** : KOLOM 15 X 15 CM  
**SW** : SHEAR WALL Tb. 20 CM

Denah Kolom Tipikal Lt.6 - Lt.8  
 SKALA 1:250





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

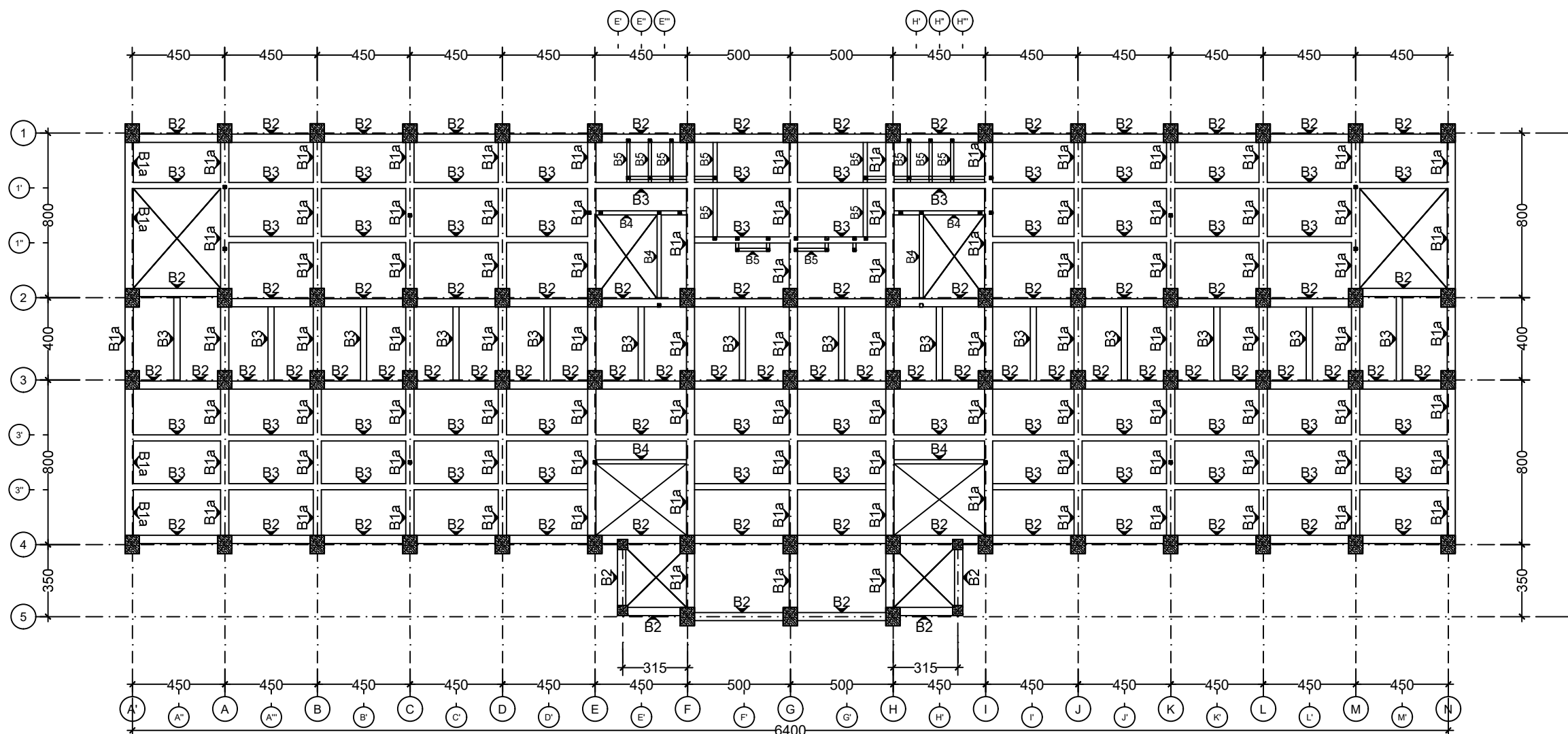
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Balok Tipikal Lt.7 - Lt.9

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-09	13	49

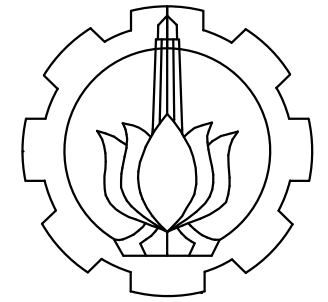


**LEGENDA :**

- B1A** : BALOK 40 X 80 CM
- B2** : BALOK 40 X 60 CM
- B3** : BALOK 30 X 40 CM
- B4** : BALOK 20 X 30 CM
- B5** : BALOK 15 X 25 CM

Denah Balok Tipikal Lt.7 - Lt.9  
 SKALA 1:250





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

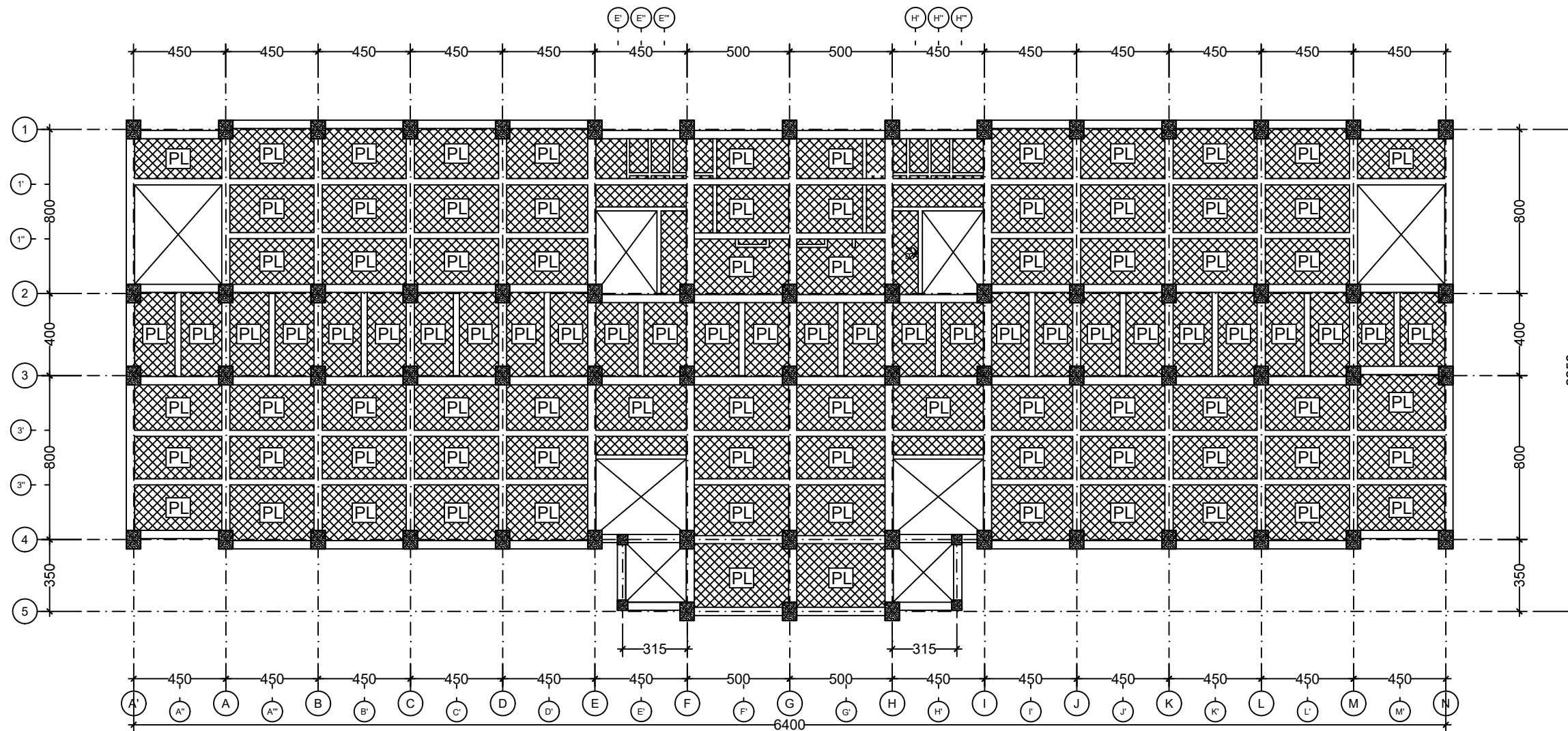
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Pelat Tipikal Lt.2 - Lt.9

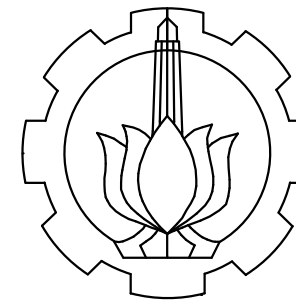
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-10	14	49



**LEGENDA :**

	<b>PL</b> : PLAT LANTAI Tb. 12 CM
	<b>PA</b> : PLAT ATAP Tb. 10 CM

Denah Pelat Tipikal Lt.2 - Lt.9  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

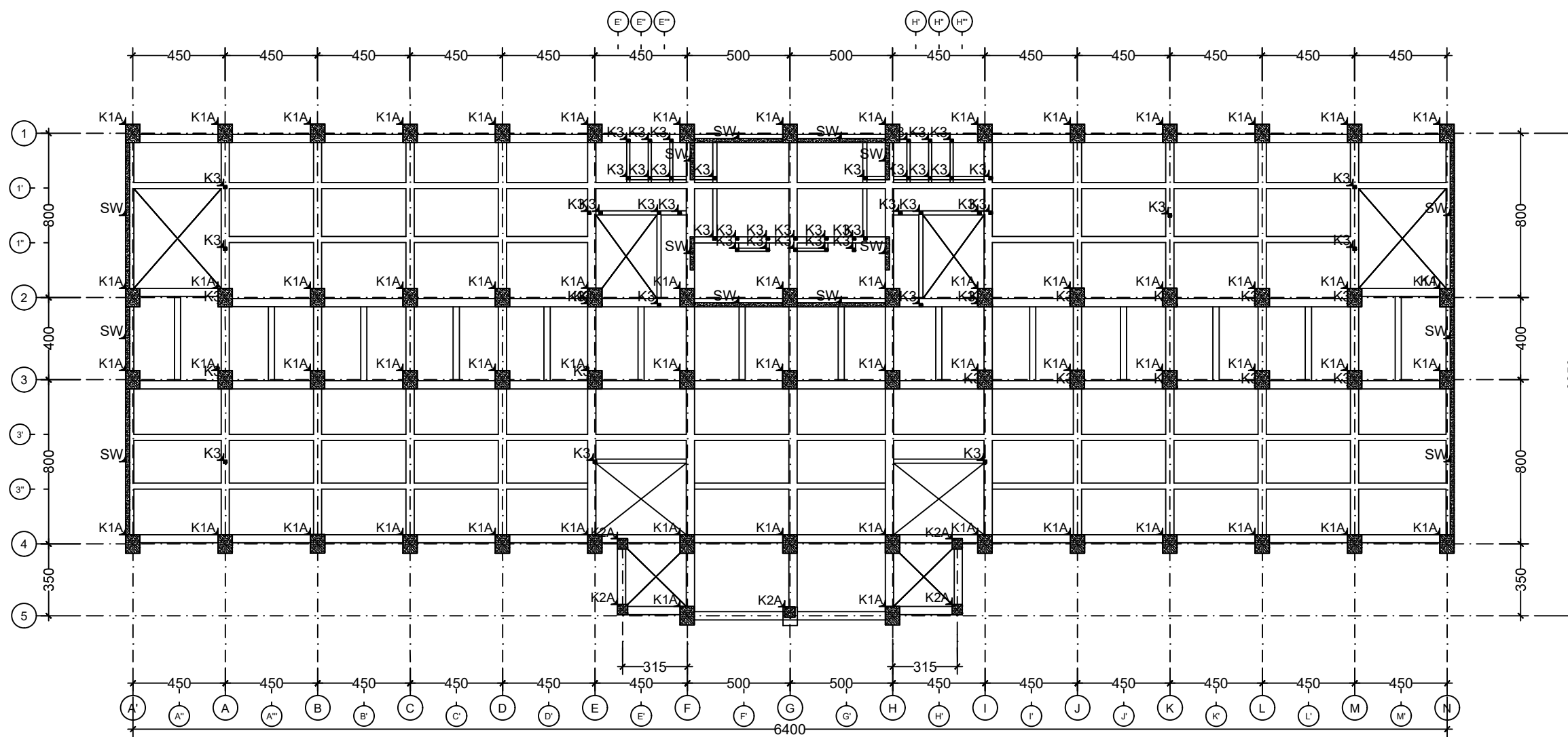
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Kolom Lt.10

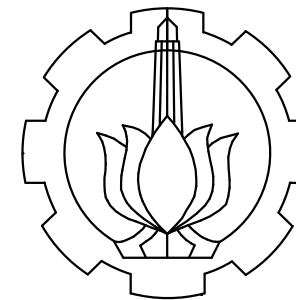
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-11	15	49



**LEGENDA :**

**K1A** : KOLOM 70 X 90 CM  
**K2A** : KOLOM 50 X 50 CM  
**K3** : KOLOM 15 X 15 CM  
**SW** : SHEAR WALL Tb. 20 CM

Denah Kolom Lt.10  
 SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

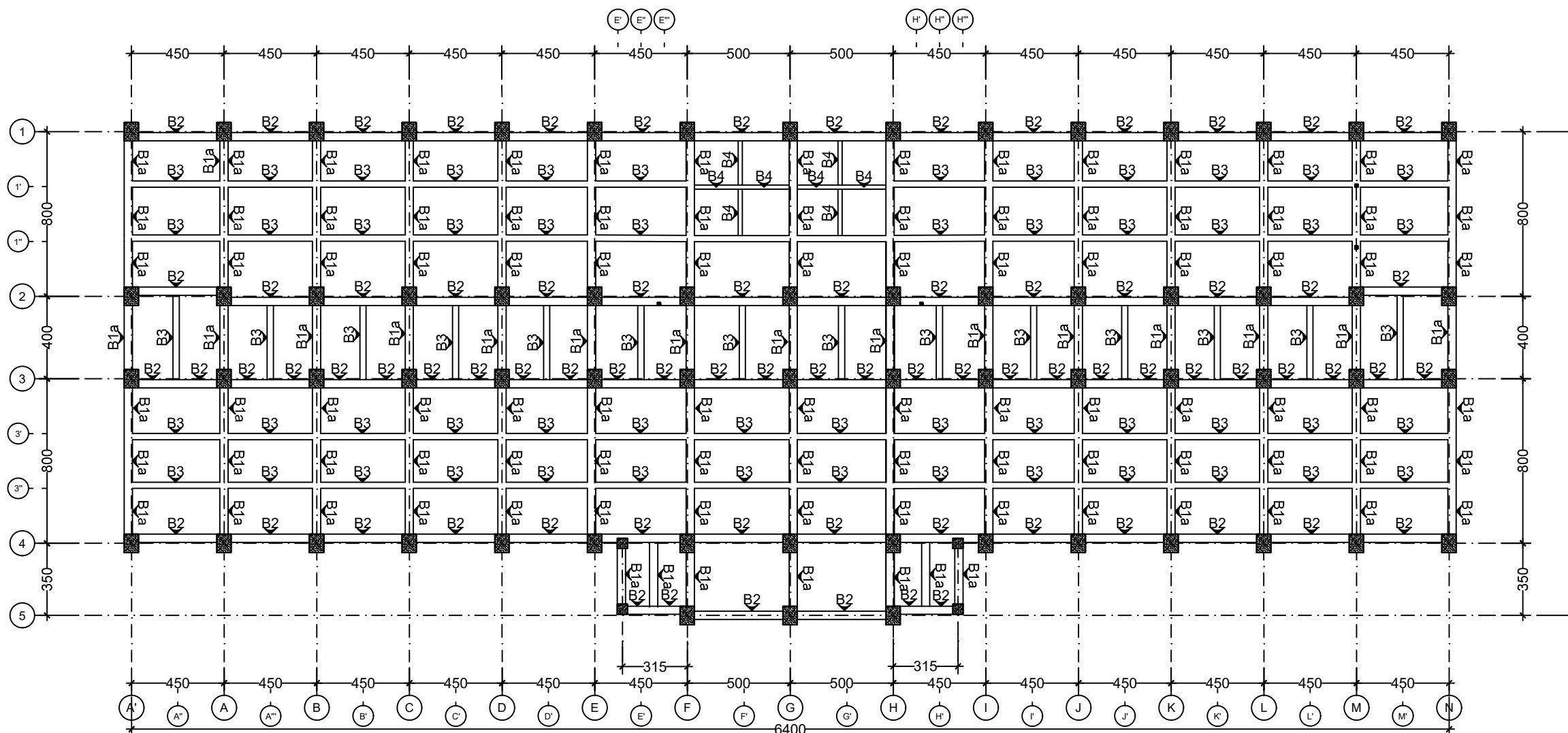
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Balok Lt.10

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-12	16	49



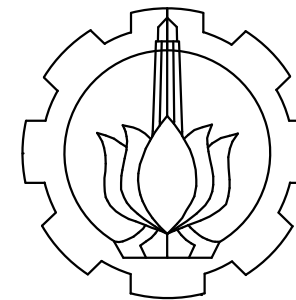
**LEGENDA :**

- B1A** : BALOK 40 X 80 CM
- B2** : BALOK 40 X 60 CM
- B3** : BALOK 30 X 40 CM
- B4** : BALOK 20 X 30 CM
- B5** : BALOK 15 X 25 CM

Denah Balok Lt.10  
 SKALA 1:250







Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### SPESIFIKASI

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan

- Tulangan Utama
  - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
  - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
- Tulangan Sengkang
  - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
  - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

### NAMA PROYEK

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

### DOSEN PEMBIMBING I

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

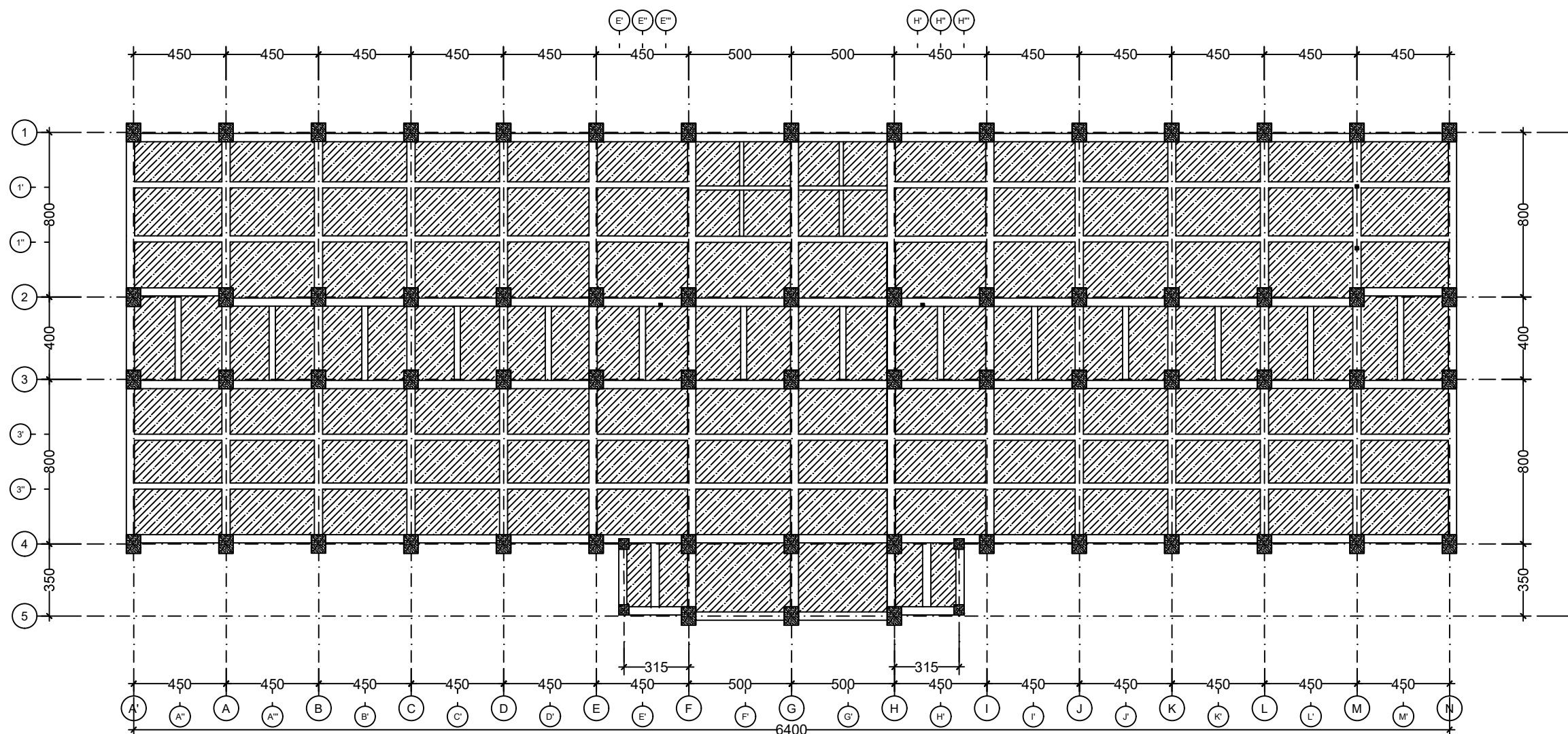
### NAMA MAHASISWA

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

### KETERANGAN

Denah Pelat Lt.10

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-13	17	49

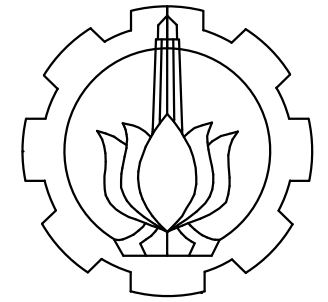


### LEGENDA :

	PL : PLAT LANTAI Tb. 12 CM
	PA : PLAT ATAP Tb. 10 CM

Denah Pelat Lt.10  
SKALA 1:250





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa**  
**Mutu Tulangan**
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - ≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - ≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

**GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG**  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

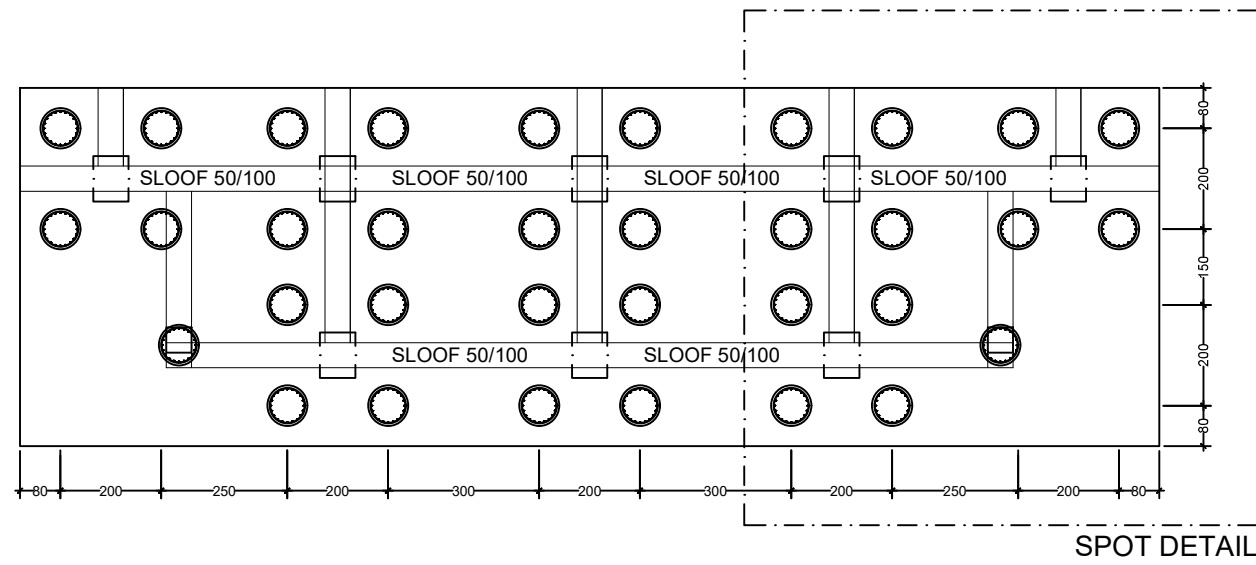
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

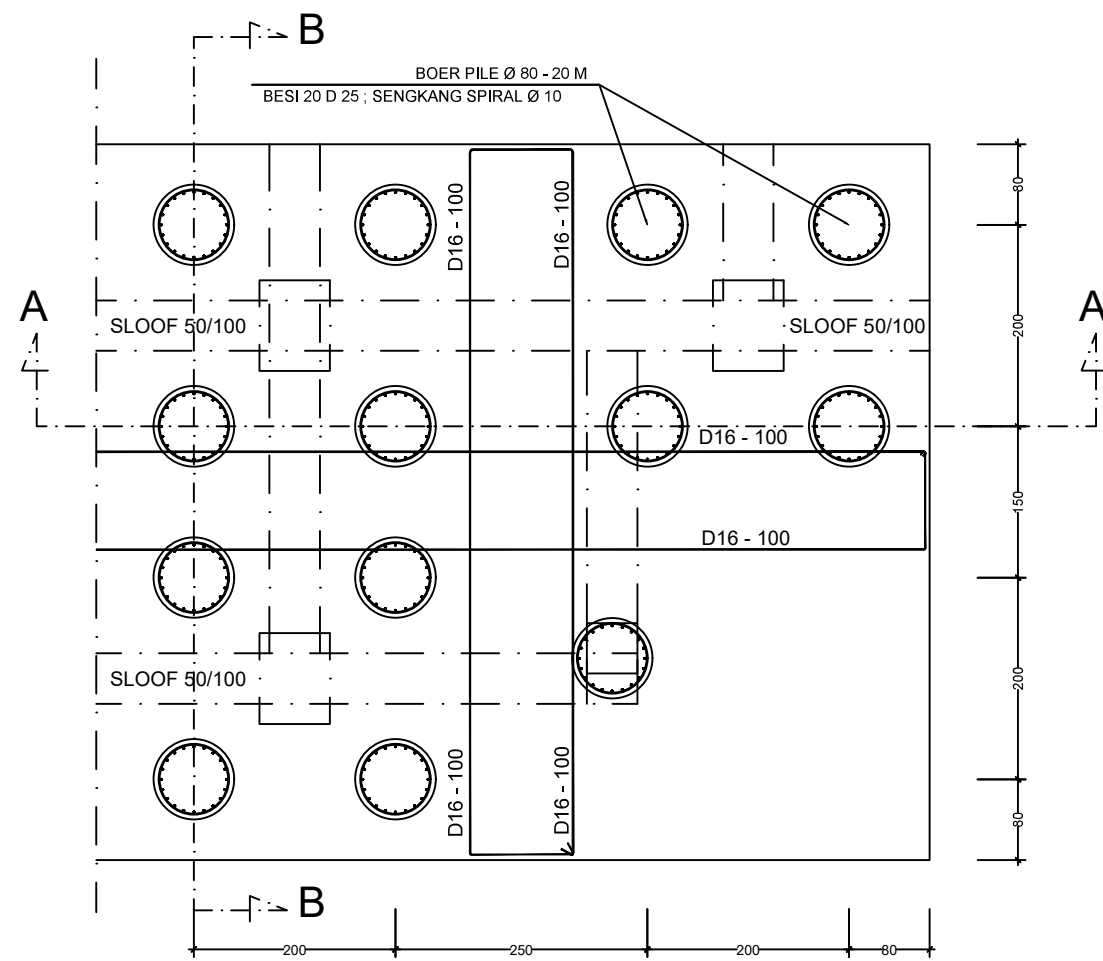
**KETERANGAN**

Detail Type FootPlat 1

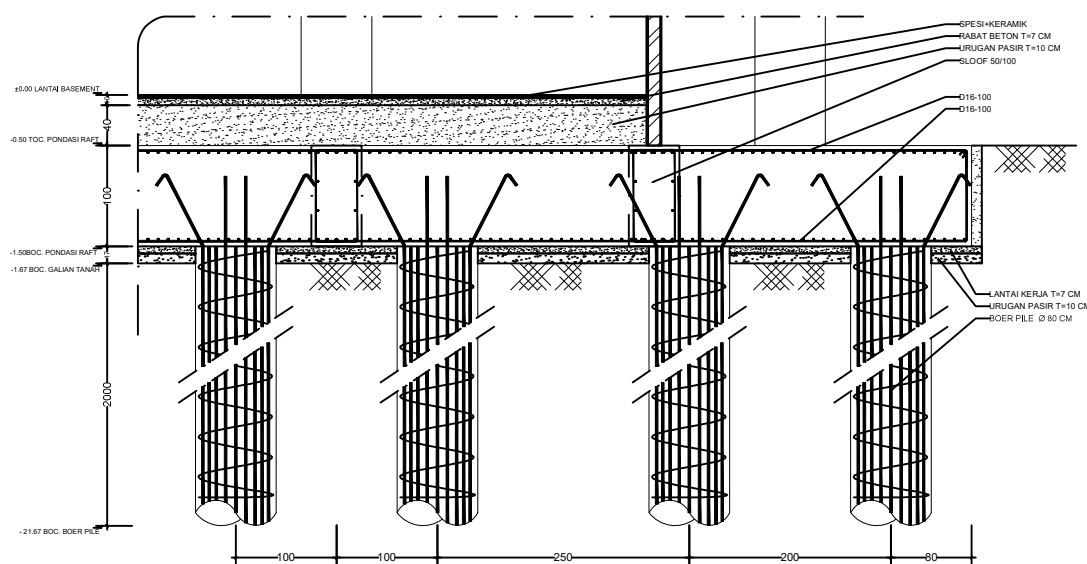
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-14	18	49



