



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR
HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT
DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK
PRATEKAN**

**FAJRIN RAMADHANI
NRP. 3115105055**

**Dosen Pembimbing I
Dr.Eng Januarti Jaya E, ST.,MT**

**Dosen Pembimbing II
Data Iranata, ST.,MT.,PhD**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK
BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN
SEBAGIAN BALOK PRATEKAN**

**FAJRIN RAMADHANI
NRP. 3115105055**

**Dosen Pembimbing I
Dr.Eng Januarti Jaya E, ST.,MT**

**Dosen Pembimbing II
Data Iranata, ST.,MT.,PhD**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – RC14-1501

**STRUCTURE MODIFICATION DESIGN OF STAR
HOTEL AND APARTMENT LOMBOK BARAT
WITH DUAL SYSTEM AND HALF PRESTRESSED
BEAM**

**FAJRIN RAMADHANI
NRP. 3115105055**

**Advisor I
Dr.Eng Januarti Jaya E, ST.,MT**

**Advisor II
Data Iranata, ST.,MT.,PhD**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR
HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT
DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK
PRATEKAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember

Oleh:
Fajrin Ramadhani
NRP : 3115105055

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr.Eng Januarti Jaya E, ST.,MT.....(Pembimbing I)

2. Data Iranata, ST.,MT.,PhD(Pembimbing II)

Surabaya
Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Azza wa Jalla atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam yang selalu tercurah kepada panutan kita Nabi Muhammad Sallallahualaihiwasallam sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan proposal tugas akhir ini.

Selama proses penyusunan proposal tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikannya rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr.Eng Januarti Jaya E, ST.,MT dan Bapak Data Iranata, ST.,MT.,PhD selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, mengarahkan dan memberi saran pada penulis.
2. Keluarga penulis.
3. Bapak Ir.Wahju Herijanto, MT selaku dosen wali
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya.
5. Bapak dan Ibu Karyawan di Departemen Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya.
6. Teman sekelas Lintas Jalur Teknik Sipil 2015.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan proposal akhir ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan proposal tugas akhir ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR
HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT
DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK
PRATEKAN**

Nama Mahasiswa : Fajrin Ramadhani
NRP : 3115105055
Jurusan : Teknik Sipil ITS
Dosen Pembimbing I : Dr.Eng Januarti Jaya E, ST.,MT
Dosen Pembimbing II : Data Iranata, ST.,MT.,PhD

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini penulis mendesain gedung Star Hotel dan Apartemen Lombok barat dimana desainnya menggunakan desain Star Hotel dan Apartemen Semarang, yang sebagian strukturnya telah dimodifikasi yang mana nantinya pada lantai 11 akan dibuat sebuah ruangan yang bebas kolom atau hanya terdapat kolom ditepi, yang berfungsi sebagai ballroom.

Dari modifikasi tersebut diperlukan suatu struktur balok yang bisa menjangkau bentang panjang pada ruangan tersebut. Dari sini alternatif yang diperlukan adalah menggunakan balok Pratekan yang dapat menahan lendutan yang besar. Selain itu gedung ini direncanakan menggunakan sistem ganda, yaitu gabungan antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser.

Perencanaan struktur gedung ini meliputi plat, balok, kolom, shearwall dan tangga mengikuti peraturan beton bertulang (SNI 2847-2013) dan perhitungan gempa mengikuti peraturan SNI 1726-2016.

Hasil dari tugas akhir ini adalah struktur gedung termasuk kategori desain seismik D, sehingga dapat menggunakan sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus yang dimana direncanakan saat terjadi gempa mengalami simpangan maksimum sebesar 31,4 mm. Sedangkan untuk

perencanaan balok beton pratekannya didapatkan 60/80 cm yang terdiri dari 1 tendon dengan 22 strand.

Kata Kunci : Hotel dan apartemen, Beton Pratekan, Sistem Ganda.

**STRUCTURE MODIFICATION DESIGN OF
LOMBOK BARAT STAR HOTEL AND
APARTMENT WITH DUAL SYSTEM AND HALF
PRESTRESSED BEAM**

Name : Fajrin Ramadhani
NRP : 3115105055
Department : Civil Engineering FTSP ITS
Supervisor : Dr.Eng Januarti Jaya E, ST., MT
Co Supervisor : Data Iranata, ST., MT., PhD

ABSTRACT

In this final project, the author designs West Lombok Star Hotel and Apartment where the design was based on Semarang Star Hotel and Apartment's design, which the structure has been partially modified. On the 11th floor will be built as a column free room or corner side-only column that functioned as a ballroom.

The modification required a beam structure which has long spans inside the room. Furthermore, the required alternative is using prestressed beams that can withstand high deflections. In addition, this building is planned using dual system, a combination of resisting moment frame system and shear wall.

The building structure plan contains slab, beam, column, shearwall and staircase which refers to reinforcement concrete regulation (SNI 2847-2013) and earthquake calculation refers to SNI 1726-2012.

Thus, result of this final project is the building categorized as D seismic design, therefore it is allowed to use dual system with resisting moment frame system that planned has 31.4 mm maximum deflection when the earthquake happens. Besides, beam prestressed concrete planning result is using 60/80 cm, consist of 1 tendon with 22 strands.

Keyword: Dual System, Hotel and Apartment, Prestressed Concrete

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Beton Bertulang.....	5
2.3 Beton Pratekan	6
2.3.1 Gaya Pratekan	6
2.3.2 Tegangan ijin pada Baja dan Beton.....	7
2.3.3 Metode Sistem Pratekan.....	8
2.3.4 Prinsip Dasar Beton Pratekan.....	10
2.3.5 Kehilangan Gaya Pratekan	13
2.3.6 Momen nominal	14
2.3.7 Lendutan pada balok Pratekan	14

2.4	Sistem Struktur.....	14
2.4.1	Sistem Ganda (Dual System)	14
2.4.2	Sistem Rangka Pemikul Momen	15
2.4.3	Dinding Geser (Shearwall).....	16
2.5	Perencanaan Pondasi	16
BAB III.....		17
METODOLOGI		17
3.1	Umum.....	17
3.2	Diagram Alir	17
3.3	Pengumpulan data	19
3.4	Studi Literatur	20
3.5	Sistem Struktur.....	20
3.6	Preliminary Desain.....	21
3.6.1	Sruktur Sekunder.....	21
3.6.2	Struktur Utama Non Pratekan	21
3.6.3	Struktur Utama Pratekan	22
3.7	Perencanaan Struktur Sekunder	22
3.7.1	Perencanaan Pelat.....	22
3.7.2	Perencanaan Tangga.....	22
3.7.3	Perencanaan Balok lift	22
3.7.4	Perencanaan Balok Anak	22
3.8	Pembebanan	22
3.9	Analisis Gempa	24
3.9.1	Faktor Keutamaan Gempa.....	24
3.9.2	Kelas Situs.....	24

3.9.3	Parameter Respon Spektral	24
3.9.4	Percepatan Spektral	26
3.9.10	Perhitungan Spectrum Respons.....	26
3.9.11	Koefisien respon seismik (Cs).....	26
3.9.12	Gaya Geser Dasar (Base Shear)	26
3.9.13	SiMPang antar lantai (Drift).....	26
3.9.14	Perhitungan kuat geser.	27
3.10	Pemodelan Struktur	27
3.11	Perhitungan Struktur Utama Non Pratekan	28
3.11.1	Balok induk	28
3.11.2	Persyaratan “Strong Column Weak Beam”	30
3.11.3	Kolom.....	30
3.11.4	Hubungan Balok Kolom.....	31
3.11.5	Dinding Geser	31
3.12	Perhitungan Struktur Utama Pratekan.....	32
3.12.1	Desain Penampang Balok Pratekan	32
3.12.2	Pembebanan	32
3.12.3	Tegangan Ijin Beton	32
3.12.4	Gaya Pratekan	33
3.12.5	Pemilihan Tendon Baja	33
3.12.6	Kehilangan Pratekan	34
3.12.7	Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan	39
3.12.8	Kontrol Geser	40
3.12.9	Kontrol Lendutan	41
3.12.10	Pengangkuran	41

3.13	Analisa Struktur Akibat Gaya Pratekan	42
3.14	Perencanaan Pondasi	42
3.15	Gambar kerja	44
BAB IV		45
PEMBAHASAN		45
4.1	Preliminary Desain	45
4.1.1	Data Perencanaan	45
4.1.2	Perencanaan Dimensi Balok.....	45
4.1.3	Perencanaan Tebal Pelat.....	46
4.1.4	Perencanaan Dimensi Kolom	51
4.1.5	Perencanaan Tebal Shearwall.....	54
4.1.6	Perencanaan Dimensi Balok Prategang.....	55
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder	55
4.2.1	Perencanaan Pelat.....	55
4.2.2	Perencanaan Tangga.....	60
4.2.3	Perencanaan Balok Bordes.....	68
4.2.4	Perencanaan Balok Anak	70
4.2.5	Perencanaan Balok lift	77
4.3	Pembebanan dan Pemodelan Struktur	82
4.3.1	Pembebanan Gravitasi.....	83
4.3.2	Analisa beban gempa	84
4.4	Perencanaan Struktur Utama Beton Pratekan	94
4.4.1	Data Perencanaan	94
4.4.2	Desain Pendahuluan	97
4.4.3	Kontrol Tegangan.....	99

4.4.4	Penentuan Tendon Yang Digunakan.....	102
4.4.5	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....	103
4.4.6	Kontrol Gaya Prategang setelah Kehilangan.....	108
4.4.7	Kontrol Lendutan	109
4.4.8	Momen Retak	110
4.4.9	Penulangan Lunak Tambahan	111
4.4.10	Kontrol Momen Nominal	119
4.4.11	Pengangkuran Ujung	123
4.5	Perencanaan Struktur Utama Non Pratekan	125
4.5.1	Perencanaan Balok Induk.....	125
4.5.2	Perencanaan Kolom.....	135
4.5.3	Perencanaan Dinding Geser	141
4.5.4	Hubungan Balok kolom	148
4.6	Perencanaan Pondasi	151
4.6.1	Umum.....	151
4.6.2	Data Tanah	151
4.6.3	Spesifikasi Tiang Pancang	152
4.6.4	Perhitungan Pondasi Tiang Pancang	152
BAB V.....		169
PENUTUP.....		169
5.1	Kesimpulan	169
5.2	Saran.....	170
Daftar Pustaka		171
LAMPIRAN.....		173

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Beton Pratekan Pratarik (Budiadi, 2008) .9	9
Gambar 2. 2 Ilustrasi Beton Pratekan Pasca Tarik (Budiadi, 2008).....10	10
Gambar 2. 3 Konsep Beton Pratekan Sebagai Bahan yang Elastis (Lin dan Burns, 2000)11	11
Gambar 2. 4 Momen penahan internal beton Pratekan dan beton bertulang (Lin dan Burns, 2000).....12	12
Gambar 2. 5 Balok beton menggunakan baja mutu tinggi (Lin dan Burns, 2000).....12	12
Gambar 3. 1 Alur Perencanaan Tugas Akhir.....17	17
Gambar 3. 2 Alur perencanaan balok Pratekan18	18
Gambar 3. 3 Denah lantai atap.....19	19
Gambar 3. 4 Gambar Parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek 0.2 detik (S_s)25	25
Gambar 3. 5 Gambar Parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1).....25	25
Gambar 4. 1 Balok Induk 1 (B1) dan Balok anak 1 (BA.1)45	45
Gambar 4. 2 Tinjauan Pelat Tipe S1.....47	47
Gambar 4. 3 Balok As D Joint 1-2.....47	47
Gambar 4. 4 Balok As D joint 1-248	48
Gambar 4. 5 Balok As 2 Joint D-D'49	49
Gambar 4. 6 Balok As D' Joint 1-250	50
Gambar 4. 7 Daerah yang dibebani kolom52	52
Gambar 4. 8 Detail pelat57	57
Gambar 4. 9 Momen Pelat57	57
Gambar 4. 10 TaMPak samping Tangga lantai 160	60
Gambar 4. 11 Denah tangga lantai 1.....61	61
Gambar 4. 12 Pemodelan Tangga.....63	63
Gambar 4. 13 Bidang M pada tangga64	64
Gambar 4. 14 Penulangan Tangga.....67	67
Gambar 4. 15 Tributari pembebanan pelat pada balok anak.....71	71
Gambar 4. 16 Beban ekivalen trapesium71	71
Gambar 4. 17 Penulangan Balok Anak BA.176	76
Gambar 4. 18 Denah lift77	77

Gambar 4. 19 Denah balok lift pada shearwall.....	78
Gambar 4. 20 Ilustrasi pembebanan balok lift.....	79
Gambar 4. 21 Pemodelan Menggunakan SAP2000.....	82
Gambar 4. 22 Penampang Balok Pratekan	95
Gambar 4. 23 Daerah Limit Kabel.....	98
Gambar 4. 24 Diagram tegangan saat 1D	100
Gambar 4. 25 Diagram tegangan saat 1D+1L	101
Gambar 4. 26 Diagram Tegangan setelah kehilangan Gaya Pratekan	109
Gambar 4. 27 Tinggi Efektif Balok	112
Gambar 4. 28 Luasan Aoh dan Acp.....	113
Gambar 4. 29 Geser Desain Balok.....	115
Gambar 4. 30 Gaya Geser Balok	116
Gambar 4. 31 Penampang Balok Pratekan	124
Gambar 4. 32 Tinggi Efektif Balok	125
Gambar 4. 33 Luasan Aoh dan Acp.....	127
Gambar 4. 34 Geser Desain Balok.....	130
Gambar 4. 35 Gaya Geser Balok	131
Gambar 4. 36 Penulangan Balok B1.....	133
Gambar 4. 37 Diagram interaksi aksial momen.....	136
Gambar 4. 38 bc dan Ach	139
Gambar 4. 39 Diagram Interaksi P-M Shearwall.....	146
Gambar 4. 40 Nilai Simpangan Pada Dinding Geser	147
Gambar 4. 41 Penulangan Shearwall tipe SW1	148
Gambar 4. 42 Hubungan Balok Kolom	149
Gambar 4. 43 Sketsa Gaya dalam yang bekerja pada HBK....	150
Gambar 4. 44 Grafik Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal.	155
Gambar 4. 45 Konfigurasi Rencana Pondasi Kelompok	156
Gambar 4. 46 Mekanika Beban Poer	159
Gambar 4. 47 Desain Poer Shearwall	161
Gambar 4. 48 Jarak Tiang pancang ke titik berat	162
Gambar 4. 49 Penampang kritis poer.....	164
Gambar 4. 50 mekanika beban poer shearwall	165
Gambar 4. 51 Interaksi Gaya Aksial dan momen sloff.....	167

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nilai koefisien friksi tendon pasca tarik (Lin dan Burns, 2000).....	35
Tabel 3. 2 Koefisien Susut Beton Pasca Tarik (Lin dan Burns, 2000).....	37
Tabel 3. 3 Nilai C (Lin dan Burns, 2000).....	38
Tabel 3. 4 Nilai K_{re} dan J (Lin dan Burns, 2000)	39
Tabel 4. 1 Dimensi Balok Induk	46
Tabel 4. 2 Dimensi Balok Anak	46
Tabel 4. 3 Tabel Tebal pelat.....	51
Tabel 4. 4 Beban Mati K1	53
Tabel 4. 5 Beban Hidup K1.....	53
Tabel 4. 6 Dimensi Kolom	54
Tabel 4. 7 Beban Mati Pelat	56
Tabel 4. 8 Penulangan Pelat	59
Tabel 4. 9 Pembebanan pada pelat tangga.....	62
Tabel 4. 10 Pembebanan pada bordes	62
Tabel 4. 11 Tabel penulangan pelat tangga	67
Tabel 4. 12 Pembebanan bordes.....	68
Tabel 4. 13 Momen Balok Anak	76
Tabel 4. 14 Beban mati gedung.....	83
Tabel 4. 15 Beban hidup gedung.....	84
Tabel 4. 16 Tabel menentukan kategori resiko bangunan	85
Tabel 4. 17 Faktor keutamaan Gempa.....	85
Tabel 4. 18 Penentuan Kategori Desain Seismik berdasarkan paraneter respons percepatan pada perioda pendek.....	86
Tabel 4. 19 Penentuan Kategori Desain Seismik berdasarkan paraneter respons percepatan pada perioda 1 detik	87
Tabel 4. 20 Penentuan Sistem penahan gaya gempa	87
Tabel 4. 21 T dari SAP2000.....	88
Tabel 4. 22 Gaya Geser gempa dari SAP2000	89
Tabel 4. 23 Kontrol Akhir base reaction	90
Tabel 4. 24 Faktor skala gaya gempa	90
Tabel 4. 25 Gaya geser gempa dari SAP2000.....	90
Tabel 4. 26 Kontrol Akhir Base Reaction	91

Tabel 4. 27 Jumlah Respon Ragam	91
Tabel 4. 28 Kontrol Sistem Ganda	92
Tabel 4. 29 Kontrol simpangan Arah X	93
Tabel 4. 30 Kontrol simpangan arah Y	93
Tabel 4. 31 Penulangan Balok Induk	134
Tabel 4. 32 Gaya Dalam Kolom.....	136
Tabel 4. 33 Gaya Dalam Dinding Geser	142
Tabel 4. 34 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal	154
Tabel 4. 35 Jarak Tiang Pancang Ke Titik Berat.....	163

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lombok barat merupakan salah satu kota yang menjadi tujuan para turis domestik maupun mancanegara. Seiring dengan perkembangan jumlah turis dari tahun ke tahun semakin tinggi (Prodjo, 2015). Tingkat kebutuhan fasilitas umum khususnya hunian di lombok barat ikut meningkat. Hal ini menarik minat masyarakat untuk membuat suatu fasilitas hunian berupa Gedung hotel dan apartemen. Namun dikarenakan Lombok barat merupakan daerah dengan resiko gempa cukup tinggi perlu dipertanyakan kelayakannya untuk membangun hunian vertikal.

Karena hal tersebut, pada tugas akhir ini penulis mendesain gedung Star Hotel dan Apartemen Lombok barat dimana desainnya menggunakan desain Star Hotel dan Apartemen Semarang, yang sebagian strukturnya telah dimodifikasi yang mana nantinya pada lantai 11 akan dibuat sebuah ruangan yang bebas kolom atau hanya terdapat kolom ditepi, yang berfungsi sebagai ballroom. Dari modifikasi tersebut diperlukan suatu struktur balok yang bisa menjangkau bentang panjang pada ruangan tersebut. Dari sini alternatif yang diperlukan adalah menggunakan Balok Pratekan yang dapat menahan lendutan yang besar. Balok Pratekan ini nantinya direncanakan pada lantai ke 12 atau lantai atap.

Beton Pratekan merupakan kombinasi ideal dari 2 bahan berkekuatan tinggi. Terdapat perbedaan utama antara beton Pratekan dan beton bertulang. Pada beton bertulang kombinasi antara beton dan baja dilakukan dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan pada beton Pratekan, kombinasi antara beton dan baja dilakukan secara aktif, yaitu dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menyebabkan beton mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi

sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Beton adalah bahan yang getas apabila terkena tarikan, dan kemampuannya menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi (Lin dan Burns, 2000).

Dalam metode beton Pratekan dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu pra-tarik dan pasca-tarik. Istilah pra-tarik digunakan untuk menggambarkan metode Pratekan dimana setelah penarikan tendon baja dilakukan, kemudian beton dicor. Kebalikan dari metode pratarik, metode pasca tarik adalah metode Pratekan dimana tendon baja ditarik setelah setelah beton mengeras (Lin dan Burns, 2000). Metode yang digunakan nantinya adalah pasca-tarik, dikarenakan letak ballroom di lantai 11, maka penggunaan pra-tarik tidak digunakan dengan alasan kesulitan saat pengecoran balok Pratekan.

Adapun keunggulan beton Pratekan dibandingkan dengan beton bertulang biasa yakni beton Pratekan memungkinkan pemanfaatan seluruh penampang melintang beton dalam menerima beban, sehingga dengan penampang melintang yang lebih kecil, beban yang mampu dipikul serta panjang bentangnya sama dengan beton bertulang biasa. Hal ini memberi keunggulan berupa pengurangan berat struktur. Berdasarkan hasil studi tersebut, maka penggunaan beton Pratekan memenuhi syarat dan dapat diterapkan dalam perencanaan struktur (McCormac, 2004).

Dari uraian di atas, dapat diketahui kelebihan dari beton Pratekan bila dibandingkan dengan beton bertulang. Dengan mempertimbangkan kelebihan - kelebihan tersebut, maka diharapkan penggunaan struktur beton Pratekan dalam menyelesaikan permasalahan modifikasi ini dapat menjadi efektif dan efisien.

Gedung ini direncanakan menggunakan sistem ganda, yaitu gabungan antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser. Struktur portal sebagai penahan gempa tidak efisien untuk

membatasi defleksi lateral akibat gaya gempa, karena dimensi portal (balok dan kolom) akan bertambah besar jika kita merencanakan gedung bertingkat banyak. Dinding geser sebagai dinding struktural sangat efektif dalam memikul gaya lateral, karena kekuatan dinding geser dapat mengontrol simpangan horizontal yang terjadi serta dapat mengontrol stabilitas struktur secara keseluruhan (Purwono, 2006).

Pada perencanaan ini menggunakan peraturan SNI 2847-2013, SNI 1726-2012 dan PPIUG 1983 yang diharapkan dapat menghasilkan suatu struktur gedung yang memenuhi segala persyaratan keamanan struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Pemasalahan umum dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan gedung Star Hotel dan Apartment dengan sebagian menggunakan balok Pratekan. Adapun permasalahan khusus yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur sekunder pada bangunan tersebut.
2. Bagaimana menganalisa sistem yang tepat untuk struktur penahan gempa.
3. Bagaimana melakukan pemodelan analisa struktur.
4. Bagaimana merencanakan struktur utama meliputi balok Pratekan, kolom induk, balok induk dan dinding geser.
5. Bagaimana merencanakan struktur pondasi.
6. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan ke gambar teknik.

1.3 Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir ini secara umum adalah dapat merencanakan gedung Star hotel dan Apartment dengan sebagian menggunakan beton Pratekan. Tujuan khusus dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merencanakan struktur sekunder pada bangunan gedung.
2. Dapat menganalisa sistem yang tepat untuk struktur penahan gempa.
3. Dapat melakukan pemodelan analisa struktur
4. Dapat merencanakan struktur utama meliputi balok Pratekan, kolom, balok induk dan dinding geser.
5. Dapat merencanakan struktur pondasi.
6. Dapat menuangkan hasil perhitungan ke gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Dari permasalahan diatas, agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka diberi batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan ini tidak meninjau analisa biaya dan arsitektural.
2. Tidak memperhitungkan saluran drainase, sistem utilitas, instalasi listrik dan finishing.
3. Tidak memperhitungkan metode pelaksanaan.
4. Metode yang digunakan pada balok Pratekan adalah pasca-tarik (post tension)

1.5 Manfaat

Manfaat Tugas Akhir ini secara umum adalah dapat membuat suatu perencanaan struktur beton Pratekan pada gedung tinggi yang nantinya diharapkan bisa diaplikasikan. Adapun manfaat khusus tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui perencanaan struktur gedung menggunakan sistem ganda
- Mengetahui perencanaan struktur beton Pratekan
- Mengetahui perencanaan struktur beton bertulang biasa
- Mengetahui perencanaan pondasi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perancangan tugas akhir ini memodifikasi gedung Star Hotel dan Apartment Lombok barat dengan menggunakan Sistem Ganda, yakni gabungan Sistem rangka pemikul momen dan Dinding geser. Pada lantai 11 akan direncanakan sebuah ballroom yang mana nantinya akan direncanakan balok Pratekan, karena fungsinya sebagai ruangan yang cukup luas tanpa kolom. Selain itu perencanaan pondasi pada gedung ini juga disertakan. Perencanaan pondasi pada gedung ini menggunakan grup tiang pancang. Bab ini akan menjelaskan teori yang digunakan dalam perhitungan tugas akhir ini berdasarkan dari beberapa refrensi.

2.2 Beton Bertulang

Beton dalam kosntruksi teknik dididefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu wadah atau cetakan dalam keadaan cair kental, yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan berlangsung. Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen portland (s.p.) atau disebut juga Portland Cement (P.C.). Agregat kasar yang dipakai pada umumnya adalah kerikil atau batu pecah kecil (kricak) dan pasir sebagai agregat halus yang biasa digunakan. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri dari campuran semen portland, pasir dan kerikil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton (Wikana & Widayat, 2007).

Beton pada dasarnya menahan tekan tetapi lemah terhadap tarik, oleh karena itu beton dipadukan dengan baja tulangan yang kuat terhadap tarik sehingga didapatkanlah suatu

kesatuan beton bertulang yang bisa digunakan pada konstruksi bangunan. Menurut SNI 2847 2013, Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa Pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

2.3 Beton Pratekan

Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton Pratekan pada kenyataannya adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai keinginannya, sedangkan beton Pratekan mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara – cara aktif , hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahanya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Dengan kombinasi aktif ini akan didapat perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Jadi beton Pratekan merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin dan Burns, 2000).

2.3.1 Gaya Pratekan

Gaya Pratekan dipengaruhi momen total yang terjadi. Gaya Pratekan ini yang kemudian disalurkan ke penampang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. (Lin dan Burns, 2000).