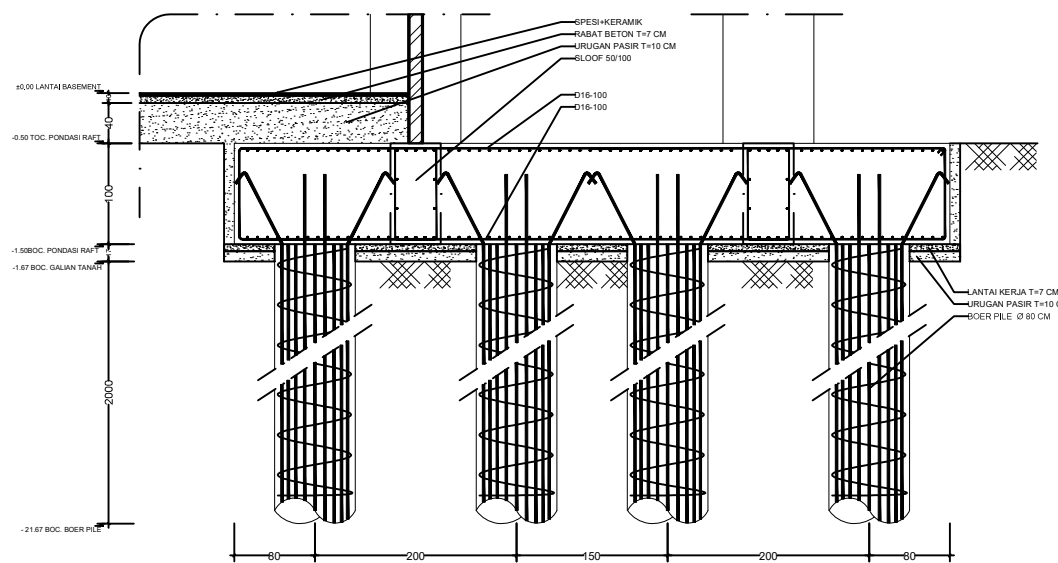
Detail Type FootPlat 1  
SKALA 1:150



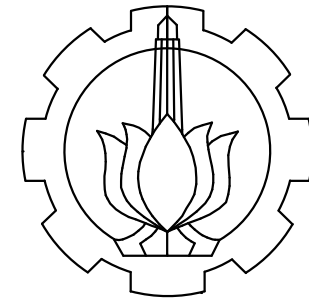
Spot Detail Type FootPlat 1  
SKALA 1:75



Detail Potongan A-A  
SKALA 1:75



Detail Potongan B-B  
SKALA 1:75



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa

Mutu Tulangan

- Tulangan Utama
  - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
  - ≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
- Tulangan Sengkang
  - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
  - ≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

**NAMA MAHASISWA**

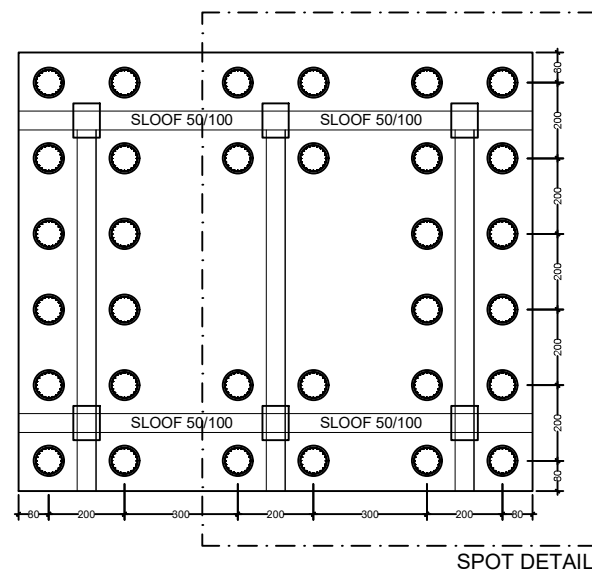
Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

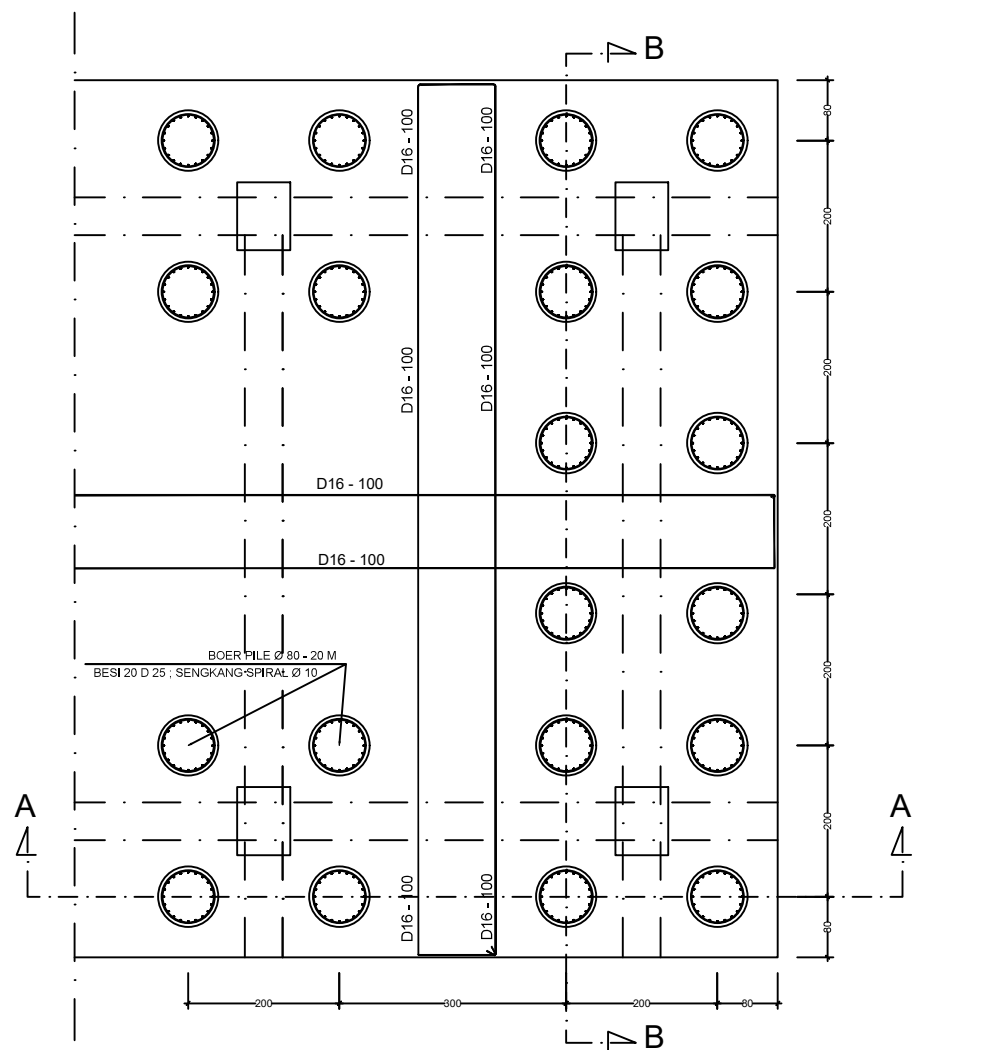
Detail Type FootPlat 2

KODE	NO.LMB	JML.LMB
------	--------	---------

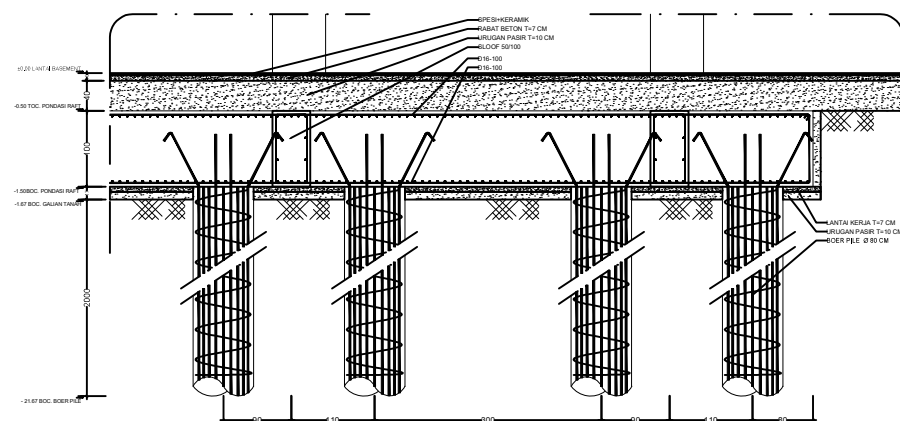
STR-15	19	49
--------	----	----



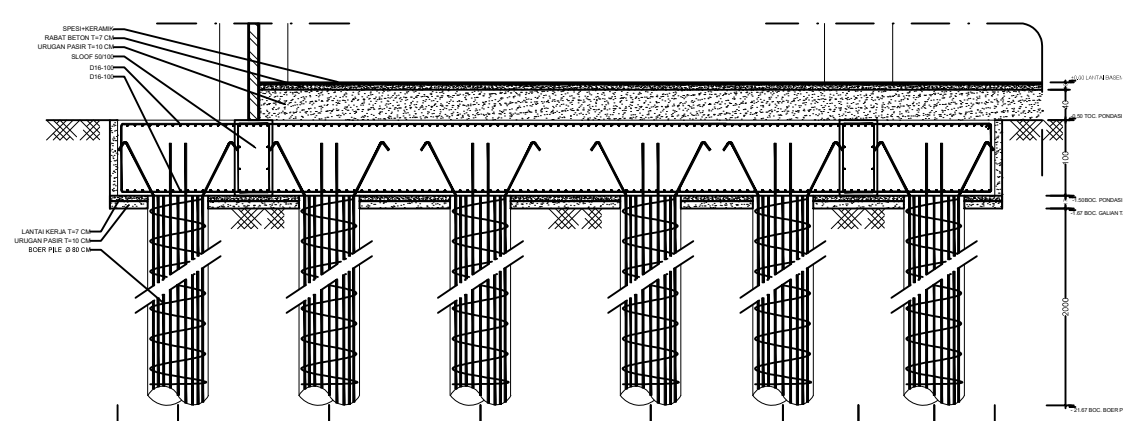
Detail Type FootPlat 2  
SKALA 1:200



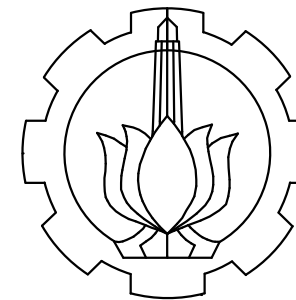
Spot Detail Type FootPlat 2  
SKALA 1:100



Detail Potongan A-A  
SKALA 1:100



Detail Potongan B-B  
SKALA 1:100



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa

Mutu Tulangan

- Tulangan Utama

< D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)

≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

- Tulangan Sengkang

< D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)

≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

**NAMA MAHASISWA**

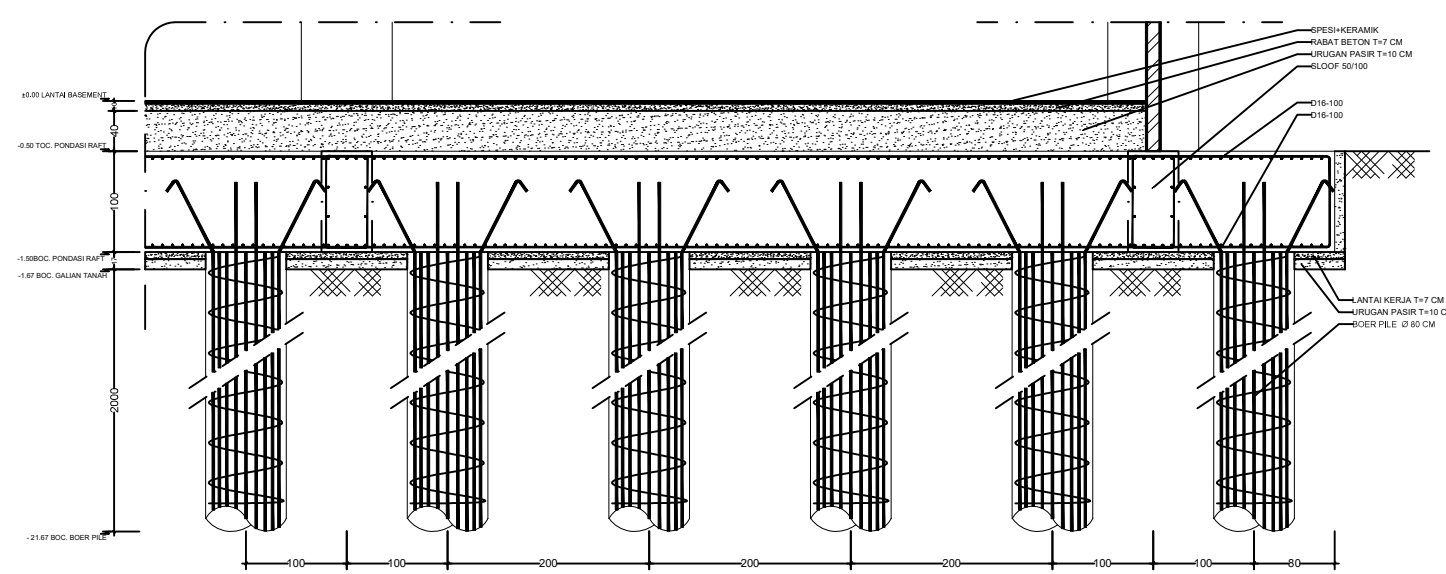
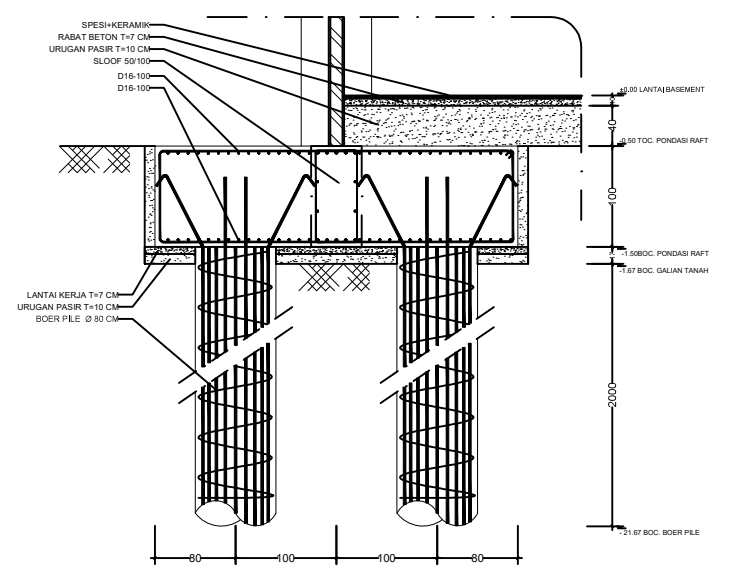
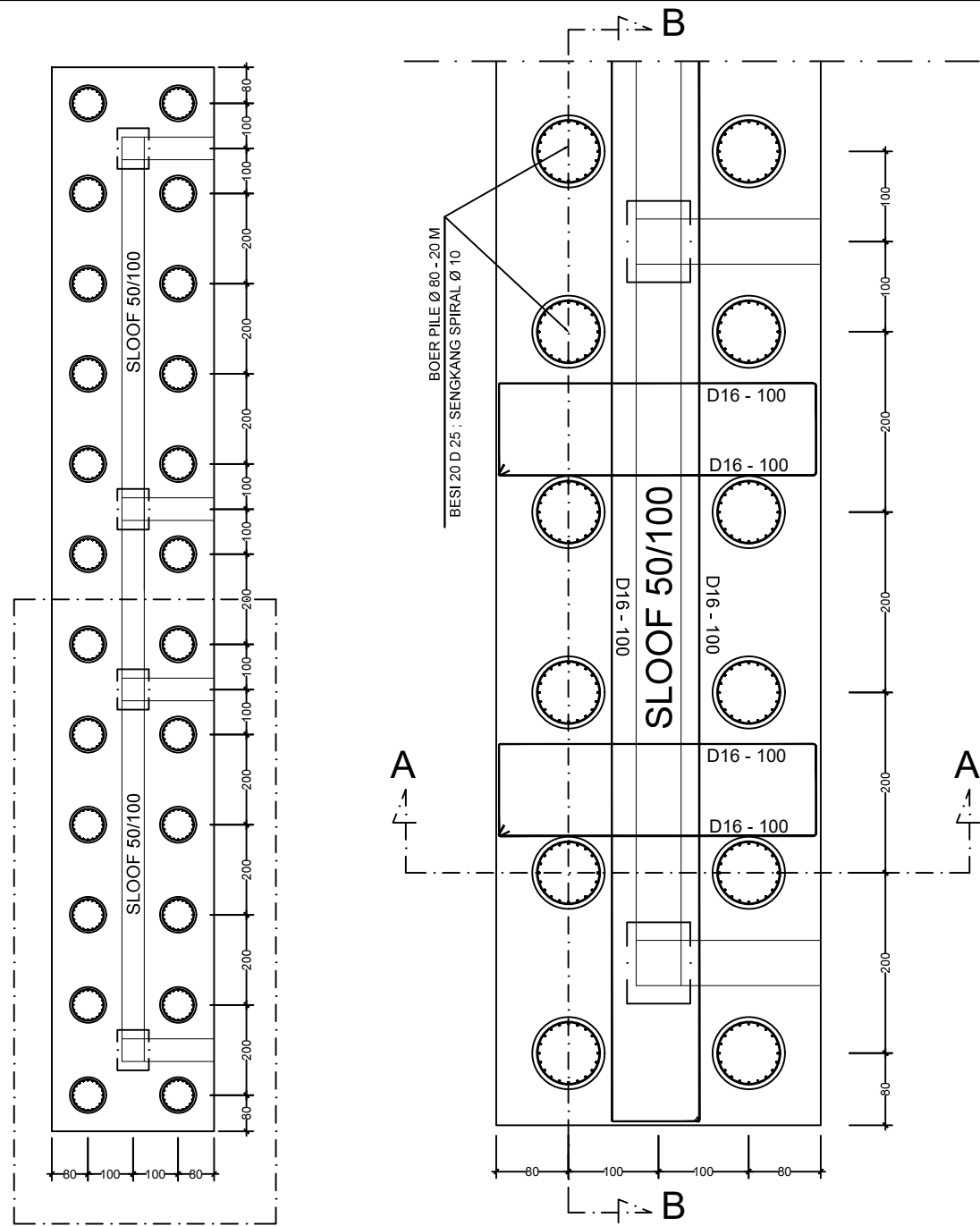
Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Detail Type FootPlat 3

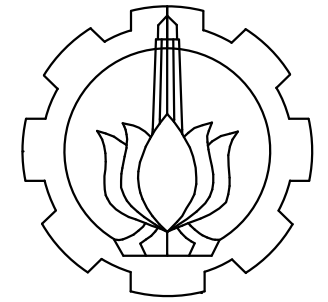
KODE	NO.LMB	JML.LMB
------	--------	---------

STR-16	20	49
--------	----	----



Detail Type FootPlat 3  
 SKALA 1:150

Detail Potongan B-B  
 SKALA 1:75



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

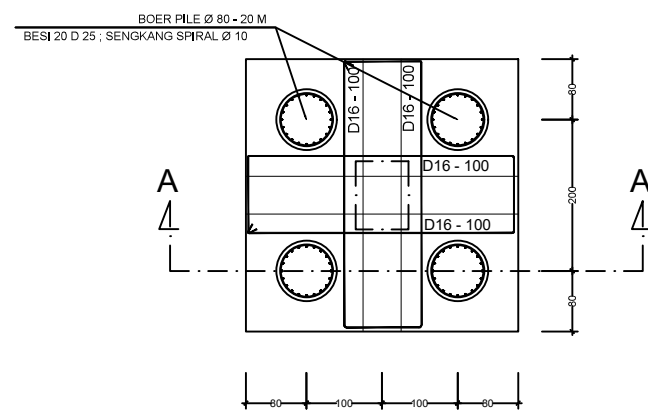
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

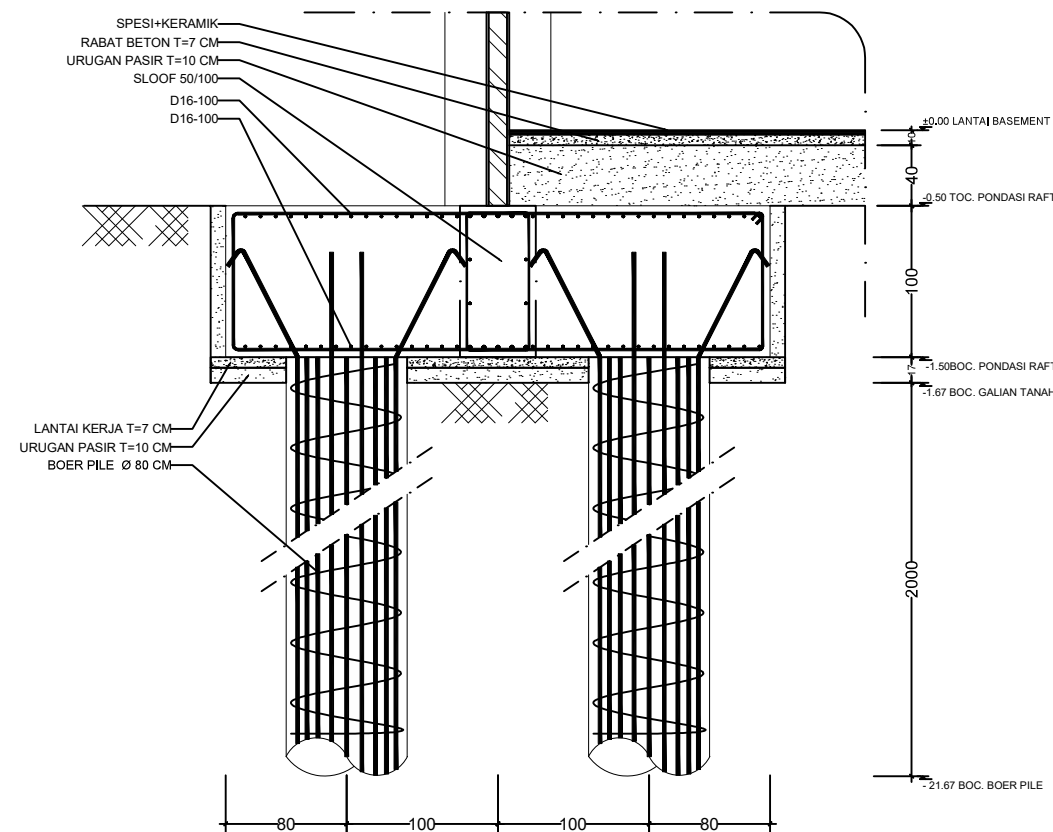
**KETERANGAN**

Detail Type FootPlat 4

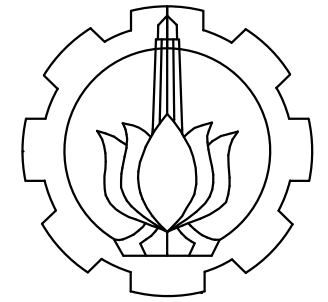
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-17	21	49



Detail Type FootPlat 4  
SKALA 1:100



Detail Potongan A-A  
SKALA 1:50



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### SPESIFIKASI

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

### NAMA PROYEK

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

### DOSEN PEMBIMBING I

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

### NAMA MAHASISWA

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

### KETERANGAN

Tabel Penulangan

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-18	22	49

JENIS KOLOM	K1		K2		KP	
	1/4 L DARI SENDI PLASTIS	1/2 L PADA TENGAH PANJANG	1/4 L DARI SENDI PLASTIS	1/2 L PADA TENGAH PANJANG	1/4 L DARI SENDI PLASTIS	1/2 L PADA TENGAH PANJANG
DESKRIPSI						
TULANGAN UTAMA	30 D25	30 D25	20 D19	20 D19	4 Ø12	4 Ø12
SENGKANG	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø8 - 150	Ø8 - 150

JENIS KOLOM	K1 a		K2 a	
	1/4 L DARI SENDI PLASTIS	1/2 L PADA TENGAH PANJANG	1/4 L DARI SENDI PLASTIS	1/2 L PADA TENGAH PANJANG
DESKRIPSI				
TULANGAN UTAMA	26 D25	26 D25	16 D19	16 D19
SENGKANG	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150

JENIS SLOOF	S1		S2	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DESKRIPSI				
TULANGAN ATAS	5 D25	5 D25	2 Ø12	2 Ø12
TULANGAN BAWAH	5 D25	5 D25	2 Ø12	2 Ø12
TULANGAN PINGGANG	4 D19	4 D19	-	-
SENGKANG	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø8 - 150	Ø8 - 150

JENIS BOER PILE	BOER PILE	
	1/4 L DARI SENDI PLASTIS	1/2 L PADA TENGAH PANJANG
DESKRIPSI		
TULANGAN UTAMA	20 D25	20 D25
SENGKANG	Ø10 - 150 SPIRAL	Ø10 - 150 SPIRAL

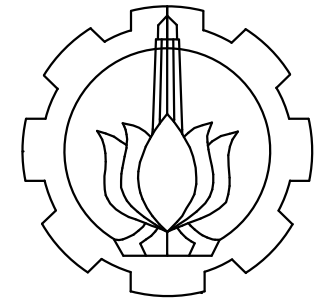
JENIS BALOK	B1		B1 a		B2		B3	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DESKRIPSI								
TULANGAN ATAS	11 D25	7 D25	7 D25	7 D25	7 D25	5 D25	6 D19	3 D19
TULANGAN BAWAH	7 D25	9 D25	7 D25	7 D25	5 D25	7 D25	3 D19	5 D19
TULANGAN PINGGANG	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16	2 D16	2 D16	2 Ø12	2 Ø12
SENGKANG	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10 - 150

JENIS BALOK	B4		B5	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DESKRIPSI				
TULANGAN ATAS	3 Ø12	2 Ø12	2 Ø12	2 Ø12
TULANGAN BAWAH	2 Ø12	3 Ø12	2 Ø12	2 Ø12
TULANGAN PINGGANG	-	-	-	-
SENGKANG	Ø8 - 150	Ø8 - 150	Ø8 - 150	Ø8 - 150

KETERANGAN:  
MUTU BETON  $f_{c'} = 30$  MPa  
MUTU BAJA  $\leq \varnothing 12$   $f_y = 240$  MPa (POLOS)  
 $> \varnothing 12$   $f_y = 400$  MPa (ULIR)

Tabel Penulangan  
SKALA 1:40





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

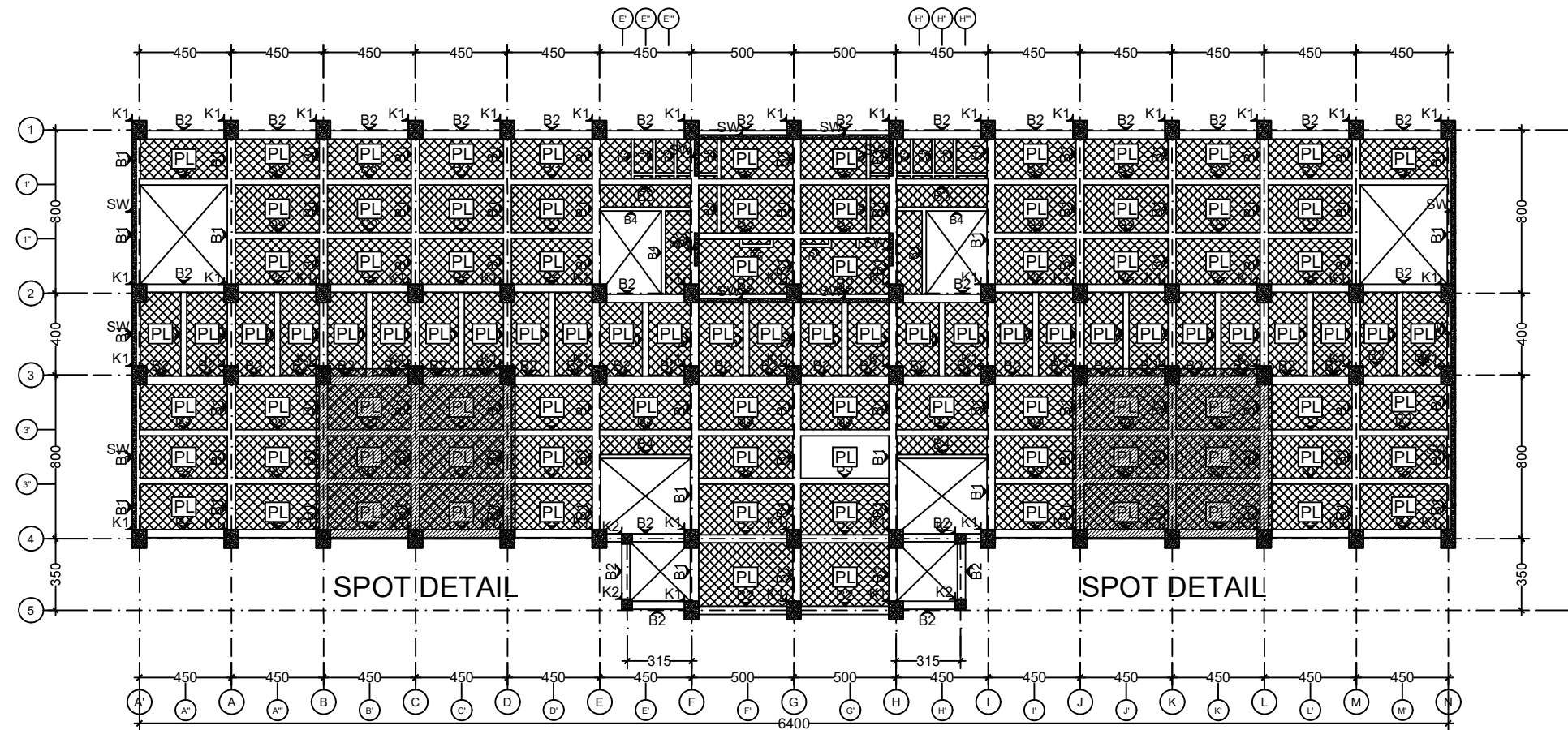
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

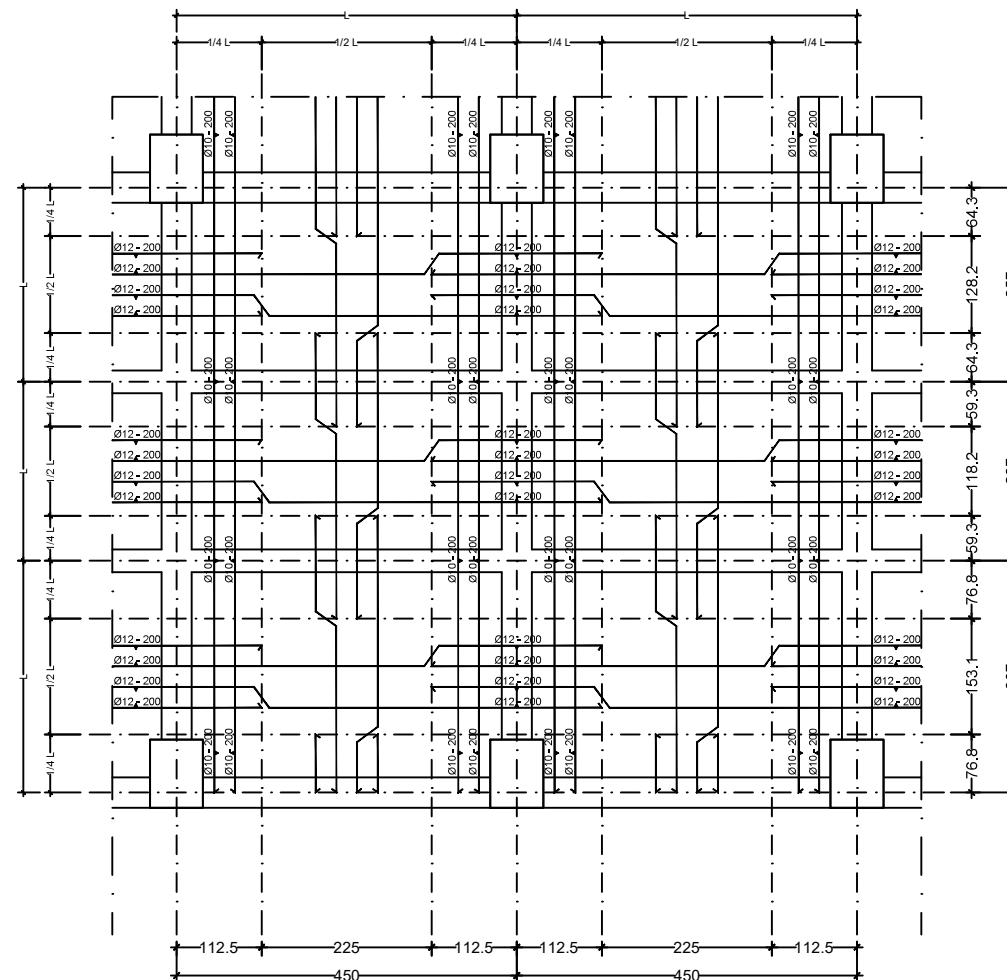
**KETERANGAN**

Detail Penulangan Pelat

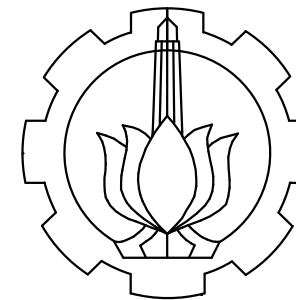
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-19	23	49



Keyplan Detail Penulangan Pelat  
 SKALA 1:300



Spot Detail Penulangan Pelat  
 SKALA 1:100



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

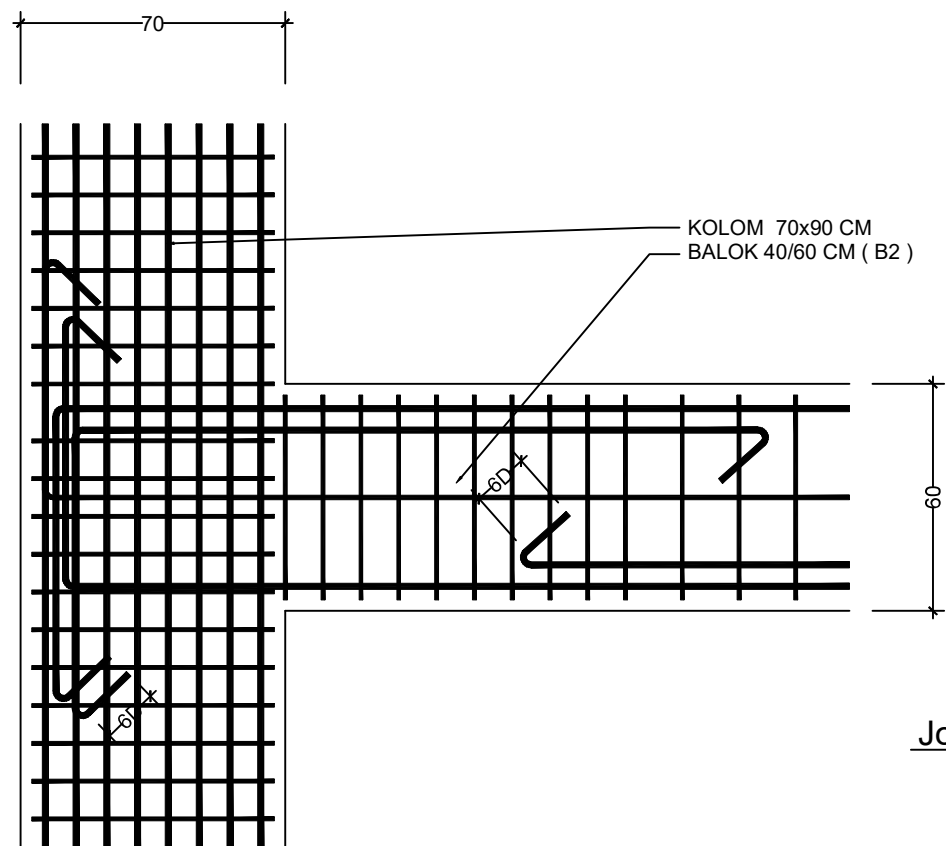
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

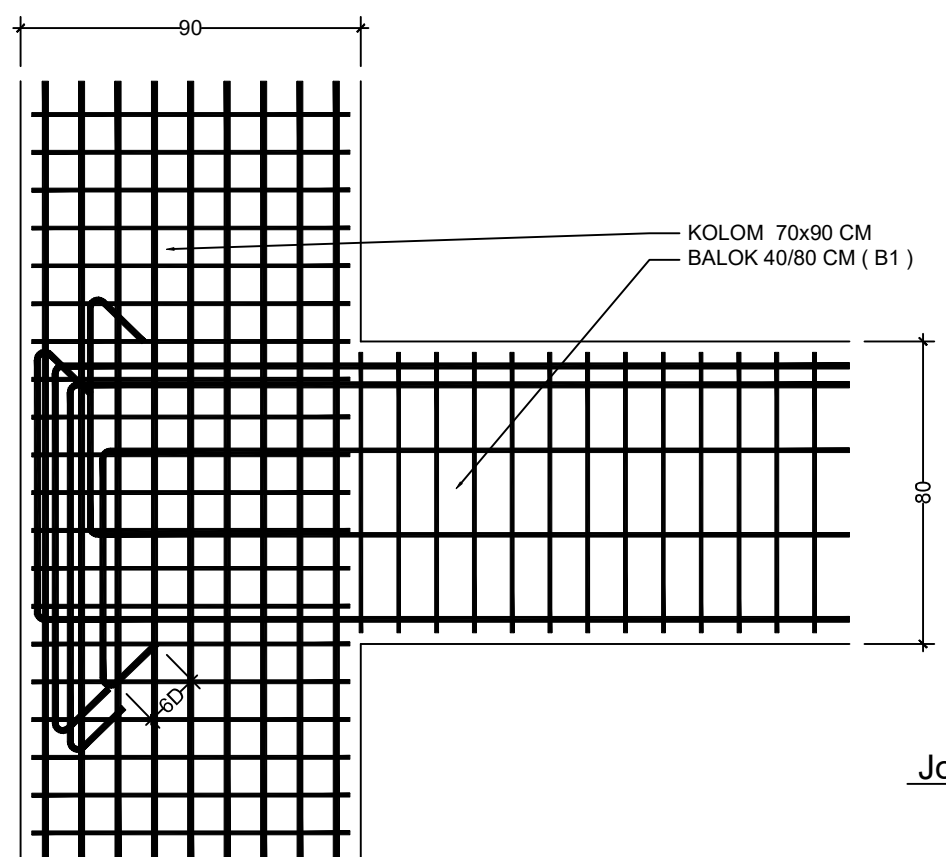
**KETERANGAN**

Joint Kolom K1 dengan Balok B1 & B2

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-20	24	49

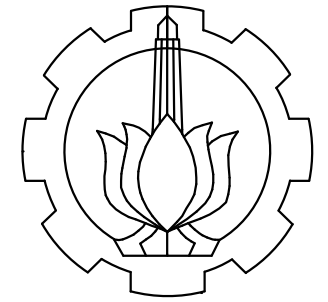


Joint Kolom K1 ke Balok B2  
SKALA 1:20



Joint Kolom K1 ke Balok B1  
SKALA 1:20





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa**
- Mutu Tulangan**
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

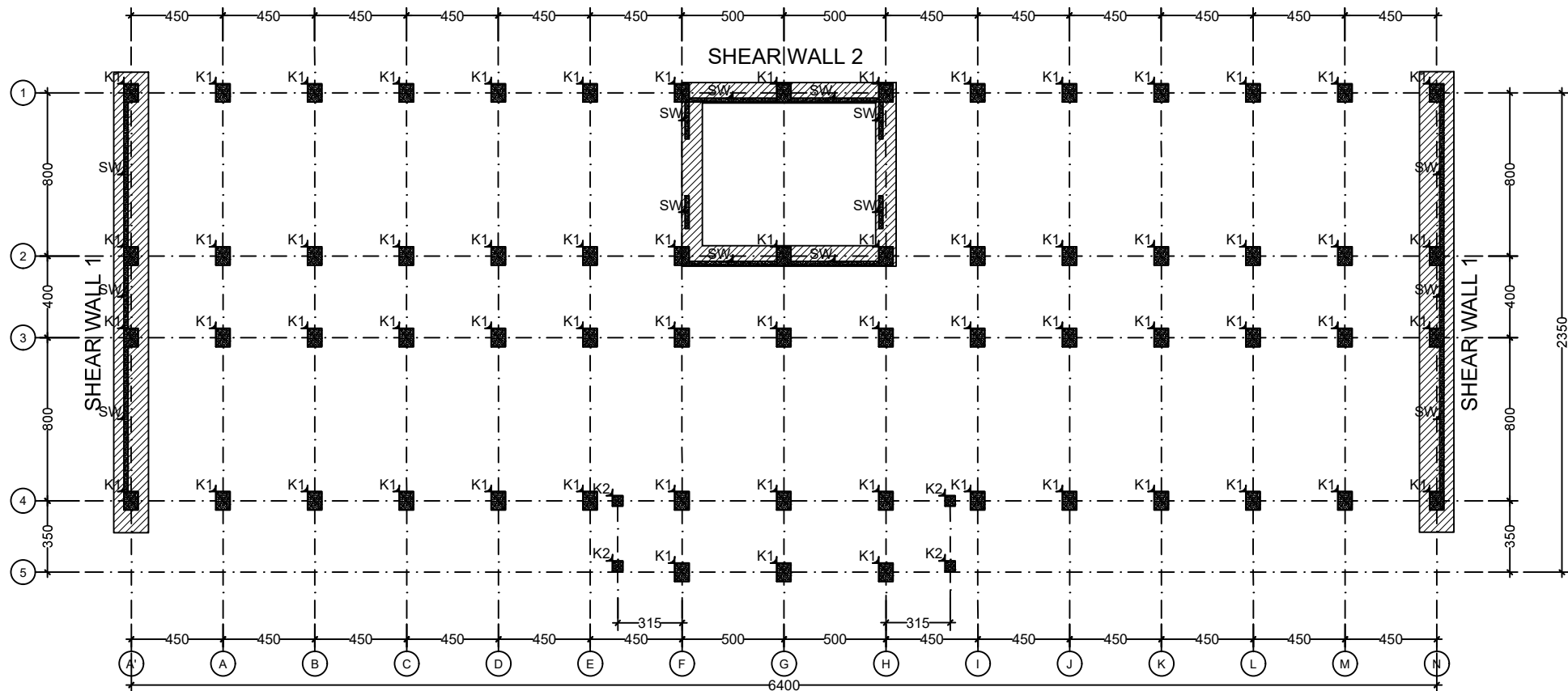
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

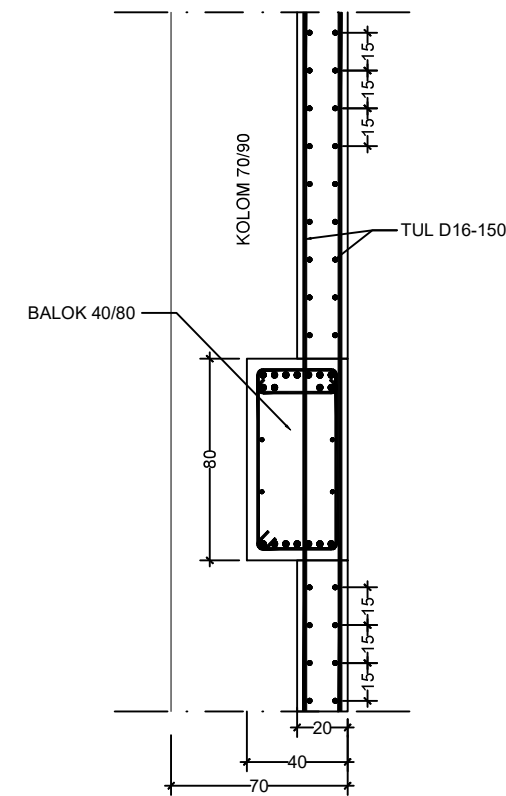
**KETERANGAN**

Detail penulangan ShearWall 1

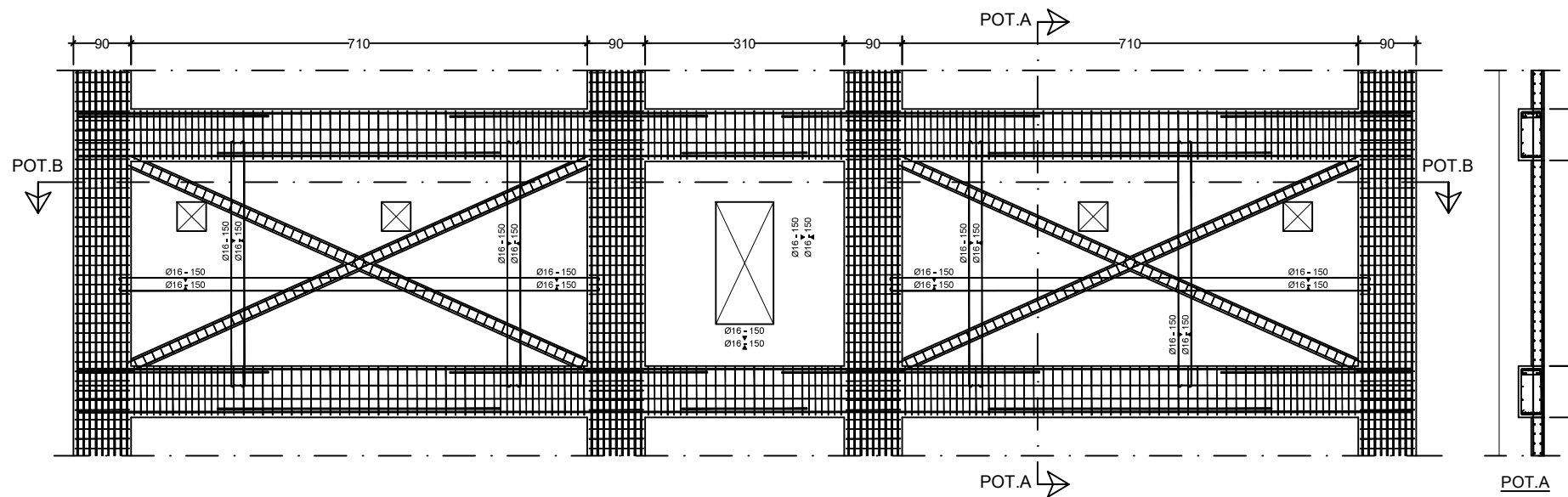
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-21	25	49



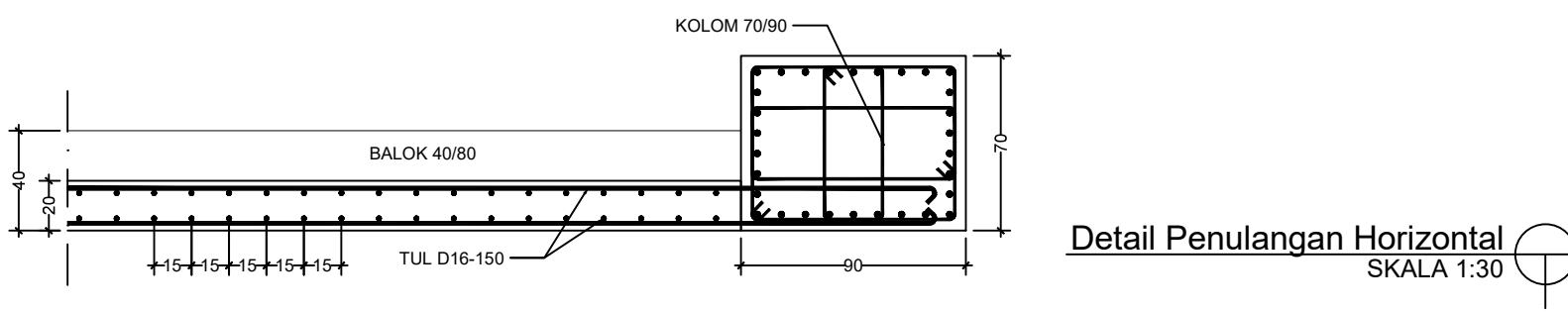
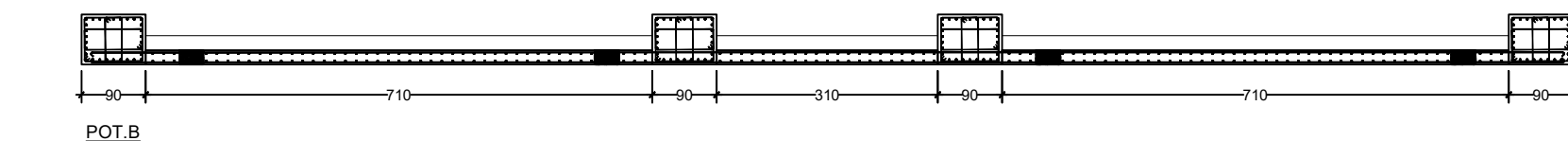
Keyplan ShearWall  
 SKALA 1:300



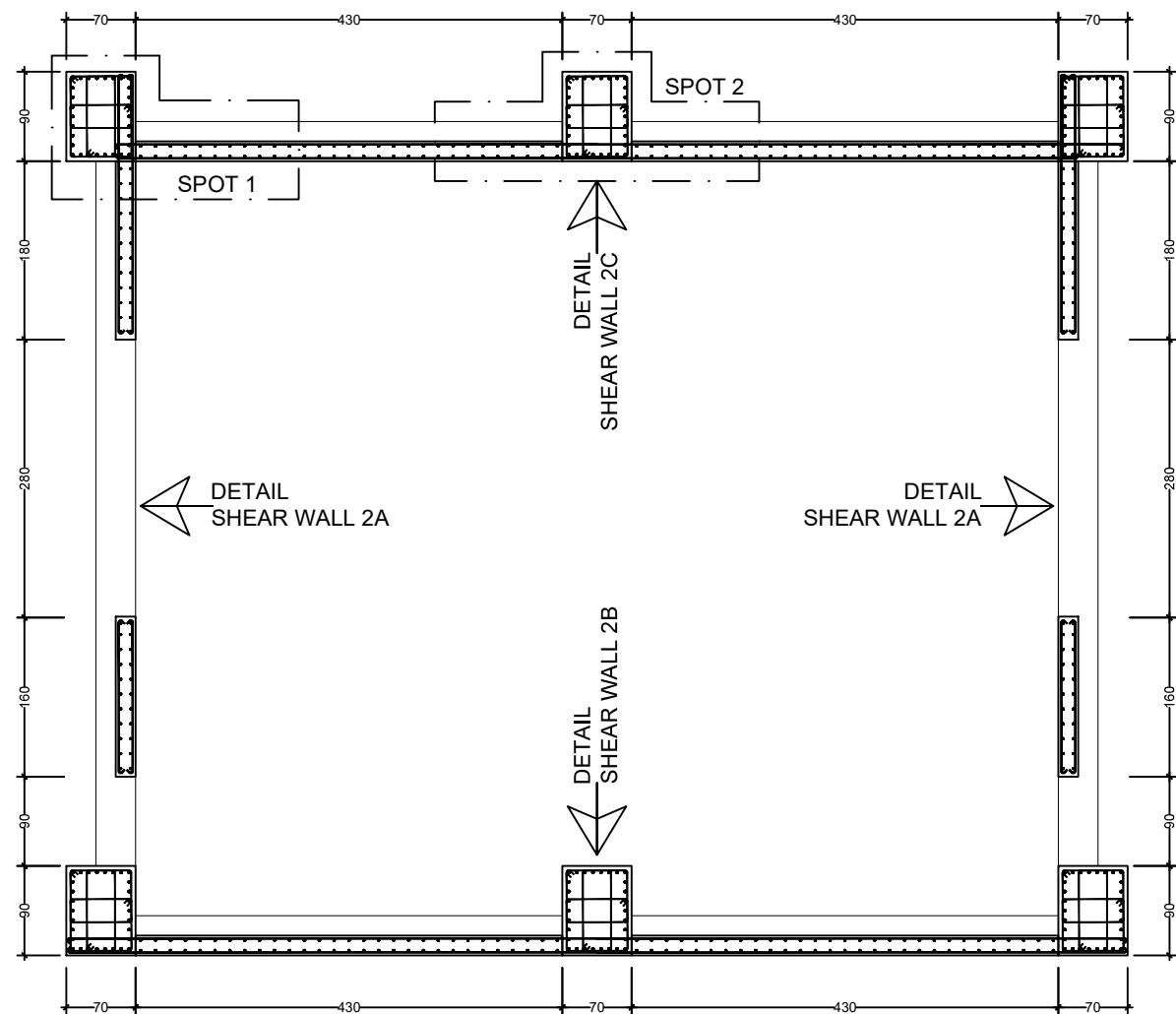
Detail Penulangan Vertikal  
 SKALA 1:30



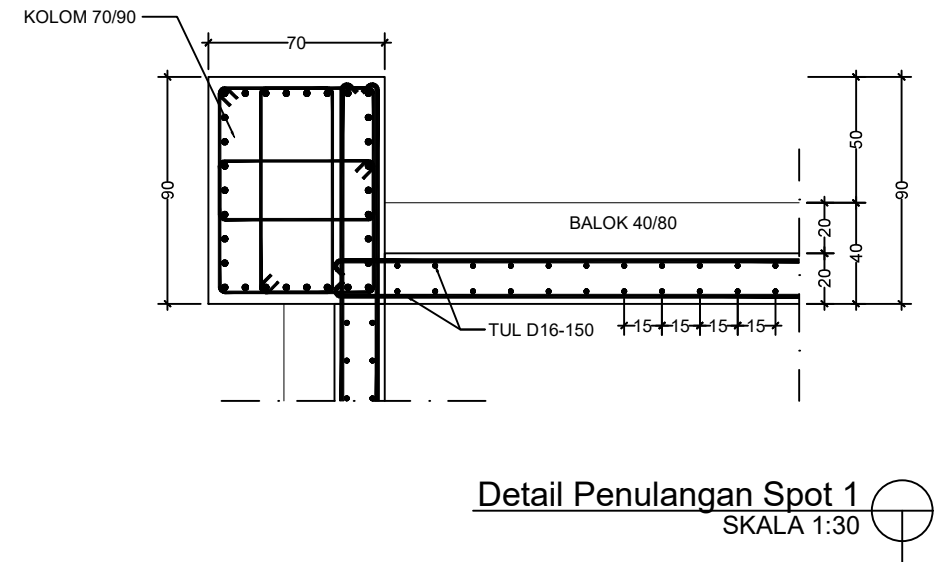
Detail Penulangan ShearWall 1  
 SKALA 1:100



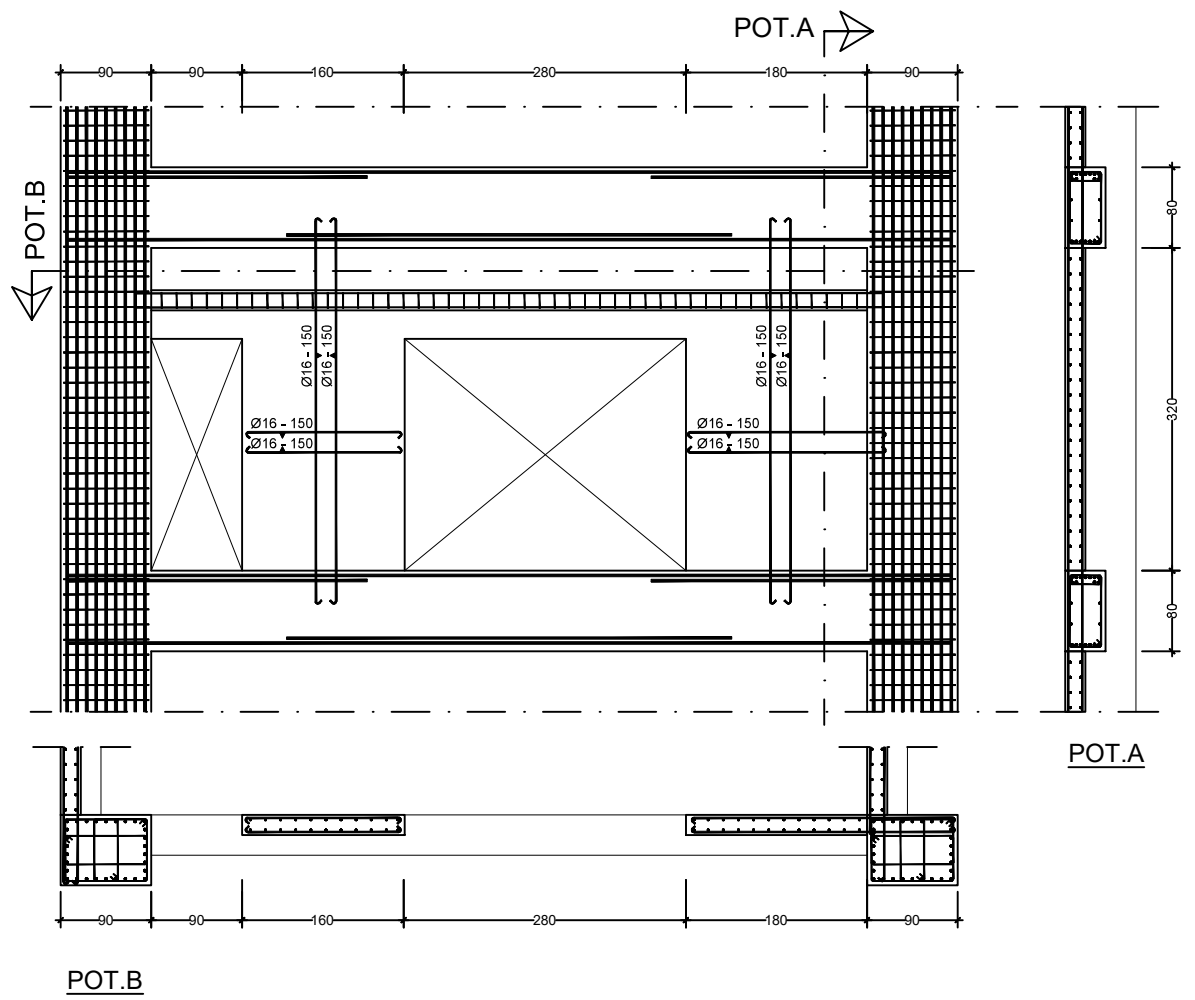
Detail Penulangan Horizontal  
 SKALA 1:30



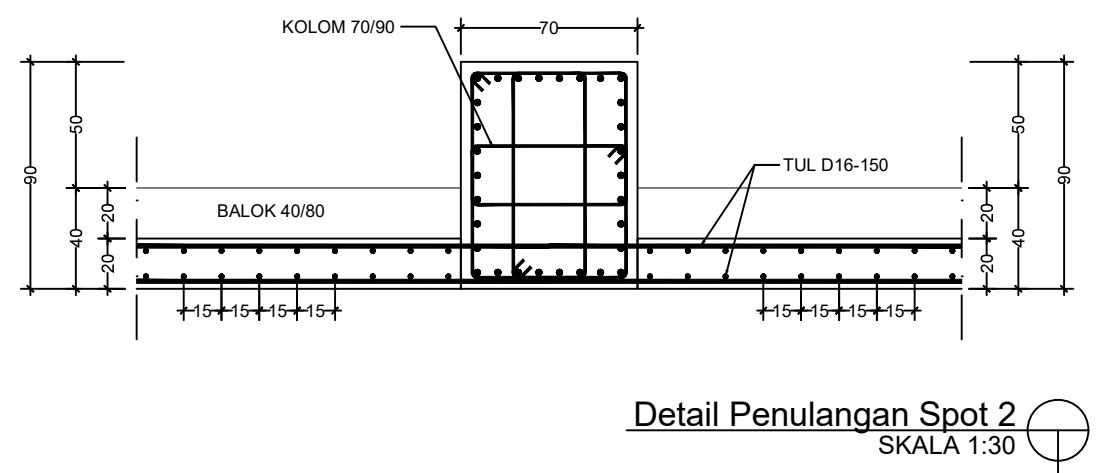
Denah Spot ShearWall 2  
SKALA 1:75



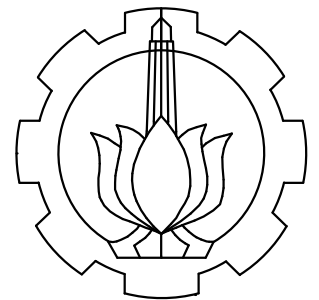
Detail Penulangan Spot 1  
SKALA 1:30



Detail Spot ShearWall 2A  
SKALA 1:75



Detail Penulangan Spot 2  
SKALA 1:30



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa
- Mutu Tulangan
  - Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