2.3.2 Tegangan ijin pada Baja dan Beton

Tegangan ijin Baja Sesuai SNI 2847 2013 pasal 18.5 tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

1. Tegangan ijin akibat gaya pengangkutan tendon yang bekerja pada kabel. $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,8f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon Pratekan atau perangkat angkut.
2. Tendon pasca tarik pada daerah angkut dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya Pratekan. $0,70 f_{pu}$

Tegangan ijin Beton Sesuai SNI 2847 2013 pasal 18.3.3 dan 18.4 :

1. Beton Pratekan akan diklasifikasikan sebagai kelas U sehingga tegangan serat terjauh dalam kondisi tarik pada saat beban layan adalah kurang dari sama dengan $0,62 \sqrt{f'_c}$
2. Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya Pratekan (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.1 tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - a. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan $0,60f'_ci$
 - b. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana $0,70 f'_ci$
3. Tegangan beton pada kondisi beban layan (berdasarkan pada sifat penampang tak retak, setelah pembolehan untuk semua kehilangan Pratekan) untuk komponen struktur lentur Pratekan kelas U dan kelas T sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.2 tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - a. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh Pratekan, beban mati dan beban hidup tetap $0,45f'_ci$
 - b. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh Pratekan, beban mati dan beban hidup total $0,60f'_ci$

Dimana :

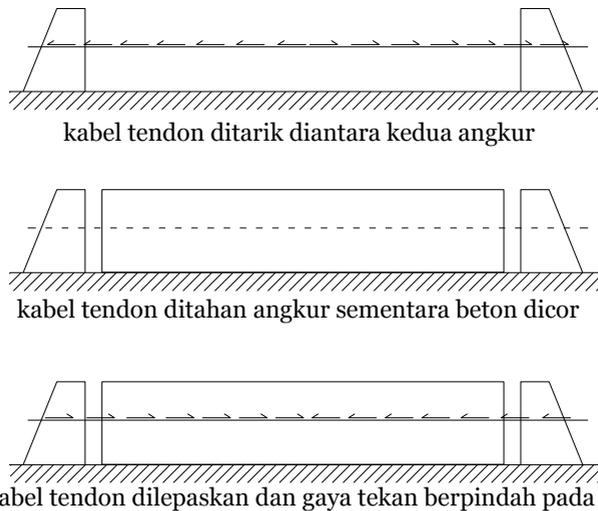
f_{pu}	= kuat tarik tendon Pratekan yang diisyaratkan, MPa
f_{py}	= kuat leleh tendon Pratekan yang diisyaratkan, MPa
f'_{ci}	= kuat tekan beton pada saat pemberian Pratekan awal, MPa
f'_{c}	= kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

2.3.3 Metode Sistem Pratekan

1. Sistem Pra tarik (Pre Tension)

Sistem pratarik dimana tendon terlebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang tegar (rigid) yang dicetak di atas tanah atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik, dan beton selanjutnya di cor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengering, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan Pratekan ditransfer ke beton (Budiadi, 2008).

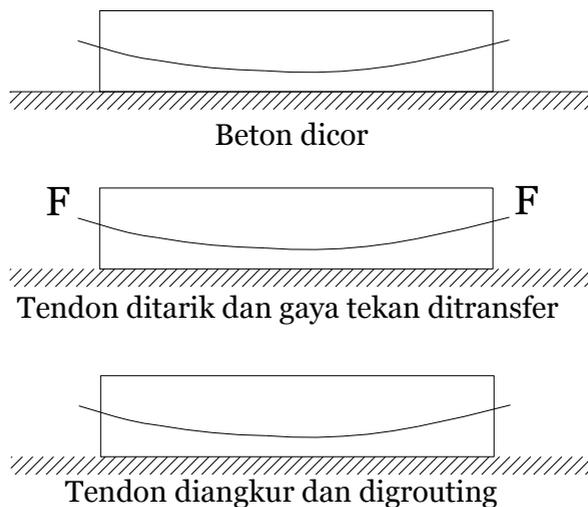
Transfer Pratekan beton biasanya dilaksanakan dengan dongkrak hidrolik atau dongkrakan sekrup yang besar, dimana semua kawat dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Beton Pratekan Pratarik (Budiadi, 2008)

2. Sistem Pasca tarik (Post Tension)

Sistem Pasca tarik dimana unit beton terlebih dahulu dicetal dengan memasukkan saluran atau ulur untuk meneMPatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh ankur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang antara tendon dan saluran pada umumnya digROUT setelah penarikan (Budiadi, 2008).



**Gambar 2. 2 Ilustrasi Beton Pratekan Pasca Tarik
(Budiadi, 2008)**

Berdasarkan pada ikatan tendon dengan betonnya, pasca-tarik terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Bounded, setelah gaya Pratekan diaplikasikan pada beton, ruang kosong antara lubang dan tendon diisi dengan material grout.
2. Unbounded, setelah gaya Pratekan diaplikasikan pada beton, ruang kosong antara lubang dan tendon dibiarkan begitu saja. Adapun perlindungan tendon dari korosi biasanya dilakukan dengan sistem yang tahan air (waterproof).

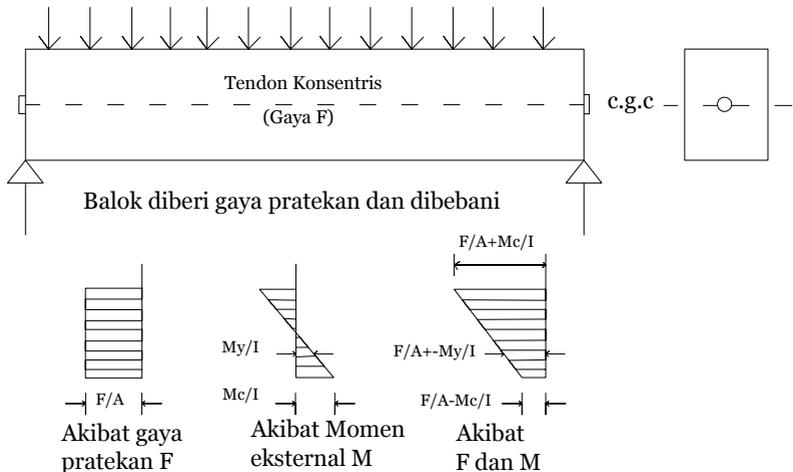
2.3.4 Prinsip Dasar Beton Pratekan

1. Sistem Pratekan untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang elastis

Pada konsep yang pertama ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Beton Pratekan pada dasarnya adalah

beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton yang pada dasarnya tidak mampu menahan tarik namun mampu memikul tekan dengan dilakukannya penekanan (pemberian gaya Pratekan) beton menjadi dapat memikul tegangan tarik (Lin dan Burns, 2000).

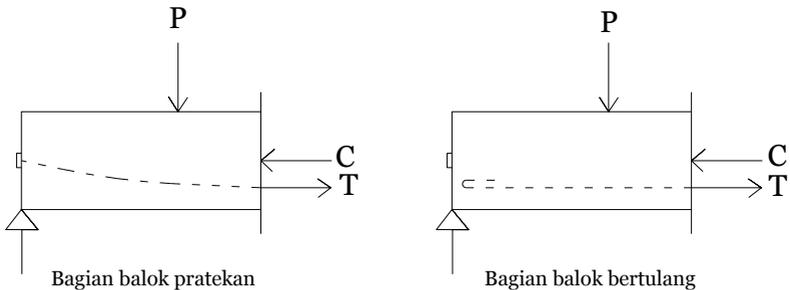
Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya Pratekan oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal, seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. 3 Konsep Beton Pratekan Sebagai Bahan yang Elastis (Lin dan Burns, 2000)

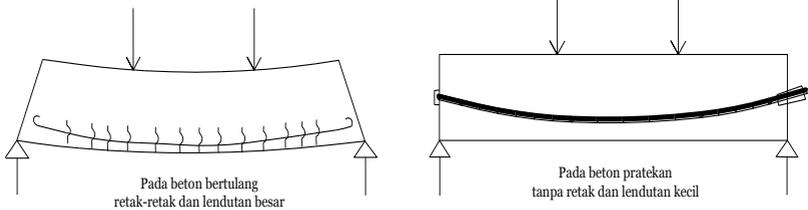
2. Sistem Pratekan Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Konsep ini mempertimbangkan beton Pratekan sebagai kombinasi dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal.



Gambar 2. 4 Momen penahan internal beton Pratekan dan beton bertulang (Lin dan Burns, 2000)

Pada beton Pratekan baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Karena jika baja mutu tinggi tersebut ditanamkan seperti pada beton bertulang biasa, akan terjadi retak – retak di beton sekitar sebelum seluruh kekuatan baja digunakan.



Gambar 2. 5 Balok beton menggunakan baja mutu tinggi (Lin dan Burns, 2000)

3. Sistem Pratekan Untuk Mencapai Kesetimbangan Beban.

Konsep ini menggunakan Pratekan sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan disain struktur beton Pratekan, pengaruh dari Pratekan dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri pelat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

2.3.5 Kehilangan Gaya Pratekan

Berikut ini penjelasan dari kehilangan Pratekan menurut (Lin dan Burns, 2000) dalam bukunya Desain Struktur Beton Pratekan:

1. Rangkak (CR)

Rangkak dianggap terjadi akibat beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya Pratekan. Bagian dari regangan awal disebabkan pada beton segera setelah peralihan gaya Pratekan dikurangi oleh regangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati permanen.

2. Perpendekan elastis beton (ES)

Pada struktur yang menggunakan kabel tunggal, tidak mengalami kehilangan gaya Pratekan akibat perpendekan beton, karena gaya pada kabel diukur setelah perpendekan tersebut terjadi. Namun pada penampang yang memakai lebih dari satu kabel, maka kehilangan gaya Pratekan ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan rata-rata semua kabel.

3. Susut Beton (SH)

Besarnya susut beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, tipe perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian Pratekan, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan.

4. Relaksasi pada tendon (RE)

Yaitu akibat terjadinya perpendekan elastis (kehilangan gaya Pratekan seketika setelah peralihan) dan gaya Pratekan yang tergantung waktu, CR dan SH ada pengurangan berkelanjutan pada tegangan beton, jadi kehilangan gaya Pratekan akibat relaksasi berkurang. Sebenarnya balok Pratekan mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkakan yang tergantung pada nilai waktu.

5. Pengankuran / Slip ankur (ANC)

Slip pada ankur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan pada ankur. Peralatan ankur yang

mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi.

6. Friksi / Gesekan kabel (Ps)

Pada struktur beton Pratekan dengan tendon yang melengkung diketahui adanya gesekan pada sistem penarik(jacking) dan angkur sehingga tegangan yang ada pada tendon lebih kecil daripada yang terdapat pada alat baca tekanan (pressure gauge). Kehilangan gaya Pratekan akibat gesekan yang lebih serius terjadi diantara tendon dan bahan sekelilingnya. Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (wooble).

Adapun perhitungan kehilangan gaya Pratekan yang disebabkan oleh kekangan kolom yang dikarenakan pada sambungan balok Pratekan dan kolom adalah monolit.

2.3.6 Momen nominal

Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana apakah mampu menahan momen ultimate yang terjadi. Nilai momen nominal yang terjadi bergantung desain penampang apakah menggunakan tulangan lunak terpasang atau tidak. Selain itu juga bergantung pada jenis penampang balok.

2.3.7 Lentutan pada balok Pratekan

Kemampuan layan struktur beton Pratekan ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton Pratekan memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan.

2.4 Sistem Struktur

2.4.1 Sistem Ganda (Dual System)

Sistem Ganda atau Dual System adalah salah satu sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh SpaceFrame (Rangka), sedangkan beban lateralnya dipikul bersama oleh Space Frame dan Shear Wall (Dinding Geser/Dinding Struktur). Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.2.5.1

menyebutkan bahwa, untuk Sistem Ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Karena Shear Wall dan Space Frame dalam Dual System merupakan satu kesatuan struktur maka diharapkan keduanya dapat mengalami defleksi lateral yang sama atau setidaknya Space Frame mampu mengikuti defleksi lateral yang terjadi. Shear Wall sendiri artinya adalah Dinding Geser yang terbuat dari beton bertulang dimana tulangan-tulangan tersebut yang akan menerima gaya lateral akibat gempa sebesar beban yang telah direncanakan. Penggunaan sistem struktur Dual System sendiri sangat cocok dalam pembangunan struktur gedung di wilayah gempa kuat (Tavio dan Kusuma, 2009).

Untuk daerah dengan resiko gempa tinggi menggunakan Sistem Ganda, rangka utama dan dinding struktur harus didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK) (Purwono, 2006).

Pada perencanaan ini Sistem rangka pemikul momen khusus diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 21.5 hingga 21.8. Sedangkan dinding struktur beton diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 21.9.

2.4.2 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang yang berfungsi untuk memikul beban gravitasi secara lengkap. Sedangkan beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. SRPM ini dibagi menjadi tiga jenis, yaitu : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, perencanaan pembangunan gedung bertingkat untuk daerah dengan resiko gempa tinggi menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Struktur beton bertulang yang berada pada wilayah gempa dan resiko gempa kuat (kerusakan merupakan resiko utama), maka komponen struktur harus memenuhi syarat perencanaan dan pendetailan dari SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.

2.4.3 Dinding Geser (Shearwall)

Dinding geser merupakan suatu elemen dinding beton bertulang yang dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dinding yang berfungsi sebagai pengaku yang menerus sampai ke pondasi ini juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dinding geser pada umumnya bersifat kaku, sehingga deformasi (lendutan) horizontal menjadi kecil.

Dinding geser memiliki macam sebagai dinding geser tunggal serta dinding geser disusun membentuk *core*. Konsep perencanaan dinding geser mengacu kepada Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013) dan pada elemen dinding geser ini menggunakan beton bertulang khusus.

2.5 Perencanaan Pondasi

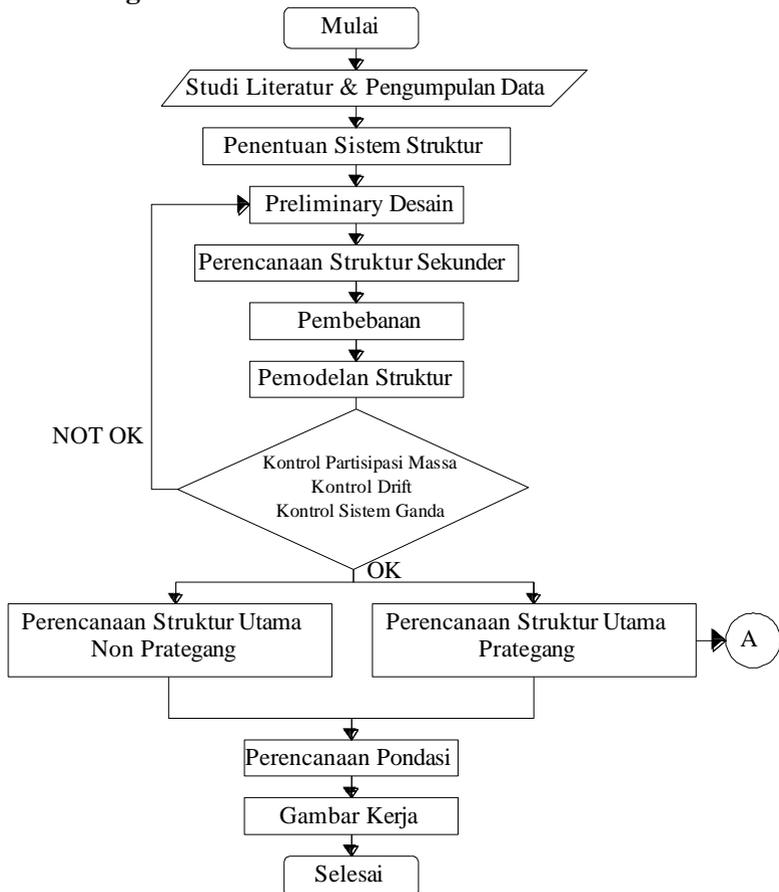
Pondasi merupakan komponen struktur bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah yang diterima dari kolom. Struktur pondasi sangat penting mengingat sebagai struktur terbawah dalam menahan beban struktur di atasnya. Terdapat dua macam pondasi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Dikatakan pondasi dangkal apabila perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dengan diameternya (B) kurang dari 4 atau lima ($\frac{D}{B} < 4$ atau 5). Sedangkan pondasi dalam memiliki perbandingan kedalaman pondasi dengan diameternya lebih besar sama dengan 10 ($\frac{D}{B} \geq 10$) (Wahyudi, 1999).

BAB III METODOLOGI

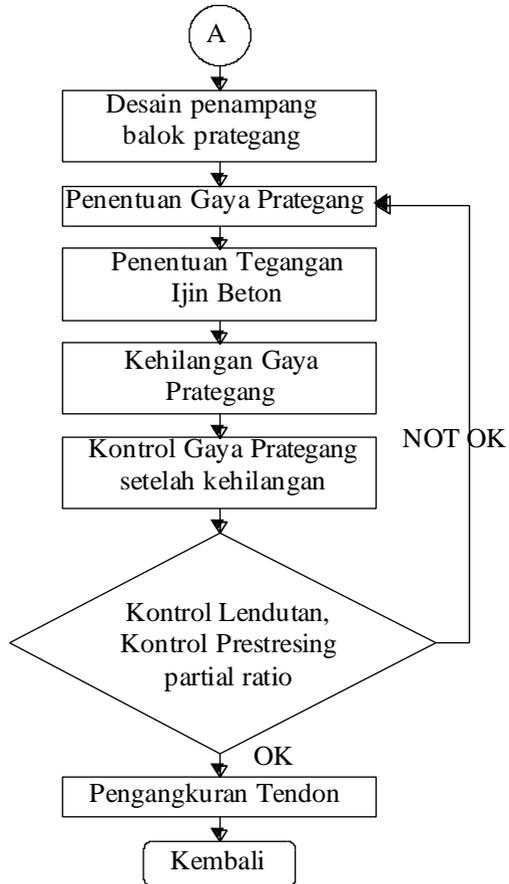
3.1 Umum

Sebelum mengerjakan tugas akhir maka perlu diuraikan urutan metode pengerjaan tugas akhir ini.

3.2 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Alur Perencanaan Tugas Akhir



Gambar 3. 2 Alur perencanaan balok Pratekan

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dengan cara mempelajari perencanaan bangunan beton Pratekan dan struktur lainnya, beberapa literatur yang dipelajari yaitu :

1. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2013)
3. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983)
4. Desain Struktur Beton Pratekan edisi ketiga (T.Y.Lin, 1996)
5. Desain Beton Bertulang Edisi ke empat (Chukia Wang dkk., 1994)
6. Dan beberapa referensi lainnya

3.5 Sistem Struktur

Pada perencanaan tugas akhir ini sistem struktur harus memperhatikan faktor daya tahan terhadap gempa sesuai SNI 1726 2012. Pembagian sistem struktur berdasarkan sifat tanah pada situs dibagi sebagai berikut :

1. Situs SA dan SB (Resiko gempa rendah). Desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan dinding struktur dengan beton biasa.
2. Situs SC dan SD (Resiko gempa sedang). Desain menggunakan Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan Sistem dinding struktur biasa (SDSB) dengan beton tanpa detailing khusus.
3. Situs SE dan SF (Resiko gempa tinggi). Desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul momen khusus (SRPMK) dan Sistem dinding struktur khusus (SDSK) dengan beton khusus.

Pada data tanah yang diperoleh untuk merencanakan tugas akhir ini didapatkan sifat tanah kelas situs SE terletak pada zona

gempa kuat dan dalam perencanaannya menggunakan Sistem ganda dimana sistem strukturnya adalah sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem dinding struktur khusus.

3.6 Preliminary Desain

3.6.1 Struktur Sekunder

Perencanaan Struktur Sekunder Meliputi :

1. Perencanaan Pelat
Penentuan dimensi Pelat Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 9.5.3.3
2. Perencanaan Balok Anak
Pada perencanaan dimensi balok anak berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 9.5.2.1 atau tabel 9.5(a)
3. Perencanaan Tangga
Pada perencanaan tangga, desain awal adalah mencari lebar dan tinggi injakan.
4. Perencanaan Balok lift
Pada perencanaan balok lift diawali dengan penentuan kapasitas *lift* yang akan digunakan. Balok *lift* dihitung berdasarkan fungsi sebagai balok pengangkat dan balok perletakan.

3.6.2 Struktur Utama Non Pratekan

1. Perencanaan Balok Induk
Perencanaan dimensi balok induk dimulai dari penentuan tinggi balok berdasarkan SNI 2847 2013 tabel 9.5(a). Untuk lebar balok diatur di SNI 2847 2813 pasal 21.5.1.3 dimana dijelaskan bahwa lebar balok (*bw*) tidak boleh kurang dari $0,3h_{\min}$ dan 250 mm.
2. Perencanaan Kolom
Perencanaan dimensi kolom dengan cara pendekatan *Strom Column Weak Beam* didapatkan rumus :

$$A = \frac{P}{\phi f c'} \quad (3.1)$$

3. Perencanaan Dinding Geser

Pada SNI 2847 2013 mengenai dinding sebagai beton polos struktur pada pasal 22.6.6.2 menyebutkan bahwa tebal dinding selain dinding basement luar dan dinding pondasi, tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari $1/24$ tinggi atau panjang tak tertumpu, yang mana lebih pendek atau tidak boleh kurang dari 140 mm.

Tebal rencana dinding $\geq \frac{H}{24}$, H : Tinggi total dinding.

Tebal rencana dinding $\geq \frac{L}{24}$, L : Panjang bentang dinding.

Tebal rencana dinding ≥ 140 mm

3.6.3 Struktur Utama Pratekan

Untuk tinggi balok Pratekan direncanakan sebesar $h_{min} = L/20$, Sedangkan lebar balok Pratekan direncanakan sebesar $b_{min} = 3.h_{min}/4$.

3.7 Perencanaan Struktur Sekunder

3.7.1 Perencanaan Pelat

Setelah tebal diketahui, maka dilakukan pembebanan yang nantinya juga dilakukan penulangan sesuai jenis pelat masing-masing.

3.7.2 Perencanaan Tangga

Untuk penulangan tangga dan bordes, dilakukan sama seperti merencanakan penulangan pelat.

3.7.3 Perencanaan Balok lift

Pada penulangan balok lift dilakukan penulangan lentur dan penulangan geser, dimana beban pada balok tersebut sesuai spesifikasi produsen lift.

3.7.4 Perencanaan Balok Anak

Penulangan balok anak dimulai dari penulangan lentur dan penulangan geser.

3.8 Pembebanan

Pada perencanaan ini pembebanan menggunakan PPIUG 1983 untuk beban mati dan hidup, SNI 1726 2012 untuk beban gempa, dan SNI 2847 2013 untuk kombinasi beban.

1. Beban mati

Terdiri dari berat struktur sendiri, dinding, pelat, serta berat finishing arsitektur (PPIUG 1983 Tabel 2.1).

2. Beban hidup

Untuk Hotel dan apartemen adalah 250 kg/m^2 , 400 kg/m^2 untuk *multifunction hall* dan 100 kg/m^2 untuk beban pekerja (lantai atap)

3. Beban gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726 2012, dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi dari tingkat Dasar dihitung sesuai SNI 1726 2012 pasal 7.8. V ini harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung ke masing-masing lantai (F) sesuai SNI 1726 2012 pasal 7.8.3.

Menurut SNI 2847:2013, beban gempa yang dialami oleh struktur sebagian dipikul oleh komponen baja pratekan hanya diperbolehkan maksimal 25% dari beban gempa yang terjadi.

4. Beban Kombinasi

a. Kombinasi Beban Ultimate

Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada komponen struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 9.2

Persamaan 1 $U = 1,4D$

Persamaan 2 $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$

Persamaan 3 $U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$

Persamaan 4 $U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$

Persamaan 5 $U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$

Persamaan 6 $U = 0,9D + 1,0W$

Persamaan 7 $U = 0,9D + 1,0E$

b. Kombinasi Beban Layan

Kombinasi beban ini ditujukan untuk kombinasi beban ijin pada pondasi

Persamaan 8 $L = 1,0D + 1,0L$

Dimana :

L_r = beban hidup atap ; D = beban mati

L = beban hidup ; E = beban gempa

R = beban hujan ; W = beban angin

3.9 Analisis Gempa

Berikut beberapa tinjauan mengenai perhitungan gempa yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kriteria design yang paling cocok untuk perhitungan struktur yang tahan gempa. Menurut SNI 1726 2013, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

3.9.1 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan SNI 1726 2012 tabel 1 dan 2. Kategori resiko untuk gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II dengan factor keutamaan gempa (*I*) 1,0.

3.9.2 Kelas Situs

Kelas situs didapatkan dari data perencanaan tugas akhir ini. Untuk data kalini didapatkan nilai N (Test SPT) sampai kedalaman 40 meter lebih kecil dari 15. Berdasarkan SNI 1726 tabel 3 dari data tersebut termasuk kelas situs tanah lunak (SE).

3.9.3 Parameter Respon Spektral

Pada daerah Lombok barat mempunyai parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek 0.2 detik (*S_s*) sebesar 0,952g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (*S₁*) sebesar 0,385g.

3.9.4 Percepatan Spektral

Perhitungan percepatan spektral desain sesuai SNI 1726-2012 pasal 6.3

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (3.4)$$

$$S_{DI} = 2/3 S_{MI} \quad (3.5)$$

3.9.10 Perhitungan Spectrum Respons

Pada perhitungan ini harus sesuai dengan SNI 1726 2012 pasal 6.4

Periode waktu getar alami fundamental (T)

Sesuai SNI 1726 2012 pasal 7.8.2

$$T = T_a \times C_u \quad (3.6)$$

Dimana :

T_a = Periode fundamental pendekatan

$$C_u = \frac{0,0062hn}{\sqrt{C_w}} \quad (3.7)$$

3.9.11 Koefisien respon seismik (Cs)

Ditentukan sesuai dengan SNI 17262012 pasal 7.8.1.1

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (3.8)$$

Nilai C_s yang dihitung diatas tidak boleh melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (3.9)$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 SDS \cdot I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di S1 sama dengan atau lebih

besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5 S1}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (3.10)$$

3.9.12 Gaya Geser Dasar (Base Shear)

$$V = C_s \times W_t \quad (3.11)$$

3.9.13 SiMPang antar lantai (Drift)

Ditentukan Sesuai SNI 1726 2012 pasal 7.8.6 dengan persamaan berikut :

$$\delta x = \frac{Cd \cdot \delta x e}{I} \quad (3.12)$$

Dimana :

δx = defleksi pada lantai ke $-x$

Cd = faktor pembesaran defleksi tabel 2.8 SNI 1726 2012

I = faktor keutamaan gedung

Untuk struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, drift dibatasi sebesar :

$$\Delta = 0,02hsx.$$

3.9.14 Perhitungan kuat geser.

Perhitungan kuat geser dilakukan untuk mengecek kebutuhan dinding geser pada bangunan.