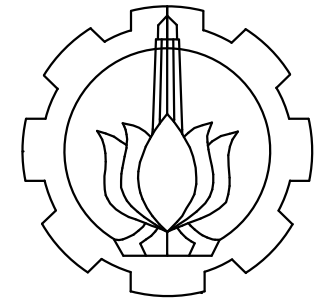
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Spot ShearWall 2 dan Detail 2A

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-22	26	49



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

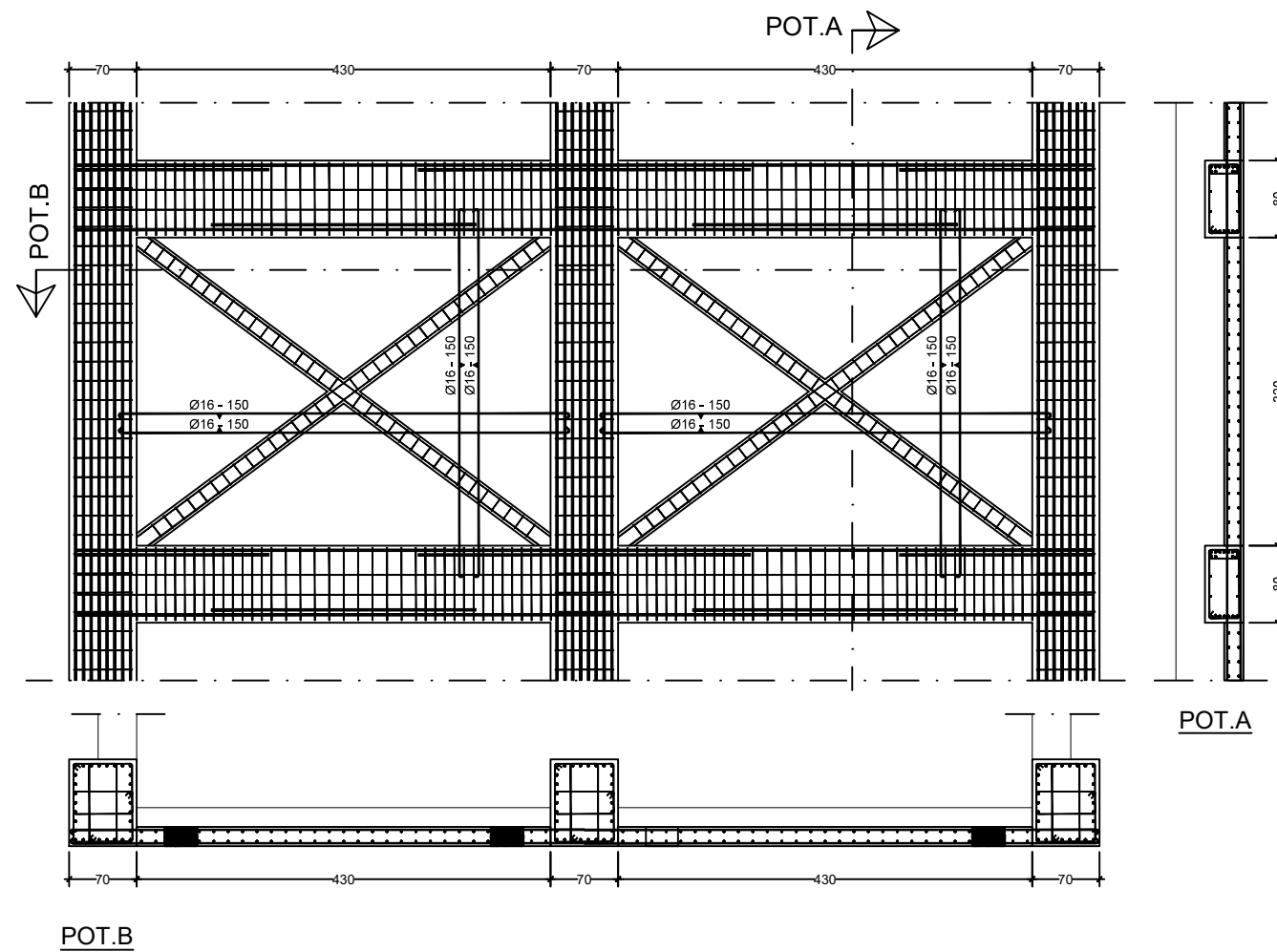
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

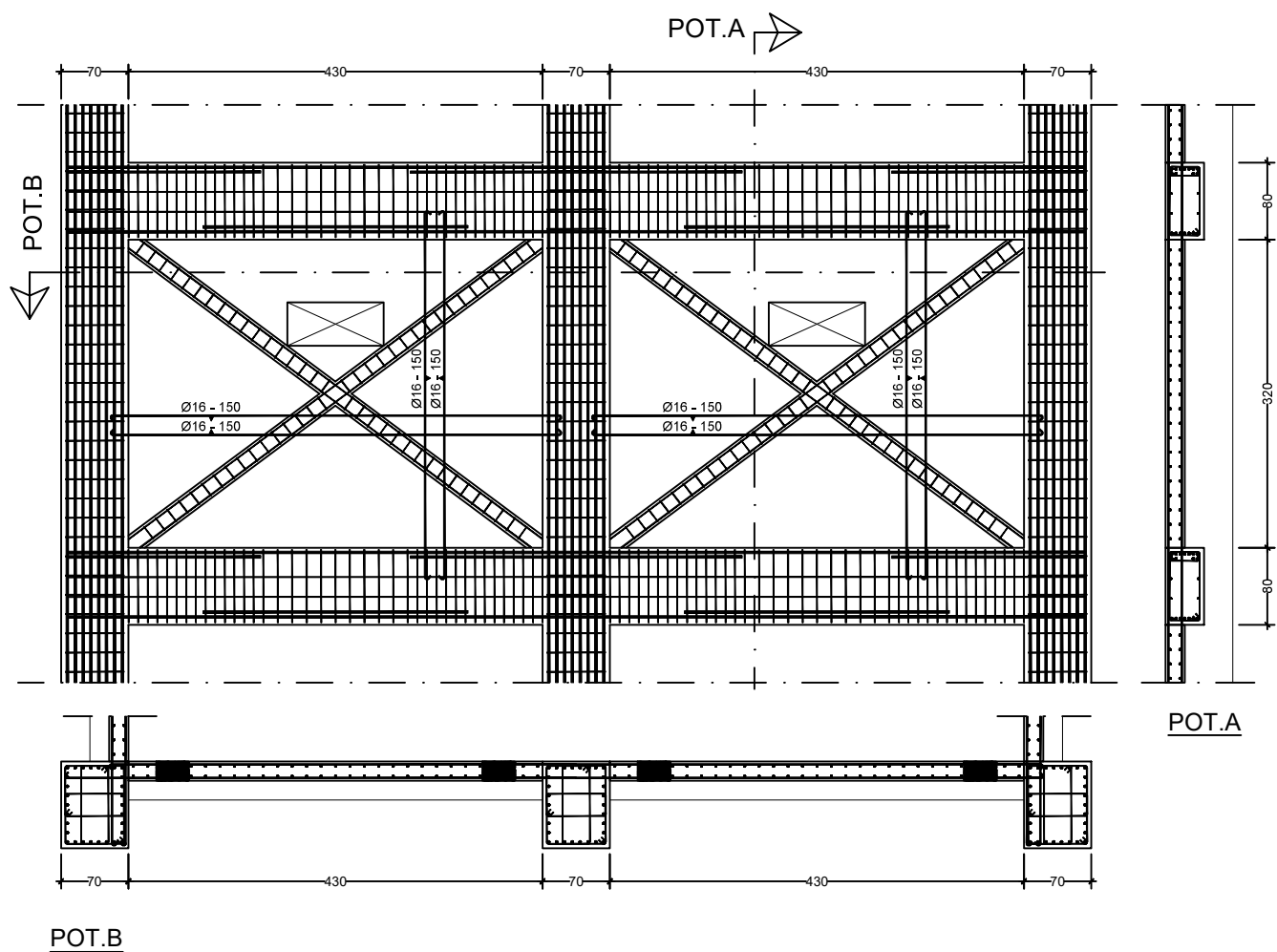
**KETERANGAN**

Detail Spot ShearWall 2B dan Detail 2C

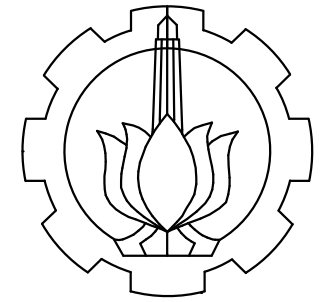
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-23	27	49



Detail Spot ShearWall 2B  
 SKALA 1:75



Detail Spot ShearWall 2C  
 SKALA 1:75



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPEKIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

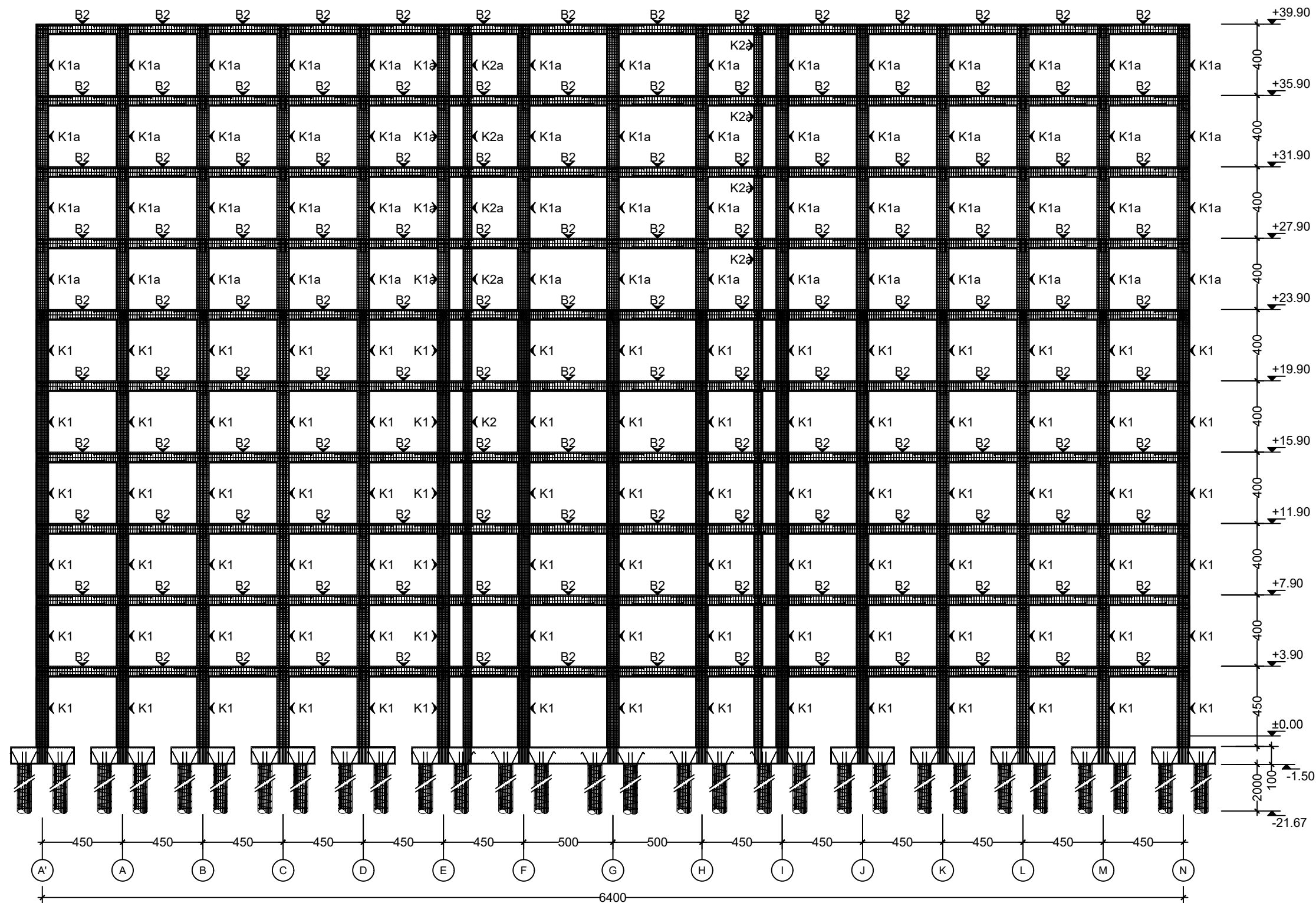
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

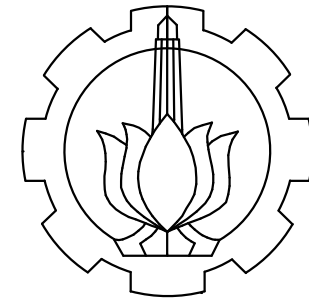
**KETERANGAN**

Detail Portal Line 4 - 4

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-24	28	49



Detail Portal Line 4 - 4  
SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

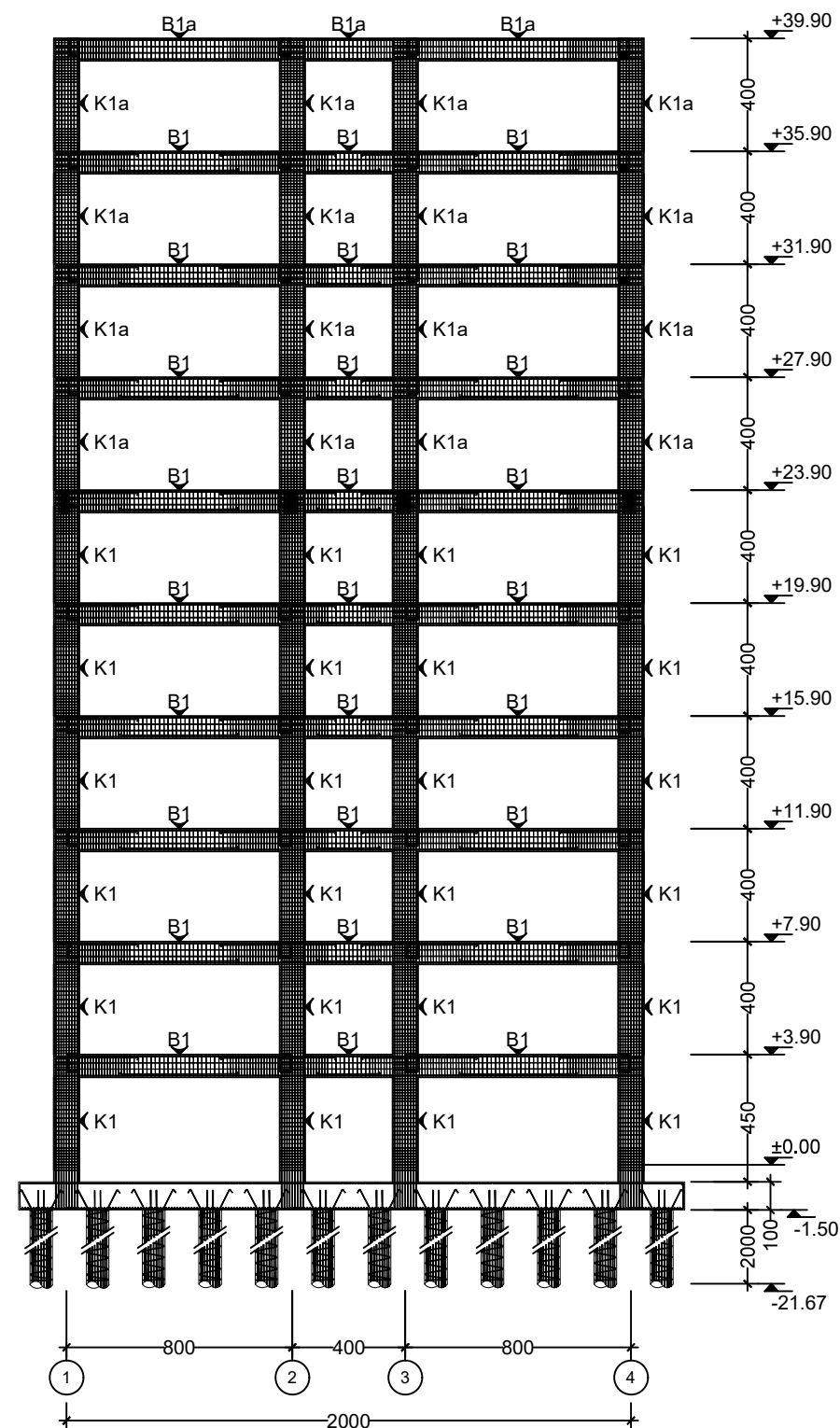
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

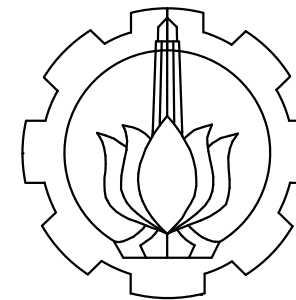
**KETERANGAN**

Detail Portal Line A' - A'

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-25	29	49



Detail Portal Line A' - A'  
SKALA 1:250



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

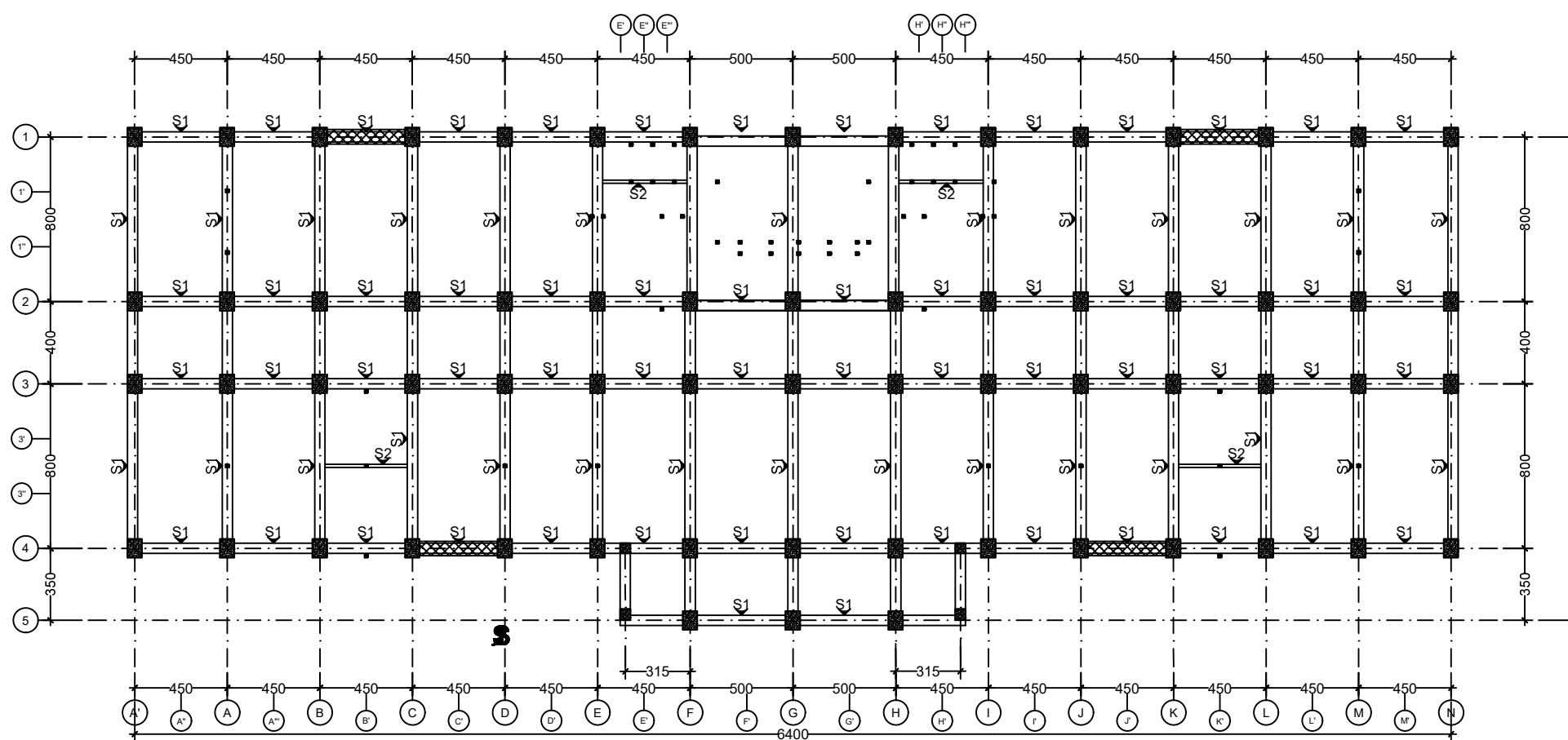
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088



**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai Basement

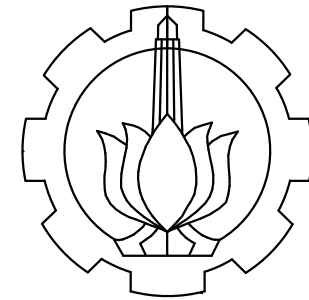
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-26	30	49



**LEGENDA :**

-  PERKUATAN BRESING
-  PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Basement  
 SKALA 1:300



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

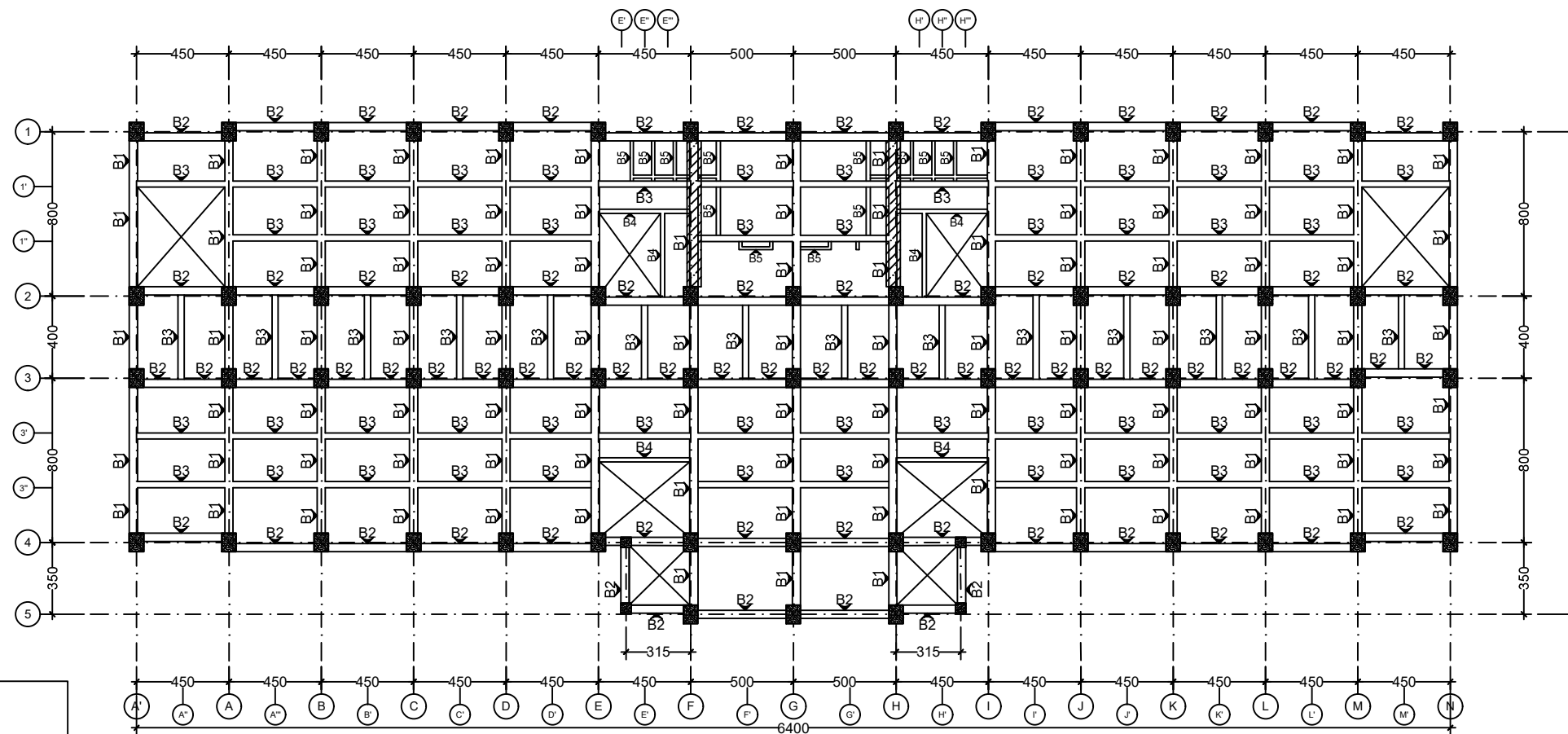
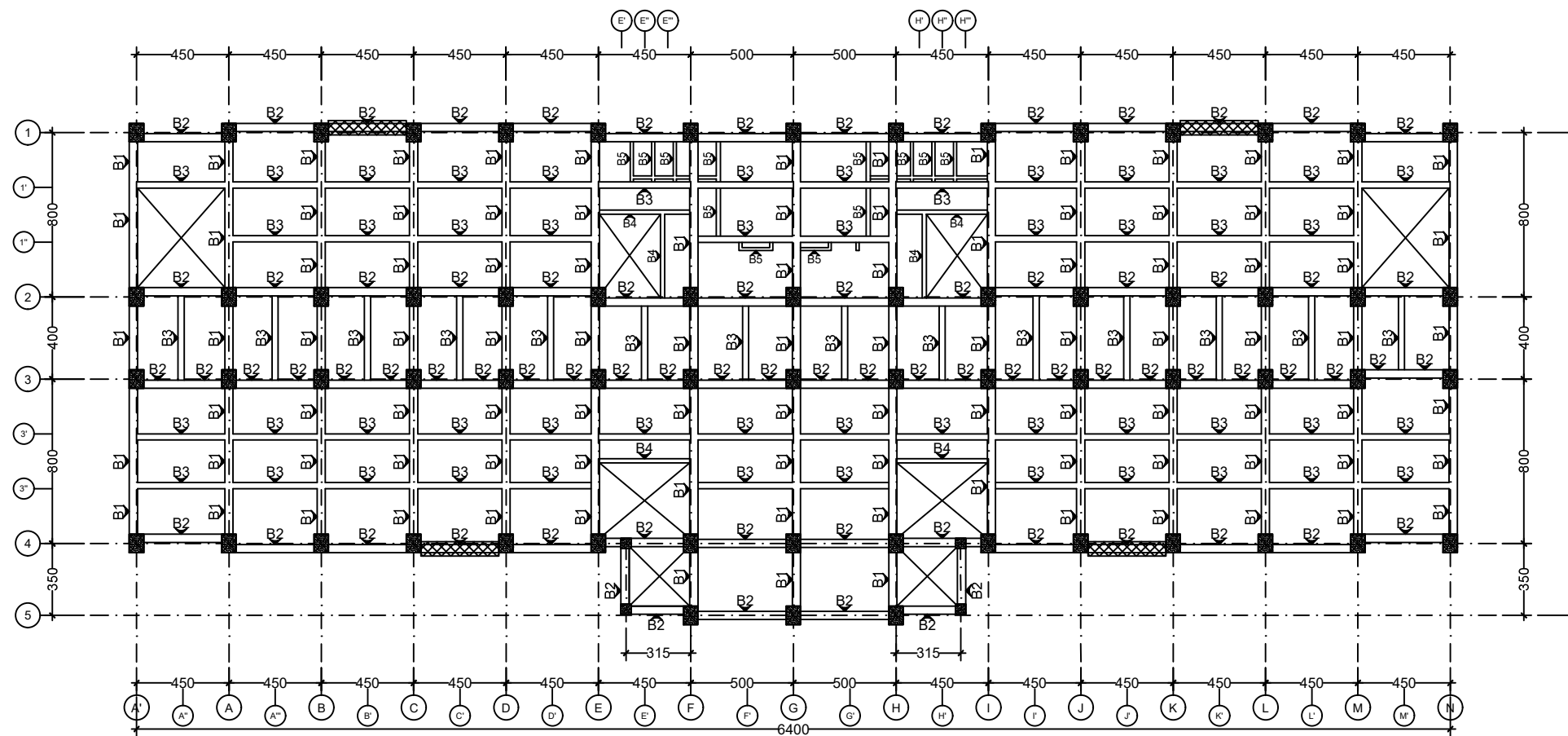
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 1

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-27	31	49

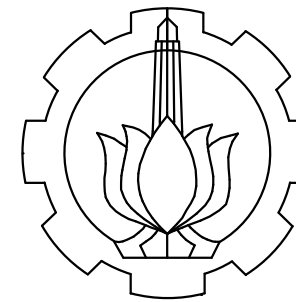


**LEGENDA :**

- PERKUATAN BRESING
- PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 1  
 SKALA 1:300





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

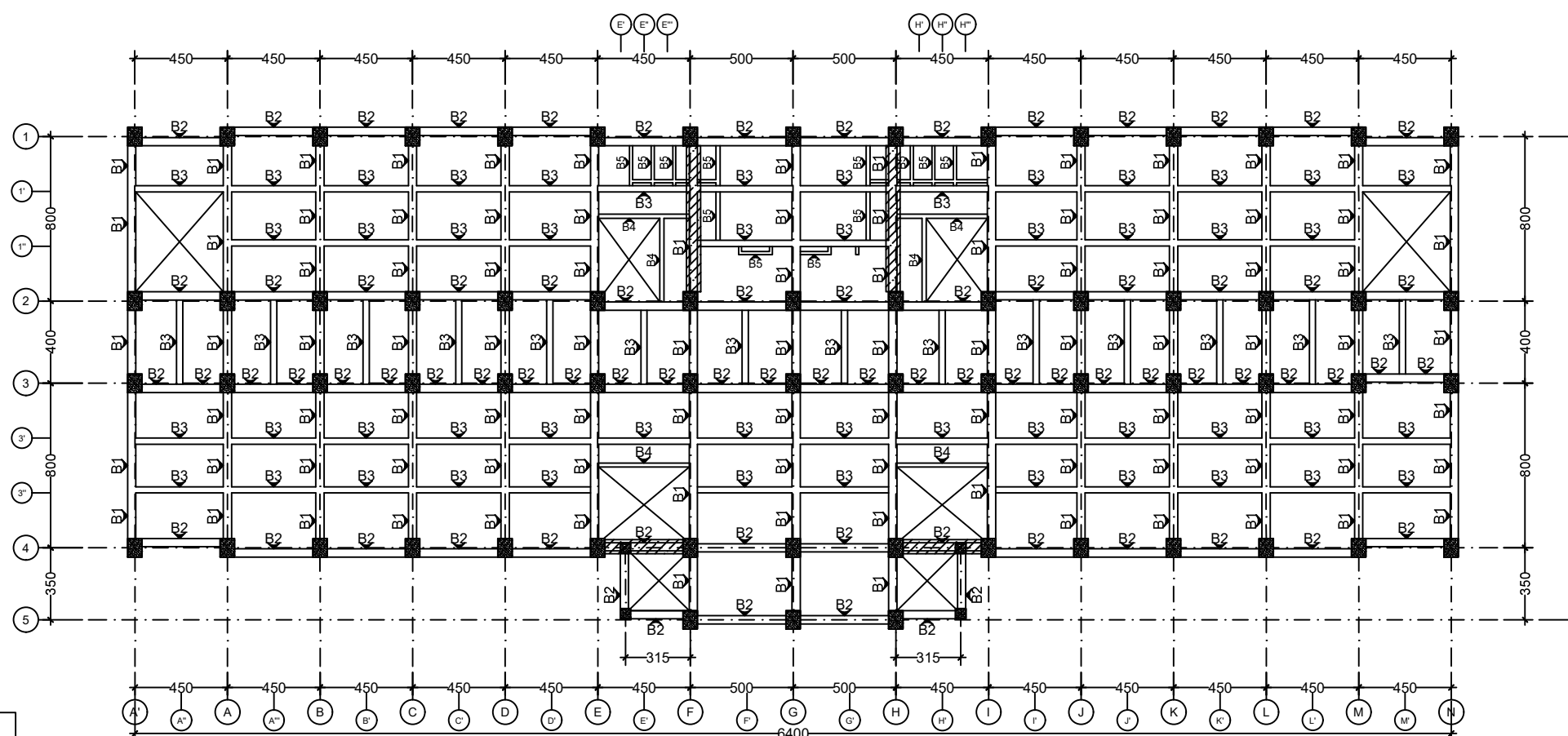
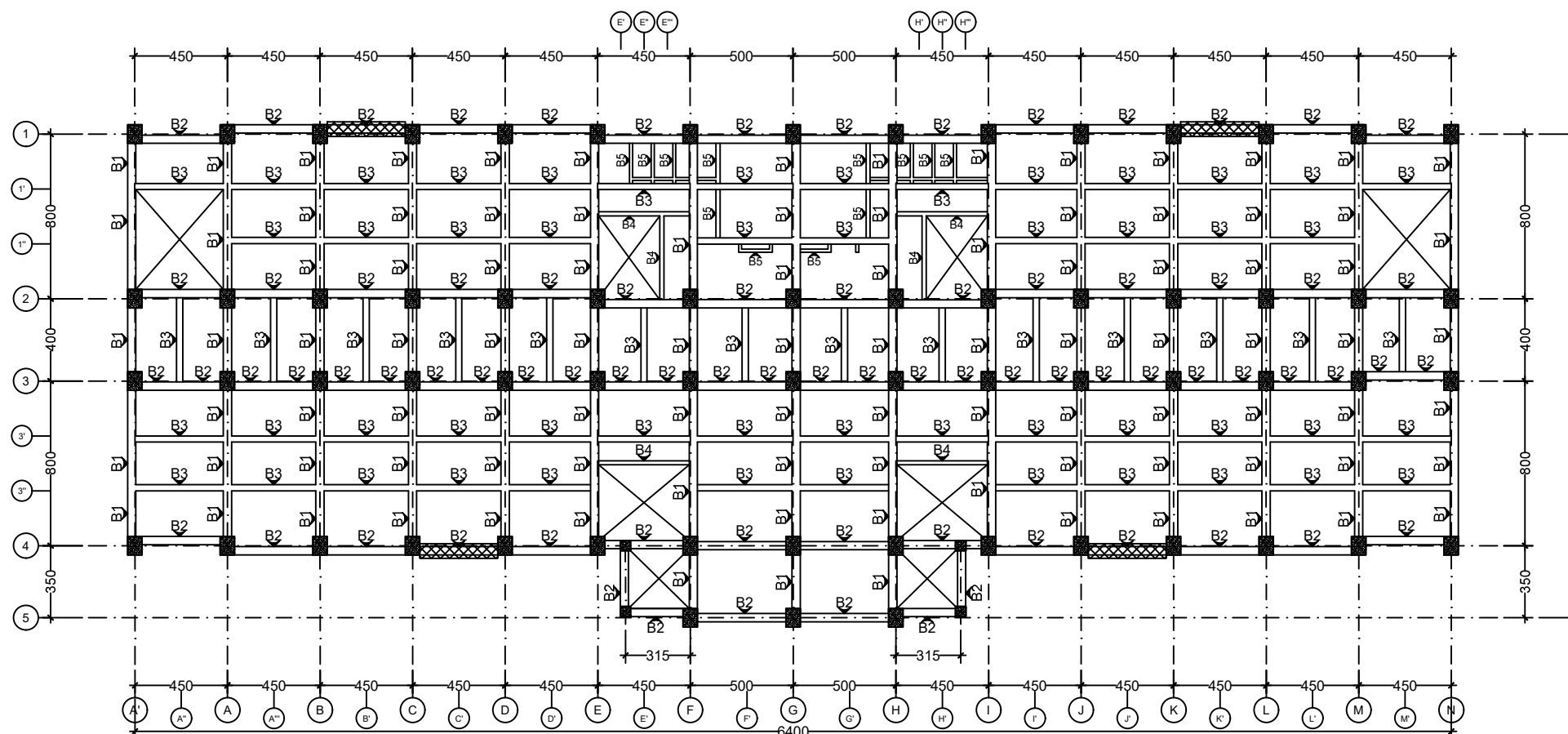
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088



**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 2

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-28	32	49

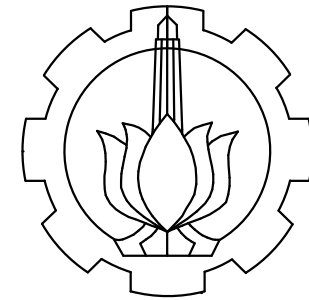


**LEGENDA :**

-  PERKUATAN BRESING
-  PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 2  
 SKALA 1:300





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

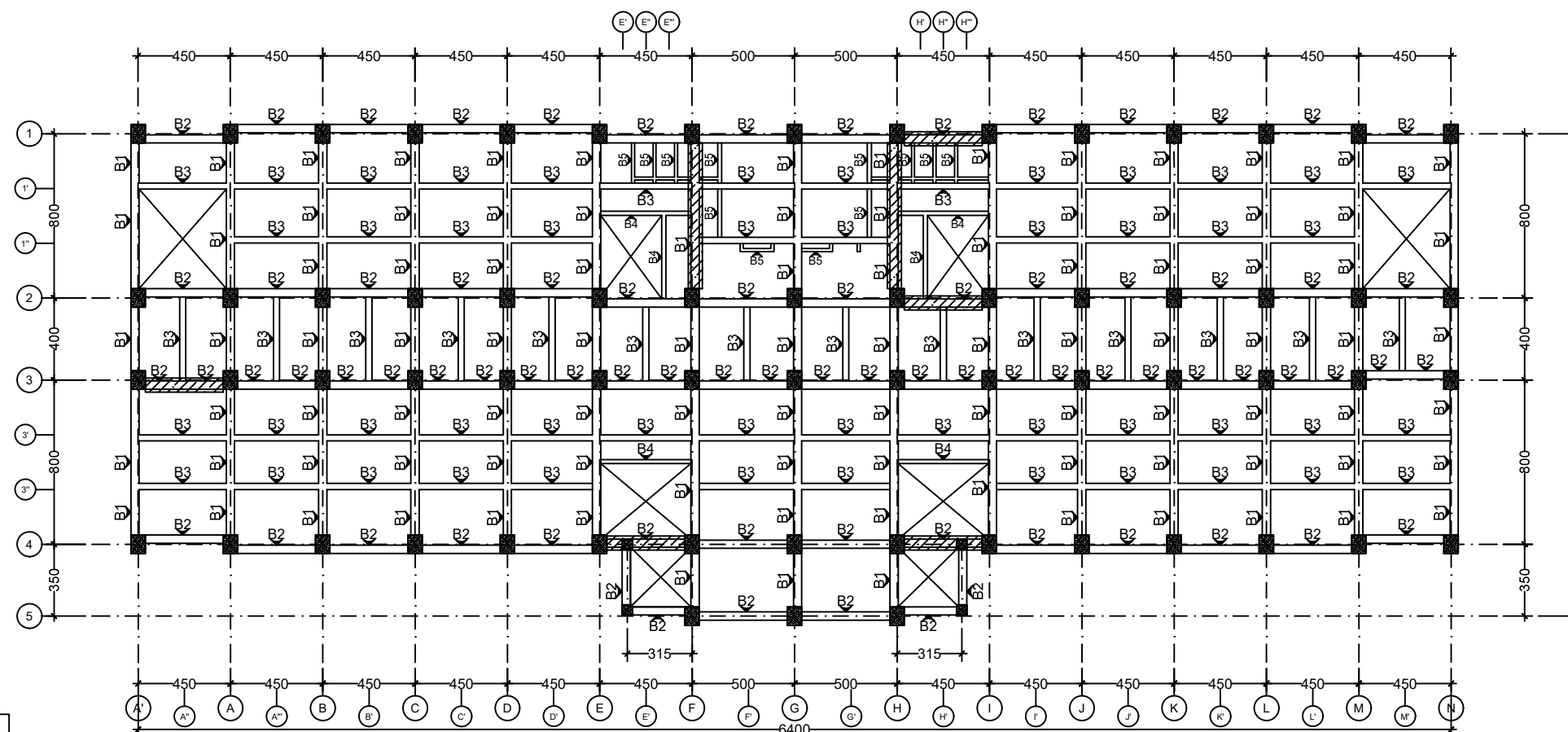
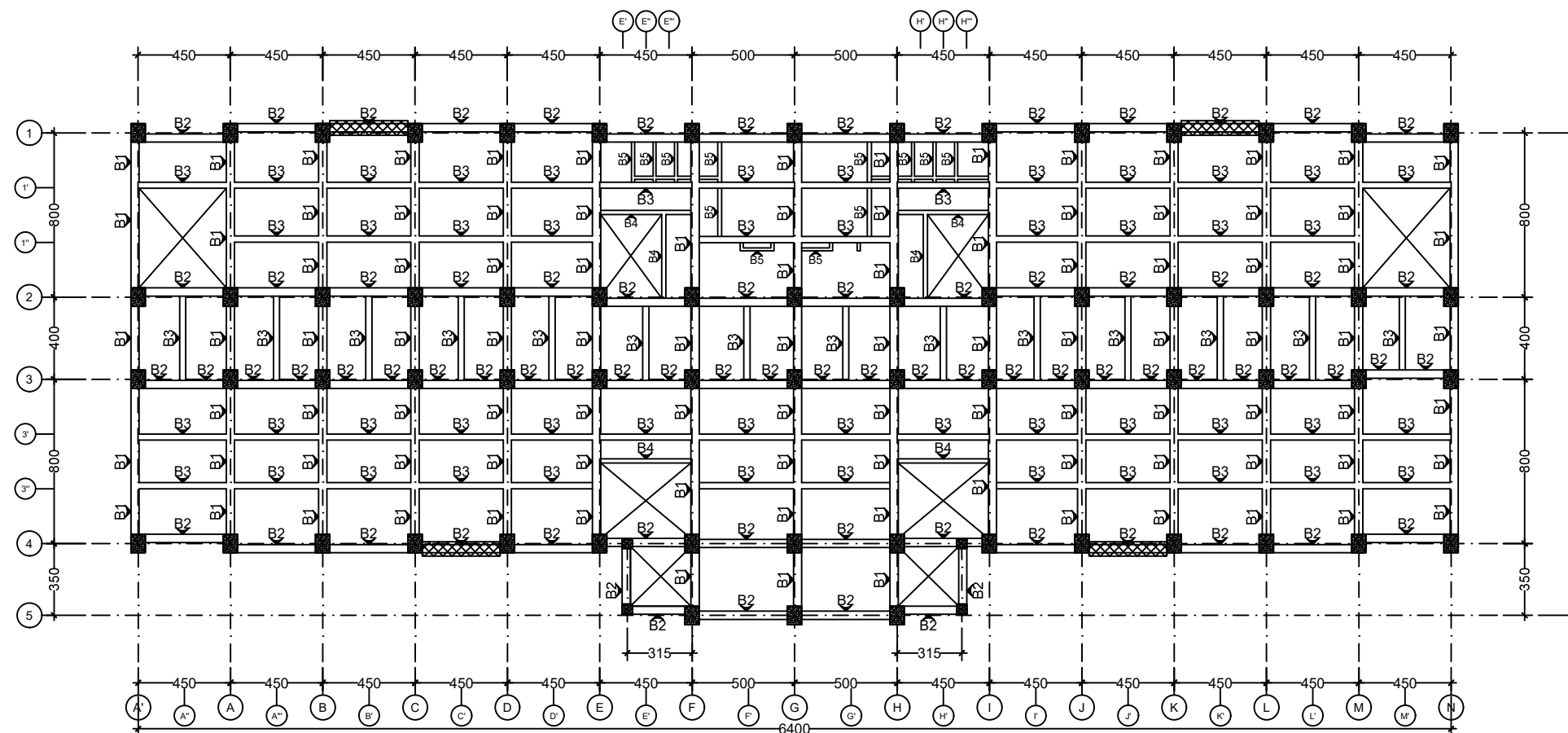
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 3

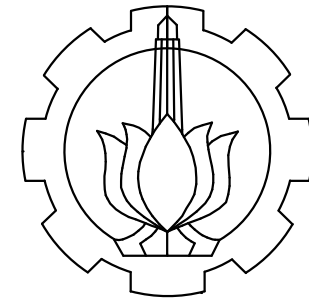
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-29	33	49



**LEGENDA :**

- PERKUATAN BRESNG
- PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 3  
 SKALA 1:300



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

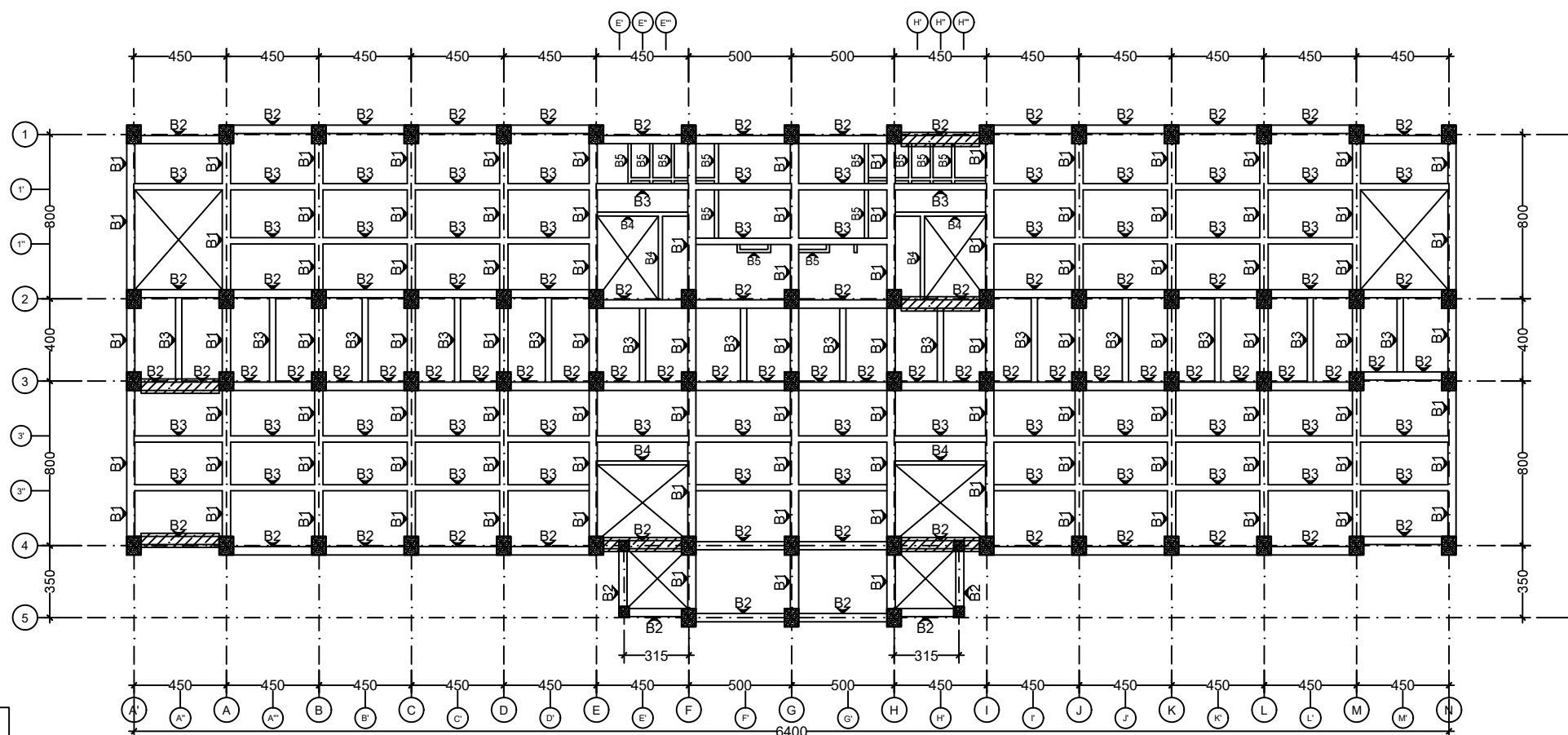
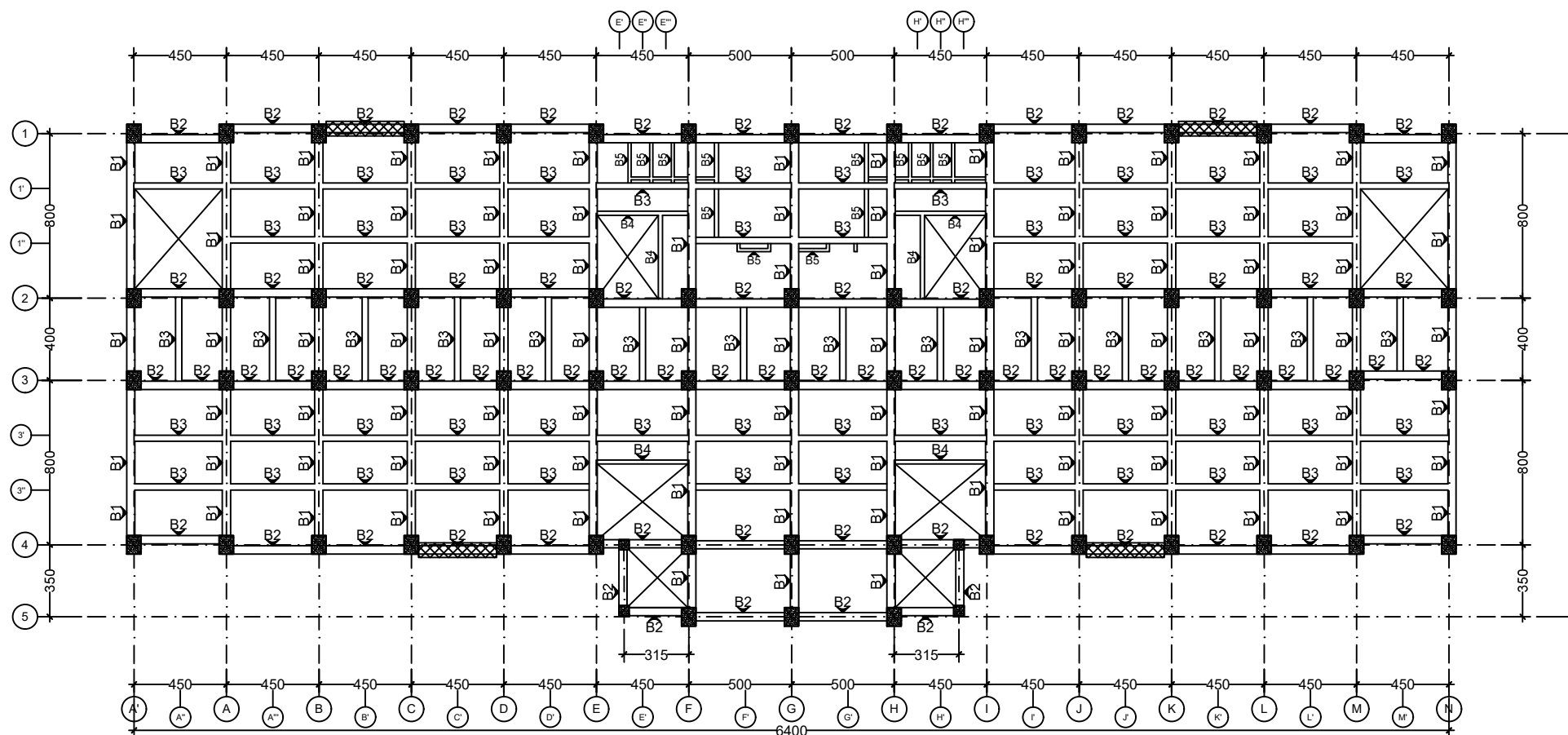
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088



**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 4

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-30	34	49

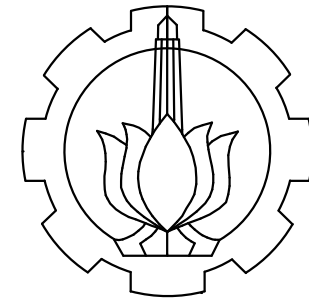


**LEGENDA :**

-  PERKUATAN BRESING
-  PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 4  
 SKALA 1:300





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

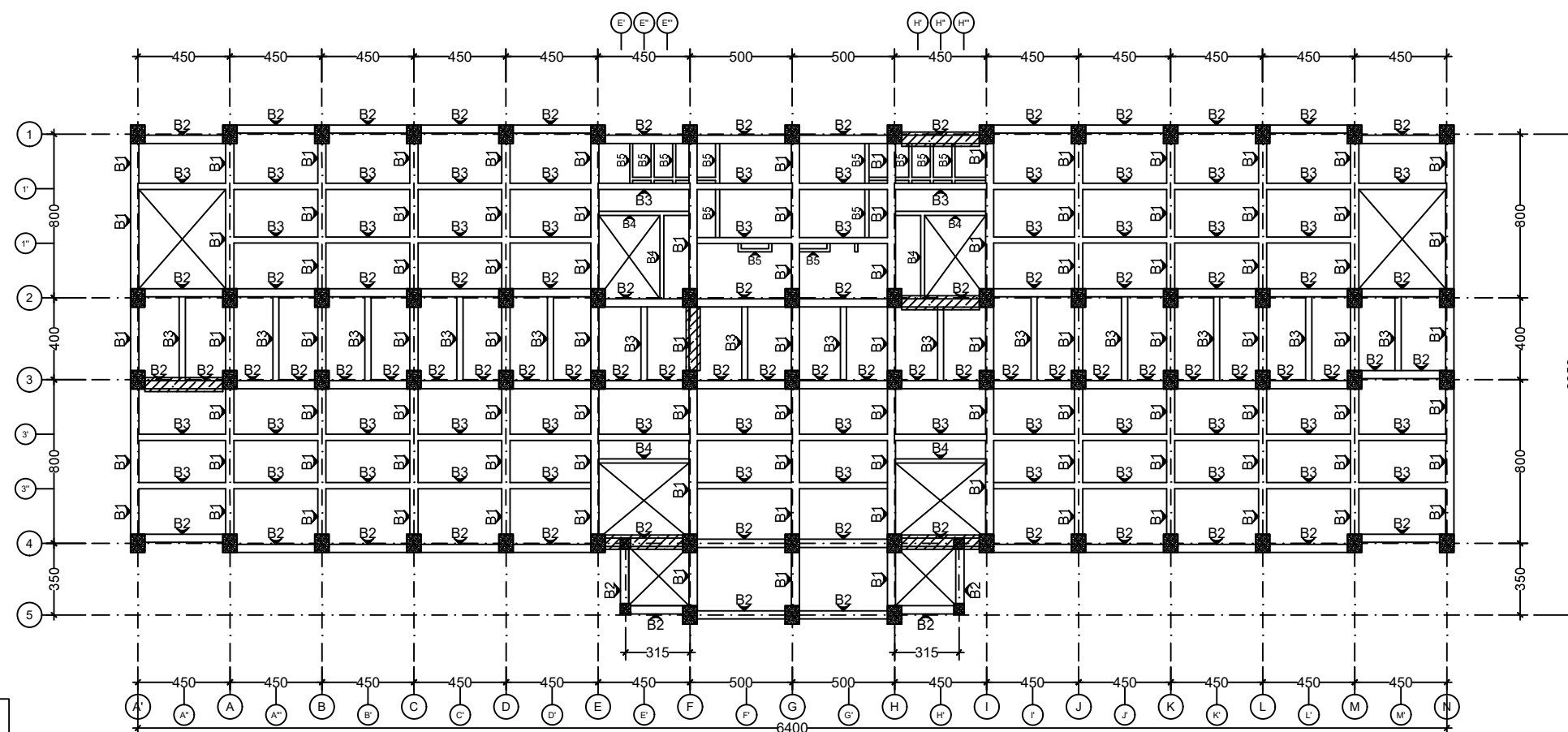
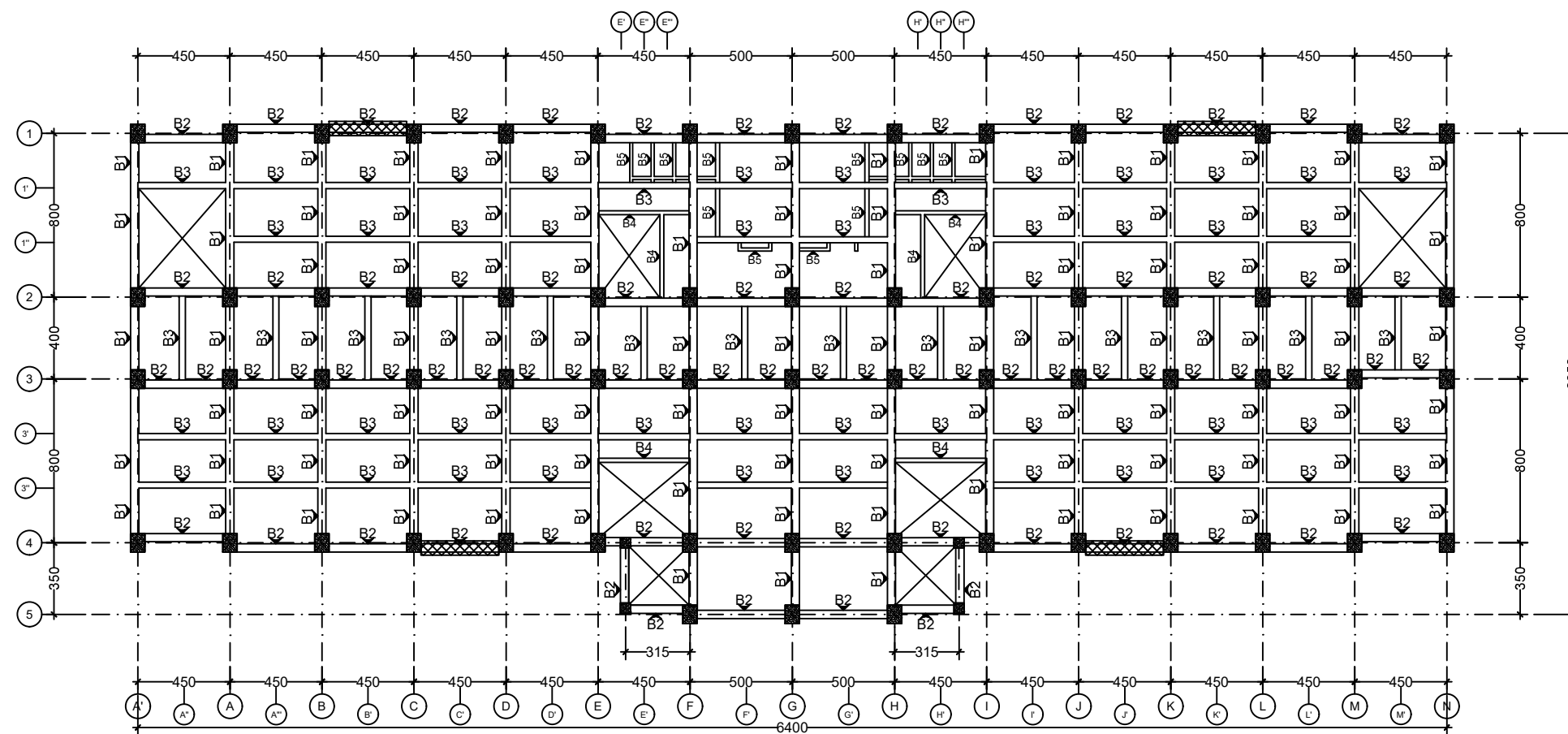
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 5

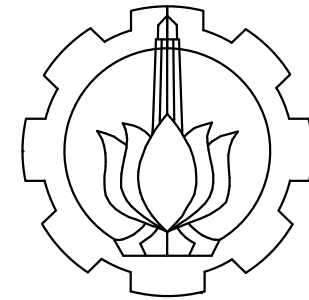
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-31	35	49



**LEGENDA :**

- PERKUATAN BRESING
- PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 5  
 SKALA 1:300