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad (3.13)$$

Dimana :

τ = tegangan geser yang terjadi pada kolom

V = gaya geser yang pekerja pada kolom akibat beban

A = luas penampang kolom sesuai dengan hasil preliminary desain

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'c}}{6} \quad (3.14)$$

$$V_c \geq \tau$$

Dimana :

V_c = kuat geser yang disumbangkan beton

P_u = beban aksial berfaktor yang diterima struktur

A_g = luas kolom tanpa rongga

$f'c$ = mutu beton dalam MPa

3.10 Pemodelan Struktur

Pada pemodelan struktur menggunakan software SAP2000 version 14.2.2 untuk mendapatkan reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada struktur utama dan juga untuk mengetahui beberapa hal berikut :

1. Kontrol Sistem Ganda

Dimana beban gravitasi sepenuhnya dipikul space frame (Rangka), sedangkan beban lateralnya dipikul bersama oleh space frame (Rangka) dan shearwall (dinding geser). Untuk rangka minimal memikul beban lateral sebesar 25% dan sisanya dipikul dinding geser.

2. Kontrol partisipasi Massa

Sesuai SNI 1726 2012 pasal 7.9.1 jumlah ragam vibrasi/mode shape yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang – kurangnya 90 %.

3.11 Perhitungan Struktur Utama Non Pratekan

Setelah memperoleh analisa gaya dalam dari SAP2000 dilakukan kontrol desain. Kontrol desain yang dilakukan adalah pada beton bertulang biasa menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dilakukan penulangan sesuai SNI 2847 2013.

3.11.1 Balok induk

Beberapa penulangan yang perlu direncanakan pada balok induk.

1. Penulangan Lentur

Berikut beberapa langkah penulangan lentur.

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{(f'c - 28)}{7} \quad (3.15)$$

SNI 2847 2013, pasal (10.2.7.3)

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.16)$$

SNI 2847 2013, lampiran B (8.4.2)

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.17)$$

SNI 2847 2013, lampiran B (10.3.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \quad (3.18)$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3.19)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (3.20)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{f_y} \quad (3.21)$$

SNI 2847 2013, pasal (10.5.1)

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.22)$$

SNI 2847 2013, pasal (10.5.1)

Untuk rasio tulangan dipakai terbesar antara ρ_{min} dan ρ_{perlu}

$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$ (dipakai terbesar)

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \quad (3.23)$$

Setelah didapatkan tulangan lentur, perlu dicek angka ϕ sudah memenuhi apa tidak, dengan Syarat $M_n > M_u$

Berikut cara rumusan untuk mendapatkan momen nominal tulangan terpasang :

$$M_n = (A_s \cdot f_y = A_s' \cdot f_s') \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + (A_s' \cdot f_s') \cdot \left(d - d' \right) \quad (3.24)$$

2. Penulangan Geser

Berikut beberapa hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan tulangan geser.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} \quad (3.25)$$

SNI 2847 2013, pasal (21.5.4)

$$M_{pr1,2} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.26)$$

Kontrol kuat geser nominal

Syarat : $V_{\text{maks}} > V_s$

$$V_{\text{maks}} = \frac{2}{3} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.27)$$

Pemasangan begel.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d'}{s} \quad (3.28)$$

3. Penulangan Torsi

Persamaan tulangan torsi ultimit.

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f'rc}}{12} \cdot \left(\frac{Acp^2}{Pcp^2} \right) \quad (3.29)$$

SNI 2847 2013, Pasal (11.5.1)

4. Panjang penyaluran

Panjang penyaluran tulangan tarik

$$l_d = db \cdot \frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'rc}} \quad (3.30)$$

SNI 2847 2013, Pasal (12.2.2)

Panjang penyaluran tulangan tekan

$$l_{dc} = 0,043 \cdot d_b \cdot f_y \quad (3.31)$$

SNI 2847 2013, Pasal (12.3.2)

$l_{dc} > 200 \text{ mm}$

3.11.2 Persyaratan “Strong Column Weak Beam”

Sesuai dengan filosofi desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), disyaratkan dalam SNI 2847 2013 bahwa :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

SNI 2847 2013, pasal (21.6.2)

Dimana ΣM_{nc} adalah adalah momen kapasitas kolom dan ΣM_{nb} merupakan momen kapasitas balok.

3.11.3 Kolom

Beberapa hal yang perlu dihitung dalam perencanaan kolom.

1. Gaya tekan Aksial

$$P_u \geq A_g \cdot \frac{f'rc}{10} \quad (3.32)$$

SNI 2847 2013, Pasal (21.6.1)

dimana dimensi kolom terpendek lebih besar dari 300 mm dan rasio dimensi b/h lebih besar dari 0,4.

2. Penulangan memanjang

$$\phi P_{n\text{maks}} = 0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f'rc \cdot (A_g - A_{st})) + (f_y \cdot A_{st}) \quad (3.33)$$

$$\phi P_{n\text{maks}} \geq \phi P_n$$

3. Persyaratan terhadap gaya geser

$$V_e = \frac{2.Mpr}{h} \quad (3.34)$$

$$V_u = \frac{Mpr1+Mpr2}{ln} \quad (3.35)$$

4. Pengekangan kolom

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \frac{s.h.c.f'c}{fyt} \cdot \left(\frac{Ag}{Aoh} - 1 \right) \quad (3.36)$$

SNI 2847 2013, Pasal (21.6.4.4)

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \cdot \frac{\sqrt{f'c}}{6} \cdot bw \cdot d \quad (3.37)$$

$$V_s = \frac{As.fy.d}{s} \quad (3.38)$$

$$\emptyset(V_s+V_c) > V_u \quad (3.39)$$

5. Panjang lawatan pada sambungan tulangan kolom

$$l_d = \left(\frac{fy \cdot \psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \left(\frac{Cb+Ktr}{db} \right)} \right) \cdot db \quad (3.40)$$

3.11.4 Hubungan Balok Kolom

Tulangan transversal joint harus memenuhi SNI 2847 2013 pasal 21.6.4. Pada hubungan kuat kolom yang terkekang pada keeMPat sisinya berlaku kuat geser nominal.

$$\emptyset V_n = 0,75 \cdot 1,7 \cdot A_j \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.41)$$

3.11.5 Dinding Geser

Berikut beberapa hal yang diperhitungkan dalam perencanaan dinding geser adalah sebagai berikut :

1. Rasio tulangan badan terdistribusi, ρ_1 dan $\rho_t \geq 0,0025$.
2. Spasi tulangan untuk masing-masing arah tidak boleh melebihi 450 mm, $S \leq 450$ mm.
3. Digunakan dua lapis tulangan apabila nilai

$$V_u \geq 0,17 \cdot Acv \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.42)$$

SNI 2847 2013, Pasal (21.9.2.2)

4. Batas kuat dinding geser

$$V_n \leq 0,66 \cdot Acv \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.43)$$

SNI 2847 2013, Pasal (21.9.4.4)

5. Penulangan geser horizontal dan vertikal dinding geser berdasarkan V_n kekuatan geser dinding struktur tidak boleh melebihi :

$$V_n = A_{cv} \cdot \left[(\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}) + (\rho_t \cdot f_y) \right] \quad (3.44)$$

SNI 2847 2013, Pasal (21.9.4.1)

3.12 Perhitungan Struktur Utama Pratekan

Langkah-langkah dalam perhitungan struktur utama balok Pratekan adalah sebagai berikut.

3.12.1 Desain Penampang Balok Pratekan

Menentukan profil balok penampang Pratekan baik sebelum komposit maupun setelah komposit.

3.12.2 Pembebanan

Pembebanan dilakukan dua tahap yaitu :

1. Tahap Awal
Tahap dimana balok Pratekan belum diberi gaya Pratekan dan beban eksternal, tahap ini terdiri dari :
 - a. Sebelum diberi gaya Pratekan
 - b. Pada saat diberi gaya Pratekan
 - c. Pada saat peralihan gaya Pratekan
2. Tahap Akhir
Tahap akhir merupakan kondisi dimana beban mati tambahan dan beban hidup mulai bekerja pada struktur balok Pratekan. Beban terdiri dari beban sendiri balok, beban pelat dan beban hidup.

3.12.3 Tegangan Ijin Beton

Beton Pratekan diklasifikasikan sebagai kelas U. Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

1. Tegangan pada beton sesaat setelah penyaluran Pratekan (Sebelum kehilangan Pratekan).
 - a. Tegangan tekan

$$\sigma_{tk} = 0,60 f_{ci} \quad (3.45)$$

SNI 2847 2013, Pasal (18.4.1)
 - b. Tegangan tarik

$$\sigma_{tr} = 0,25\sqrt{f'ci} \quad (3.46)$$

SNI 2847 2013, Pasal (18.4.1)

2. Tegangan pada beton saat setelah terjadi kehilangan gara Pratekan (Saat beban bekerja).

- a. Tegangan tekan

$$\sigma_{tk} = 0,45 f'ci \quad (3.47)$$

SNI 2847 2013, Pasal (18.4.2)

- b. Tegangan tarik

$$\sigma_{tr} = 0,62\sqrt{f'ci} \quad (3.48)$$

SNI 2847 2013, Pasal (18.3.3)

Dimana :

$f'ci$ = kuat tekan beton pada saat pemberian Pratekan awal, MPa

3.12.4 Gaya Pratekan

Gaya Pratekan awal direncanakan dengan memperhatikan batasan-batasan tegangan ijin beton diatas, yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai pemilihan penampang. Setelah itu gaya Pratekan tersebut dikontrol terhadap tegangan ijin beton.

1. Kontrol gaya Pratekan akibat beban mati dan pelat

$$\sigma_{top} \leq \frac{Fo}{A} - \frac{Fo.e}{Wt} + \frac{Mtotal}{Wt} \quad (3.49)$$

$$\sigma_{bottom} \geq \frac{Fo}{A} - \frac{Fo.e}{Wb} + \frac{Mtotal}{Wb} \quad (3.50)$$

2. Kontrol gaya Pratekan setelah kehilangan Pratekan

$$\sigma_{top} \geq \frac{F}{A} - \frac{F.e}{Wt} + \frac{Mtotal}{Wt} \quad (3.51)$$

$$\sigma_{bottom} \leq \frac{F}{A} - \frac{F.e}{Wb} + \frac{Mtotal}{Wb} \quad (3.52)$$

3.12.5 Pemilihan Tendon Baja

Pada pemilihan tendon baja Pratekan dipengaruhi oleh gaya Pratekan yang ada. Stelah memilih tendon baja Pratekan selanjutnya adalah menentukan tata letak kabel. Tata letak kabel sangat ditentukan oleh jenis kabel yang dipilih, agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan sesuai peraturan.

Tipe baja Pratekan yang memiliki nilai f_{pu} .

$$f_{pmaks} = 0,74 \cdot f_{pu} \quad (3.53)$$

Luas tendon yang diperlukan :

$$A_{perlu} = \frac{F_o}{F_{pmaks}} \quad (3.54)$$

Kontrol tegangan tendon yang terpasang

$$\frac{F}{A_{perlu}} < 0,7 f_{pu} \quad (3.55)$$

3.12.6 Kehilangan Pratekan

Berkurangnya gaya Pratekan pada saat tertentu dikategorikan 2 macam :

1. Kehilangan segera (kehilangan langsung) :

a. Akibat pengangkuran

$$ANC = F_p A = \Delta f_{pA} \times A_{ps} \quad (3.56)$$

Dimana :

$F_p A$ = kehilangan gaya Pratekan akibat slip angkur

Δf_{pA} = besarnya gaya kehilangan Pratekan akibat angkur

A_{ps} = luas penampang beton

b. Akibat perpendekan elastis

$$ES = Kes \cdot Es \cdot \frac{f_{cir}}{Eci} \quad (3.57)$$

Dimana :

$Kes = 1,0$ untuk komponen struktur pratarik

$Kes = 0,5$ untuk struktur pasca tarik bila kabel-kabel secara berturut-turut ditarik dengan gaya yang sama

Es = Modulus elastisitas baja

f_{cir} = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat gaya awal Pratekan

c. Akibat gesekan

$$F_{pf} = F_i \times e^{-(\mu\alpha + KL)} \quad (3.58)$$

Dimana :

F_{pf} = gaya Pratekan yang terjadi akibat gesekan

K = koefisien Wooble (lihat Tabel 3.1)

L = panjang balok Pratekan

μ = koefisien kelengkungan

α = perubahan sudut akibat pengaruh kelengkungan

Tabel 3. 1 Nilai koefisien friksi tendon pasca tarik (Lin dan Burns, 2000)

Tipe Tendon		Koef. Wobble K per meter	Koef. Kelengkungan μ
Tendon pada selubung logam fleksibel	Tendon kawat	0,0033-0,0049	0,15-0,25
	Batang kekuatan tinggi	0,0003-0,002	0,08-0,30
	Strand 7 kawat	0,0016-0,0066	0,015-0,25
Tendon pada selubung logam kaku	Strand 7 kawat	0,0007	0,15-0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu	Tendon kawat dan strand 7 kawat	0,001-0,0066	0,05-0,15
Tendon yang diberi lapisan mastik	Tendon kawat dan strand 7 kawat	0,0033-0,0066	0,05-0,15

d. Akibat kekangan kolom

Setelah didapatkan gaya awal pratekan dari pemodelan awal struktur pratekan, maka dilakukan pemodelan kembali untuk mengetahui berkurangnya gaya aksial pada struktur beton pratekan akibat kekangan kolom

dengan cara mencari momen pada kedua struktur kolom.

$$\Delta P = \frac{MB-MA}{h} \quad (3.59)$$

2. Kehilangan tergantung waktu atau tidak langsung :

a. Akibat rangkai

$$CR = Kcr \cdot \frac{Es}{Ec} \cdot (fcir - fcds) \quad (3.60)$$

Dimana :

Kcr = Koefisien Rangkai = 2,0 Untuk Pratarik

= 1,6 Untuk pasca Tarik

Ec = Modulus Elastisitas Beton saat umur beton 28

Hari

Es = Modulus Elastisitas Baja Pratekan

f_{cir} = Tegangan beton pada level pusat baja segera setelah transfer

f_{cds} = Tegangan beton akibat beban mati ekstra setelah diberi Pratekan

b. Akibat susut

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times Ksh \times Es \times \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH) \quad (3.61)$$

Dimana :

v/s = ratio volume beton Pratekan dibagi luas permukaan beton Pratekan

RH = kelembaban relatif udara sekitar

Es = modulus elastisitas baja

Ksh = koefisien jangka waktu perawatan (Lihat tabel 3.2)

**Tabel 3. 2 Koefisien Susut Beton Pasca Tarik
(Lin dan Burns, 2000)**

KSH	Waktu Akhir perawatan hingga pemberian gaya Pratekan
0,92	1
0,85	3
0,8	5
0,77	7
0,73	10
0,64	20
0,58	30
0,45	60

c. Akibat relaksasi baja

$$RE = C \times \{K_{re} - J (SH + CR + ES)\}$$

(3.62)

Dimana :

K_{re} = koefisien relaksasi (Lihat tabel 3.4)

J = faktor waktu (Lihat tabel 3.4)

C = faktor relaksasi (Lihat tabel 3.3)

SH = kehilangan tegangan akibat susut

CR = kehilangan tegangan akibat rangkai

ES = kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

Tabel 3. 3 Nilai C (Lin dan Burns, 2000)

f_{pi}/f_{pu}	Stress relieved strand or wire (C)	Stress-relieved bar or low relaxation strand or wire
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

Tabel 3. 4 Nilai K_{re} dan J (Lin dan Burns, 2000)

Type of tendon		K_{re} (MPa)	J
1	Strand/kawat stress-relieved 1860 MPa	138	0,15
2	Strand/kawat stress-relieved 1720 MPa	128	0,14
3	Kawat stress-relieved 1655 & 1620 MPa	121	0,13
4	Strand relaksasi rendah 1860 MPa	35	0,040
5	Kawat relaksasi rendah 1720 MPa	32	0,037
6	Kawat relaksasi rendah 1655 & 1620 MPa	30	0,035
7	Batabg stress-relieved 1000 & 1100 MPa	41	0,05

3.12.7 Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan

Kuat batas balok Pratekan yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memenuhi syarat berikut :

$$1,2 M_{cr} \leq \Phi M_u \leq M_n \quad (3.63)$$

- a. Perhitungan momen retak (M_{cr}) yang terjadi pada balok Pratekan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_{cr} = \left(\frac{F}{A} \cdot W_b \right) + F \cdot e - F_r \cdot w_b \quad (3.64)$$

Nilai f_r didapatkan dari persamaan berikut :

$$-\frac{F}{A} - \frac{F \cdot e \cdot c}{I} + \frac{M \cdot c}{I} = f_r \quad (3.65)$$

Dimana :

F = gaya Pratekan efektif setelah kehilangan

I = inersia balok

e = eksentrisitas dari garis netral beton Pratekan (c.g.c.) ke tendon baja (c.g.s.)

A = luas penampang balok

f_r = modulus keruntuhan

C = jarak garis netral ke garis terluar penampang

- b. Momen kapasitas penampang didapatkan dengan menghitung beberapa persamaan berikut

$$A_{ps} = b w \times d \times \rho_p \quad (3.66)$$

$$T = A_{ps} \times f_{ps} \quad (3.67)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - 0,55 \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c}\right) \quad (3.68)$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f'_c \cdot b w} \quad (3.69)$$

Setelah semua variabel didapatkan, maka momen kapasitas penampang dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$M_n = T \cdot (d - a/2) \quad (3.70)$$

Dimana :

M_n = momen nominal penampang

T = gaya tarik (tensile) = $A_{ps} \times f_{ps}$

A_{ps} = luas tulangan Pratekan dalam daerah tarik

f_{ps} = tegangan tulangan Pratekan di saat mencapai kuat nominalnya

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan Pratekan

a = tinggi blok tekan persegi ekuivalen

3.12.8 Kontrol Geser

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 2847 2013 pasal 11.3 dimana dapat digunakan dua perumusan, dimana perumusan yang digunakan ialah secara umum dan rinci. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

Syarat : $\phi V_c \geq V_u$

Vc diambil terkecil dari

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f'c}}{20} \cdot bw \cdot d + Vd + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{maks}} \right) \quad (3.71)$$

$$V_{cw} = 0,3 \left(\sqrt{f'c} + f_{pc} \right) \cdot bw \cdot d + V_p \quad (3.72)$$

3.12.9 Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan perlu dihitung karena merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, lendutan terdiri dari :

1. Lendutan akibat tekanan tendon

$$\Delta_{lpo} = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_o \cdot e \cdot l^2}{E_c \cdot I} \quad (3.73)$$

2. Lendutan akibat momen yang bekerja pada portal

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3.74)$$

Dimana :

F_o = gaya Pratekan awal

E_c = modulus elastisitas beton

I = momen inersia penampang

3.12.10 Pengangkuran

Pada balok Pratekan Pratekan pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya Pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum.

Metode perhitungan perencanaan daerah pengangkuran global sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 20.13.5. Metode perhitungan yang dapat digunakan untuk perencanaan daerah pengangkuran global yaitu :

$$T_{pencar} = 0,25 \cdot \Sigma Pu \cdot \left(1 - \frac{a}{h} \right) \quad (3.75)$$

$$d_{pencar} = 0,5 \cdot (h - 2e) \quad (3.76)$$

Dimana :

ΣPu = Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

- a = Tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau
- e = eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif)
- h = tinggi arah penampang pada arah yang ditinjau

3.13 Analisa Struktur Akibat Gaya Pratekan

Setelah gaya Pratekan didapatkan, langkah selanjutnya memasukkan gaya tersebut ke pemodelan struktur dan dianalisa perubahan yang terjadi pada struktur bangunan.

3.14 Perencanaan Pondasi

Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan pondasi diantaranya adalah jenis tanah, kondisi tanah dan struktur tanah. Hal tersebut sangat berkaitan dengan daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi di atasnya. Pada perencanaan pondasi gedung Star hotel dan Apartment Lombok Barat, menggunakan pondasi tiang pancang yang termasuk jenis pondasi dalam.

Beban struktur atas secara keseluruhan diteruskan ke struktur bawah (Pondasi). Pada perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kali ini menggunakan metode "LUCIANO DECORT". Langkah-langkah yang dikerjakan dalam perencanaan struktur tersebut adalah :

1. Menghitung beban total dari struktur atas
2. Mencari daya dukung tanah

$$Q_L = Q_p + Q_s \quad (3.77)$$

Dimana :

Q_L = daya dukung tanah maximum pada pondasi

Q_p = resistance ultimit di dasar pondasi

Q_s = resistance ultimit akibat lekatan lateral

Untuk mencari Q_p dan Q_s digunakan persamaan berikut :

$$Q_p = q_p \cdot A_p \cdot \alpha = (N_p \cdot K) \cdot A_p \cdot \alpha \quad (3.78)$$

$$Q_s = q_s \cdot A_s \cdot \beta = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \cdot \beta \quad (3.79)$$

Dimana :

N_p = harga rata-rata SPT sekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

B = diameter dasar pondasi.

K = koefisien karakteristik tanah
 = 12 t/m² (Lempung)
 = 20 t/m² (Lanau Berlempung)
 = 25 t/m² (Lanau Berpasir)
 = 40 t/m² (Pasir)

A_p = luas penampang dasar tiang

q_p = tegangan diujung tiang

N_s = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan $3 \leq N_s \leq 50$

A_s = luas selimut tiang

q_s = tegangan akibat lekatan lateral t/m²

α dan β = koefisien berdasarkan tipe pondasi dan jenis tanah

- Menentukan jenis pondasi yang akan digunakan (dalam Tugas Akhir ini digunakan pondasi grup tiang pancang).

Untuk perhitungan jarak tiang ditentukan dengan persyaratan:

- Untuk jarak as ke as tiang pancang $2d < S < 2,5d$
- Untuk jarak as tiang pancang ke tepi poer $1,5d < S < 2d$

- Menentukan efisiensi dari pondasi grup tiang pancang serta jumlah tiang pondasi dengan persamaan berikut :

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times \eta \quad (3.80)$$

Untuk efisiensi (η) bisa didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\eta = 1 - \frac{D}{\pi \cdot S \cdot m} \left[m \cdot (n - 1) + (m - 1) + \sqrt{2(m - 1)(n - 1)} \right] \quad (3.81)$$

Dimana :

m = Jumlah baris tiang dalam grup

n = Jumlah kolom tiang dalam grup

D = Diameter sebuah tiang pondasi

s = Jarak as ke as tiang dalam grup

5. Kontrol geser pons pada Pile cap

Kuat geser yang disumbangkan beton harus memenuhi syarat berikut:

Syarat: $\phi V_n \geq V_u$

V_u didapatkan dari hasil terkecil dari ke tiga persamaan berikut

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.82)$$

$$V_c = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.83)$$

Dimana :

β_c = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom.

α_s = 40 untuk kolom dalam

= 30 untuk kolom tepi

= 20 untuk kolom sudut

b_o = keliling penampang kritis

β = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

d = Tinggi manfaat pelat

6. Penulangan pile cap

Penulangan pilecap sama seperti pada penulangan pelat.

3.15 Gambar kerja

Semua hasil dari analisa perhitungan dituangkan dalam bentuk gambar teknik menggunakan software AutoCAD.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Desain

Preliminary desain merupakan tahapan untuk menentukan dimensi awal dari bagian-bagian struktur bangunan sesuai SNI 2847 2013.

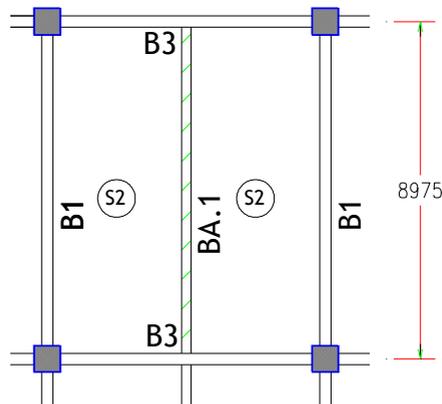
4.1.1 Data Perencanaan

Data pada perencanaan gedung ini adalah sebagai berikut:

Tipe Bangunan	: Hotel dan Apartemen
Tinggi Bangunan	: 34,5 m (11 lantai)
Luas bangunan	: 59,2 m x 14,8 m
Mutu Beton ($f'c$) kolom	: 35 MPa.
Mutu Beton ($f'c$) balok dan plat	: 30 MPa.
Mutu Baja (f_y) kolom dan balok	: 400 MPa.
Mutu Baja (f_y) plat	: 400 MPa

4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur. Sesuai dengan SNI 2847 2013 Tabel 9.5(a), desain dimensi balok (tinggi minimum balok) dengan bentang seperti pada gambar berikut:



Gambar 4. 1 Balok Induk 1 (B1) dan Balok anak 1 (BA.1)

a. Balok Induk 1

$$h_{\min} = 1/16 \times L = \frac{897,5}{16} = 56,09 \approx 60 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = 2/3 \times h_{\min} = \frac{2 \times 56,09}{3} = 37,39 \approx 40 \text{ cm}$$

Untuk Balok Induk yang lain disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Dimensi Balok Induk

Kode Balok Induk	L cm	h _{min} cm	b _{min} cm	hpakai cm	bpakai cm
B1	897,5	56,09	37,39	60	40
B2	582,5	36,41	24,27	60	40
B3	740	46,25	30,83	60	40
B4	497,5	31,09	20,72	60	40
B5	315	19,69	13,12	60	40
B6	980	61,25	40,83	65	45

b. Balok Anak 1

$$h_{\min} = 1/21 \times L = \frac{897,5}{21} = 42,74 \approx 50 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = 2/3 \times h_{\min} = \frac{2 \times 42,74}{3} = 28,49 \approx 30 \text{ cm}$$

Untuk Balok Anak yang lain disajikan pada tabel berikut :

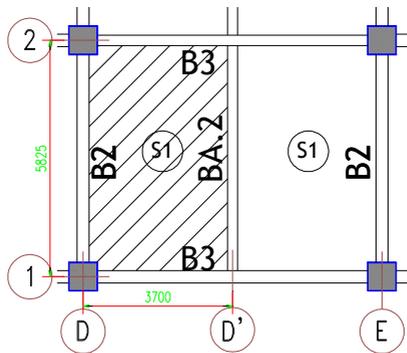
Tabel 4. 2 Dimensi Balok Anak

Kode Balok anak	L cm	h _{min} cm	b _{min} cm	hpakai cm	bpakai cm
BA 1	897,5	42,7	28,5	50	30
BA 2	582,5	27,7	18,5	50	30
BA 3	497,5	23,7	15,8	50	30

4.1.3 Perencanaan Tebal Pelat

Desain tebal pelat lantai 2-12 (atap).