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

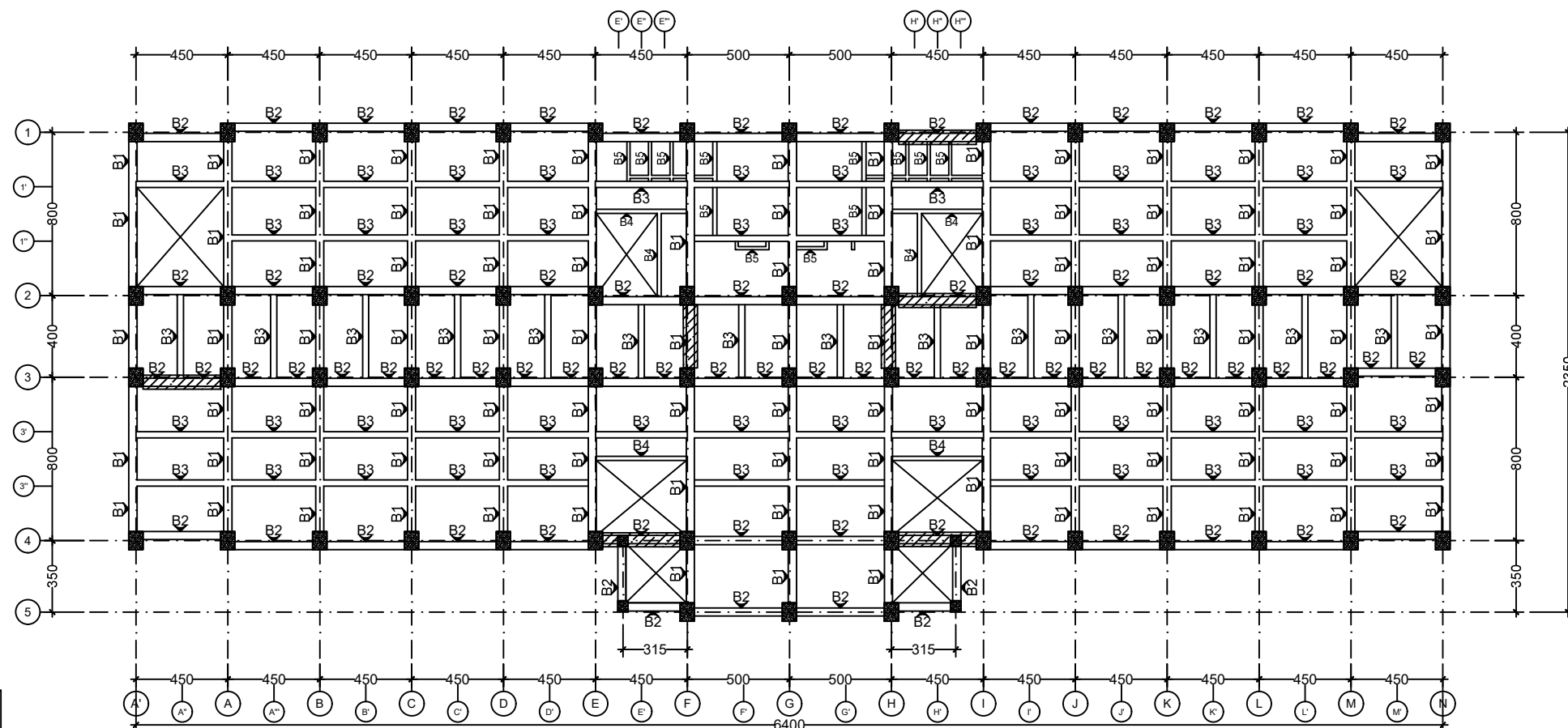
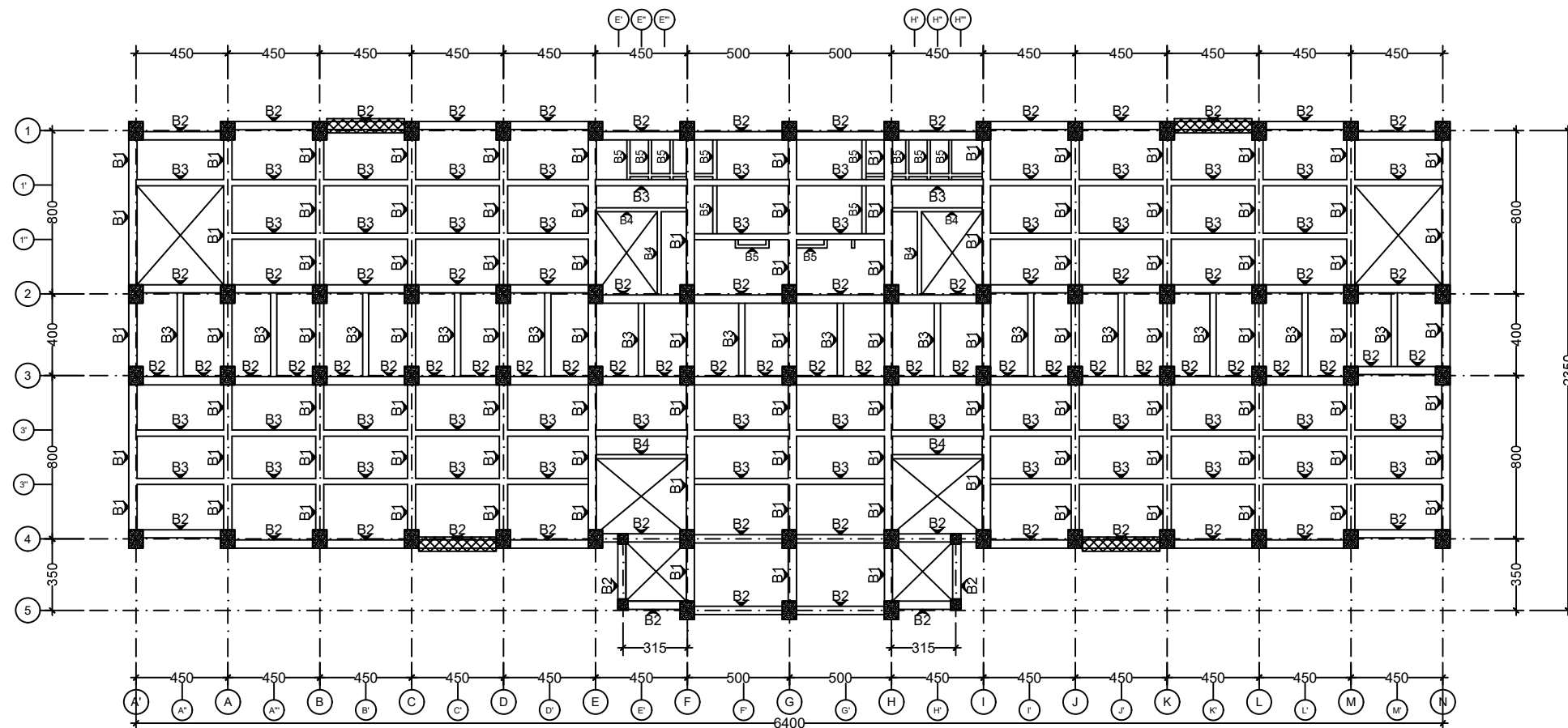
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088



**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 6

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-32	36	49

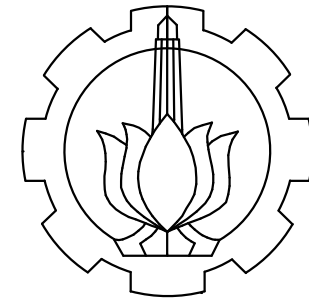


**LEGENDA :**

-  PERKUATAN BRESING
-  PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 6  
 SKALA 1:300





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

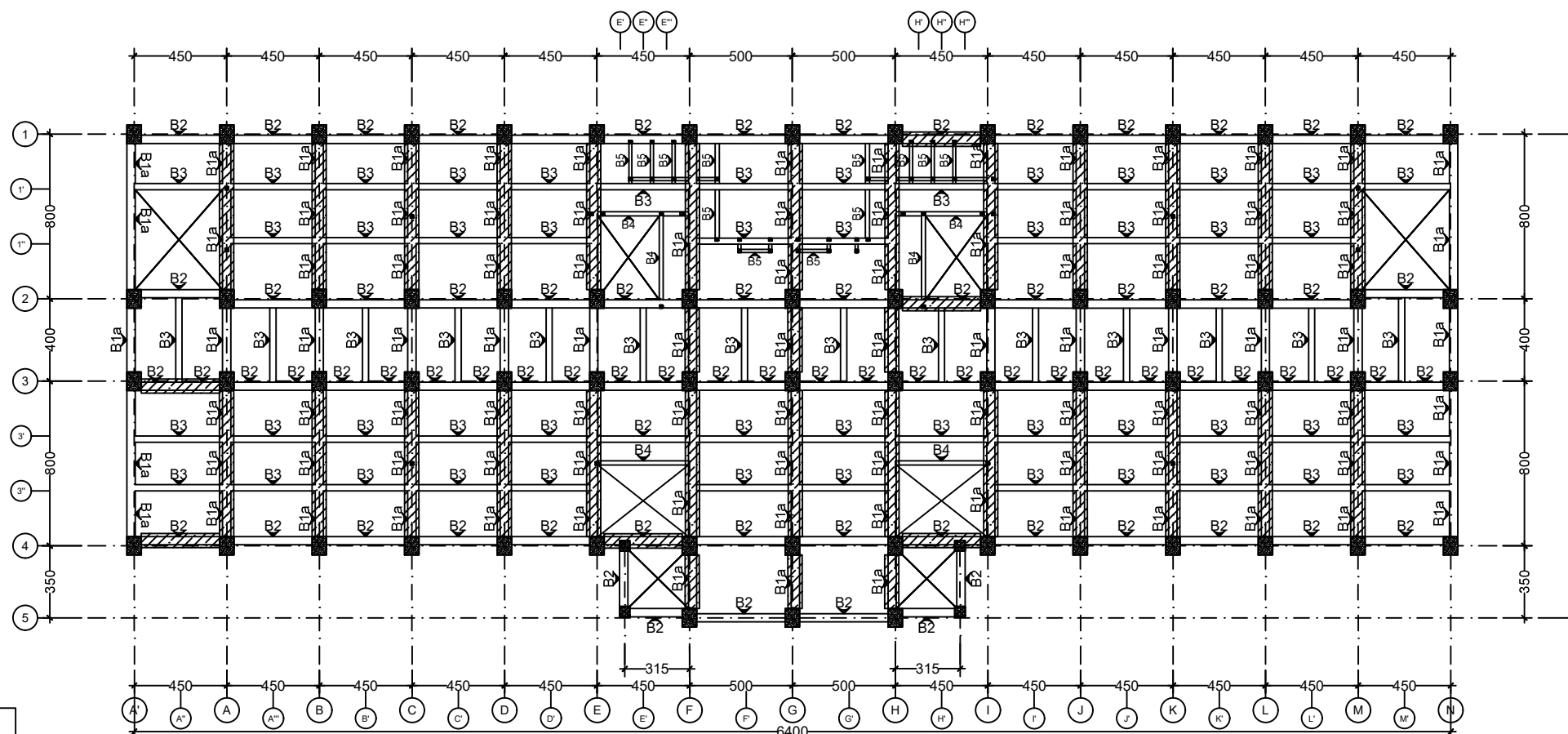
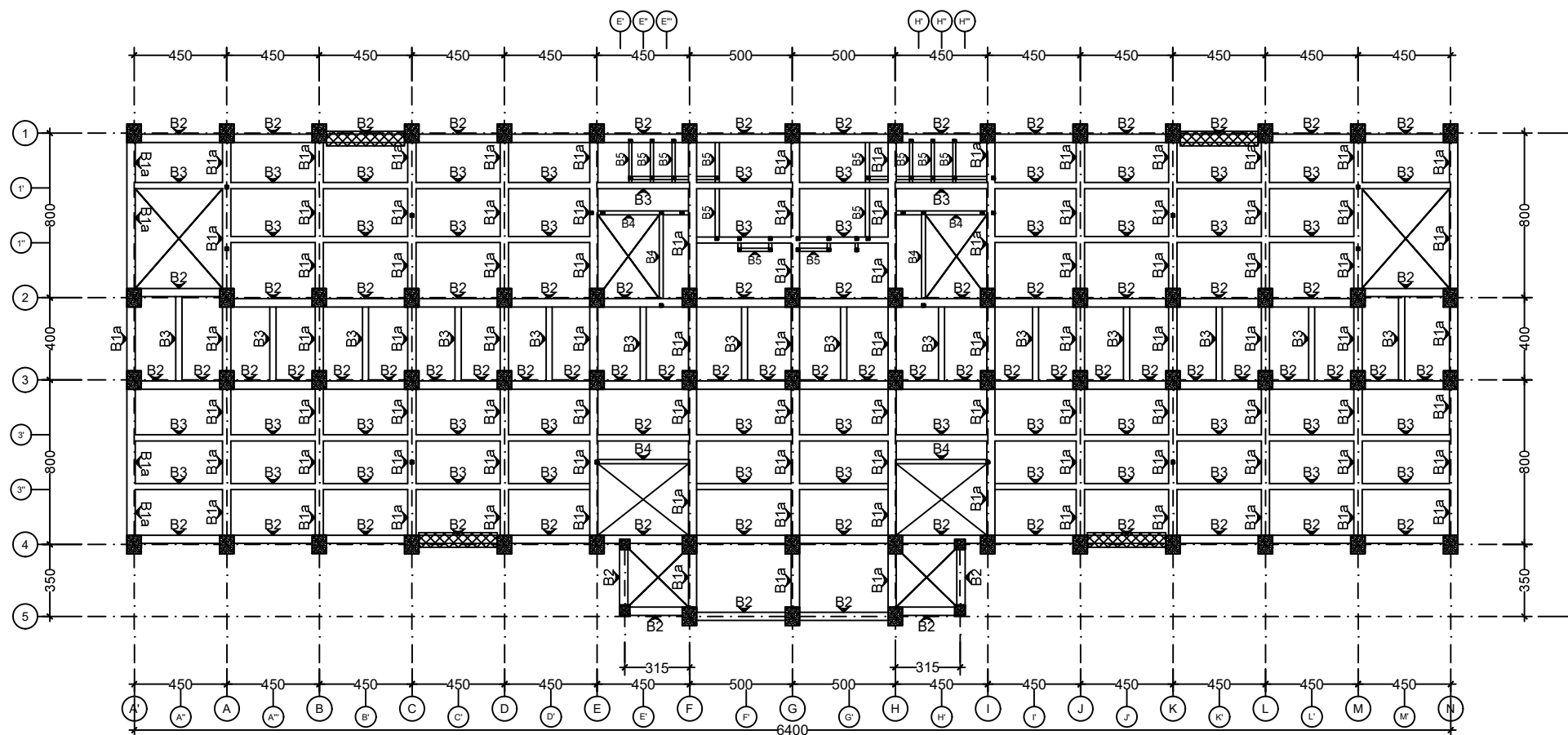
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 7

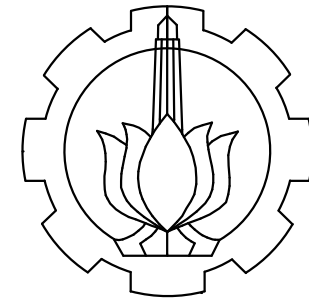
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-33	37	49



**LEGENDA :**

- PERKUATAN BRESING
- PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 7  
 SKALA 1:300



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

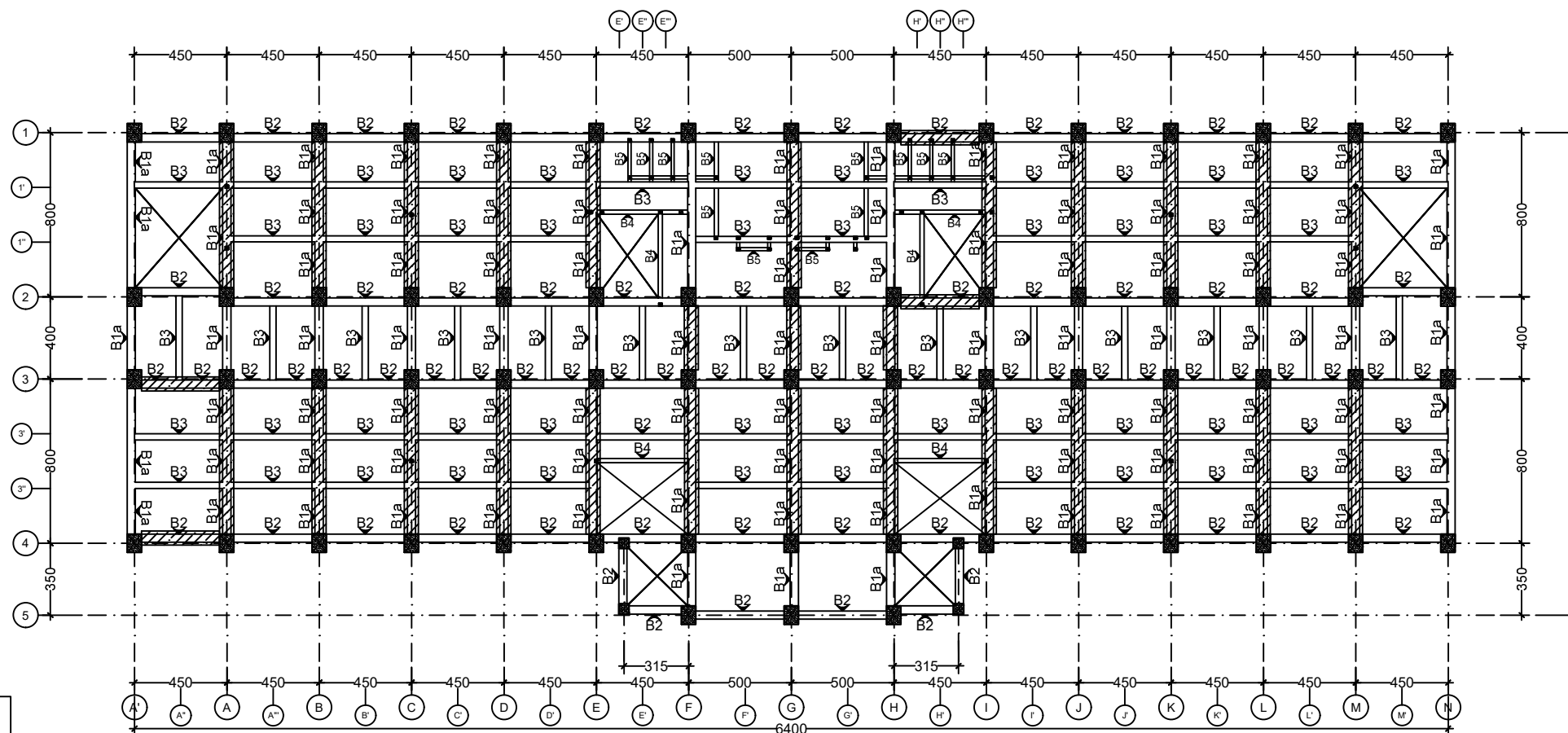
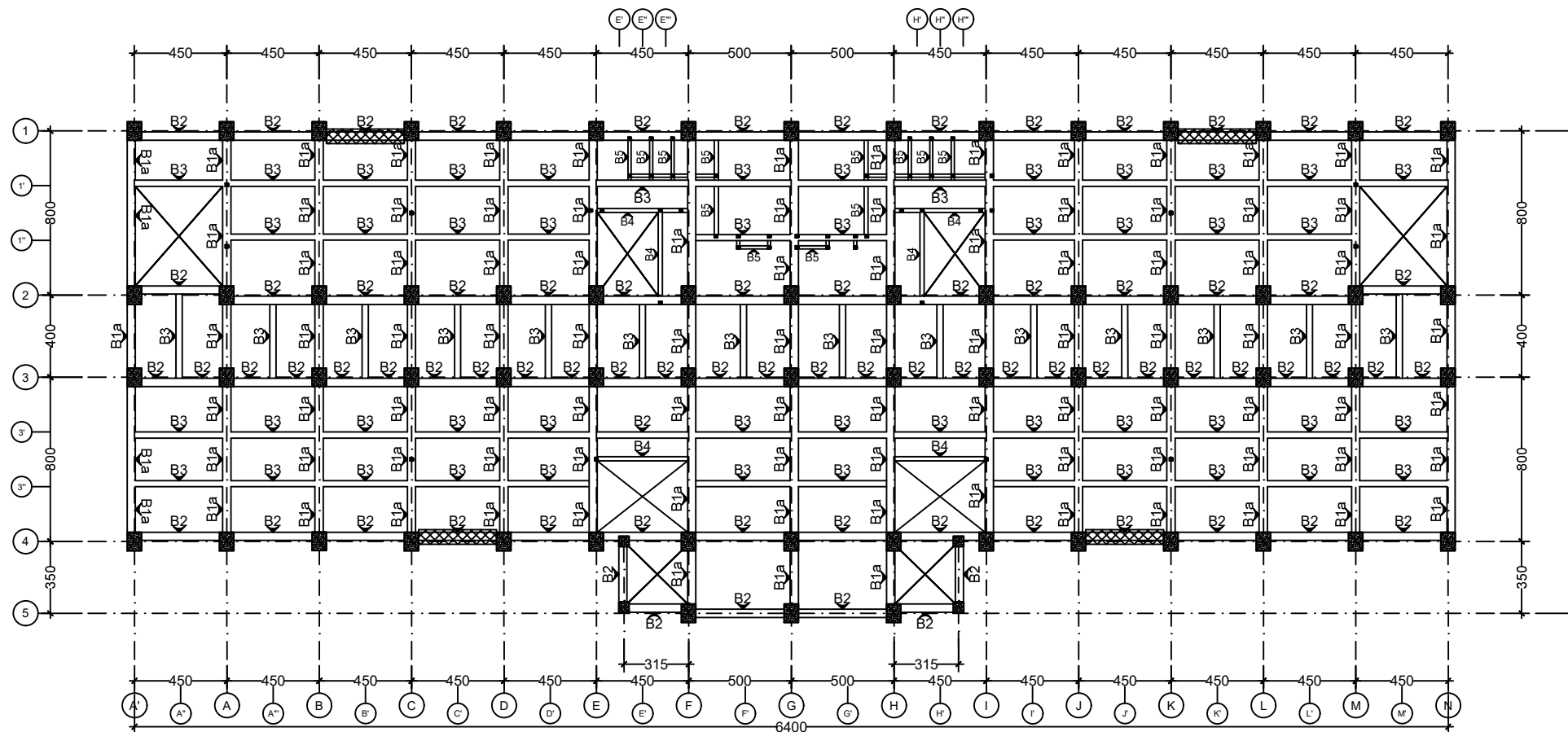
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 8

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-34	38	49

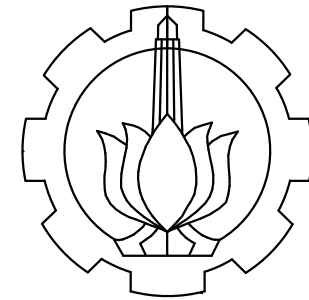


**LEGENDA :**

- PERKUATAN BRESING
- PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 8  
 SKALA 1:300





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

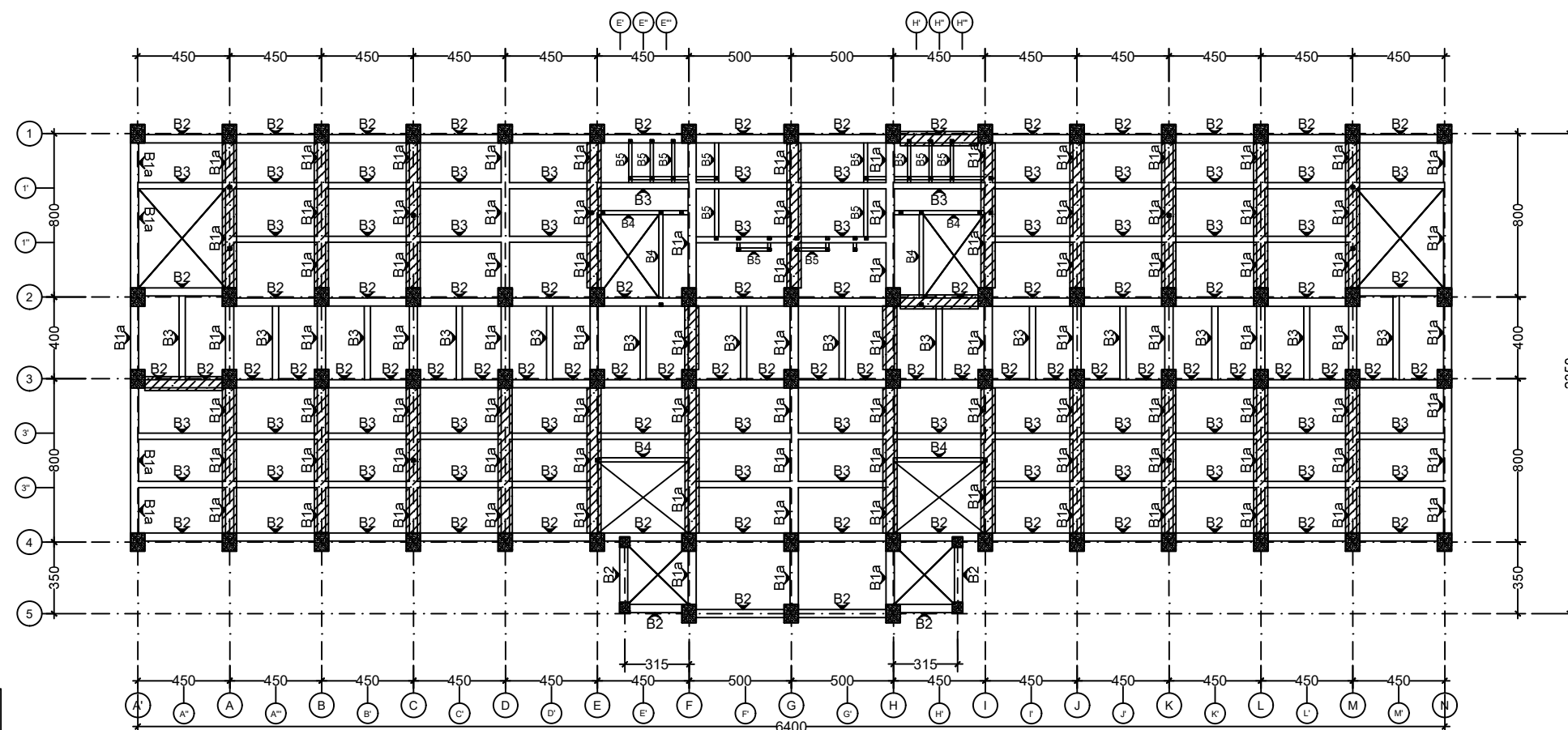
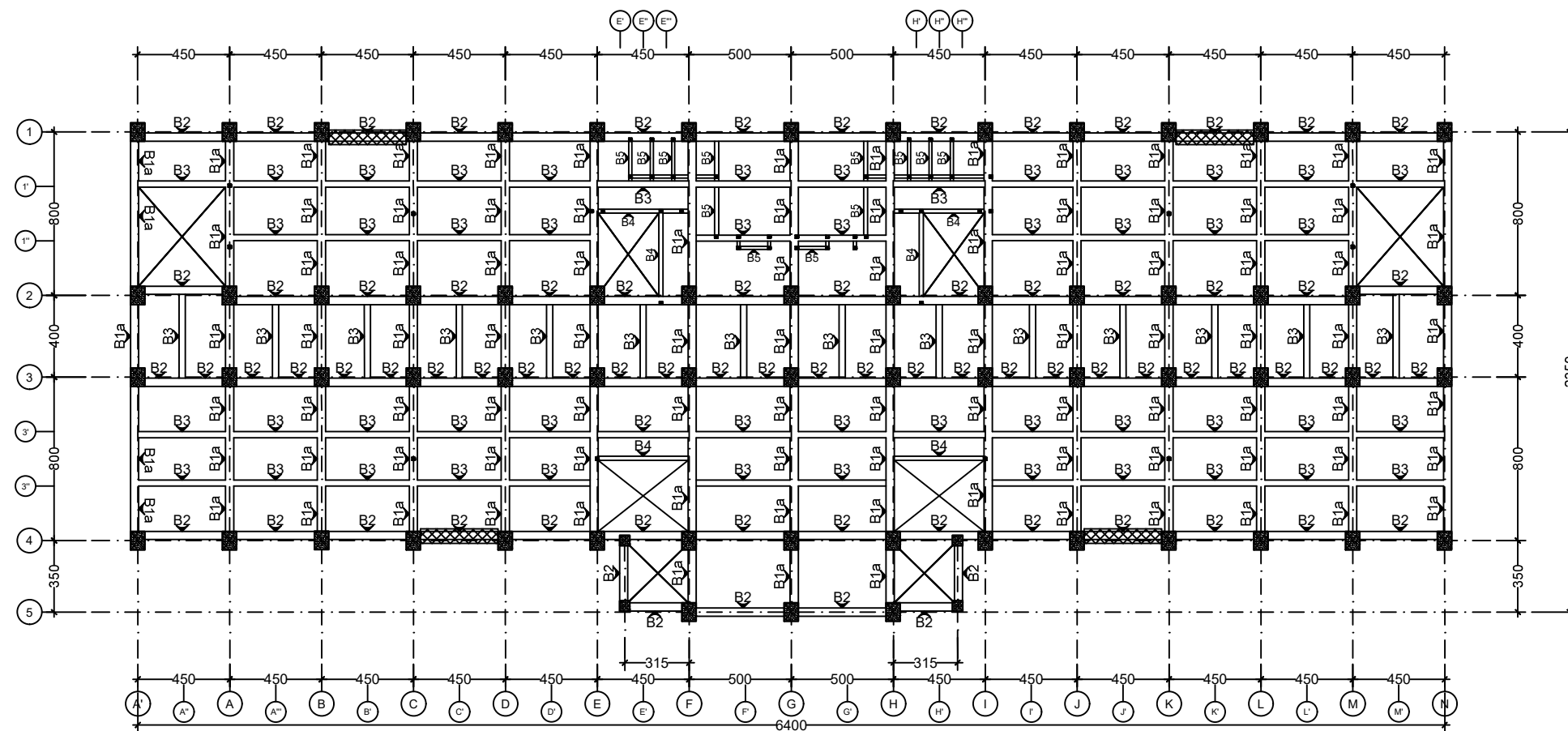
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 9

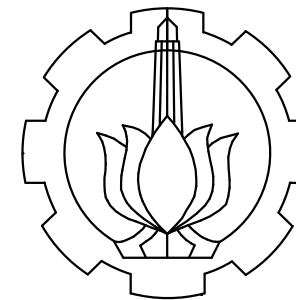
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-35	39	49



**LEGENDA :**

- PERKUATAN BRESING
- PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai 9  
 SKALA 1:300



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
 < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
 $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

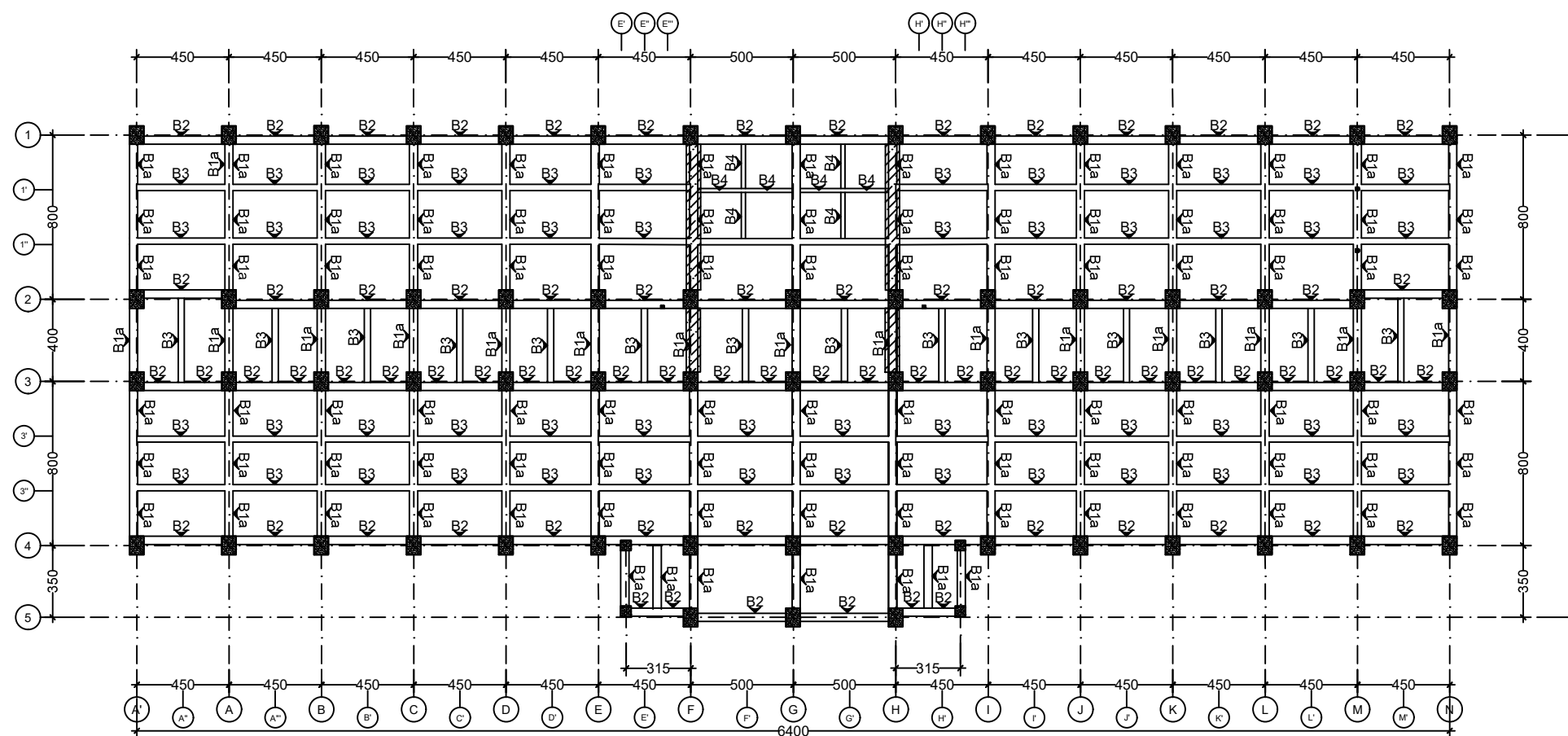
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Denah Perkuatan Lantai 9

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-36	40	49

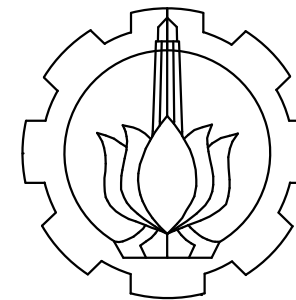


**LEGENDA :**

	PERKUATAN BRESING
	PERKUATAN CFRP GESER

Denah Perkuatan Lantai Atap  
 SKALA 1:300





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 : fy = 240 MPa (BJTP)  
    ≥ D13 : fy = 400 MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 : fy = 240 MPa (BJTP)  
    ≥ D13 : fy = 400 MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

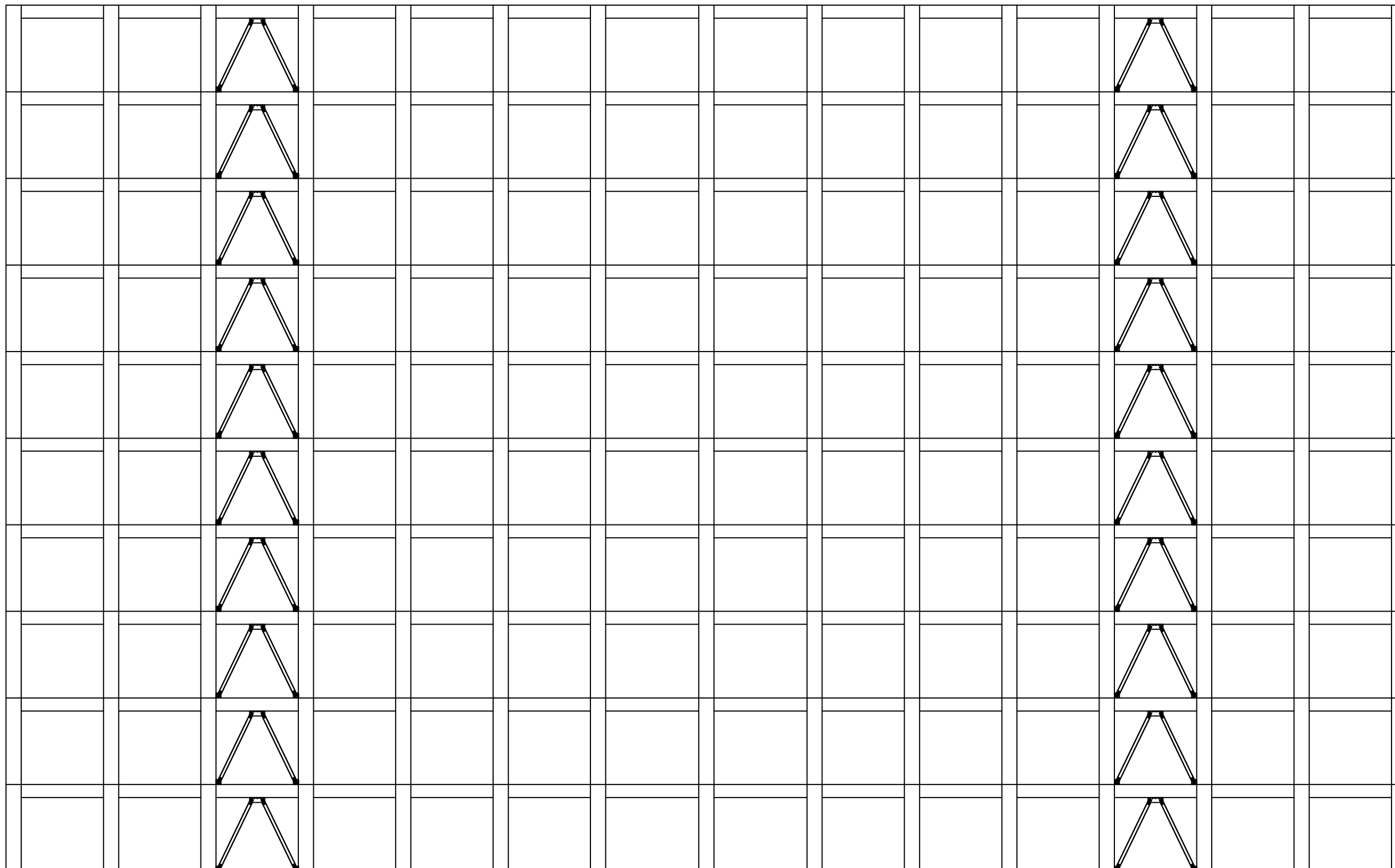
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

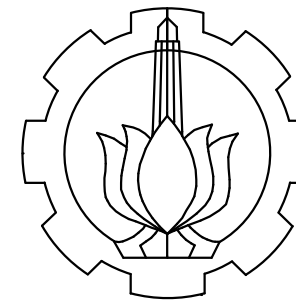
**KETERANGAN**

Konfigurasi Bresing As 1 Join B-C & K-L

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-37	41	49



Konfigurasi Bresing As 1 (Join B-C; Join K-L)  
SKALA 1:200



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### SPESIFIKASI

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

### NAMA PROYEK

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

### DOSEN PEMBIMBING I

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

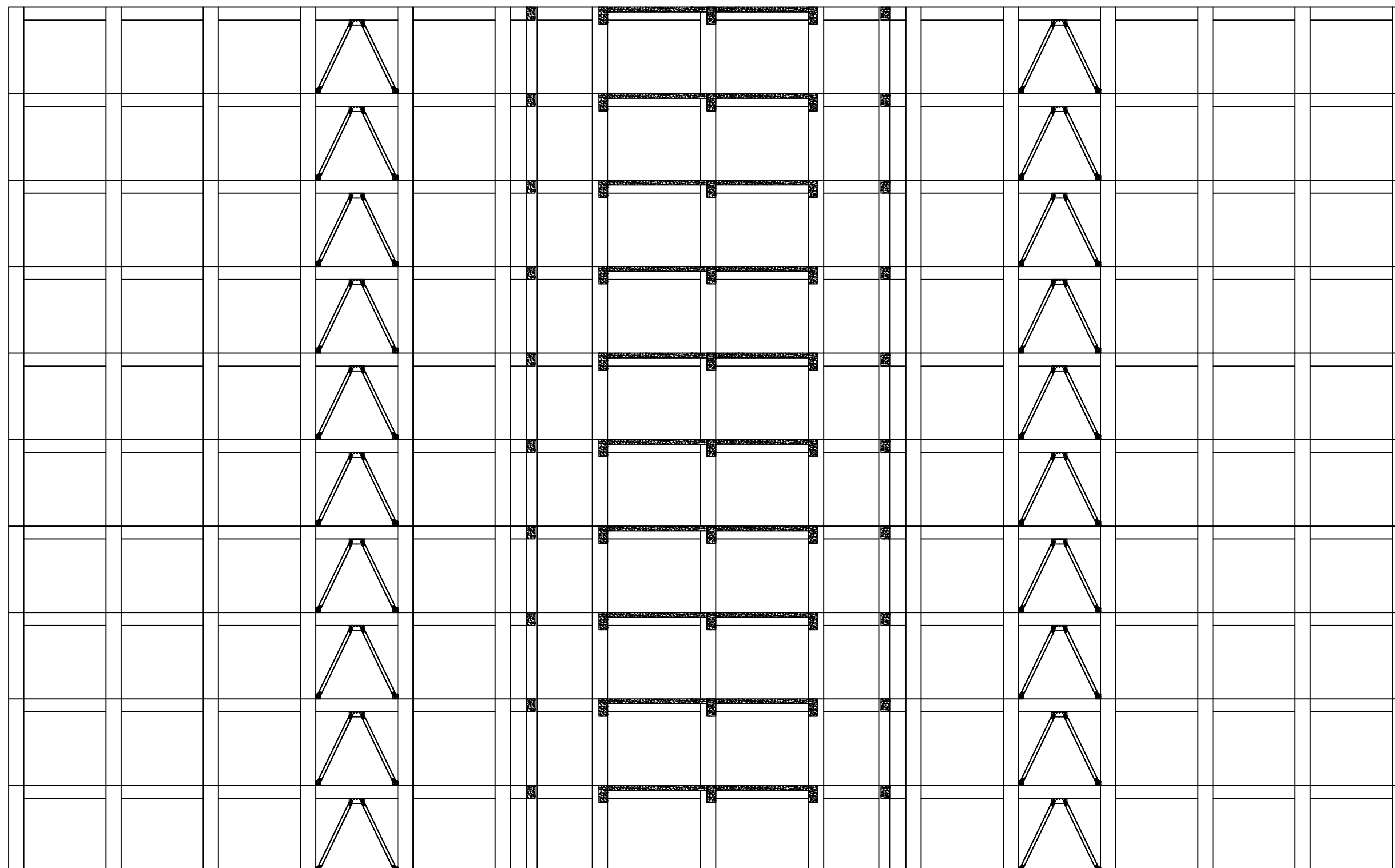
### NAMA MAHASISWA

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

### KETERANGAN

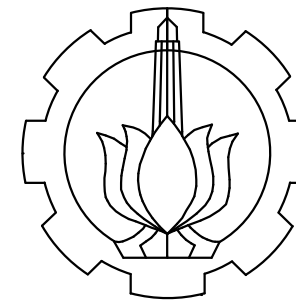
Konfigurasi Bresing As 4 Join C-D & J-K

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-38	42	49



Konfigurasi Bresing As 4 (Join C-D; Join J-K)  
SKALA 1:200





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### SPESIFIKASI

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

### NAMA PROYEK

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

### DOSEN PEMBIMBING I

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

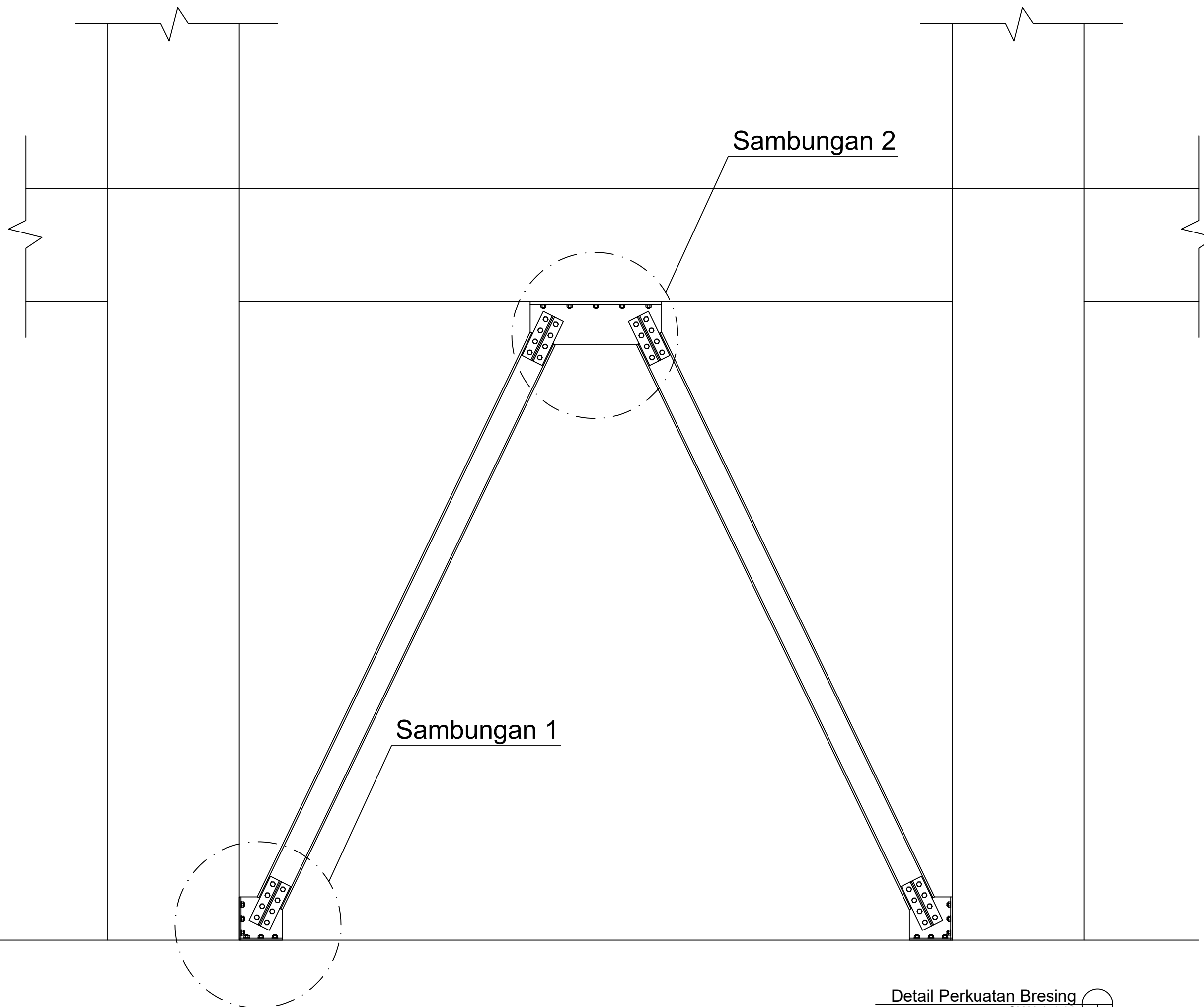
### NAMA MAHASISWA

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

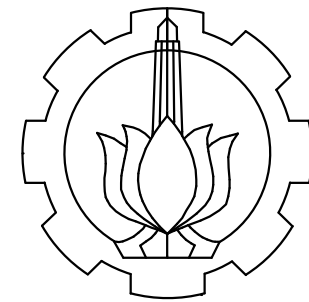
### KETERANGAN

Detail Perkuatan Bresing

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-39	43	49



Detail Perkuatan Bresing  
SKALA 1:20



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
 Fakultas Vokasi  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan
- Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
 Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
 NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
 NIP. 197802012006042001

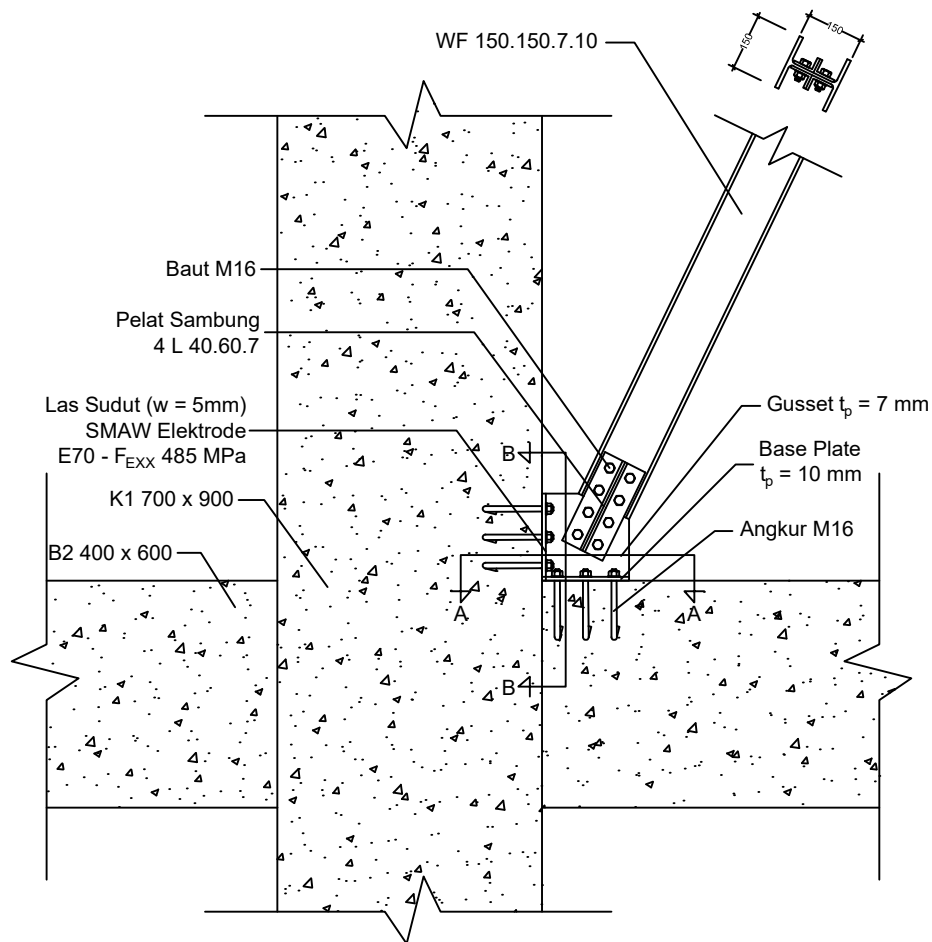
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
 NRP. 10111710010088

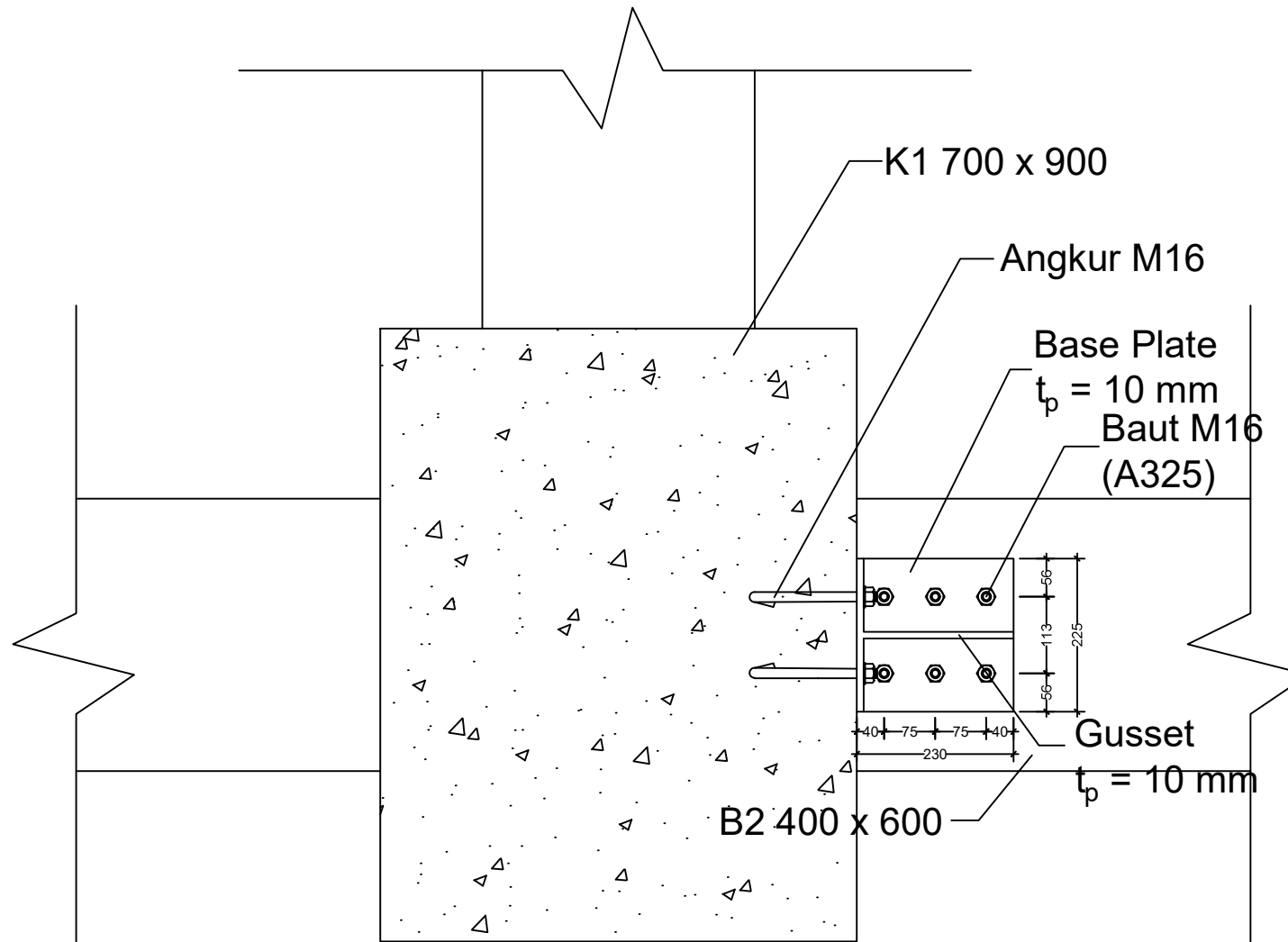
**KETERANGAN**

Detail Sambungan Tipe 1

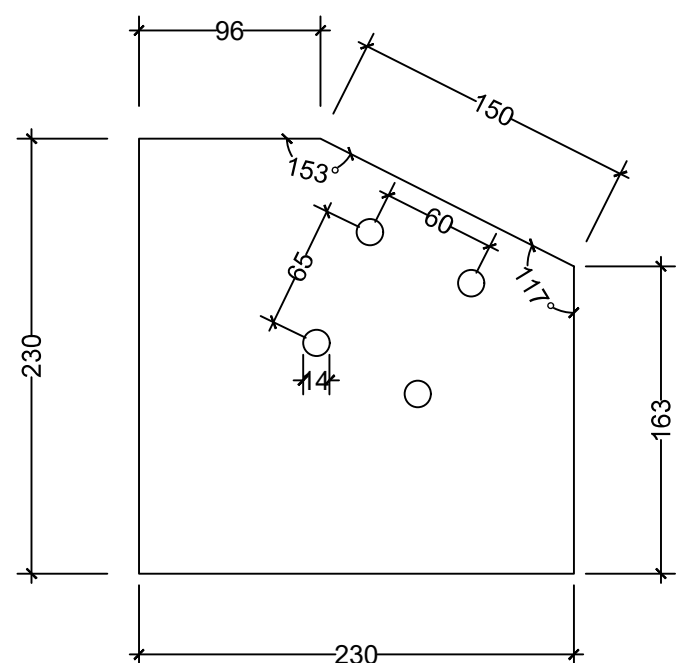
KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-40	44	49