Perhitungan tebal pelat tipe S1 dengan dimensi seperti gambar berikut :

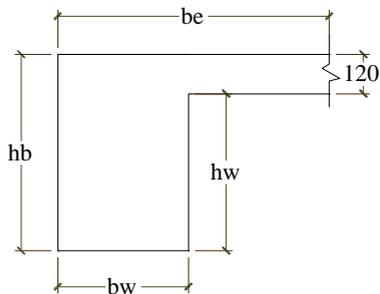


Gambar 4. 2 Tinjauan Pelat Tipe S1

$$\begin{aligned}
 L_x &= 370 \text{ cm} \\
 L_y &= 582,5 \text{ cm} \\
 L_n &= 582,5 - \left(\frac{40}{2} + \frac{40}{2}\right) = 542,5 \text{ cm} \\
 S_n &= 370 - \left(\frac{40}{2} + \frac{30}{2}\right) = 335 \text{ cm} \\
 \beta &= \frac{L_n}{S_n} = \frac{542,5}{335} = 1,61 < 2 \text{ (plat 2 arah)}
 \end{aligned}$$

Direncanakan dengan tebal pelat, $t = 12 \text{ cm}$, $f'_c = 30 \text{ MPa}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$.

- Balok As 1 Joint D-D'



Gambar 4. 3 Balok As D Joint 1-2

$$\begin{aligned}
 h_b &= 60 \text{ cm} \\
 h_f &= 12 \text{ cm} \\
 b_w &= 40 \text{ cm} \\
 h_w &= 48 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_e &= b_w + 2 h_w < b_w + 8 h_f \\ &= 136 \text{ cm} < 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil b_e terkecil 136 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w \cdot h^3}{12} = 1,64 \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 1182169,946 \text{ cm}^4$$

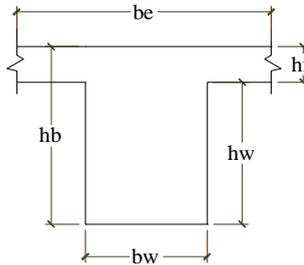
Momen Inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{L \cdot t^3}{12} = \frac{370 \cdot 12^3}{12} = 53280 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = I_b / I_p = 1182169,946 / 53280 = 22,18$$

○ Balok As D Joint 1-2



Gambar 4. 4 Balok As D joint 1-2

$$\begin{aligned} hb &= 60 \text{ cm} \\ hf &= 12 \text{ cm} \\ bw &= 40 \text{ cm} \\ hw &= 48 \text{ cm} \\ b_e &= b_w + 2 h_w < b_w + 8 h_f \\ &= 136 \text{ cm} < 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil b_e terkecil 136 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{bw \cdot h^3}{12} = 1,64 \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 1182169,946 \text{ cm}^4$$

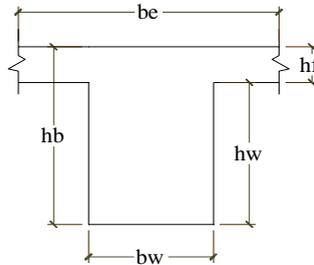
Momen Inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{L \cdot t^3}{12} = \frac{582,5 \cdot 12^3}{12} = 83880 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = I_b / I_p = 1182169,946 / 83880 = 14,09$$

o Balok As 2 Joint D-D'



Gambar 4. 5 Balok As 2 Joint D-D'

$$\begin{aligned} hb &= 60 \text{ cm} \\ hf &= 12 \text{ cm} \\ bw &= 40 \text{ cm} \\ hw &= 48 \text{ cm} \\ be &= bw + 2 hw < bw + 8 hf \\ &= 136 \text{ cm} < 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil be terkecil 136 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{bw \cdot h^3}{12} = 1,64 \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 1182169,946 \text{ cm}^4$$

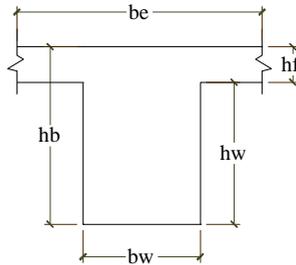
Momen Inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{L \cdot t^3}{12} = \frac{370 \cdot 12^3}{12} = 53280 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = I_b / I_p = 1182169,946 / 53280 = 22,18$$

- o Balok As D' Joint 1-2



Gambar 4. 6 Balok As D' Joint 1-2

$$hb = 50 \text{ cm}$$

$$hf = 12 \text{ cm}$$

$$bw = 30 \text{ cm}$$

$$hw = 38 \text{ cm}$$

$$be = bw + 2 hw < bw + 8 hf$$

$$= 106 \text{ cm} < 126 \text{ cm}$$

Diambil be terkecil 126 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,69$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{bw \cdot h^3}{12} = 1,69 \frac{30 \cdot 50^3}{12} = 528190,26 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{L \cdot t^3}{12} = \frac{582,5 \cdot 12^3}{12} = 83880 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = I_b / I_p = 528190,26 / 83880 = 6,29$$

Maka nilai α_{fm} adalah :

$$\begin{aligned} \alpha_{fm} &= \frac{1}{n} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) \\ &= \frac{1}{4} (22,18 + 14,09 + 22,18 + 6,29) \\ &= 16,19 > 2 \end{aligned}$$

Karena α_{fm} lebih besar dari 2, maka digunakan persamaan (9-13) pada SNI 2847 2013 pasal 9.5.3.3

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm} \\ &= \frac{5425\left(0,8 + \frac{400}{1400}\right)}{36 + 9 \cdot 1,61} > 90 \text{ mm} \\ &= 116,4 \text{ mm} > 90 \text{ mm (ok)} \end{aligned}$$

Maka digunakan tebal pelat sebesar 120 mm.

Untuk jenis pelat yang lain disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Tabel Tebal pelat

Tipe	Lantai	Dimensi (m)		Tebal mm	ket
		Lx	Ly		
S1	2-12	3,7	5,83	120	2 Arah
S2		3,7	8,98	120	1 Arah
S3		2,0	5,83	120	1 Arah

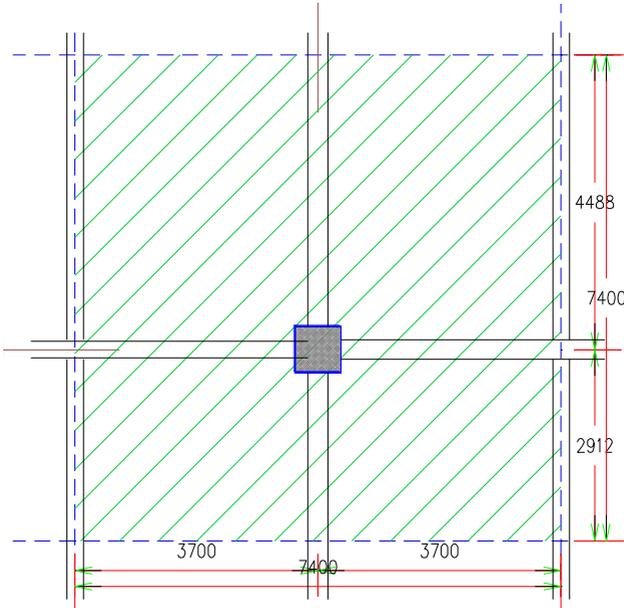
4.1.4 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847 pasal 8.10.1 bahwa kolom harus direncanakan menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentang lantai atau atapmbersebelahan yang ditinjau.

Pada perencanaan ini, kolom direncanakan sebanyak 3 tipe, dibedakan berdasarkan dimensinya karena tiap tipe kolom menerima beban yang relatif berbeda, dimana untuk tipe kolom paling bawah dimensinya semakin besar. Untuk beban hidup dan beban mati pada pembebanan kolom tersebut menggunakan PPIUG 1983.

4.1.4.1 Data perencanaan

Tinggi lantai 1(K1)	= 4,5 m
Tinggi lantai 2-6 (K2)	= 3 m
Tinggi lantai 7-11 (K3)	= 3 m
Bentang x	= 7,4 m
Bentang y	= 7,4 m
direncanakan dimensi kolom :	
K1	= 95 cm x 95 cm
K2	= 85 cm x 85 cm
K3	= 70 cm x 70 cm



Gambar 4. 7 Daerah yang dibebani kolom

4.1.4.2 Pembebanan

- Pembebanan untuk K1
Beban mati seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 4 Beban Mati K1

Jenis Beban	Arah X m	Arah Y m	t m	Bv Kg/m ³	Bl Kg/m ²	N	Berat Kg
Pelat 15 cm	7,4	7,4	0,12	2400		11	173479,68
BA.1	0,15	4,4875	0,50	2400		22	17770,5
BA.2	0,15	2,9125	0,5	2400		22	11533,5
B1	0,4	4,4875	0,6	2400		11	28432,8
B2	0,4	2,9125	0,6	2400		11	18453,6
B3	7,4	0,4	0,6	2400		11	46886,4
Kolom (k1)	0,95	0,95	4,50	2400		1	9747
(k2)	0,85	0,85	3,00	2400		5	26010
(k3)	0,7	0,7	3,00	2400		5	17640
Plafond	7,4	7,4			11	11	6625,96
Penggantung	7,4	7,4			7	11	4216,52
Keramik	7,4	7,4			24	11	14456,64
Spesi	7,4	7,4			21	11	12649,56
Sanitasi	7,4	7,4			21	11	12649,56
Plumbing	7,4	7,4			21	11	12649,56
Total Beban Mati DL							413201,28

Beban hidup pada perencanaan gedung ini berdasarkan PPIUG 1983 tabel 3.1 untuk hotel sebesar 250 kg/m².

Tabel 4. 5 Beban Hidup K1

Jenis Beban	Arah X m	Arah Y m	t m	Bv Kg/m ³	Bl Kg/m ²	N	Berat Kg
Beban hidup	7.4	7.4			250	11	150590
							150.59 Ton

4.1.4.3 Perencanaan dimensi kolom K1

Perencanaan dimensi kolom K1

Kombinasi Beban:

$$Q_u = 1,2 DL + 1,6 LL = 1,2 \times 413,2 + 1,6 \times 150,59$$

$$= 496,08 \text{ Ton} = 4866569.1 \text{ N}$$

Mutu Beton :

$$f'c = 35 \text{ MPa}$$

Dimensi kolom K1

$$A_{\min} = \frac{P}{\phi} \times f'c = \frac{4866569}{0,3} \times 35 = 463482 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{rencana}} = 950 \times 950 = 902500 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{rencana}} > A_{\min} \text{ (Ok)}$$

4.1.4.4 Perencanaan Dimensi Kolom lain

Untuk dimensi kolom yang lain dilakukan perhitungan dengan cara yang sama seperti kolom K1 dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 6 Dimensi Kolom

Kolom	Dimensi (cm)		
K1	95	x	95
K2	85	x	85
K3	70	x	70

4.1.5 Perencanaan Tebal Shearwall

Menurut SNI 2847-2013 pasal 16.5.3.(1), ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang lebih pendek, atau kurang dari 100 mm.

Syarat tebal perencanaan Shearwall

$$L1 = 500 \text{ cm}$$

$$L2 = 242,5 \text{ cm}$$

$$h \text{ lt } 1 = 4,5 \text{ m}$$

$$h \text{ lt } 2-11 = 3 \text{ m}$$

- Direncanakan tebal shearwall

$$SW1 = 20 \text{ cm}$$

$$SW2 = 35 \text{ cm}$$

- Syarat 1

$$L/25 = 500 \text{ cm}/25 = 20 \text{ cm} < \text{tebal SW} \quad (\text{Ok})$$

$$= 242,5 \text{ cm}/25 = 9,7 \text{ cm} < \text{tebal SW} \quad (\text{Ok})$$

- Syarat 2

- $h1/25 = 450 \text{ cm}/25 = 180\text{cm} < \text{tebal SW} \quad (\text{Ok})$
 $h2/25 = 300 \text{ cm}/25 = 120\text{cm} < \text{tebal SW} \quad (\text{Ok})$
 ○ Syarat 3
 $10 \text{ cm} < \text{tebal SW} \quad (\text{Ok})$

4.1.6 Perencanaan Dimensi Balok Prategang

Dimensi Balok Pratekan direncanakan sebagai berikut :

$$h = L/20 = 1480/20 = 74 \approx 80 \text{ cm}$$

$$b = (2/3)h = (2/3) \times 80 = 60 \text{ cm}$$

sehingga direncanakan dimensi balok pratekan adalah 60/80.

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekuatan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung. Bagian dari struktur sekunder meliputi pelat lantai, balok anak, balok lift, balok bordes serta tangga.

4.2.1 Perencanaan Pelat

Pada perencanaan gedung ini direncanakan empat jenis pelat lantai berdasarkan luasan pelat.

4.2.1.1 Data perencanaan

Data-data yang dibutuhkan dalam merencanakan pelat adalah sebagai berikut.

$$\text{Mutu Beton } (f'c) = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Baja } (fy) = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 12 \text{ cm}$$

4.2.1.2 Pembebanan

Beban yang bekerja pada pelat terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (qD) dan Beban hidup (qL). Beban hidup dan beban mati berdasarkan PPIUG 1983.

Tabel 4. 7 Beban Mati Pelat

Jenis beban	Tebal m	BV kg/m ³	BL kg/m ²	N	Berat kg/m ²
pelat	0.12	2400		1	288
spesi 2 cm			21	2	42
penggantung			7	1	7
plafond			11	1	11
plumbing			10	1	10
ducting			20	1	20
ME			8	1	8
				qD	386

Baban hidup (q_L) pelat berdasarkan PPIUG 1983 sebesar 250 kg/m². Kombinasi pembebanan yang digunakan.

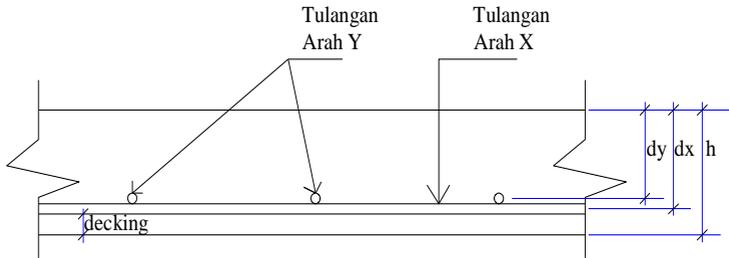
$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 DL + 1,6 LL \\
 &= (1,2 \times 386) + (1,6 \times 250) \\
 &= 863,2 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.1.3 Penulangan Pelat

Kebutuhan tulangan pelat ditentukan oleh besar dari momen yang terjadi pada pelat, baik didaerah lapangan maupun tumpuan. Nilai momen dihitung menurut SNI 2847 2013 pasal 8.3.3 dimana pada momen positif diasumsikan termasuk *bentang interior*. Sedangkan untuk momen negatif diasumsikan dimana tumpuan adalah *balok tepi*. Pada sub bab ini perhitungan penulangan dilakukan pada pelat tipe S1 yangn memiliki data-data sebagai berikut:

1. Data Pelat S1

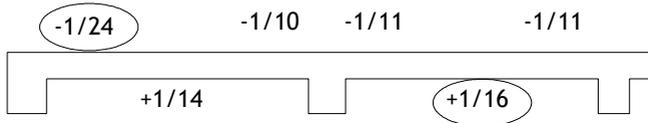
Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu tulangan (f_y)	= 400 MPa
Diameter tulangan (ϕ)	= 10 mm
Tebal pelat (h)	= 120 mm
decking	= 20 mm
dx	= $h - \text{decking} - \frac{1}{2}\phi = 120 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 10$ = 95 mm
dy	= $h - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2}\phi$ = $120 - 20 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 85$ mm



Gambar 4. 8 Detail pelat

Bentang L_x	= 3,70 m
Lebar balok arah X1	= 40 cm
Lebar balok arah X2	= 40 cm
Bentang Bersih L_{nx}	= 3,30 m
Bentang L_y	= 5,825 m
Lebar balok arah Y1	= 30 cm
Lebar balok arah Y2	= 40 cm
Bentang bersih L_{ny}	= 5,475 m
L_{ny}/L_{nx}	= 5,475/3,30 = 1,65 < 2 (2 Arah)
q_U	= 563,2 kg/m ²

2. Menghitung Momen



Gambar 4. 9 Momen Pelat

Dari gambar diatas bisa dihitung nilai momen lapangan dan tumpuan pelat S1 berdasarkan SNI 2847 2013 sebagai berikut

M_{lx}	= $q_U \cdot L_{nx}^2 / 16$	= 563,2 . 3,30 ² / 16 = 1175 kg.m
M_{ly}	= $q_U \cdot L_{ny}^2 / 16$	= 563,2 . 5,475 ² / 16 = 1617 kg.m
M_{tx}	= $q_U \cdot L_{nx}^2 / 24$	= 563,2 . 3,30 ² / 24 = 391,7 kg.m
M_{ty}	= $q_U \cdot L_{ny}^2 / 24$	= 563,2 . 5,475 ² / 24 = 1078 kg.m

3. Penulangan Arah X

Momen yang digunakan adalah 1175 kgm

$$\phi = 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{1175 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 1,446$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,446}{400}} \right) = 0,0037 \\
 \rho_{\text{min}} &= 0,002 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1(a))} \\
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0037 \\
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0037 \times 1000 \times 95 \\
 &= 353,92 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jarak} &= 1000 \div \left(\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \right) = 1000 \div \left(\frac{353,92}{78,5} \right) \\
 &= 221,8 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan :

$$S.tul \leq 2h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S.tul \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

Maka digunakan tulangan lentur $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

$$\text{Sehingga } A_s \text{ pakai} = \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 392,5 \text{ mm}^2$$

4. Kontrol Penggunaan ϕ

$$\alpha = \frac{A_s \text{ pakai} \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{392,5 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 6,15 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05 \times (f'c - 28)}{7} = 0,8357$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = 6,15 / 0,8357 = 7,36 \text{ mm}$$

Syarat berdasarkan SNI 2847 2013 gbr S9.3.2

$$c \leq 0,375 \times dt = 0,375 \times 95 = 35,62 \text{ mm}$$

$$7,36 \text{ mm} \leq 35,62 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

Maka direncanakan penulangan X $\emptyset 10 - 200$

5. Penulangan Arah Y

Momen yang digunakan adalah 1617 kgm

$$\phi = 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{1617 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = 2,48$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 2,48}{400}} \right) = 0,0066 \\ \rho_{\text{min}} &= 0,002 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1(a))} \\ \rho_{\text{pakai}} &= 0,0066 \\ A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0066 \times 1000 \times 85 \\ &= 557,13 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Jarak} &= 1000 \div \left(\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \right) = 1000 \div \left(\frac{557,1}{78,5} \right) \\ &= 140 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan :

$$\text{S.tul} \leq 2h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$\text{S.tul} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

Maka digunakan tulangan lentur $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$

$$\text{Sehingga } A_s \text{ pakai} = \frac{1000}{100} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 785 \text{ mm}^2$$

6. Penulangan Susut arah X dan Y

$$\rho = 0,002$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,002 \times 1000 \times 95 = 190 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan lentur $\emptyset 8 - 240 \text{ mm}$

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{1000}{240} \times 0,25 \times \pi \times 8^2 = 209,2 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu.. Oke}$$

Maka, digunakan tulangan $\emptyset 8 - 240$.

7. Pelat Tipe Lain

Dan untuk jenis pelat yang lain dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 8 Penulangan Pelat

No	Tipe pelat	tebal mm	Jenis pelat pelat	Arah	S tulangan mm
1	S1	120	2 Arah	X	$\emptyset 10 - 200$
				Y	$\emptyset 10 - 100$
2	S2	120	1 Arah	X	$\emptyset 10 - 200$
3	S3	120	1 Arah	X	$\emptyset 10 - 200$

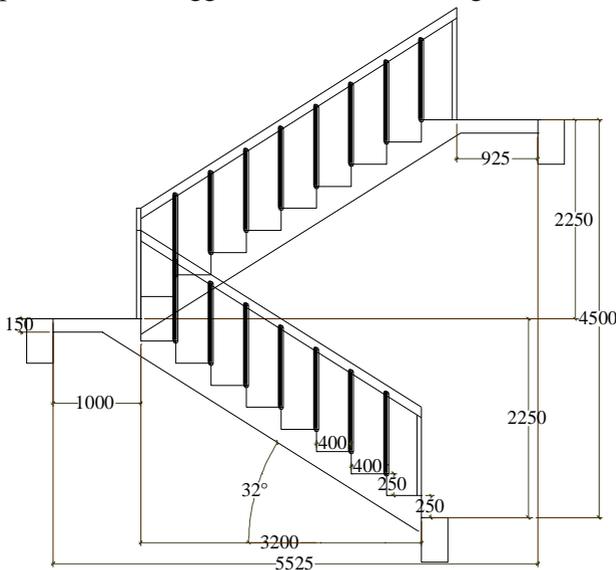
4.2.2 Perencanaan Tangga

Perancangan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif khususnya dalam perletakan. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi-sendi, sendi-jepit maupun sendi rol. Perancangan tangga pada gedung ini diasumsikan sebagai frame dua dimensi yang kemudian dianalisa gaya-gaya dalamnya dengan perancangan statis tertentu dengan asumsi perletakan sendi-rol (rol diletakkan pada ujung bordes).

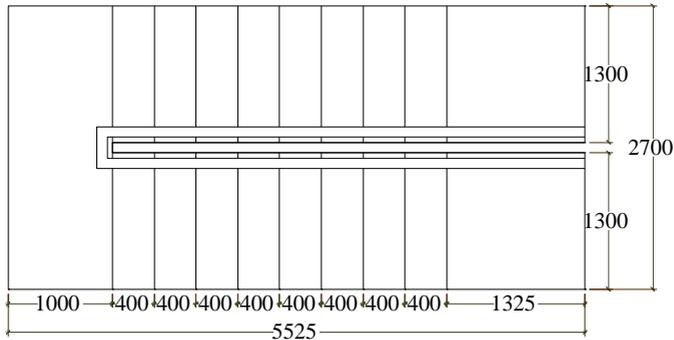
Pada perencanaan gedung ini terdapat 2 jenis tangga yang dimana dibedakan berdasarkan ketinggian tangga.

4.2.2.1 Data perencanaan

Pada sub bab ini akan dibahas perencanaan jenis tangga pada lantai 1, untuk lantai 2 sampai 11 nantinya akan disajikan dalam bentuk tabel. Data-data yang dibutuhkan dalam perencanaan tangga lantai 1 adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 10 TaMPak samping Tangga lantai 1



Gambar 4. 11 Denah tangga lantai 1

Detail perencanaan dapat dirinci sebagai berikut:

Mutu beton ($f'c$)	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Tebal pelat bordes	= 15 cm
Tinggi bordes	= 2,25 m
Lebar bordes	= 1 m
Lebar injakan (b_i)	= 40 cm
Tinggi injakan (i)	= 25 cm
Lebar tangga	= 1,3 m
Tebal pelat tangga	= 15 cm
Panjang horizontal	= 3,2 m
Sudut kemiringan (α)	= 32° (Berdasarkan Autocad)
Tebal pelat rata-rata	= $\frac{b_i}{2} \times \sin \alpha = \frac{40}{2} \times \sin 32^\circ$ = 11,029 cm
Tebal efektif	= tebal pelat + tebal rata-rata = 15 + 11,029 = 26,029 cm

4.2.2.2 Pembebanan

Beban mati pada tangga dan bordes berdasarkan PPIUG 1983, untuk beban hidup yang bekerja pada pelat tangga dan bordes berdasarkan PPIUG 1983 tabel 3.1 adalah sebesar 300 kg/m². Beban pada tangga disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Pembebanan pada pelat tangga

Jenis beban	Tebal m	BV kg/m ³	BL kg/m ²	sudut	N	Berat kg/m ²
pelat	0,26	$\frac{2400}{\cos \alpha}$		32	1	748,82
spesi 2 cm			21		2	42
keramik			24		2	48
					qD	838,82
					qL	300

Kombinasi beban:

$$\begin{aligned} \text{Qu1} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times 838,82 + 1,6 \times 300 \\ &= 1486,5 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk beban pada pelat bordes dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 10 Pembebanan pada bordes

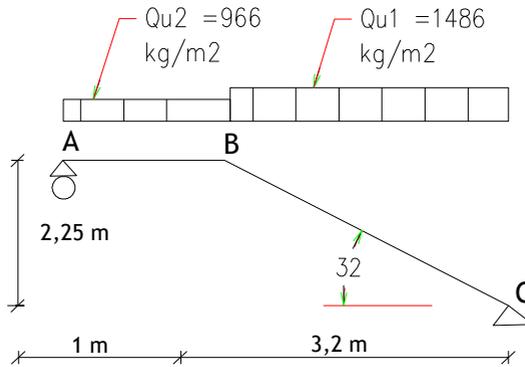
Jenis beban	Tebal m	BV kg/m ³	BL kg/m ²	sudut	N	Berat kg/m ²
pelat	0,15	2400			1	360
spesi 2 cm			21		1	21
keramik			24		1	24
					qD	405
					qL	300

Kombinasi beban:

$$\begin{aligned} \text{Qu2} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times 405 + 1,6 \times 300 \\ &= 966 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.2.3 Perhitungan Reaksi gaya dalam

Setelah merencanakan ukuran pelat dan didapatkan beban yang bekerja pada tangga maka dilakukan perhitungan terhadap gaya dalam yang timbul akibat beban yang bekerja. Permodelan pada tangga untuk menghitung gaya dalam dimodelkan sebagai perletakan sendi pada ujung pelat tangga dan rol pada ujung pelat bordes dengan pelat tangga sebagai bidang miring.