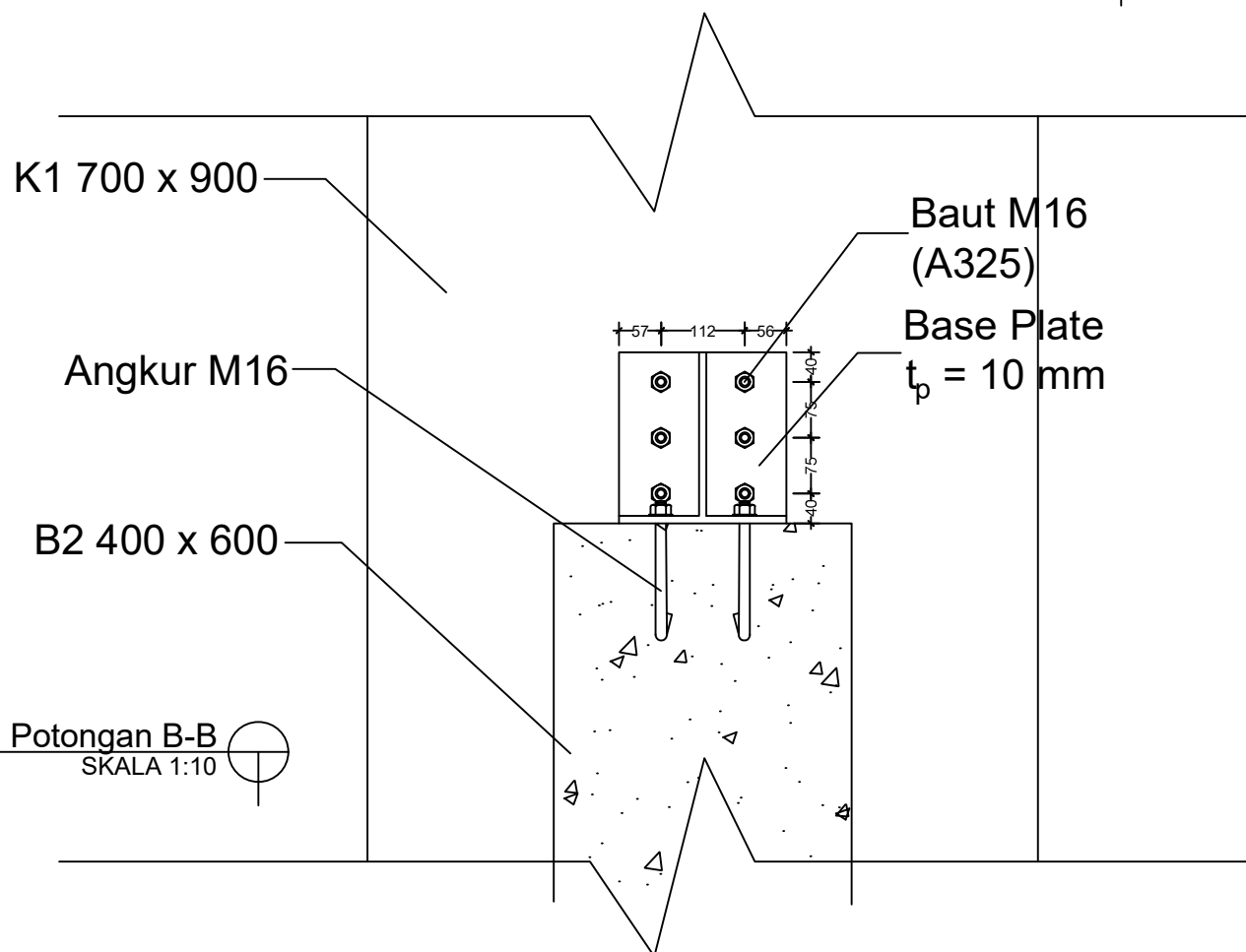
Detail Sambungan Tipe 1  
 SKALA 1:20



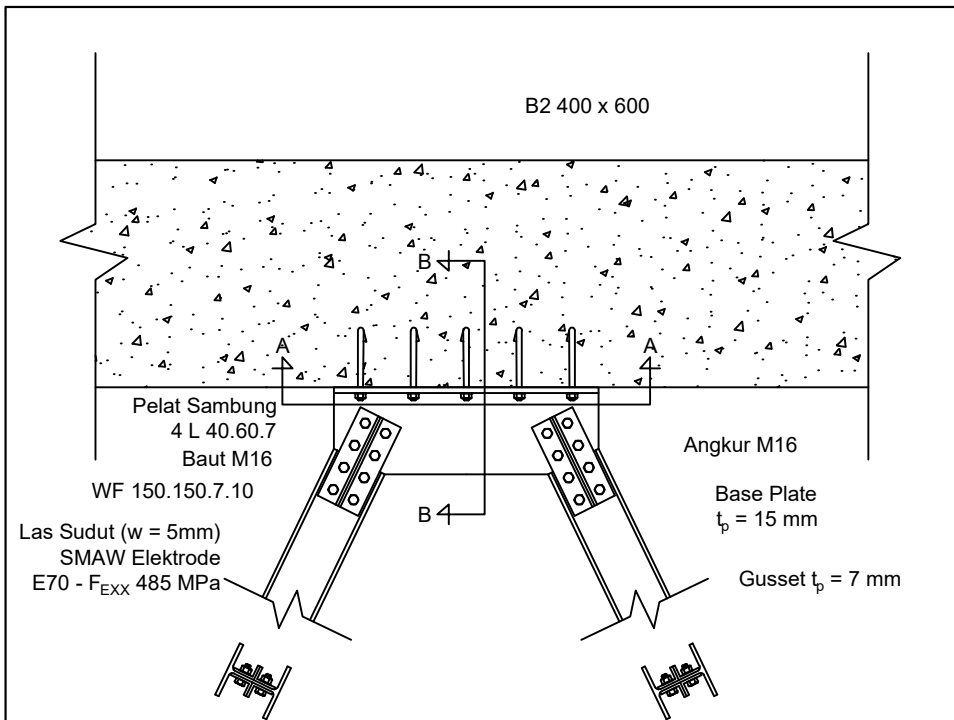
Detail Potongan A-A  
 SKALA 1:10



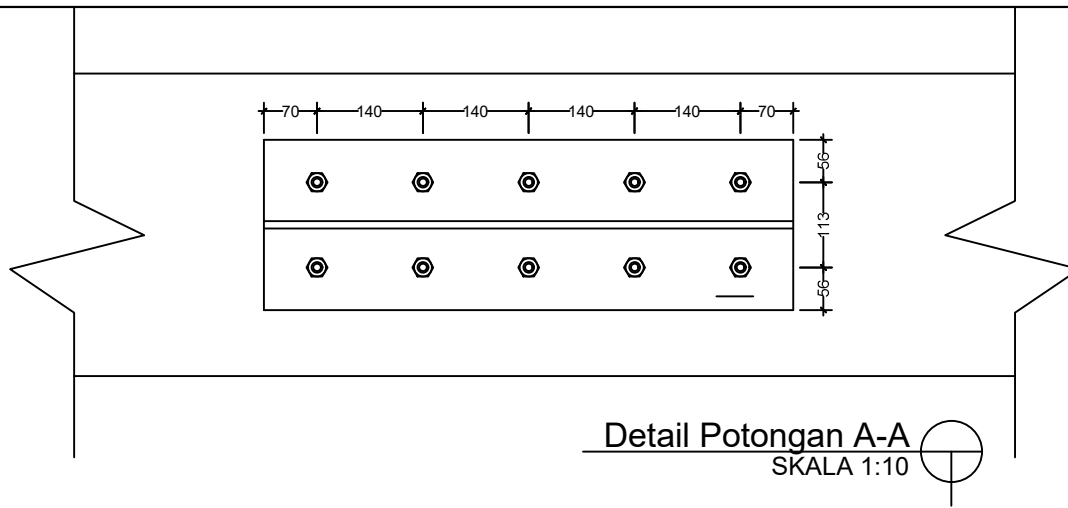
Detail Dimensi Gusset  
 SKALA 1:4



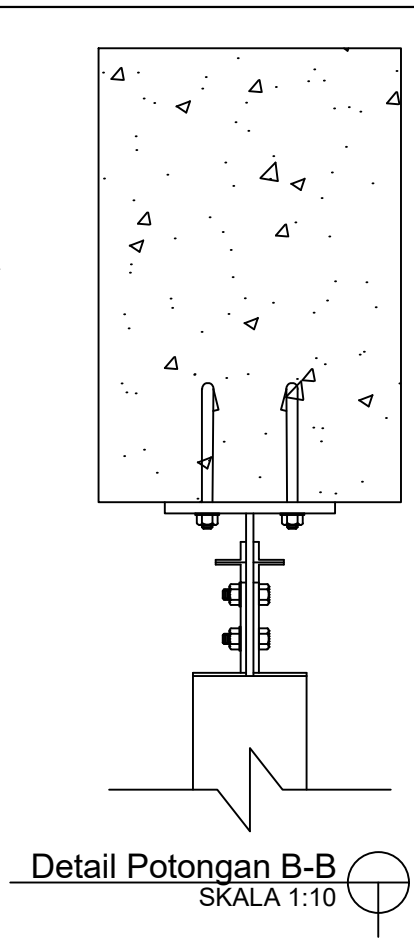
Detail Potongan B-B  
 SKALA 1:10



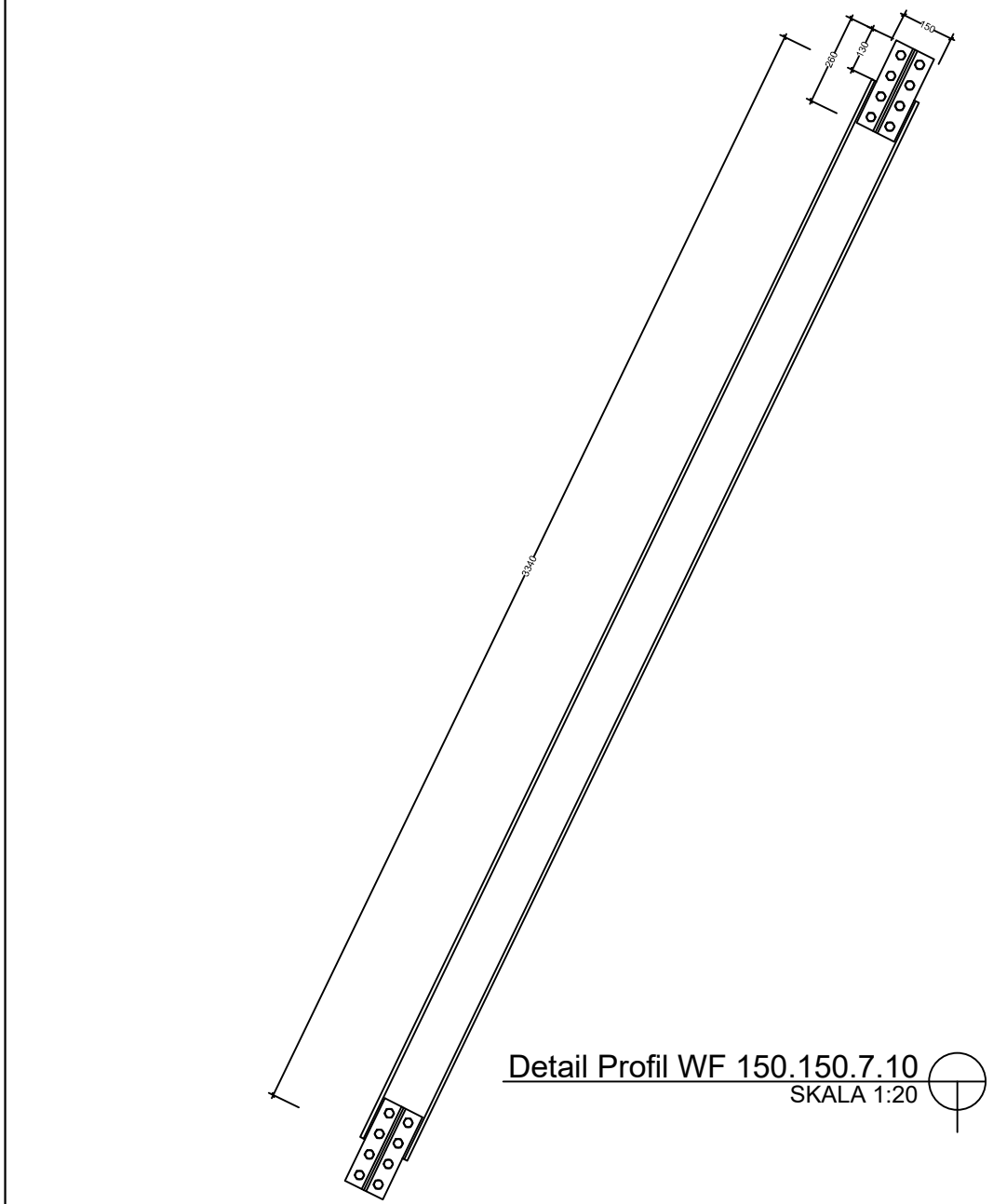
**Detail Sambungan Tipe 2**  
SKALA 1:20



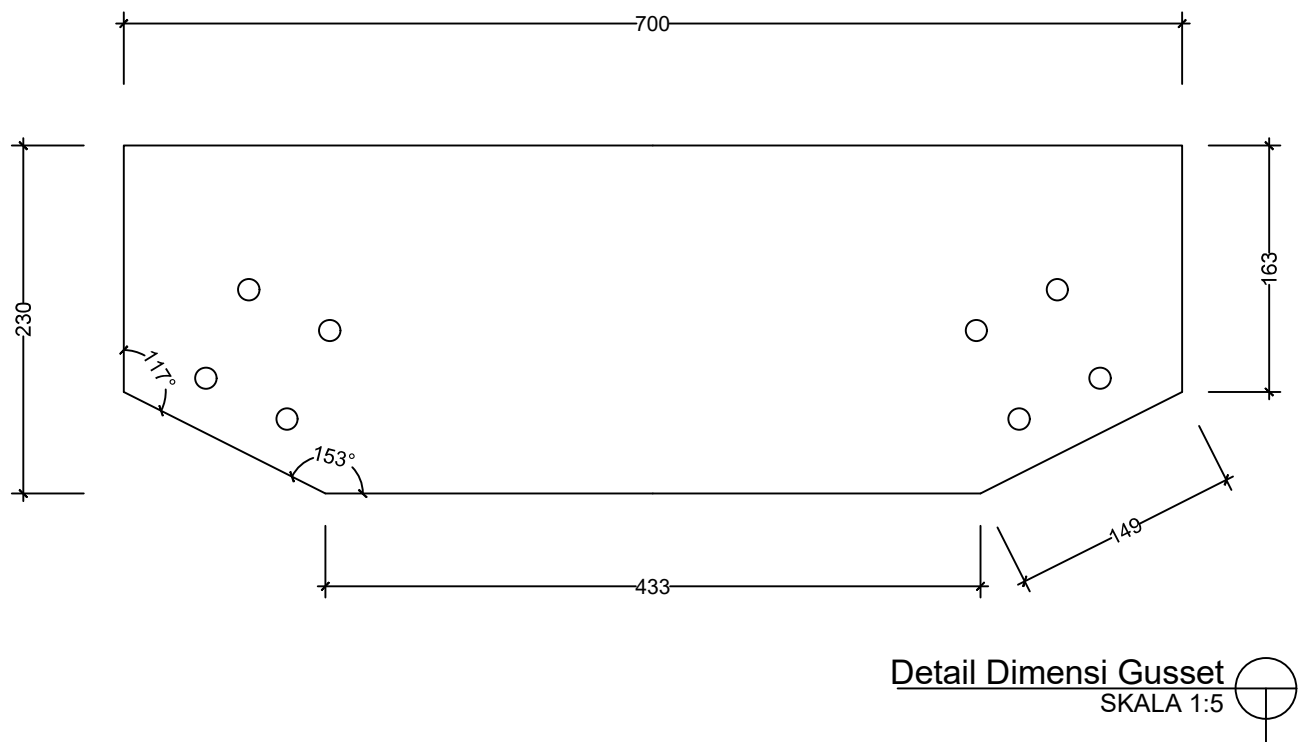
**Detail Potongan A-A**  
SKALA 1:10



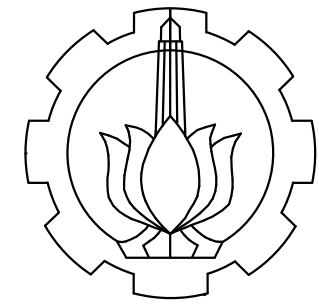
**Detail Potongan B-B**  
SKALA 1:10



**Detail Profil WF 150.150.7.10**  
SKALA 1:20



**Detail Dimensi Gusset**  
SKALA 1:5



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa
- Mutu Tulangan
  - Tulangan Utama
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)
  - Tulangan Sengkang
    - < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)
    - $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

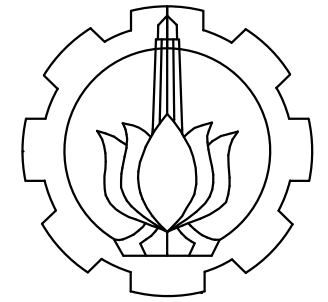
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

**KETERANGAN**

Detail Sambungan Tipe 2

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-41	45	49



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
< D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
< D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

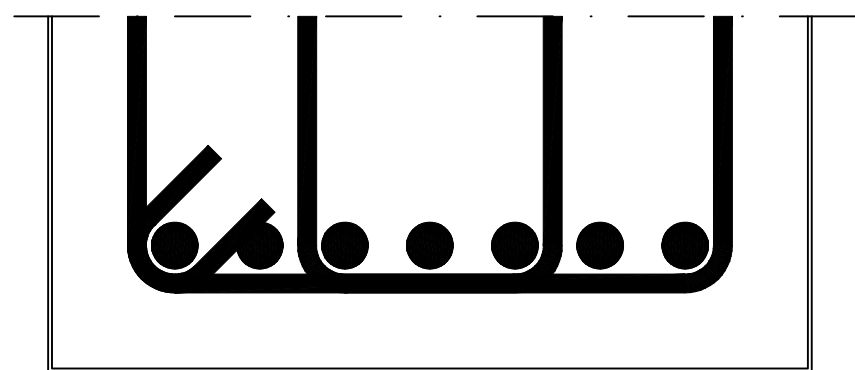
**KETERANGAN**

Detail Potongan B1 Perkuatan Geser

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-42	46	49

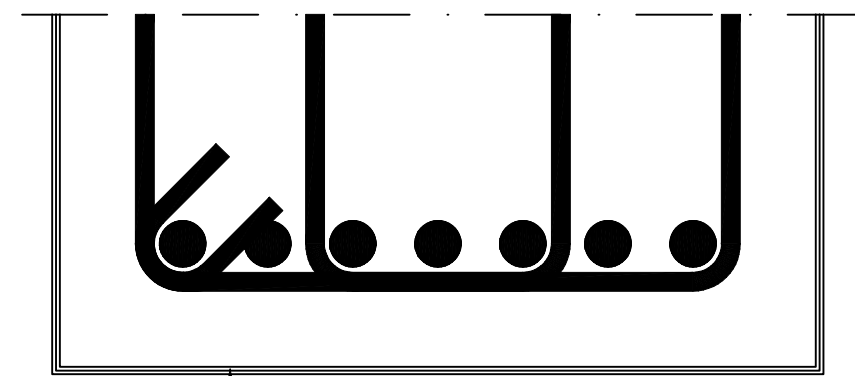
JENIS BALOK	B1		B1	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DESKRIPSI				
TULANGAN ATAS	11 D25	7 D25	11 D25	7 D25
TULANGAN BAWAH	7 D25	9 D25	7 D25	9 D25
TULANGAN PINGGANG	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16
SENGKANG	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10 - 150
PERKUATAN GESER	CFRP Wrap 1 Lapis		CFRP Wrap 2 Lapis	

Potongan B1 Perkuatan Geser  
SKALA 1:20



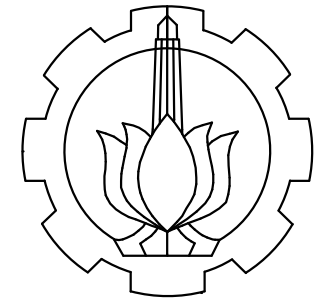
CFRP Wrap 1 lapis

Detail Potongan B1A Perkuatan Geser 1 Lapis  
SKALA 1:4



CFRP Wrap 2 lapis

Detail Potongan B1A Perkuatan Geser 2 Lapis  
SKALA 1:4



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
< D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
< D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
≥ D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

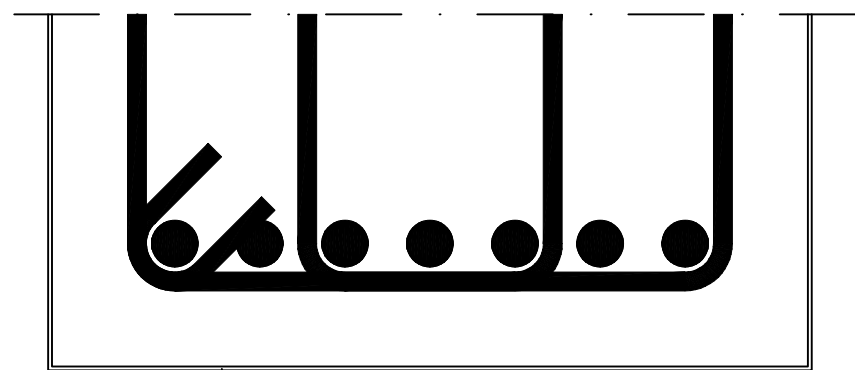
**KETERANGAN**

Detail Potongan B1A Perkuatan Geser

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-43	47	49

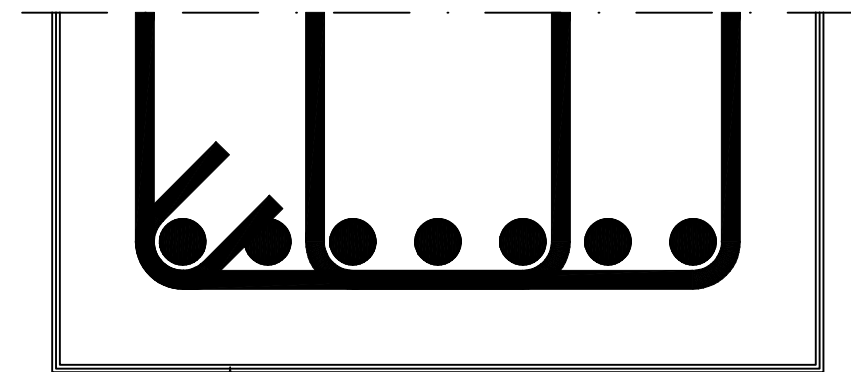
JENIS BALOK	B1 a		B1 a	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DESKRIPSI				
TULANGAN ATAS	7 D25	7 D25	7 D25	7 D25
TULANGAN BAWAH	7 D25	7 D25	7 D25	7 D25
TULANGAN PINGGANG	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16
SENGKANG	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150
PERKUATAN GESER	CFRP Wrap 1 Lapis		CFRP Wrap 2 Lapis	

Potongan B1A Perkuatan Geser  
SKALA 1:20



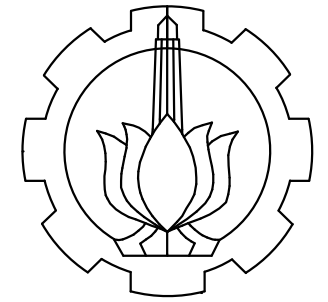
CFRP Wrap 1 lapis

Detail Potongan B1A Perkuatan Geser 1 Lapis  
SKALA 1:4



CFRP Wrap 2 lapis

Detail Potongan B1A Perkuatan Geser 2 Lapis  
SKALA 1:4



Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

Mutu Beton : 30 MPa  
Mutu Tulangan  
- Tulangan Utama  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
- Tulangan Sengkang  
    < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
     $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

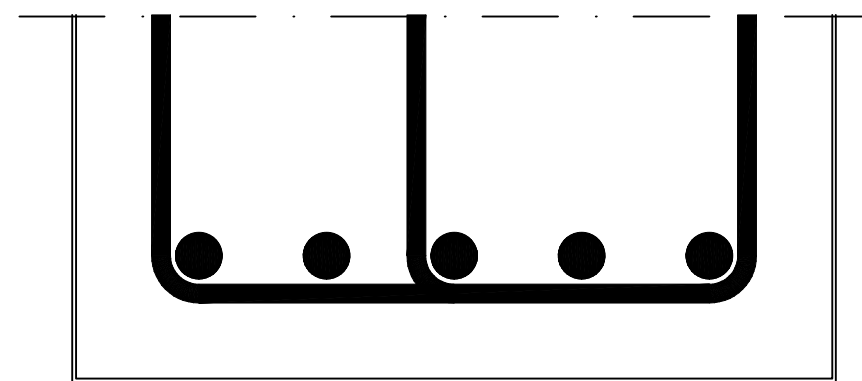
**KETERANGAN**

Detail Potongan B2 Perkuatan Geser

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-44	48	49

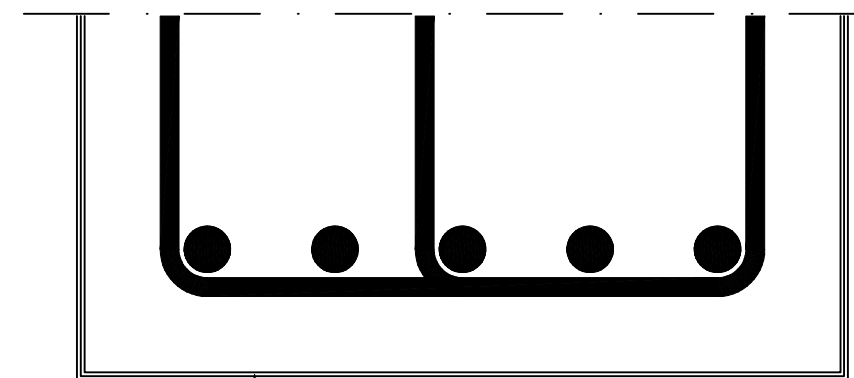
JENIS BALOK	B2		B2	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DESKRIPSI				
TULANGAN ATAS	7 D25	5 D25	7 D25	5 D25
TULANGAN BAWAH	5 D25	7 D25	5 D25	7 D25
TULANGAN PINGGANG	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
SENGKANG	$\varnothing 10 - 100$	$\varnothing 10 - 150$	$\varnothing 10 - 100$	$\varnothing 10 - 150$
PERKUATAN GESER	CFRP Wrap 1 Lapis		CFRP Wrap 2 Lapis	

Potongan B2 Perkuatan Geser  
SKALA 1:20



CFRP Wrap 1 lapis

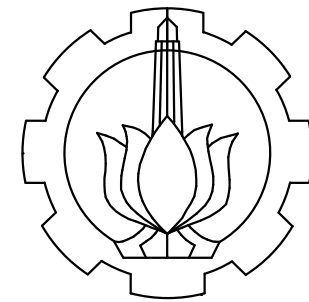
Detail Potongan B2 Perkuatan Geser 1 Lapis  
SKALA 1:4



CFRP Wrap 2 lapis

Detail Potongan B2 Perkuatan Geser 2 Lapis  
SKALA 1:4





Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**SPESIFIKASI**

- Mutu Beton : 30 MPa  
 Mutu Tulangan  
 - Tulangan Utama  
   < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
    $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)  
 - Tulangan Sengkang  
   < D13 :  $f_y = 240$  MPa (BJTP)  
    $\geq$  D13 :  $f_y = 400$  MPa (BJTD)

**NAMA PROYEK**

GEDUNG KULIAH BERSAMA (GKB 4)  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
Jl. Tlogo Mas No. 246, Kota Malang

**DOSEN PEMBIMBING I**

R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.  
NIP. 197402032002121002

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT.  
NIP. 197802012006042001

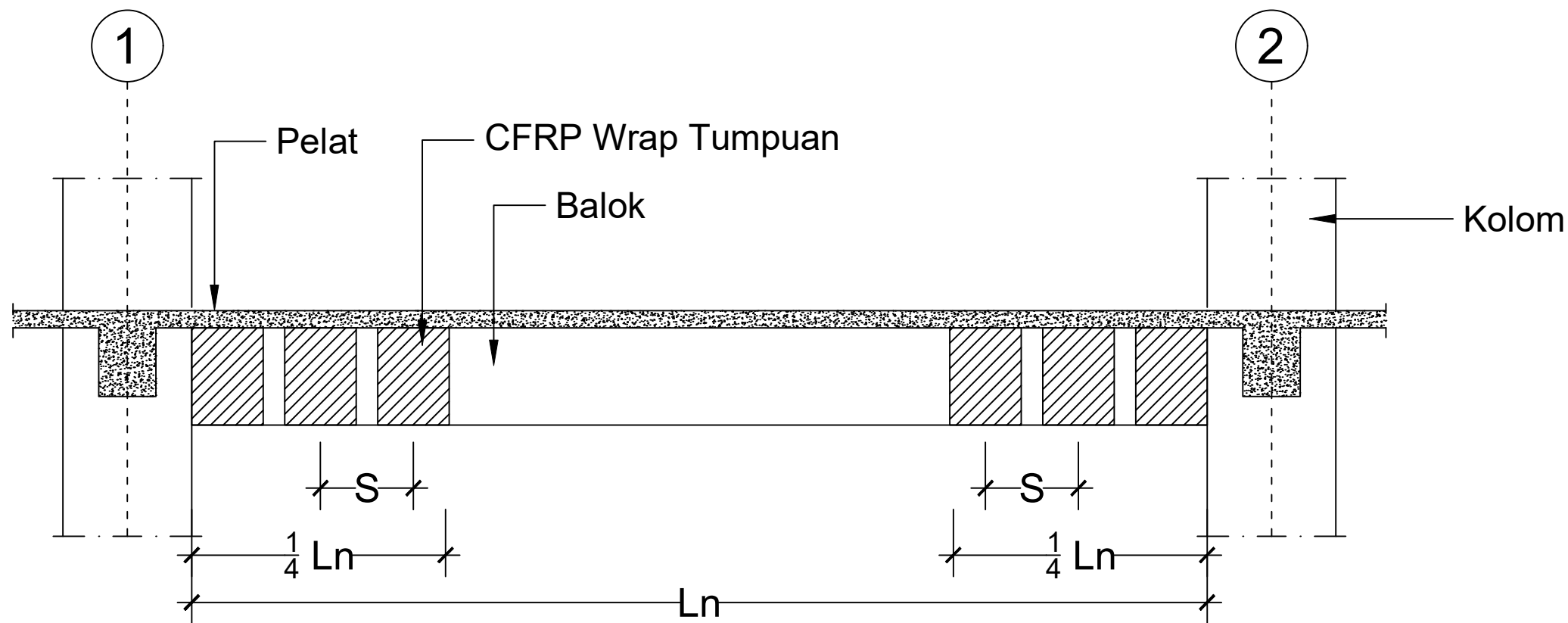
**NAMA MAHASISWA**

Mohamad Alfien Arisandy Armansyah  
NRP. 10111710010088

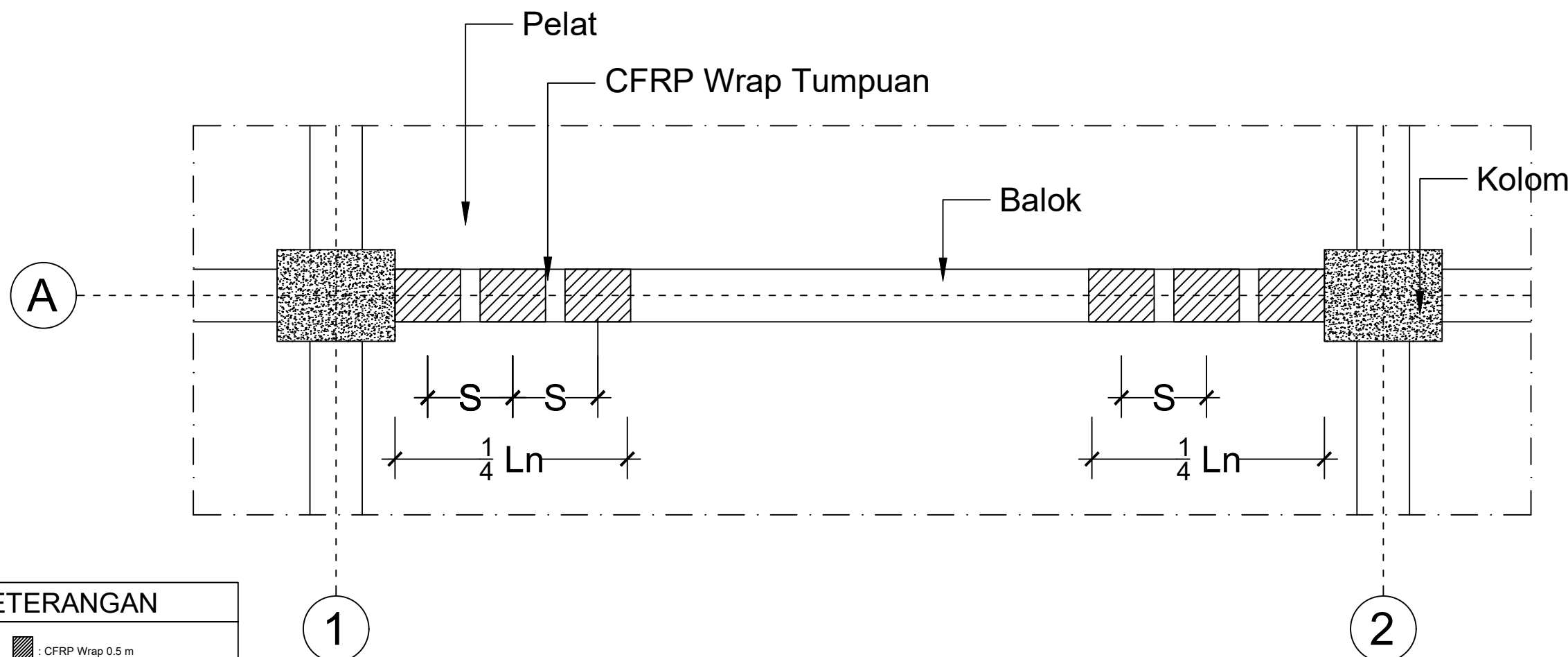
**KETERANGAN**

Gambar Tampak Detail Perkuatan Geser Tumpuan

KODE	NO.LMB	JML.LMB
STR-45	49	49



Tampak Samping Detail Perkuatan Geser Tumpuan  
SKALA 1:40



Tampak Bawah Detail Perkuatan Geser Tumpuan  
SKALA 1:40

**KETERANGAN**

: CFRP Wrap 0.5 m

$L_n$  : Bentang bersih

S : Jarak Pasang CFRP Wrap  
(As to As)