Gambar 4. 12 Pemodelan Tangga

Dengan asumsi perletakan sendi-rol pada Gambar diatas, perhitungan reaksi pada tangga dapat dilakukan dengan analisa statis tertentu sebagai berikut :

$$qU1 = 1486 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 1484 \text{ kg/m}$$

$$qU2 = 966 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 966 \text{ kg/m}$$

- $\Sigma M_A = 0$

$$Rc.LAC - qU2. \frac{1}{2}.LAB^2 - qU1.LBC.(\frac{1}{2}.LBC+LAB) = 0$$

$$Rc = \frac{qU2. \frac{1}{2}.LAB^2 + qU1.LBC.(\frac{1}{2}.LBC+LAB)}{LAC}$$

$$Rc = \frac{966. \frac{1}{2}.1^2 + 1484.3,2.(\frac{1}{2}.3,2+1)}{4,2} = 3060 \text{ kg}$$

- $\Sigma M_C = 0$

$$Ra.LAC - qU1. \frac{1}{2}.LBC^2 - qU2.LAB.(\frac{1}{2}.LAB+LBC) = 0$$

$$Ra = \frac{qU1. \frac{1}{2}.LBC^2 + qU2.LAB.(\frac{1}{2}.LAB+LBC)}{LAC}$$

$$Ra = \frac{1484. \frac{1}{2}.3,2^2 + 966.1.(\frac{1}{2}.1+3,2)}{4,2} = 2663 \text{ kg}$$

- Kontrol

$$\Sigma V = 0$$

$$Ra + Rc - qU1.LBC - qU2.LAB = 0$$

$$3060 + 2663 - 1486 \times 3,2 - 966 \times 1 = 0$$

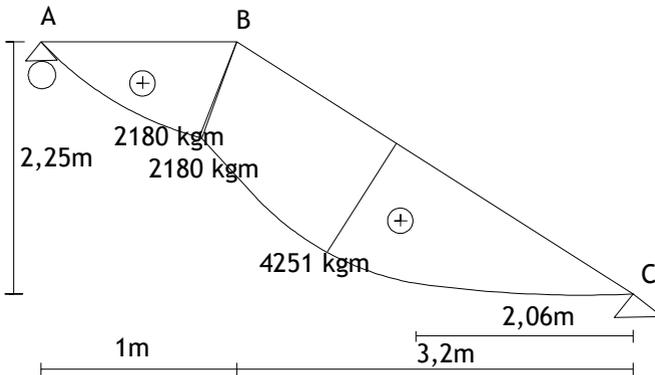
$$0 = 0 \dots \dots (\text{OK})$$

- Bidang M

$$Ma = 0$$

$$Mb \text{ kiri} = Ra.LAB - \frac{1}{2} . qU2. LAB^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 2663.1 - \frac{1}{2} \cdot 966 \cdot 1^2 = 2180 \text{ kg.m} \\
 M_{\text{maks}} \rightarrow D_x &= 0 \\
 R_c - qU1 \cdot X1 &= 0 \\
 X1 &= R_c/qU1 = 3060/1486 = 2,05 \text{ m} \\
 M_{\text{maks}} &= R_c \cdot X1 - \frac{1}{2} \cdot qU1 \cdot X1^2 \\
 &= 3060 \cdot 2,05 - \frac{1}{2} \cdot 1486 \cdot 2,05^2 = 4251 \text{ kg.m} \\
 M_b \text{ kanan} &= R_c \cdot LBC - \frac{1}{2} \cdot qU1 \cdot LBC^2 \\
 &= 3060 \cdot 3,2 - \frac{1}{2} \cdot 1486 \cdot 3,2^2 = 2180 \text{ kg.m} \\
 M_c &= 0
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 13 Bidang M pada tangga

4.2.2.4 Penulangan Tangga

Pada perhitungan penulangan untuk pelat tangga digunakan penulangan secara tipikal dengan mengambil gaya gaya yang terbesar yang terjadi antara tangga lantai 1 dan tangga lantai dasar. Sebelum menghitung tulanga lentur hendaknya lebih dahulu ditentukan batasan nilai ρ (rasio tulangan) yang akan digunakan dengan data-data perancangan yang ada. Berikut data perancangan tangga.

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu beton (f'c)} &= 30 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu baja (fy)} &= 400 \text{ MPa} \\
 D \text{ lentur} &= 13 \text{ mm} \\
 \emptyset \text{ Susut} &= 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{decking} &= 30 \text{ mm} \\
 \text{h pelat} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{d tangga} &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\
 &= 150 - 30 - \frac{1}{2} 13 = 113,5 \text{ mm} \\
 \text{Momen maks} &= 4251 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Penulangan lentur

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4251 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 113,5^2} = 3,66 \\
 m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 3,66}{400}} \right) = 0,0099 \\
 \rho_{\text{min}} &= 0,002 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1(a))} \\
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0099 \\
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0099 \times 1000 \times 113,5 \\
 &= 1128 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ tulangan}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,6 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jarak} &= 1000 : \left(\frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \right) = 1000 : \left(\frac{1078,5}{132,6} \right) \\
 &= 123,61 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan :

$$S.tul \leq 2h = 2 \times 150 = 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S.tul \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

Maka digunakan tulangan lentur D13 – 100 mm

$$\text{Sehingga } A_{s \text{ pakai}} = \frac{1000}{100} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 1326,7 \text{ mm}^2$$

Penulangan Susut

Penulangan susut tangga digunakan tulangan minimum berdasarkan SNI 2847 2013 rasio tulangannya sebesar 0,0020.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,002 \times 1000 \times 113,5 = 227 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = 1000 : \left(\frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \right) = 1000 : \left(\frac{227}{50,24} \right)$$

$$= 221 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan susut $\varnothing 8 - 200$ mm

4.2.2.5 Penulangan pelat bordes

Pada penulangan pelat bordes dilakukan dengan langkah-langkah yang sama seperti penulangan pelat tangga. Berikut data perencanaannya:

Mutu beton ($f'c$)	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
D lentur	= 13 mm
\varnothing Susut	= 8 mm
decking	= 30 mm
h pelat	= 150 mm
d tangga	= h – decking - $\frac{1}{2}$ D
	= 150 – 30 - $\frac{1}{2}$ 13 = 113,5 mm
Momen b	= 2180 kg.m

Penulangan lentur

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)} \\ R_n &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2180 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 113,5^2} = 1,88 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68 \\ \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,88}{400}} \right) = 0,0048 \\ \rho_{\text{min}} &= 0,002 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1(a))} \\ \rho_{\text{pakai}} &= 0,0048 \\ A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0048 \times 1000 \times 113,5 \\ &= 548,79 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ tulangan}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,6 \text{ mm}^2 \\ \text{Jarak} &= 1000 : \left(\frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \right) = 1000 : \left(\frac{548,79}{132,6} \right) \\ &= 241,7 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan :

$$S.tul \leq 2h = 2 \times 150 = 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S.tul \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

Maka digunakan tulangan lentur D13 – 200 mm

$$\text{Sehingga } A_{s \text{ pakai}} = \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 663,3 \text{ mm}^2$$

Penulangan Susut

Penulangan susut tangga digunakan tulangan minimum berdasarkan SNI 2847 2013 rasio tulangannya sebesar 0,0020.

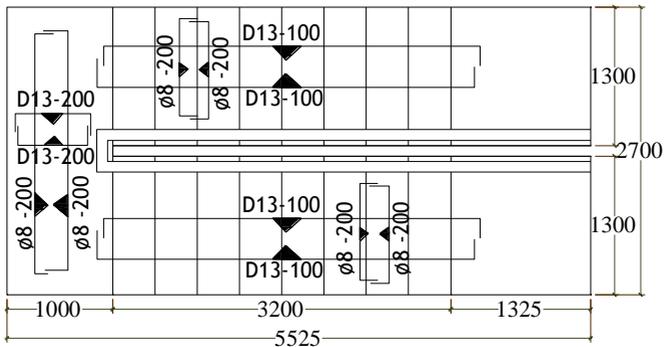
$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,002 \times 1000 \times 113,5 = 227 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= 1000 : \left(\frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \right) = 1000 : \left(\frac{227}{50,24} \right) \\ &= 221 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan susut $\phi 8 - 200$ mm

Berikut Gambar penulangan pada tangga:



Gambar 4. 14 Penulangan Tangga

Untuk jenis penulangan jenis tangga yang lain dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 11 Tabel penulangan pelat tangga

Tangga lt 1	Pelat tangga	Lentur	D 13 - 100
		susut	ϕ 8 - 200
	Pelat bordes	lentur	D 13 - 200
		susut	ϕ 8 - 200
tangga lt 2-11	Pelat tangga	Lentur	D 13 - 100
		susut	ϕ 8 - 200
	Pelat bordes	Lentur	D 13 - 100
		susut	ϕ 8 - 200

4.2.3 Perencanaan Balok Bordes

Pemilihan perancangan tangga sangat bergantung pada asumsi permodelan struktur yang digunakan pada saat perhitungan dan pelaksanaan yang dilakukan di lapangan. Apabila tangga direncanakan dengan tumpuan perletakan sederhana sendi rol maka diperlukan adanya balok bordes pada dinding guna memikul tumpuan pelat tangga dan bordes.

Pada perencanaan kali ini balok bordes direncanakan 1 tipe. Untuk data-data perencanaannya adalah sebagai berikut :

h bordes	= 30 cm
b bordes	= 20 cm
$f'c$	= 30 MPa
f_y	= 400 MPa
L	= 4,975 m
D utama	= 13 mm
Ø Sengkang	= 10 mm
Decking	= 40 mm
d bordes	= h – decking - ϕ - $\frac{1}{2}$ D = 300 – 40-10 - $\frac{1}{2}$.13
	= 253,5 mm

Pada pembebanan bordes selain berat mati sendiri dan berat dinding juga ditambahkan reaksi perletakan pada tangga :

Tabel 4. 12 Pembebanan bordes

Jenis beban	Dimensi (m)		BV	BL	N	Berat kg/m
	h	b	kg/m ³	kg/m ²		
Balok	0.3	0.2	2400		1	144
dinding	2.25			250	1	562.5
					qD	706.5

$$R_a = 2663/L = 2663/4,975 = 533,94 \text{ kg/m}$$

$$q_U = 1,2 DL + R_a = 1,2 \times 706,5 + 533,94 = 1381 \text{ kg/m}$$

Perhitungan momen positif lapangan berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 8.3.3 dimana balok bordes diasumsikan ujung tak menerus menyatu dengan tumpuan.

$$\begin{aligned} M_u &= (1/14) \times q_U \times L^2 = (1/14) \times 1381 \times 4,975^2 \\ &= 2442,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Penulangan lentur

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)} \\ R_n &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2442 \times 10^4}{0,9 \times 200 \times 253^2} = 2,11 \\ m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68 \\ \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 2,11}{400}} \right) = 0,0055 \\ \rho_{\text{min}} &= 1,4/fy = 1,4/400 = 0,0035 \\ \rho_{\text{pakai}} &= 0,0055 \\ A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0055 \times 200 \times 253 \\ &= 279,78 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,6 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 279,78/132,6 \\ &= 2,11 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan : $S > 25 \text{ mm}$ (SNI 2847 2013 pasal 7.6.1)

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2xD - 2x\phi}{n - 1} \\ &= \frac{200 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 2 \times 8}{3 - 1} \\ &= 37 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 3D13 ($A_{s \text{ pasang}} = 398 \text{ mm}^2$).

Untuk A_s' lentur tekan dipakai $\frac{1}{2}$ A_s tarik.

$$\begin{aligned} A_s' &= 398/2 = 199 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 199/132,6 \\ &= 1,5 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 2D13 ($A_{s \text{ pasang}} = 265,33 \text{ mm}^2$).

Penulangan Geser

- $V_u = \frac{1}{2} \times qU \times L = \frac{1}{2} \times 1381 \text{ kg/m} \times 4,975 \text{ m}$
 $= 3437,1 \text{ kg}$
- Sumbangan kekuatan geser beton :
 $V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 200 \times 253,5$
 $= 47208 \text{ N}$
 $\phi = 0,75$ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.3)
 $\phi V_c = 0,75 \times 47208 \text{ N} = 35406 \text{ N}$

- Cek kondisi penampang geser :
 $V_u \leq \phi V_c$
 $34370\text{N} < 35406\text{N} \dots (\text{Tulangan Geser minimum})$
- Digunakan spasi tulangan geser praktis
 $d/2 = 253,5/2$ (SNI 2847 pasal 11.4.5.1)
 $= 126,75 \approx 120 \text{ mm}$
 Dipakai 2 $\emptyset 10 - 120 \text{ mm}$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$)
 Cek gaya geser perlawanan sengkang
 $V_s = A_v \times f_y \times d/s = 157 \times 400 \times 253,5/120$
 $= 132665 \text{ N}$
 Syarat :
 $\phi(V_s + V_c) > V_u$
 $134904,9 \text{ N} > 34370 \text{ N} \dots \dots \dots (\text{Ok})$

4.2.4 Perencanaan Balok Anak

Balok anak merupakan struktur sekunder yang berfungsi sebagai pembagi/pendistribusi beban. Pada perencanaan gedung ini balok anak terbagi tiga jenis berdasarkan beda bentangnya. Pada subbab ini akan dijelaskan perencanaan BA 1.

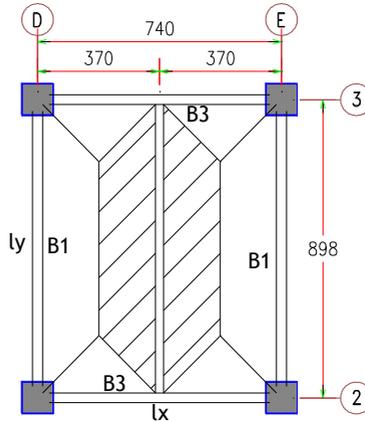
Data perencanaan balok anak :

- h bordes = 50 cm
- b bordes = 30 cm
- $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- $f_y = 400 \text{ MPa}$
- L = 8,575 m
- D utama = 16 mm
- \emptyset Sengkang = 10 mm
- Decking = 40 mm (SNI 2847 2013, Pasal 7.7.1(c))
- d bordes = $h - \text{decking} - \emptyset - \frac{1}{2} D = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 16$
 $= 452 \text{ mm}$

Pada pembebanan balok anak beban didistribusikan berupa beban segitiga pada lajur pendek serta berupa beban trapesium pada lajur yang panjang dan kemudian beban tersebut diekivalensikan menjadi beban merata.

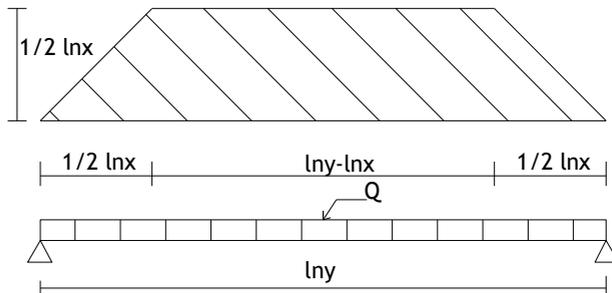
- Lx pelat = 3,7 m
- b. Balok X1 = 40 cm

b.Balok X2 = 30 cm
 $L_{nx} = 3,7 - \frac{1}{2} \times (0,4 + 0,3) = 3,35$ m
 L_y Pelat = 8,975 m
 b.Balok Y1 = 40 cm
 b.Balok Y2 = 40 cm
 $L_{ny} = 8,975 - \frac{1}{2} \times (0,4 + 0,4) = 8,575$ m



Gambar 4. 15 Tributari pembebanan pelat pada balok anak

Perumusan beban ekuivalen trapesium adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 16 Beban ekuivalen trapesium

$$q_{D_{\text{pelat}}} = 386 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{L_{\text{pelat}}} = 250 \text{ kg/m}^2$$

Beban mati ekuivalen pada pelat yang ditinjau :

$$\begin{aligned}
 qD &= (b.h.2400) + \left\{ (2x\frac{1}{2}qD)x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{lnx}{lny} \right)^2 x \frac{lny}{2} \right) \right\} \\
 &= (0,3.0,5.2400) + \left\{ (2x\frac{1}{2}386)x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,35}{8,575} \right)^2 x \frac{8,575}{2} \right) \right\} \\
 &= 963,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban mati ekuivalen pada pelat yang ditinjau :

$$\begin{aligned}
 qL &= \left\{ (2x\frac{1}{2}qL)x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{lnx}{lny} \right)^2 x \frac{lny}{2} \right) \right\} \\
 &= \left\{ (2x\frac{1}{2}250)x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,35}{8,575} \right)^2 x \frac{8,575}{2} \right) \right\} \\
 &= 390,94 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Ultimit ekuivalen (qU)

$$\begin{aligned}
 qU &= (1,2.qD) + (1,6.qL) = 1,2 \times 963,6 + 1,6 \times 390,94 \\
 &= 1781,8 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Penulangan lentur tumpuan

Perhitungan momen berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 8.3.3 dimana balok anak diasumsikan momen negatif pada muka eksterior tumpuan interior pertama dua bentang.

$$\begin{aligned}
 Mu &= (1/9) \times qU \times L^2 = (1/9) \times 1781,8 \times 8,575^2 \\
 &= 14558 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi.b.d^2} = \frac{14558 \times 10^4}{0,9 \times 300 \times 452^2} = 2,63$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6 \times 2,63}{400}} \right) = 0,0069
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4/fy = 1,4/400 = 0,0035$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0069$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0069 \times 300 \times 452 \\
 &= 946,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 946,4 / 200,96 \\
 &= 4,71 \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan : $S > 25 \text{ mm}$ (SNI 2847 2013 pasal 7.6.1)

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{b-2x\text{decking}-2xD-2x\phi}{n-1} = \frac{300-2x40-2x16-2x10}{5-1} \\ &= 42 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 5D16 ($A_{s\text{pasang}} = 1004,8 \text{ mm}^2$).

Untuk A_s ' lentur tekan dipakai $\frac{1}{2} A_s$ lentur tarik:

$$\begin{aligned} A_s' &= 1004,8/2 = 502,4 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 502,4/200,96 \\ &= 2,5 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 3D16 ($A_{s\text{pasang}} = 602,88 \text{ mm}^2$).

Kontrol penggunaan faktor reduksi :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s' \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{1004,8 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 52,53 \text{ mm} \\ \beta &= 0,85 - 0,05 \times \frac{f'c-28}{7} = 0,85 - 0,05 \times \frac{30-28}{7} = 0,83 \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{52,53}{0,835} = 62,8 \text{ mm}$$

syarat berdasarkan SNI 2847 2013 gambar S9.3.2

$$c \leq 0,375 d = 0,375 \times 452 = 169,5 \text{ mm}$$

$$62,8 \text{ mm} \leq 169,5 \text{ mm (Ok)}$$

Kontrol kekuatan lentur nominal rencana :

$$\begin{aligned} M_{n \text{ rencana}} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) = 1004,8 \cdot 400 \cdot \left(452 - \frac{52,53}{2} \right) \\ &= 17111 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_{n \text{ rencana}} = 0,9 \times 17111 = 15399,9 \text{ kg.m}$$

syarat :

$$\phi M_{n \text{ rencana}} > M_u$$

$$15399,9 \text{ kgm} > 14558 \text{ kgm (Ok)}$$

Penulangan lentur lapangan

Perhitungan momen berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 8.3.3 dimana balok anak diasumsikan momen positif bentang interior.

$$\begin{aligned} M_u &= (1/16) \times qU \times L^2 = (1/16) \times 1781,8 \times 8,575^2 \\ &= 8188,7 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{8188,7 \times 10^4}{0,9 \times 300 \times 452^2} = 1,48$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6 \times 1,48}{400}} \right) = 0,0038 \\
 \rho_{\text{min}} &= 1,4/f_y = 1,4/400 = 0,0035 \\
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0038 \\
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0038 \times 300 \times 452 \\
 &= 518,8 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2 \\
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 518,8/200,96 \\
 &= 2,58 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan : $S > 25 \text{ mm}$ (SNI 2847 2013 pasal 7.6.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak} &= \frac{b - 2x\text{decking} - 2xD - 2x\phi}{n-1} = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 16 - 2 \times 10}{3-1} \\
 &= 84 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 3D16 ($A_{s\text{pasang}} = 602,8 \text{ mm}^2$).

Untuk A_s' lentur tekan dipakai $\frac{1}{2} A_s$ lentur tarik:

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 602,8/2 = 301,4 \text{ mm}^2 \\
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 301,4/200,96 \\
 &= 1,5 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 2D16 ($A_{s\text{pasang}} = 401,9 \text{ mm}^2$).

Kontrol penggunaan faktor reduksi :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s' \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{401,9 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 31,5 \text{ mm} \\
 \beta &= 0,85 - 0,05 \times \frac{f'c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \times \frac{30 - 28}{7} = 0,83
 \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{31,5}{0,835} = 37,72 \text{ mm}$$

syarat berdasarkan SNI 2847 2013 gambar S9.3.2

$$c \leq 0,375 d = 0,375 \times 452 = 169,5 \text{ mm}$$

37 mm \leq 169,5 mm (Ok)

Kontrol kekuatan lentur nominal rencana :

$$Mn_{rencana} = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) = 401,9 \cdot 400 \cdot \left(452 - \frac{31,5}{2}\right) \\ = 10520 \text{ kg.m}$$

$$\phi Mn_{rencana} = 0,9 \times 10520 = 9468 \text{ kg.m}$$

syarat :

$$\phi Mn_{rencana} > Mu$$

$$9468 \text{ kgm} > 8188,7 \text{ kgm (Ok)}$$

Penulangan Geser

$$\circ Vu = \frac{1}{2} \times qU \times L = \frac{1}{2} \times 1781,8 \text{ kg/m} \times 8,575 \text{ m} \\ = 7639,6 \text{ kg}$$

○ Sumbangan kekuatan geser beton :

$$Vc = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 452 \\ = 126261 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.3})$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 126261 \text{ N} = 94696 \text{ N}$$

○ Cek kondisi penampang geser :

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$76395 \text{ N} < 94696 \text{ N} \dots (\text{Tulangan Geser minimum})$$

Digunakan spasi tulangan geser praktis untuk daerah lapangan :

$$d/2 = 452/2 \quad (\text{SNI 2847 pasal 11.4.5.1}) \\ = 226 \approx 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } 2 \text{ } \emptyset 10 - 200 \text{ mm } (Av = 157 \text{ mm}^2)$$

Digunakan spasi tulangan geser maksimum untuk tumpuan :

$$d/4 = 452/4 \quad (\text{SNI 2847 pasal 11.4.5.1}) \\ = 113 \approx 100 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } 2 \text{ } \emptyset 10 - 100 \text{ mm } (Av = 157 \text{ mm}^2)$$

Cek gaya geser perlawanan sengkang

$$Vs = Av \times fy \times d/s = 157 \times 400 \times 452/100 \\ = 141928 \text{ N}$$

Syarat :

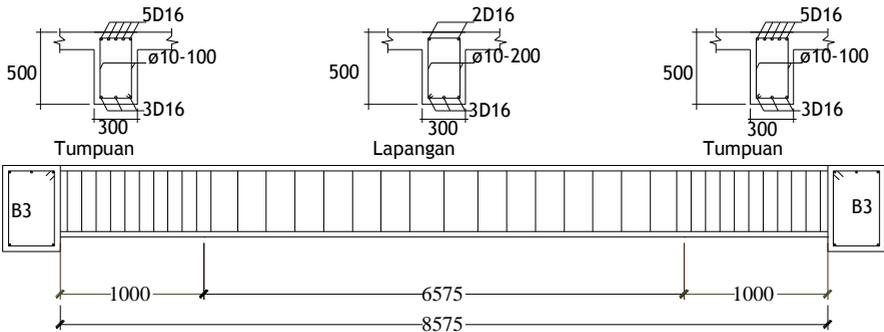
$$\phi(Vs + Vc) > Vu$$

$$201141,75 \text{ N} > 76396 \text{ N} \dots \dots \dots (\text{Ok})$$

Untuk balok anak yang lain dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 13 Momen Balok Anak

No	Jenis Balok	Dimensi Balok		Posisi	Dim. Tul.		Tul lentur		Tul Geser mm
		cm	cm		Lentur mm	Geser mm	Atas	Bawah	
1	BA.1	50	30	Tumpuan	D 16	Ø 10	5	3	100
		50	30	Lapangan	D 16	Ø 10	2	3	200
2	BA.2	50	30	Tumpuan	D 16	Ø 10	3	2	100
		50	30	Lapangan	D 16	Ø 10	2	3	200
3	BA.3	50	30	Tumpuan	D 16	Ø 10	3	2	100
		50	30	Lapangan	D 16	Ø 10	2	3	200

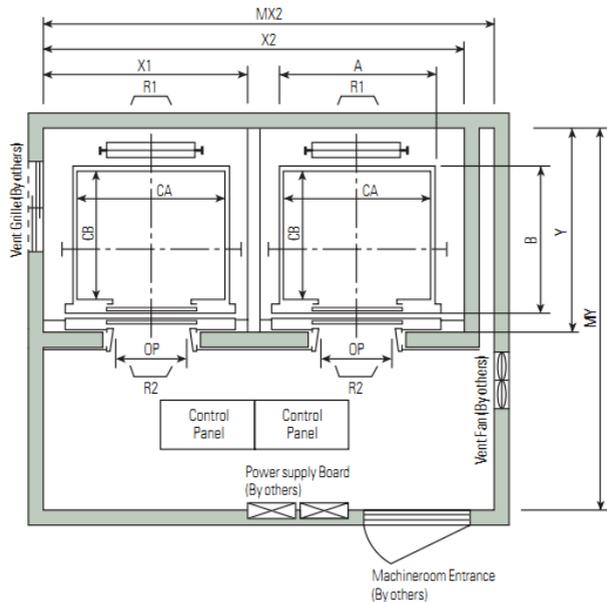


Gambar 4. 17 Penulangan Balok Anak BA.1

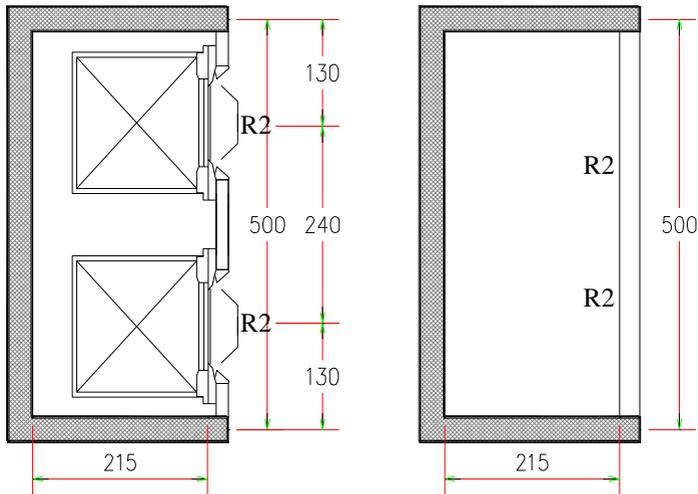
4.2.5 Perencanaan Balok lift

Pada perancangan lift ini meliputi balok – balok yang berkaitan dengan ruang mesin lift. Untuk lift pada bangunan ini menggunakan lift penuMPang yang diproduksi oleh Hyundai. Seperti diperlihatkan pada data-data berikut ini:

Merk	= Hyundai Elevator
Kecepatan	= 1,75 m/s
Kapasitas	= 15 orang (1000 kg)
Lebar pintu (OP)	= 900 mm
Dimensi sangkar (car size):	
Outside	= 1660 x 1655
Inside	= 1600 x 1500
Hoistway	= 2050 x 2150
Beban ruang mesin :	
R1	= 5450 kg
R2	= 4300 kg



Gambar 4. 18 Denah lift



Gambar 4. 19 Denah balok lift pada shearwall

Data desain balok lift :

- Bentang = 5 m
- h balok = $L/12 = 500/12$
= 41,66 cm \approx 50 cm
- b balok = $h/2 = 50/2 = 25$ cm
- mutu beton ($f'c$) = 30 MPa
- mutu baja (f_y) = 400 MPa
- D utama = 16 mm
- \emptyset sengkang = 10 mm
- decking = 40 mm
- d = 452 mm
- ϕ = 0,9 (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.2)

Pembebanan :

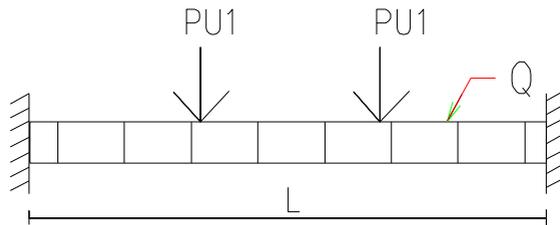
$$\text{Berat balok} = 0,25 \times 0,5 \times 2400 = 300 \text{ kg/m}^2$$

Berdasarkan PPIUG 1983 pasal 3.3 menyatakan bahwa keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri dan berat beban yang diangkatnya yang sudah dikalikan suatu koefisien kejut sebagai berikut:

$$\Psi = 1 + k_1 \times k_2 \times v \geq 1,15$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \Psi &= (\text{koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari } 1,15) \\ k_1 &= 0,6 (\text{koefisien yang tergantung pada kekuatan struktur keran induk}) \\ k_2 &= 1,3 (\text{koefisien yang tergantung pada sifat-sifat mesin dari keran angkatnya}) \\ v &= 1 (\text{kecepatan angkat maksimum, tidak perlu diambil lebih dari } 1 \text{ m/s}) \\ \Psi &= 1 + k_1 \times k_2 \times v \geq 1,15 \\ &= 1 + 0,6 \times 1,3 \times 1 \geq 1,15 \\ &= 1,78 \geq 1,15 (\text{Ok}) \\ \text{PU1} &= \Psi \times R_2 = 1,78 \times 4300 \end{aligned}$$



Gambar 4. 20 Ilustrasi pembebanan balok lift

Analisis gaya dalam balok lift :

Dalam mencari gaya dalam balok lift digunakan program bantu SAP2000 sehingga didapatkan gaya dalam sebagai berikut:

$$\text{Mu} = 9984,6 \text{ kg.m}$$

$$\text{Vu} = 10070 \text{ kg}$$

Penulangan Lentur

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mu}}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{9984,6 \times 10^4}{\phi \cdot b \cdot d^2} = 2,17$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times \text{Rn}}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 2,17}{400}} \right) = 0,0056 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4/f_y = 1,4/400 = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &= 0,0056 \\ A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d = 0,0056 \times 300 \times 452 \\ &= 642,2 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 642,2 / 200,96 \\ &= 3,20 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan : $S > 25 \text{ mm}$ (SNI 2847 2013 pasal 7.6.1)

$$\begin{aligned}\text{Jarak} &= \frac{b - 2x\text{decking} - 2xD - 2x\emptyset}{n - 1} = \frac{250 - 2x40 - 2x16 - 2x10}{4 - 1} \\ &= 39,3 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)}\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 4D16 ($A_{s\text{pasang}} = 803,8 \text{ mm}^2$).

Untuk A_s' tekan dipakai $\frac{1}{2}$ A_s tarik

$$\begin{aligned}A_s' &= 803,8 / 2 = 401,92 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 401,92 / 200,96 \\ &= 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 2D16 ($A_{s\text{pasang}} = 401,9 \text{ mm}^2$).

Kontrol penggunaan faktor reduksi :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{A_s' \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{803,8 \times 400}{0,85 \times 30 \times 250} = 50,43 \text{ mm} \\ \beta &= 0,85 - 0,05 \times \frac{f'c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \times \frac{30 - 28}{7} = 0,83\end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{50,43}{0,835} = 60,35 \text{ mm}$$

syarat berdasarkan SNI 2847 2013 gambar S9.3.2

$$c \leq 0,375 d = 0,375 \times 452 = 169,5 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 169,5 \text{ mm (Ok)}$$

Kontrol kekuatan lentur nominal rencana :

$$\begin{aligned}Mn_{\text{rencana}} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) = 803,8 \cdot 420 \cdot \left(452 - \frac{60,3}{2} \right) \\ &= 13722,6 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\phi Mn_{\text{rencana}} = 0,9 \times 13722,6 = 12350,3 \text{ kg.m}$$

syarat :

$$\phi Mn_{\text{rencana}} > Mu$$

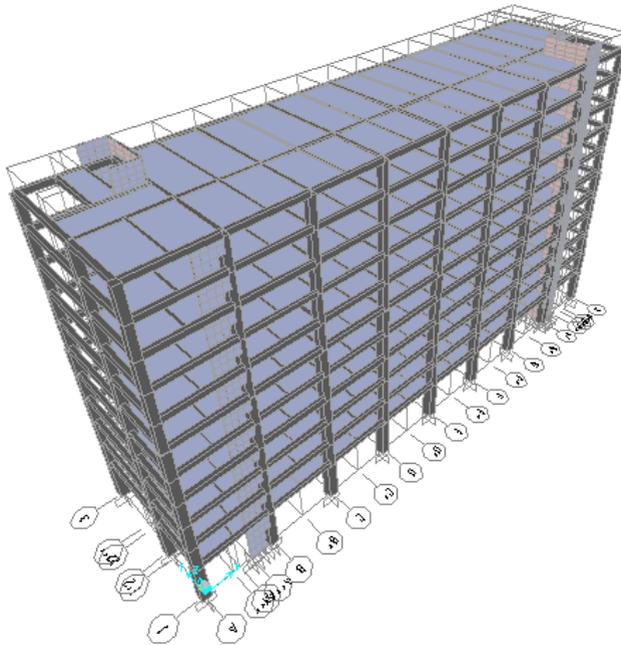
$$12350 \text{ kgm} > 9984,64 \text{ kgm (Ok)}$$

Penulangan Geser

- $V_u = 10070,5 \text{ kg}$
- Sumbangan kekuatan geser beton :
 - $V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 250 \times 452$
 - $= 105218 \text{ N}$
 - $\phi = 0,75$ (SNI 2847 2013 pasal 9.3.2.3)
 - $\phi V_c = 0,75 \times 105218 \text{ N} = 78913,1 \text{ N}$
- Cek kondisi penampang geser :
 - $V_u \leq \phi V_c$
 - $100705 \text{ N} > 78913,1 \text{ N} \dots (\text{Perlu tulangan Geser})$
 - Digunakan spasi tulangan geser praktis untuk daerah lapangan sesuai SNI 2847 pasal 11.4.5.1:
 - $d/2 = 452/2$ (SNI 2847 pasal 11.4.5.1)
 - $= 226 \approx 200 \text{ mm}$
 - Dipakai 2 $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$)
 - Digunakan spasi tulangan geser maksimum untuk tumpuan sesuai SNI 2847 pasal 21.5.3.2 :
 - $d/4 = 452/4$ (SNI 2847 pasal 11.4.5.1)
 - $= 113 \approx 100 \text{ mm}$
 - Dipakai 2 $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$)
 - Cek gaya geser perlawanan sengkang
 - $V_s = A_v \times f_y \times d/s = 157 \times 400 \times 452/100$
 - $= 141928 \text{ N}$
 - Syarat :
 - $\phi(V_s + V_c) > V_u$
 - $185359 \text{ N} > 100705 \text{ N} \dots \dots \dots (\text{Ok})$

4.3 Pembebanan dan Pemodelan Struktur

Perencanaan struktur gedung ini dimodelkan terlebih dahulu sebagai sistem ganda, yaitu suatu gedung dengan asumsi bahwa struktur memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser dan rangka pemikul momen dimana yang tersebut terakhir ini harus secara tersendiri sanggup memikul sedikitnya 25 % dari beban dasar geser nominal. Pemodelan struktur ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 21 Pemodelan Menggunakan SAP2000

4.3.1 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi dilakukan dengan dua cara yaitu secara manual dan hasil output dari SAP2000.

4.3.1.1 Perhitungan pembebanan secara manual

Pada perhitungan pembebanan ini beban dibagi dua macam, yaitu beban mati dan beban hidup.

- Beban mati

Tabel 4. 14 Beban mati gedung

Jenis Beban	Arah X m	Arah Y m	Luas m ²	t m	Bv Kg/m ³	Bl Kg/m ²	N	Berat Kg
Pelat 12 cm			750,3	0,12	2400		11	2377077,1
BA.1		62,825	0,15		2400		11	248787,0
BA.2		64,075	0,15		2400		11	253737,0
BA.3		4,975	0,15		2400		11	19701,0
B1		62,825	0,24		2400		11	372211,2
B2		46,6	0,24		2400		11	288547,2
B3	155,4		0,24		2400		11	984614,4
B4	14,9		0,24		2400		11	94564,8
B5		3,2	0,24		2400		11	19958,4
B6		9,8	0,24		2400		11	62092,8
BP		14,8	0,48		2400		5	85248,0
Kolom (K1)			0,903	4,50	2400		22	214434,0
(K2)			0,723	3,00	2400		110	572220,0
(K3)			0,49	3,00	2400		105	370440,0
SW1	0,2	5		36,50	2400		2	175200,0
SW2	2,425	0,13		36,50	2400		4	110463,6
Dinding 10cm	1111,29			3,00		60	9	1800295,9
Plafond			750,3			11	11	90791,1
Penggantung			750,3			7	11	57776,2
Keramik			750,3			24	11	198089,8
Spesi			750,3			21	11	173328,5
Sanitasi			750,3			21	11	173328,5
Plumbing			750,3			21	11	173328,5
Total Beban Mati DL								8916235,095

- o Beban hidup

Tabel 4. 15 Beban hidup gedung

Beban	Luas m ²	BI Kg/m ²	N	Berat Kg
Lantai 2-11	750,34	250	10	1875850
Lantai Atap	750,34	100	1	75034
Total Beban Hidup LL				1950884

Jadi berat total adalah:

$$WD = 8916235 \text{ Kg} = 8916,2 \text{ Ton}$$

$$WL = 1950884 \text{ Kg} = 1950,9 \text{ Ton}$$

$$W_{tot} = 8916,2 + 1950,9 = 10867 \text{ Ton}$$

4.3.1.2 Hasil pembebanan output SAP2000

$$W_{sap} = 10691 \text{ Ton}$$

4.3.1.3 Selisih W_{sap} dan W_{manual} :

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= (10867 - 10691) : (10867) \\ &= 1,62\% \end{aligned}$$

4.3.2 Analisa beban gempa

Desain beban gempa mengacu peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726 2012. Berdasarkan konfigurasi struktur Gedung Star hotel dan apartemen, Lombok Barat, analisis gempa akan menggunakan gempa dinamik. Diperlukan tahapan awal dalam menentukan beban gempa dinamik diantaranya sebagai berikut :

4.3.2.1 Menentukan kategori risiko bangunan

Penentuan kategori risiko bangunan disesuaikan dengan fungsi dari bangunan itu sendiri, dalam kasus ini fungsi bangunan adalah hotel dan apartemen sehingga didapatkan kategori risiko seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 16 Tabel menentukan kategori resiko bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	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"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

4.3.2.2 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Faktor keutamaan gempa didapatkan berdasarkan kategori risiko yang telah didapatkan pada langkah 1. Sehingga didapatkan faktor keutamaan gempa seperti pada Tabel berikut:

Tabel 4. 17 Faktor keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

4.3.2.3 Menentukan klasifikasi situs tanah

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata. Didapatkan nilai (\bar{N}) sebesar 12,91. Dengan nilai tersebut maka tanah termasuk dalam klasifikasi situs tanah lunak (SE)

4.3.2.4 Menentukan Parameter Percepatan Tanah (S_s, S_1)

Menentukan parameter percepatan respons spectral MCE pada perioda pendek, redaman 5 persen (S_s) dan parameter percepatan respons spectral MCE pada perioda 1 detik, redaman 5 persen (S_1) Berdasarkan peta gempa puskim dengan lokasi

gedung yang terdapat pada wilayah Surabaya, didapatkan data sebagai berikut:

$$S_s = 0,952 \text{ (Berdasarkan puskim)}$$

$$S_1 = 0,385 \text{ (Berdasarkan puskim)}$$

4.3.2.5 Menentukan Koefisien Lokasi F_a dan F_v

Untuk F_a dan F_v berdasarkan puskim.

$$F_a = 0,958 \text{ (Berdasarkan puskim)}$$

$$F_v = 2,461 \text{ (Berdasarkan puskim)}$$

4.3.2.6 Menghitung nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 0,952 \times 0,958 = 0,912$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 0,385 \times 2,461 = 0,9475$$

4.3.2.7 Menentukan Parameter Percepatan Spektrum Desain (S_{DS} dan S_{D1}).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,912 = 0,608$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,947 = 0,631$$

4.3.2.8 Menentukan kategori desain seismik

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 pada SNI 1726 2012 serta menggunakan parameter yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya maka, Gedung ini termasuk pada kategori desain seismik D. Pemilihan kategori desain tersebut diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 18 Penentuan Kategori Desain Seismik berdasarkan paraneter respons percepatan pada perioda pendek

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
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 19 Penentuan Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

4.3.2.9 Menentukan Sistem penahan gempa

Berdasarkan tabel 9 pada SNI 1726-2012 sistem struktur untuk gedung ini akan menggunakan tipe D.3 yaitu sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus dimana rangka bangunan memikul sedikitnya 25% gaya gempa yang ditetapkan.

Tabel 4. 20 Penentuan Sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_e (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Berdasarkan tabel diatas didapatkan pula data tambahan untuk desain struktur yaitu :

$$R^a = 7 \text{ (Koefisien Modifikasi Respon)}$$

$$\Omega_0^g = 2,5 \text{ (Faktor Kuat Lebih Sistem)}$$

$$C_d^b = 5,5 \text{ (Faktor Pembesaran Defleksi)}$$

4.3.2.10 Kontrol waktu getar alami fundamental (T)

Berdasarkan SNI 1726 2012 Ps. 7.8.2 penentuan perkiraan perioda alami fundamental (T_a) harus ditentukan dari persamaan 26 pada SNI 1726 2012. Dengan parameter C_t dan x diambil dari

tabel 15 SNI 1726 2012, serta h_n merupakan total tinggi bangunan.

$$x = 0,75$$

$$C_t = 0,0488$$

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0488 \times 34,5^{0,75} = 0,694 \text{ detik}$$

Batas atas perioda struktur didapatkan dengan mengalikan nilai periode fundamental perkiraan dengan koefisien C_u . Berdasarkan nilai S_{D1} yang didapat dari perhitungan sebelumnya.

$$C_u = 1,4$$

$$T = T_a \times C_u = 0,694 \times 1,4 = 0,9726 \text{ detik}$$

Pada pemodelan SAP2000 didapatkan T sebagai berikut.

Tabel 4. 21 T dari SAP2000

TABLE: Modal Periods And Frequencies			
OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	0,95
MODAL	Mode	2	0,84

$$T_x = 0,945 \text{ detik}$$

$$T_y = 0,842 \text{ detik}$$

Periode yang terjadi berdasarkan perhitungan SAP harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$T_a < T_{SAP} < T$$

Arah x:

$$0,694 \text{ detik} < 0,945 \text{ detik} < 0,9726 \text{ detik} \quad (\text{Ok})$$

Arah y:

$$0,694 \text{ detik} < 0,842 \text{ detik} < 0,9726 \text{ detik} \quad (\text{Ok})$$

4.3.2.11 Kontrol gaya geser dasar (V)

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1 koefisien Respon Seismik (C_s) ditentukan dengan perumusan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0,608}{7/1} = 0,0869$$

Dan C_s tidak lebih dari :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,608}{0,9726\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0893$$

Dan C_s tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,044 \times 0,608 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_s = 0,0268 \geq 0,01$$

Maka, nilai C_s diambil 0,0869

Berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.8.1 penentuan gaya dasar seismik (V) dihitung berdasarkan persamaan 21 pada SNI 1726 2012. Sebagaimana ditunjukkan pula pada rumus dibawah ini:

$$V = C_s \cdot W_{tSAP} = 0,0869 \times 10691,6 = 928,6 \text{ Ton}$$

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4, nilai akhir $V_{dinamik}$ harus lebih besar sama dengan 85% V_{statik} . Maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan sbb:

$$V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$$

Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP didapatkan gaya geser dasar ragam ($V_{dinamik}$) sebagai berikut :

Tabel 4. 22 Gaya Geser gempa dari SAP2000

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Tonf	Tonf
Gempa X	LinRespSpec	Max	438,30	149,27
Gempa Y	LinRespSpec	Max	157,75	403,89

Maka didapatkan kontrol akhir *base reaction* terhadap $0,85V_{statik}$ seperti diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 23 Kontrol Akhir base reaction

	Fx	Fy	Kontrol akhir	
	Ton	Ton	Fx	Fy
V dinamik	438,30		Not Ok	Not Ok
0,85 Vstatik	789,36			
V dinamik		403,89		
0,85 Vstatik		789,36		

karena kontrol akhir tidak memenuhi persyaratan $V_{dinamik} \geq 0,85V_{statik}$. maka spektra respon desain pada analisis struktur harus dikalikan faktor skala yang ditentukan dengan $0,85 V_{statik} / V_{dinamik}$ pada masing-masing arah, sehingga persyaratan $V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$ terpenuhi. Besarnya faktor sekala tersebut diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 24 Faktor skala gaya gempa

	Fx	Fy	Faktor skala	
	Ton	Ton	Fx	Fy
V dinamik	438,30		1,80	1,95
0,85 Vstatik	789,36			
V dinamik		403,89		
0,85 Vstatik		789,36		

Setelah diperoleh faktor skala masing-masing arah pembebanan, selanjutnya dilakukan analisis ulang dengan mangalikan faktor skala yang diperoleh diatas pada *scale factor respons spectra*. Kemudian diperoleh hasil yang diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 25 Gaya geser gempa dari SAP2000

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Tonf	Tonf
Gempa X	LinRespSpec	Max	793,5707	285,08
Gempa Y	LinRespSpec	Max	293,0129	791,39

Berdasarkan tabel diatas setelah dilakukan analisis ulang maka gempa dinamik telah memenuhi persyaratan pada SNI 03-1726-2021 pasal 7.9.4

Tabel 4. 26 Kontrol Akhir Base Reaction

	Fx Ton	Fy Ton	Kontrol akhir	
			Fx	Fy
V dinamik 0,85 Vstatik	793,6 789,4		Ok	
V dinamik 0,85 Vstatik		791,4 789,4		Ok

4.3.2.12 Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1 bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa actual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Berdasarkan uraian tersebut didapatkan hasil jumlah respon ragam yang diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 27 Jumlah Respon Ragam

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,9459	0,720	0,026
MODAL	Mode	2	0,8423	0,751	0,662
MODAL	Mode	3	0,7162	0,751	0,713
MODAL	Mode	4	0,2832	0,879	0,715
MODAL	Mode	5	0,2604	0,879	0,715
MODAL	Mode	6	0,2438	0,879	0,715
MODAL	Mode	7	0,2264	0,881	0,890
MODAL	Mode	8	0,2136	0,881	0,890
MODAL	Mode	9	0,1937	0,881	0,893
MODAL	Mode	10	0,1771	0,881	0,893
MODAL	Mode	11	0,1402	0,936	0,893
MODAL	Mode	12	0,13	0,936	0,893
MODAL	Mode	13	0,1182	0,936	0,893
MODAL	Mode	14	0,1101	0,937	0,947

4.3.2.13 Kontrol Sistem Ganda

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 9 point D.3 Sistem Ganda merupakan sistem struktur yang beban lateral gempa bumi dipikul bersama oleh dinding geser dan rangka secara proporsional. Dimana sistem rangka pemikul momen harus didesain secara tersendiri mampu menahan sedikitnya 25% beban lateral.

Kombinasi dari dinding gese dan rangka dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 28 Kontrol Sistem Ganda

No	Gempa	Reaksi dalam menahan gempa				Presentase dalam menahan gempa			
		Shearwall		Portal		Shearwall		Portal	
		fx	fy	fx	fy	fx	fy	fx	fy
1	Gempa X	467.0	214.4	361.8	100.4	56.34%	68.10%	43.66%	31.90%
2	Gempa Y	379.8	548.8	131.1	267.5	74.34%	67.23%	25.66%	32.77%

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa persentase dari SRPM untuk menahan gaya gempa x dan gaya gempa y nilainya lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur sistem ganda.

4.3.2.13 Kontrol Simpangan (drift)

Berdasarkan SNI 1726 2012 kontrol *drift* dan syarat drift harus ditentukan berdasarkan perumusan 34 pada SNI 1726-2012 pasal 7.8.6 yaitu sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I}$$

Dimana :

δ_x = Defleksi pada lantai ke-x

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gempa

Sedangkan untuk syarat simpangan antar lantai ijin pada SNI 1726 2012 pasal 7.12.1, $\Delta_s = 0,020h_{sx}$ dengan Δ_s merupakan selisih antara defleksi yang ditunjukkan pada analisis struktur, (δ_{xe}) dengan defleksi akibat pembesaran, (δ_x). Hasil dari kontrol simpangan pada analisis struktur Gedung sStar hotel dan

apartemen Lombok barat akibat gempa dinamik pada masing-masing arah diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 29 Kontrol simpangan Arah X

lantai	joint	elevasi m	tinggi lantai m	δ_{xe} SAP m	simpangan diperbesar $\delta_{xe}.Cd/le$ mm	simpangan antar lantai mm	simpangan ijin 0,020.hsx mm	ket
lift	56	36,5	2	0,0505	277,8	10,2	40	Ok
11	328	34,5	3	0,048647	267,6	16,1	60	Ok
10	319	31,5	3	0,04572	251,5	18,6	60	Ok
9	318	28,5	3	0,04233	232,8	21,8	60	Ok
8	317	25,5	3	0,038366	211,0	25,0	60	Ok
7	316	22,5	3	0,033826	186,0	28,0	60	Ok
6	315	19,5	3	0,028739	158,1	29,3	60	Ok
5	314	16,5	3	0,023412	128,8	30,3	60	Ok
4	313	13,5	3	0,017894	98,4	30,0	60	Ok
3	312	10,5	3	0,012434	68,4	27,9	60	Ok
2	311	7,5	3	0,007365	40,5	23,0	60	Ok
1	54	4,5	4,5	0,003176	17,5	17,5	90	Ok

Tabel 4. 30 Kontrol simpangan arah Y

lantai	joint	elevasi m	tinggi lantai m	δ_{xe} SAP m	simpangan diperbesar $\delta_{xe}.Cd/le$ mm	simpangan antar lantai mm	simpangan ijin 0,020.hsx mm	ket
lift	977	36,5	2	0,0561	308,6	16,0	40	Ok
11	994	34,5	3	0,0532	292,6	26,4	60	Ok
10	962	31,5	3	0,0484	266,2	28,9	60	Ok
9	930	28,5	3	0,0431	237,3	30,1	60	Ok
8	898	25,5	3	0,0377	207,3	30,9	60	Ok
7	866	22,5	3	0,0321	176,3	31,4	60	Ok
6	834	19,5	3	0,0264	144,9	30,4	60	Ok
5	802	16,5	3	0,0208	114,5	29,4	60	Ok
4	770	13,5	3	0,0155	85,2	27,2	60	Ok
3	738	10,5	3	0,0105	58,0	23,9	60	Ok
2	706	7,5	3	0,0062	34,1	19,2	60	Ok
1	396	4,5	4,5	0,0027	14,9	14,9	90	Ok

4.4 Perencanaan Struktur Utama Beton Pratekan

Beton prategang yang direncanakan menggunakan sistem pascatarik atau *Post-tension*. Yang mana gaya prategang diberikan setelah beton mengeras, kemudian dilakukan pengangkuran di kedua ujung balok. Dan metode pengecoran yang digunakan adalah monolit.

4.4.1 Data Perencanaan

Berikut ini adalah data perencanaan dari balok pratekan:

- Bentang Balok = 14,8 m
- Dimensi balok pratekan = 60 x 80 cm
- Tebal pelat = 12 cm
- Mutu beton pratekan ($f'c$) = 40 MPa
- Mutu beton pelat ($f'c$) = 40 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 MPa
- Decking beton pratekan = 40 mm

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai f_{ci} dihitung dengan cara sebagai berikut (acuan koefisien berdasarkan PBI) :

- $f_{ci} = 0,88 \times 40 = 35.2 \text{ MPa}$

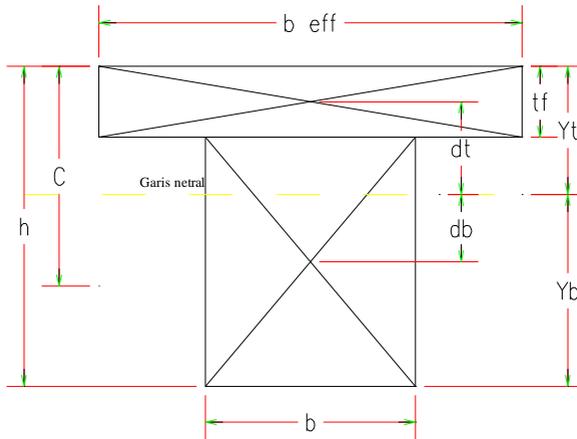
4.4.1.1 Dimensi Penampang

Mencari lebar efektif

Perhitungan lebar efektif berdasarkan SNI 28472013 pasal 8.12.2, dimana lebar efektif sayap balok T tidak melebihi ketentuan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_{\text{eff 1}} &= L/4 = 14,8/4 = 3,7 \text{ m} \\ b_{\text{eff 2}} &= b + 8t_f = 0,6 + 8 \times 0,12 = 1,56 \text{ m} \\ b_{\text{eff 3}} &= \frac{1}{2}(L - b) = \frac{1}{2}(14,8 - 0,6) = 7,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga besar lebar efektif yang digunakan adalah nilai terkecil dari persyaratan tersebut yaitu sebesar 1560 mm.



Gambar 4. 22 Penampang Balok Pratekan

Sesuai SNI 2847-2013 Pasal. 8.5.1, maka nilai modulus elastisitas beton untuk masing – masing pelat dan balok adalah sebagai berikut:

$$E_{\text{pelat}} = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{40} = 29725 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{balok}} = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{40} = 29725 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{balok}}}{E_{\text{pelat}}} = \frac{29725}{29725} = 1$$

$$b_e = \frac{1560}{1} = 1560 \text{ mm}$$

$$A_{\text{pelat}} = b_{\text{eff}} \times t_f = 156 \times 12 = 1872 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = b \times (h - t_f) = 600 \times (80 - 12) = 4080 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 1872 + 4080 = 5952 \text{ cm}^2$$

$$c = \frac{h - t_f}{2} + t_f = \frac{80 - 12}{2} + 12 = 46 \text{ cm}$$

$$Y_t = \frac{A_{\text{pelat}} \times \frac{t_f}{2} + A_{\text{balok}} \times c}{A_{\text{total}}} = \frac{1872 \times \frac{12}{2} + 4080 \times 46}{5952} = 33,41 \text{ cm}$$

$$Y_b = h - Y_t = 80 - 33,41 = 46,58 \text{ cm}$$

$$d_t = Y_t - \frac{1}{2} t_f = 33,41 - \frac{1}{2} 12 = 27,41 \text{ cm}$$

$$d_b = Y_b - \frac{1}{2} (h - t_f) = 46,58 - \frac{1}{2} (80 - 12) = 12,58 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 + (A_{\text{balok}} \times d_b^2) + \frac{b_e}{12} t_f^3 + (A_{\text{pelat}} \times d_t^2) = \frac{1}{12} 60.80^3 + (4080 \times 12,58^2) + \frac{156}{12} 12^3 + (1872 \times 27,41^2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 4749581 \text{ cm}^4 \\
 W_t &= I/Y_t = 4749581/33,41 = 142120 \text{ cm}^3 \\
 W_b &= I/Y_b = 4749581/46,58 = 101964 \text{ cm}^3 \\
 K_t &= W_b/A_{\text{total}} = 142120/5952 = 17,13 \text{ cm} \\
 K_b &= W_t/A_{\text{total}} = 101964/5952 = 23,88 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.4.1.2 Tegangan Ijin Beton

Tegangan ijin beton tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut:

1. Segera setelah peralihan gaya pratekan (sebelum kehilangan), tegangan serat terluar memiliki nilai sebagai berikut:
 - Tegangan tekan : $0.60 f_{ci}$ (SNI 03-2847-2013 pasal 18.4.1)

$$\sigma_{tk} = 0.6 \times f_{ci} = 0.6 \times 35.2 = 21.12 \text{ MPa}$$
 - Tegangan tarik terluar direncanakan untuk tidak dapat terjadi retak, sehingga diklasifikasikan sebagai kelas T :

$$\sigma_{tr} = f_t > 0.5 \sqrt{f'_c} \text{ (SNI 03-2847-2013 pasal 18.4.1)}$$

$$\sigma_{tr} = 0.5 \times \sqrt{f_{ci}} = 0.5 \times \sqrt{35.2} = 2.97 \text{ MPa}$$
 - Tegangan tekan terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana : $0.70 f_{ci}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 b)

$$\sigma_{tk} = 0.7 \times f_{ci} = 0.7 \times 35.2 = 24.64 \text{ MPa}$$
 - Tegangan tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana : $0,5 \sqrt{f'_{ci}}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 c)

$$\sigma_{tr} = 0.5 \times \sqrt{f_{ci}} = 0.5 \times \sqrt{35.2} = 2.97 \text{ MPa}$$
2. Pada kondisi beban layan (setelah terjadi kehilangan pratekan)
 - Tegangan tekan : $0,45 f'_c$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.2.)

$$\sigma_{tk} = 0.45 \times f'_c = 0.45 \times 40 = 18 \text{ MPa}$$
 - Tegangan tarik (SNI 2847:2013 pasal 18.3.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Kelas T} &= 0.62 \sqrt{f'_c} < ft \leq \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.62 \sqrt{40} < ft \leq \sqrt{40} \\
 &= 3.92 < ft \leq 6.32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Digunakan $0.7 \sqrt{f'_c} = 4.427 \text{ MPa}$

4.4.2 Desain Pendahuluan

Pembebanan

1. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat} &= b \text{ eff} \times t_f \times \text{BJ Beton} \\ &= 1,56 \times 0,12 \times 2400 = 449 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok} &= b \times h \times \text{BJ Beton} \\ &= 0,6 \times 0,8 \times 2400 = 1152 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{QD} = 449 + 1152 = 1601 \text{ kg/m}$$

2. Beban hidup

Atap (100 kg/m^2 , PPIUG 1983 Pasal 3.2(1))

$$\text{QL} = 100 \times b \text{ eff} = 100 \times 1,56 = 156 \text{ kg/m}$$

3. Beban kombinasi 1D+1L

$$\text{Qu} = \text{QD} + \text{QL} = 1601 + 156 = 1757 \text{ kg/m}$$

Gaya awal prategang

Desain pendahuluan dilakukan untuk mengetahui batasan dari nilai gaya prategang yang hendak digunakan. Momen yang digunakan dipilih momen lapangan dengan kombinasi beban 1D + 1L sehingga didapat besar momen untuk desain pendahuluan sebesar $577,3 \text{ kNm}$.

$$F = \frac{M}{0,65 \times h} = \frac{577,3}{0,65 \times 0,8} = 1110,12 \text{ kN}$$

Dicoba gaya sebesar $F_0 = 2500 \text{ kN}$, dengan asumsi kehilangan gaya sebesar 20 % maka $F_{\text{eff}} = 2000 \text{ kN}$.

Daerah limit kabel

Daerah limit kabel selain dibatasi oleh kern pada balok juga dibatasi oleh nilai a_{min} dan a_{max} yang didapat dari perhitungan berikut:

$$a_{\text{max}} = \frac{M_T}{F_{\text{eff}}} = \frac{712,9}{2000} = 0,356 \text{ m} = 35,6 \text{ cm}$$

$d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{lentur}})$

$$= 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm}) = 65,5 \text{ mm}$$

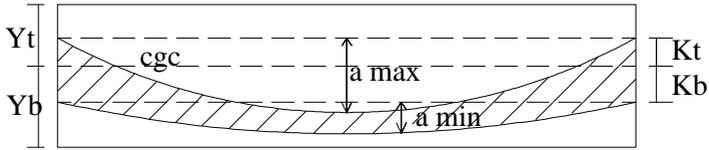
Syarat :

$$a_{\text{max}} \leq (y_b + k_t - d') = (46,6 + 17,13 - 6,55) = 70,26 \text{ cm}$$

35,6 < 70,26(Oke)

$$a_{\min} = \frac{M_D}{F_o} = \frac{577,3}{2500} = 0,23 \text{ m} = 23,09 \text{ cm}$$

Nilai perhitungan analisa diatas dapat dilihat pada gambar dibawah ini mengenai batasan daerah dimana letak kabel dapat atau boleh diteMPatkan



Gambar 4. 23 Daerah Limit Kabel

Pemilihan letak tendon harus berada pada range daerah limit kabel sesuai gambar skema di atas, selain itu pemilihan letak tendon juga harus memperhatikan tebal *decking* yang disyaratkan oleh SNI yaitu minimal 4 cm sehingga untuk daerah lapangan:

$$a_{\max} - K_T < e_o \text{ lapangan} < K_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

dimana selisih syarat didapat dengan nilai:

$a_{\min} - (\text{syarat } a_{\min})$ dengan $(\text{syarat } a_{\min})$ sebesar $(y_b - K_b - d')$ agar terpenuhi syarat minimum decking sebesar 4 cm, jadi

$$\text{selisih syarat} : 23,09 - (46,6 - 23,88 - 6,55) = 6,9 \text{ cm}$$

sehingga,

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$36 - 17 < e_o \text{ lapangan} < 23,8 + 12,47 - 6,9$$

$$18,5 \text{ cm} < 26,58 \text{ cm} < 40 \text{ cm}$$

$$e_o \text{ tumpuan} < K_t = 17 \text{ cm}$$

$$e_o \text{ lapangan} = 265,8 \text{ mm (terletak di bawah cgc)}$$

$$e_o \text{ tumpuan} = 100 \text{ mm (atas cgc)}$$

Kemudian, dilakukan kontrol tegangan pada setiap kondisi yaitu, pada saat kondisi transfer dan beban layan di setiap lantainya.

Tegangan pada beton yang diijinkan:

- Pada saat transfer ditengah bentang

- Tekan Ijin = -21.12 MPa
 Tarik Ijin = 2.97 MPa
- Pada saat transfer ditumpuan
 Tarik Ijin = 2.97 MPa
 Tekan Ijin = -24.64 MPa
 - Pada saat beban layan
 Tarik ijin = 4,427 MPa
 Tekan ijin = -18 MPa

Eksentrisitas tendon

Eksentrisitas yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Tumpuan = 100 mm (diatas cgc)

Lapangan = 265,8 mm (dibawah cgc)

4.4.3 Kontrol Tegangan

Kontrol tegangan dibagi 2 kondisi, yaitu saat transfer dan saat beban layan:

- Saat transfer (1D)

Momen lapangan = 280 kNm = 280000000 Nmm

Momen tumpuan = 332 kNm = 332000000 Nmm

- **Tumpuan**

Serat atas

$$\sigma \geq -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o x e}{W_a} + \frac{M}{W_a}$$

$$2,97 \geq -\frac{2500000}{595200} - \frac{2500000 \times 100}{142120684} + \frac{332000000}{142120684}$$

$$2,97 \geq -3,62 \text{ MPa (ok)}$$

Serat bawah

$$\sigma \geq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o x e}{W_a} - \frac{M}{W_b}$$

$$-24,6 \geq -\frac{2500000}{595200} + \frac{2500000 \times 100}{101964701} - \frac{332000000}{101964701}$$

$$-24,6 \geq -5 \text{ MPa (ok)}$$

- **Lapangan**

Serat atas

$$\sigma \geq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o x e}{W_a} - \frac{M}{W_a}$$

$$2,97 \geq -\frac{2500000}{595200} - \frac{2500000 \times 265,8}{142120684} + \frac{280000000}{142120684}$$

$$2,97 \geq -1,5 \text{ MPa (ok)}$$

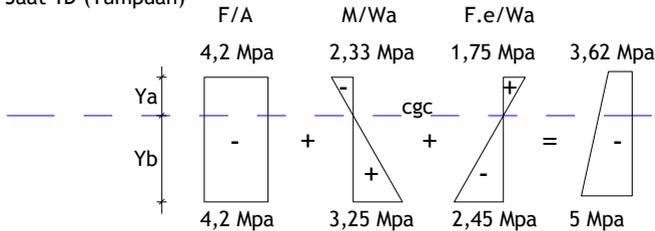
Serat bawah

$$\sigma_t \geq -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_a} + \frac{M}{W_b}$$

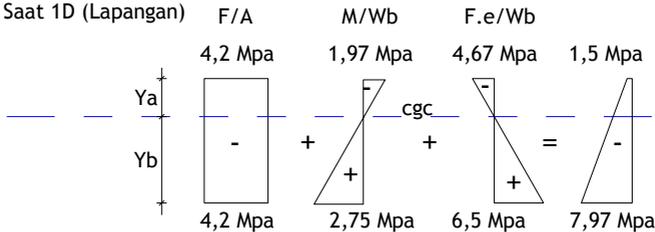
$$-21,12 \geq -\frac{2500000}{595200} + \frac{2500000 \times 265,8}{101964701} - \frac{280000000}{101964701}$$

$$-21,12 \geq -7,96 \text{ MPa (ok)}$$

Saat 1D (Tumpuan)



Saat 1D (Lapangan)



Gambar 4. 24 Diagram tegangan saat 1D

- o Saat beban layan (1D + 1L)

Momen didapatkan dari kombinasi beban balok dan pelat setelah komposit.

Momen lapangan = 577,2 kNm = 577260000 Nmm

Momen tumpuan = 712,9 kNm = 712920000 Nmm

- **Tumpuan**

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_a} + \frac{M}{W_a}$$

$$4,42 \geq -\frac{2000000}{595200} - \frac{2000000 \times 100}{142120684} + \frac{712920000}{142120684}$$

$$4,42 \geq 0,25 \text{ MPa (ok)}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned}\sigma &\geq -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{Wb} - \frac{M}{Wb} \\ -18 &\geq -\frac{2000000}{595200} + \frac{2000000 \times 100}{101964701} - \frac{712920000}{101964701} \\ -18 &\geq -8,39 \text{ MPa (ok)}\end{aligned}$$

- Lapangan

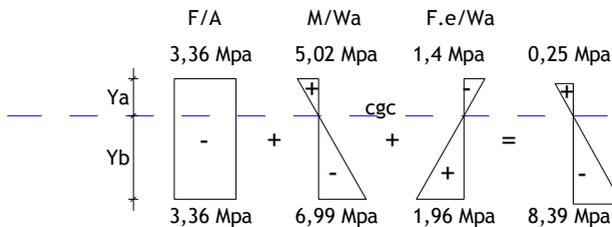
Serat atas

$$\begin{aligned}\sigma &\geq -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{Wa} - \frac{M}{Wa} \\ -18 &\geq -\frac{2000000}{595200} - \frac{2000000 \times 265,8}{142120684} + \frac{577260000}{142120684} \\ -18 &\geq -3,68 \text{ MPa (ok)}\end{aligned}$$

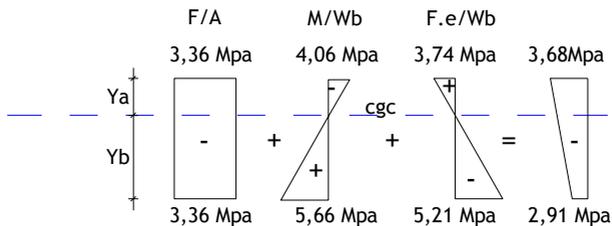
Serat bawah

$$\begin{aligned}\sigma &\geq -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{Wa} + \frac{M}{Wb} \\ 4,43 &\geq -\frac{2000000}{595200} - \frac{2000000 \times 265,8}{101964701} + \frac{577260000}{101964701} \\ 4,43 &\geq -2,91 \text{ MPa (ok)}\end{aligned}$$

Saat 1D+1L (Tumpuan)



Saat 1D+1L (Lapangan)



Gambar 4. 25 Diagram tegangan saat 1D+1L

4.4.4 Penentuan Tendon Yang Digunakan

Dari gaya prategang yang telah ditentukan dengan tegangan sesuai dengan tegangan ijin maka penentuan jumlah strand kabel dapat dilakukan. Adapun data data strand kabel diambil dari tabel VSL sebagai berikut:

Menggunakan data dari tabel prestressing strand – 7 wire, uncoated ASTM A416 untuk post tensioning.

Diameter Strand = 12,7 mm

Luas Nominal area = 100 mm²

Min. Breaking load = 184 kN

Penggunaan kabel strand untuk tendon prategang diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 18.5.1 tentang tegangan ijin untuk baja prategang dimana tegangan akibat gaya pengangkutan tendon diambil nilai terkecil antara 0,94fpy, 0,80fpu dan 0,70fpu dimana nilai fpu dan fpy dapat dihitung sebagai berikut:

fpu = Min. Breaking load/As = 184000/100 = 1840 MPa

fpy = 0,9 fpu = 0,9 x 1840 = 1656 MPa

keterangan:

fpu = kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan, MPa

fpy = kekuatan leleh baja prategang yang disyaratkan, MPa

Didapatkan tegangan ijin tendon :

(i) 0,94fpy = 1556 MPa

(ii) 0,80fpu = 1472 MPa

(iii) 0,70fpu = 1288 MPa

Diambil nilai terkecil diantara ketiganya yaitu 1288 MPa = f_{st}

Dengan nilai tegangan ijin tendon yang didapat, dapat dihitung jumlah luasan strand yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya prategang $F = 2500000$ N yang diinginkan.

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} = \frac{2500000}{1288} = 1940 \text{ mm}^2$$

Jumlah Strand :

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1940}{100} = 19,4 = 20 \text{ buah}$$

Dari tabel prestressed strand ASTM A416 digunakan *strand* berjumlah 22 buah, dengan tipe tendon (5-22) satu buah.

4.4.5 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat stressing. Kehilangan prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

- Kehilangan segera (kehilangan langsung)
Kehilangan secara langsung terdiri dari :
 1. Kehilangan akibat slip anker
 2. Kehilangan akibat perpendekan elastis
 3. Kehilangan akibat gesekan (Woble efek)
 4. Kehilangan akibat kekangan kolom
- Kehilangan yang bergantung pada waktu (kehilangan tidak langsung)
adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:
 1. Kehilangan akibat susut
 2. Kehilangan akibat rangkak
 3. Kehilangan akibat relaksasi baja

a. Kehilangan segera (kehilangan langsung)

1. Kehilangan akibat slip anker

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang teralihkan ke anker. Pada metode pascatarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya *jacking* dialihkan ke anker. Perlengkapan dalam anker yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit.

Besarnya nilai kehilangan prategang akibat slip anker dapat dihitung dengan perumusan berikut:

$$\Delta f_{pA} = 2f_{st} \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) \times x$$

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{f_{pi} \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}$$

Dimana :

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$g = \text{diasumsikan } 0,25 \text{ cm} = 2,5 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,15 \text{ (7-wires strand tendon, } 0,15\text{-}0,25\text{)}$$

$$K = 0,0016 \text{ (7-wires strand tendon, } 0,0016\text{-}0,0066\text{)}$$

$$\alpha = \frac{8f}{L} \text{ dengan } f \text{ adalah panjang fokus tendon (dari cgs)}$$

$$= \frac{8 \times 265,8}{14000} = 0,14$$

Dari perhitungan sebelumnya didapat $f_{pi} = f_{st} = 1288 \text{ MPa}$

Maka didapat nilai X sebesar :

$$X = \sqrt{\frac{200000 \times 2,5}{1288 \left(\frac{0,15 \times 0,14}{14800} + 0,0016 \right)}} < \frac{14800}{2}$$

$$= 492,5 \text{ mm} < 7400 \text{ mm} \dots\dots\dots(\text{Oke})$$

Karena pengaruh tegangan belum mencapai tengah bentang, maka kehilangan tegangan tidak terjadi pada tengah bentang. Sehingga,

$$\Delta f_{pA} = 0$$

Persentase kehilangan prategang akibat slip ankur adalah :

$$\% = \frac{0}{1305} \times 100\% = 0\%$$

2. Kehilangan akibat perpendekan elastis

Dikarenakan jumlah tendon yang digunakan hanya berjumlah 1 buah, maka kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis tidak mempengaruhi.

3. Kehilangan akibat gesekan (Woble efek)

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini

merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai *woble efect*. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_o di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak L di sepanjang bentang. Sedangkan, efek *Wobble* mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon.

Besarnya nilai kehilangan tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_2 = F_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

Atau jika dinyatakan dengan tegangan :

$$f_2 = f_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

$$\Delta f_{pF} = f_1 - f_2 = f_1 (1 - e^{-(\mu \alpha + KL)})$$

Nilai sudut kelengkungan dengan asumsi bahwa tendon parabolik mendekati bentuk busur lingkaran didapat dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{8f}{L} \text{ dengan } f \text{ adalah panjang fokus tendon (dari cgs)}$$

$$\alpha = \frac{8 \times 265,8}{14800} = 0,144 \text{ rad}$$

$$f_1 = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{2500000}{1940} = 1288 \text{ MPa}$$

Sedangkan nilai K dan μ didapat dari Tabel 4 SNI 2847-2013 tentang friksi dan *woble efect*, untuk kawat strand dengan untaian 7 kawat didapat nilai $K = 0,0016-0,0066$ diambil $K = 0,0016/m$ dan $\mu = 0,15-0,25$ diambil $\mu = 0,15$. Sehingga nilai kehilangan akibat friksi adalah sebagai berikut:

$$\Delta f_{pF} = f_1 (1 - e^{-\mu \alpha + KL})$$

$$\Delta f_{pF} = 1288 \times (1 - e^{-((0,15 \times 0,14) + (0,0016 \times 14,8))})$$

$$= 57,71 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat gesekan dan *wobble effect* adalah :

$$\% = \frac{56,9}{1288} \times 100 = 4,42 \%$$

4. Kehilangan akibat kekangan kolom

Beton prategang dengan desain cor monolit harus diperhatikan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekakuan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

Besarnya momen yang terjadi pada lantai atap akibat jacking didapat dari program bantu SAP 2000, sehingga didapat momen sebagai berikut:

$$MA = 57,4 \text{ kNm}$$

$$MB = 30 \text{ kNm}$$

$$\Delta P = \frac{MA+MB}{L} = \frac{57,4+30}{3} = 29,13 \text{ kN}$$

$$\Delta F_p = \frac{\Delta P}{A_{ps}} = \frac{29130}{1940} = 15,01 \text{ MPa}$$

$$\% = \frac{15,01}{1288} \times 100 = 1,17 \%$$

b. Kehilangan yang bergantung waktu (kehilangan tidak langsung)

1. Kehilangan akibat rangkai

Rumus perhitungan kehilangan prategang akibat rangkai :

$$CR = K_{cr} \cdot (E_s/E_c) \cdot [f_{c_{ir}} - f_{c_{ds}}]$$

Dimana :

$$K_{cr} = 1.6 \text{ untuk metode pasca-tarik}$$

$f_{c_{ds}}$ = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat seluruh beban mati pada struktur setelah diberi gaya prategang

$f_{c_{ir}}$ = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat gaya awal prategang

$$f_{c_{ir}} = \sigma_t \leq \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{Wb}$$

$$f_{c_{ir}} = \left(\frac{25000000}{595200} + \frac{664516129}{101964701} \right) = 10,71 \text{ MPa}$$

$$f_{c_{ds}} = M_{balok}/Wb = \left(\frac{280000000}{101964701} \right) = 2,75 \text{ MPa}$$

$$E_s/E_c = 6,72$$

$$CR = K_{cr} \cdot (E_s/E_c) \cdot [f_{c_{ir}} - f_{c_{ds}}] = 1,6 \times 6,72 \times [10,71 - 2,75]$$

$$= 85,75 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat rangkaiak ialah :

$$\% = \frac{85,75}{1288} \times 100 = 6,66 \%$$

2. Kehilangan akibat susut

Rumus perhitungan kehilangan prategang akibat susut :

$$SH = (8.2 \times 10^{-6}) K_{SH} \cdot E_s [1 - 0.00236(v/s)]. [100 - RH]$$

$$RH = 82\% \text{ (untuk Lombok barat)}$$

$$K_{sh} = 0.77 \text{ (koefisien penyusutan, 7 hari)}$$

$$S = 472 \text{ cm (Keliling penampang)}$$

$$v/s = \text{luas penampang beton} / \text{keliling penampang beton}$$

$$= \frac{5952}{472} = 12.61 \text{ cm}$$

$$n = E_s/E_c = 6.73$$

$$SH = 16,74 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat susut ialah :

$$\% = \frac{16,74}{1305} \times 100 = 1,28 \%$$

3. Kehilangan akibat relaksasi baja

Rumus perhitungan kehilangan prategang akibat relaksasi baja.

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)] * C$$

$$K_{re} = 138 \text{ MPa (strand stress relieved, Tabel 3.4)}$$

$$J = 0.15 \text{ (Tabel 3.4)}$$

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = \frac{1288}{1840} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$C = 0,49 \text{ (Tabel 3.3)}$$

$$RE = 61.8 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat relaksasi baja ialah :

$$\% = \frac{61,8}{1288} \times 100 = 4,8 \%$$

c. Jumlah kehilangan prategang

Presentase kehilangan prategang adalah sebagai berikut:
 $4,42\% + 1,17\% + 4,66\% + 1,3\% + 4,8\% = 18,21\%$

4.4.6 Kontrol Gaya Prategang setelah Kehilangan

Besar gaya pratekan yang terjadi setelah kehilangan pratekan adalah sebesar berikut:

$$F_{eff} = \frac{100-18,21}{100} \times 2500 = 2045 \text{ kN}$$

Momen pada saat beban layan (1D+1L)

Momen lapangan = 577,2 kNm = 577260000 Nmm

Momen tumpuan = 712,9 kNm = 712920000 Nmm

- Tumpuan

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_a} + \frac{M}{W_a}$$

$$4,43 \geq -\frac{2045000}{595200} - \frac{2045000 \times 100}{142120684} + \frac{712920000}{142120684}$$

$$4,43 \geq 0,14 \text{ MPa (ok)}$$

Serat bawah

$$\sigma_t \geq -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_a} - \frac{M}{W_b}$$

$$-18 \geq -\frac{2045000}{595200} + \frac{2045000 \times 100}{101964701} - \frac{712920000}{101964701}$$

$$-18 \geq -8,42 \text{ MPa (ok)}$$

- Lapangan

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_a} - \frac{M}{W_a}$$

$$-18 \geq -\frac{2045000}{595200} + \frac{2045000 \times 265,8}{142120684} - \frac{577260000}{142120684}$$

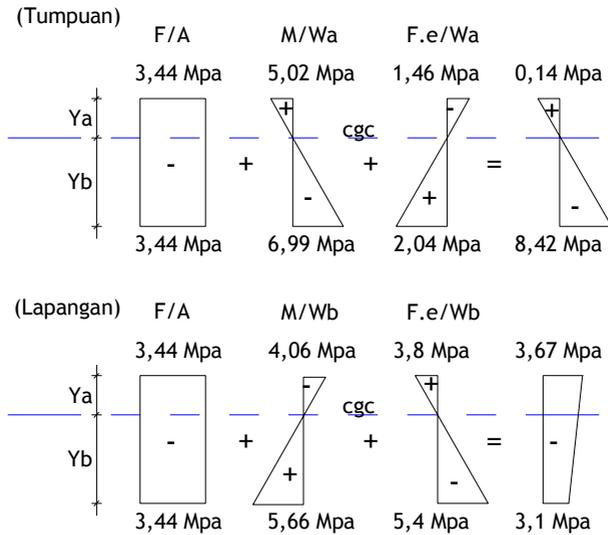
$$-18 \geq -3,67 \text{ MPa (ok)}$$

Serat bawah

$$\sigma_t \geq -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_a} + \frac{M}{W_b}$$

$$4,43 \geq -\frac{2045000}{595200} - \frac{2045000 \times 265,8}{101964701} + \frac{577260000}{101964701}$$

$$4,43 \geq -3,1 \text{ MPa (ok)}$$



Gambar 4. 26 Diagram Tegangan setelah kehilangan Gaya Pratekan

4.4.7 Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton bertulang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan.

Lendutan Ijin

Lendutan ijin pada komponen beton prategang harus memenuhi syarat Tabel 3 SNI 2847-2013 pasal 5.2.7 yaitu lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar:

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{14800}{480} = 30,83 \text{ mm}$$

Lendutan Saat Beban Bekerja

Saat beban bekerja sepenuhnya bekerja gaya prategang yang terjadi berupa gaya prategang efektif setelah terjadi berbagai tahap dan macam kehilangan. Lendutan yang terjadi antara lain:

- Lendutan Akibat Tekanan Tendon (F_{efektif})

$$P_o = \frac{8 \times F_{\text{eff}} \times f}{l^2}$$

$$P_o = \frac{8 \times 2086697 \times 265,8}{14800^2} = 20,3 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_C \times I}$$

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{20,3 \times 14800^4}{29725 \times 47495815858} = 8,9 \text{ mm } (\uparrow)$$

- Lendutan Akibat Eksentrisitas

$$\Delta l_{me} = \frac{F_{\text{eff}} \times e \times l^2}{8E_C \times I}$$

$$\Delta l_{me} = \frac{2086697 \times 100 \times 14800^2}{8 \times 29725 \times 47495815858} = 4,04 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan Akibat Beban Beban yang Bekerja

Beban yang telah sepenuhnya bekerja berupa berat sendiri balok, beban mati tambahan dan beban hidup. Besarnya lendutan akibat beban beban yang telah bekerja seluruhnya dapat dihitung dengan menggunakan program bantu SAP2000. Lendutan yang didapat sebesar 7,34 mm (\downarrow)

Lendutan Total

Total lendutan pada saat beban beban telah bekerja dengan gaya prategang efektif (dengan mengasumsikan tanda (-) adalah lendutan ke atas karena berlawanan arah dengan arah terjadinya lendutan) sebesar:

$$\Delta l_A = \Delta l_{PO} + \Delta l_{qO} + \Delta l_{me}$$

$$= -8,96 + 7,34 + 4,04 = 2,4 \text{ mm } (\downarrow) < \text{Lendutan ijin}$$

$$= 2,4 \text{ mm} < 30,83 \text{ mm} \dots\dots\dots(\text{Oke})$$

4.4.8 Momen Retak

Perhitungan kuat ultimate dari betonprategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus

cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1.2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar $0,62 \sqrt{f'c}$ sehingga didapatkan $\phi M_n > 1.2 M_{cr}$, dengan nilai $\phi = 0.9$.

$$F_e = 2087 \text{ kN}$$

$$K_t = 17,1 \text{ mm}$$

$$e = 265,8 \text{ mm}$$

$$f_r = 0,62 \cdot \sqrt{f'c} = 0,62 \sqrt{40} = 3,92$$

$$w_b = 101964701 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \left(\frac{F_e}{A} \times \frac{I}{y_b} \right) + \left(\frac{F_e \times e \times y_b}{I} \times \frac{I}{y_b} \right) + \left(f_r \times \frac{I}{y_b} \right) \\ &= (F_e \times k_t) + (F_e \times e) + (f_r \times W_b) \\ &= (2086697 \times 17,1) + (2086697 \times 265,8) + (3,92 \times 101964701) \\ &= 990 \text{ kNm} \end{aligned}$$

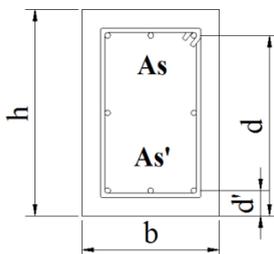
4.4.9 Penulangan Lunak Tambahan

Penulangan lunak tambahan diperlukan pada bagian tumpuan balok untuk menerima beban gempa yang terjadi dan pada daerah lapangan untuk menerima berat sendiri saat balok masih belum ditarik.

Data perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

- Mutu Beton ($f'c$) = 40 MPa
- Mutu Baja (f_y) = 400 MPa
- Dimensi = 60/80 cm
- Decking = 40 mm
- D Lentur = 25 mm
- \emptyset Sengkang = 13 mm
- Bentang (L) = 14,8 m
- b Kolom = 0,7 m
- Bentang bersih (L_n) = $14,8 - \frac{1}{2}(0,7 + 0,7) = 14,1 \text{ m}$
- Tinggi efektif (d) = $800 - 40 - 13 - (\frac{1}{2}25) = 735 \text{ mm}$



Gambar 4. 27 Tinggi Efektif Balok

Output gaya dalam dari SAP200 pada Balok pratekan

- Momen Tumpuan = 71292 Kg.m
- Momen Lapangan = 57726 Kg.m
- Torsi max = 2202 Kg.m

Penulangan Lentur

Pada penulangan lentur diperhitungkan gaya gempa yang menghasilkan momen pada tumpuan.

➤ Penulangan Lentur Pada Tumpuan.

$$Mu = 71292 \text{ Kg.m} = 712920000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9 \quad (\text{SNI 2847 2013 Pasal 9.3.2.2})$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{712920000}{0,9 \cdot 600 \cdot 735^2} = 2,45$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 11,8$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,8 \times 2,45}{400}} \right) = 0,0063$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'c - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (40 - 28) / 7) = 0,76$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'c}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$= 0,85 \times 0,76 \times \left(\frac{40}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,039$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,039 = 0,0292$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / fy = 1,4 / 400 = 0,0035$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{balance}} \rightarrow 0,0035 < 0,0063 < 0,0292 \text{ (Ok)}$$

Digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0063$

$$A_s_{\text{perlu Lentur}} = \rho \times b \times d = 0,0063 \times 600 \times 735 = 2801 \text{ mm}^2$$

❖ Penulangan Torsi Tambahan

$$T_u = 22018000 \text{ Nmm (Output SAP2000)}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (SNI 2847 2013 Pasal 9.3.2.3)}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{22018000}{0,75} = 29357333 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = 800 \times 600 = 480000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (800+600) = 2800 \text{ mm}$$

$$X = b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \phi \text{ sengkang})$$

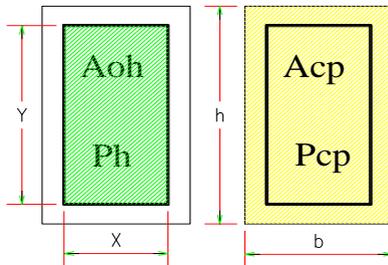
$$= 600 - 2 \times 40 - 2 \times \frac{1}{2} 13 = 507 \text{ mm}$$

$$Y = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \phi \text{ sengkang})$$

$$= 800 - 2 \times 40 - 2 \times \frac{1}{2} 13 = 707 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X \times Y = 507 \times 707 = 358449 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X+Y) = 2 \times (507+707) = 717912 \text{ mm}$$



Gambar 4. 28 Luasan Aoh dan Acp

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u (SNI 2847 2013 pasal 11.5.2.2).

$$\begin{aligned} \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'rc}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{0,75 \sqrt{40}}{3} \times \left(\frac{480000^2}{2800} \right) = 128804086 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$T_u < \text{Batas } T_u \rightarrow \text{Torsi diabaikan, } A_s \text{ Torsi} = 0$$

❖ Penulangan Lentur dan Torsi

$$\begin{aligned} A_s_{\text{perlu}} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ Torsi} \\ &= 2801 + 0 = 2801 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{2801}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2} = 5,71 \approx 6 \text{ buah.}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{b-2x \text{ decking}-2xD-2x\phi}{n-1}$$

$$= \frac{600-2x40-2x25-2x13}{6-1} = 68,8 \text{ mm}$$

Syarat S maksimum:

$$25 \text{ mm} < S_{\text{tulangan}} \quad (\text{Ok})$$

Maka As lentur tarik dipasang tulangan 6 D 25 (As pasang = 2944 mm²).

Untuk As' lentur tekan dimuka kolom harus tidak kurang dari setengah As lentur tarik. (SNI 2847 2013 pasal 21.5.2.2)

$$As' \text{ positif} = \frac{1}{2} \times 2944 = 1472 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{1472}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2} = 3 \text{ buah.}$$

Maka As lentur tarik dipasang tulangan 3 D 25 (As pasang = 1472 mm²).

➤ Penulangan Lentur Pada Lapangan.

$$Mu = 57726 \text{ Kg.m} = 577260000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9 \quad (\text{SNI 2847 2013 Pasal 9.3.2.2})$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{577260000}{0,9 \cdot 600 \cdot 735^2} = 1,98$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 11,76$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,76 \times 1,98}{400}} \right) = 0,0051$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'c - 28)) / 7$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (40 - 28)) / 7 = 0,76$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'c}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$= 0,85 \times 0,76 \times \left(\frac{40}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,039$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,039 = 0,029$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / fy = 1,4 / 400 = 0,0035$$

Syarat:

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{balance}} \rightarrow 0,0035 < 0,0051 < 0,029 \quad (\text{Ok})$$

Digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0051$

$$A_s \text{ perlu Lentur} = \rho \times b \times d = 0,0051 \times 600 \times 735 = 2250 \text{ mm}^2$$

❖ Penulangan Lentur dan Torsi

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ Torsi} \\ &= 2250 + 0 = 2250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{2250}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2} = 4,59 \approx 5 \text{ buah.}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{tulangan}} &= \frac{b - 2 \times \text{decking} - 2 \times D - 2 \times \emptyset}{n - 1} \\ &= \frac{600 - 2 \times 40 - 2 \times 25 - 2 \times 13}{5 - 1} = 92 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat S maksimum:

$$25 \text{ mm} < S_{\text{tulangan}} \quad (\text{Ok})$$

Maka A_s lentur tarik dipasang tulangan 5 D 25 (A_s pasang = 2453 mm²).

Untuk A_s lentur bagian atas daerah lapangan diambil tidak boleh kurang dari sepeleMPat A_s max (SNI 2847 2013 pasal 21.5.2.2)

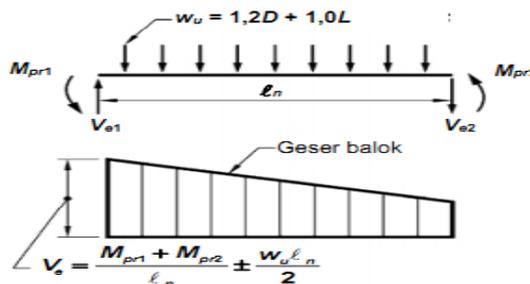
$$A_s \text{ atas} = \frac{1}{4} \times 2944 = 735 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{735}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2} = 1,5 \approx 2 \text{ buah.}$$

Maka A_s lentur bagian atas dipasang tulangan 2 D 25 (A_s pasang = 759,9 mm²).

Penulangan Geser

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.5 yaitu gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian tumpuan.



Gambar 4. 29 Geser Desain Balok

➤ Perhitungan Gaya Geser Desain Balok (V_e)

$$\frac{W_u \cdot L_n}{2} = 28340 \text{ Kg (Output SAP2000)}$$

$$L_n = 14,8 \text{ m}$$

$$A_s \text{ negatif} = 2943 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 \times f'_{cx} \times b} = \frac{2943 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 40 \times 600} = 57,7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 2943 \times 1,25 \times 400 \times \left(735 - \frac{57,7}{2}\right) \\ &= 103861 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

$$A_s \text{ positif} = 1471 \text{ mm}^2$$

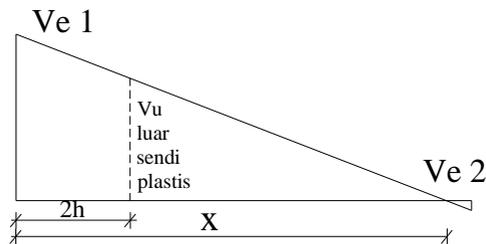
$$\alpha = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 \times f'_{cx} \times b} = \frac{1471 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 40 \times 600} = 28,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= A_s \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 1471 \times 1,25 \times 400 \times \left(735 - \frac{28,9}{2}\right) \\ &= 52992 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

Gaya Geser sendi plastis (Tumpuan):

$$\begin{aligned} V_{e1} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2} \\ &= \frac{103861 + 52992}{14,1} + 28340 = 39464 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} - \frac{W_u \times L_n}{2} \\ &= \frac{103861 + 52992}{14,1} - 28340 = -17215 \text{ Kg} \end{aligned}$$



Gambar 4. 30 Gaya Geser Balok

Gaya Geser Luar sendi Plastis (Lapangan):

$$x = 10,3 \text{ m (Output Autocad)}$$

$$\frac{V_u}{V_{e1}} = \frac{x - 2h}{x}$$

$$V_u = \frac{x-2h}{x} \times V_{e1} = \frac{10,3-1,6}{10,3} \times 39464$$

$$= 33316 \text{ Kg}$$

➤ Sumbangan kekuatan geser beton:

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 600 \times 735 = 473829 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (SNI 2847 2013, pasal 9.3.2.3)}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 473829 \text{ N} = 355372 \text{ N}$$

➤ Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan

$V_c = 0$ (SNI 2847 2013 Pasal 21.6.5.2), jika:

- $\frac{W_u \times L_n}{2} > \frac{1}{2} V_e$
 $28430 \text{ kg} > \frac{1}{2} 39464 = 19732 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$
- $P_u < A_g \cdot f'c / 10$
 $P_u = 235 \text{ N (Output SAP2000)}$
 $A_g \cdot f'c / 10 = 800 \times 600 \times 35 / 10 = 840000 \text{ N}$
 $235 \text{ N} < 840000 \text{ N} \quad (\text{Ok})$

Maka $V_c = 0$.

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{39464}{0,75} - 0 = 516189 \text{ N}$$

direncanakan 2 ϕ 13 mm ($A_v = 265,3 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,3 \times 400 \times 735}{516189} = 151 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan geser maksimum sesuai SNI 2847 2013 pasal 21.5.3.2

$$- d/4 = 735/4 = 183 \text{ mm}$$

$$- 8db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$- 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai sengkang 2 ϕ 13 – 150 mm pada daerah Tumpuan sepanjang $2h = 120 \text{ mm}$.

➤ Perencanaan Tulangan Geser Lapangan

$V_e > \phi V_c \rightarrow$ Perlu tulangan Geser

$$33316 \text{ kg} > 0,75 \times 355372 \text{ N}$$

$$326829 \text{ N} > 266529 \text{ N} \rightarrow \text{Ok}$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{326829}{0,75} - 355372 = 80400 \text{ N}$$

direncanakan 2 ϕ 13 mm ($A_v = 265,3 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265,3 \times 400 \times 735}{80400} = 970 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan geser minimum sesuai SNI 2847 2013 pasal 11.4.5.1

$$d/2 = 549/2 = 274,5 \text{ mm}$$

Maka dipakai 3 \emptyset 10 – 250 mm pada daerah lapangan..

Panjang Penyaluran Tulangan Balok

Perhitungan panjang penyaluran tulangan diatur dalam SNI 2847 2013 pada pasal 12.2, pasal 12.3 dan pasal 12.5.

➤ Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1,3 \text{ (Faktor lokasi penulangan)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Faktor pelapis, Tanpa pelapis)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Faktor Agregat ringan, Beton normal)}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b > 300 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} \right) \times 25 = 1209 \text{ mm} \approx 1210 \text{ mm}$$

Dipakai panjang penyaluran tulangan tarik sebesar 1210 mm

➤ Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

$$l_{dc} = d_b \times \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} > 200 \text{ mm}$$

$$= 25 \times \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{40}} = 379 \text{ mm} \approx 380 \text{ mm}$$

Dipakai panjang penyaluran tulangan tekan sebesar 380 mm

➤ Panjang Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik Menurut SNI 2847 2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan dengan kait standar 90° dalam beton berat normal adalah sebagai berikut :

$$l_{dh} > 8d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = d_b \times \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} = 25 \times \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{40}}$$

$$= 380 \text{ mm} \approx 380 \text{ mm}$$

Jadi dipakai panjang penyaluran tulangan berkait sebesar 380 mm dengan perpanjangan kait 12 d_b sebesar 300 mm.

4.4.10 Kontrol Momen Nominal

Setelah ditentukan jumlah tulangan lunak terpasang untuk masing masing tumpuan dan lapangan maka dilakukan pengecekan momen nominal balok terhadap momen ultimate dan batas layan yaitu momen retak. Desain balok prategang terhadap momen nominalnya harus memenuhi kontrol momen batas yang disyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.7

Data perhitungan momen nominal:

$$F_u = \text{Minimum breaking load} = 184 \text{ kN} = 184000 \text{ N}$$

$$A_{\text{strand}} = 100 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 22 \times 100 = 2200 \text{ mm}^2$$

$$f_{pu} = \frac{\text{minimum breaking load}}{A_s} = \frac{184000}{100} = 1840 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9 f_{pu} = 0,9 \times 1840 = 1656 \text{ MPa}$$

sehingga didapat nilai $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ sebagai berikut:

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1656}{1840} = 0,9$$

karena $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ bernilai $\geq 0,9$ maka diambil $\gamma_p = 0,28$ dan $\beta_1 = 0,73$

$$d = 800 - 40 - 13 - 12,5 = 735 \text{ mm}$$

Daerah Tumpuan

$$d_p = e_{\text{Tumpuan}} + Y_b \\ = 100 + 465 = 566 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} \text{ dimana } A_{ps} \text{ adalah luas penampang baja prategang}$$

sehingga didapat:

$$\rho_{ps} = \frac{2200}{600 \times 566} = 0,0065$$

Syarat I :

$$\text{Selimut Beton} \leq 0,15 \times d_p \text{ (SNI 2847-2013 18.7.2)}$$

$$40 \leq (0,15 \times 566) \rightarrow 40 \text{ mm} \leq 84,9 \text{ mm} \dots\dots\dots(\text{Oke})$$

Syarat II :

$$X_o = \rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{dp} (\omega - \omega') > 0,17$$

Dimana :

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c}$$

$$\rho' = \text{ratio tulangan tekan} = \frac{A_s'}{b \times d} = 0,0033$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c}$$

$$\rho = \text{ratio tulangan tarik} = \frac{A_s}{b \times d} = 0,0067$$

Sehingga didapat nilai ω dan ω' sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,0067 \times 400}{40} = 0,067$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,0033 \times 400}{40} = 0,033$$

$$X_o = \rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{dp} (\omega - \omega')$$

$$X_o = 0,0065 \times \frac{1840}{40} + \frac{735}{566} (0,067 - 0,033)$$

$$X_o = 0,34 > 0,17 \dots\dots\dots(\text{Oke})$$

Sehingga didapat

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \times X_o \right)$$

$$= 1840 \left(1 - \frac{0,28}{0,73} \times 0,34 \right) = 1599 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b_e} = \frac{2200 \times 1599}{0,85 \times 40 \times 1560} = 66,3 \text{ mm}$$

Pada tumpuan balok dianggap sebagai balok persegi karena daerah yang mengalami tarik adalah bagian bawah serat. Sehingga didapat nilai momen nominal adalah:

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2200 \times 1599 \left(566 - \frac{66,3}{2} \right) + 2944 \times 400 \left(735 - \frac{66,3}{2} \right)$$

$$= 2700 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2700 > 1,2 M_{cr}$$

$$\rightarrow 2429 \text{ kNm} > 1188 \text{ kNm} \dots (\text{Oke})$$

kontrol prestresing partial ratio

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n}$$

M_{np} = momen nominal beton prategang

$$= A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2200 \times 1599 \left(566 - \frac{66,3}{2} \right) = 1873 \text{ kNm}$$

M_n = momen nominal total = 2429 kNm

Maka,

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n} = \frac{1873}{2429} = 0,69 = 69 \% < 80 \% \dots (\text{Oke})$$

Daerah Lapangan

$$d_p = e_{\text{Lapangan}} + Y_T$$

$$= 265 + 334 = 600 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} \text{ dimana } A_{ps} \text{ adalah luas penampang baja prategang}$$

sehingga didapat:

$$\rho_{ps} = \frac{2200}{600 \times 600} = 0,0061$$

$$\rho' = \text{ratio tulangan tekan} = \frac{A_s'}{b \times d} = 0,0022$$

$$\rho = \text{ratio tulangan tarik} = \frac{A_s}{b \times d} = 0,0056$$

Syarat I :

$$\text{Selimut Beton} \leq 0,15 \times d_p \text{ (SNI 2847 2013 Pasal 18.7.2)}$$

$$40 \leq (0,15 \times 600) \rightarrow 40 \text{ mm} \leq 90 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

Syarat II :

$$X_o = \rho_P \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') > 0,17$$

didapat nilai ω dan ω' sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,0022 \times 400}{40} = 0,056$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,0056 \times 400}{40} = 0,022$$

$$X_o = \rho_P \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega')$$

$$X_o = 0,0061 \times \frac{1840}{40} + \frac{735}{600} (0,0056 - 0,0022)$$

$$X_o = 0,32 > 0,17 \dots\dots\dots(Oke)$$

Sehingga didapat

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_P}{\beta_1} X_o \right)$$

$$= 1840 \left(1 - \frac{0,28}{0,73} \times 0,32 \right)$$

$$= 1613 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f'_c \times b_e} = \frac{2200 \times 1613}{0,85 \times 40 \times 1560} = 66,9 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2200 \times 1613 \left(600 - \frac{66,9}{2} \right) + 2453 \times 400 \left(735 - \frac{66,9}{2} \right)$$

$$= 2968 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2968 > 1,2 M_{cr}$$

$$\rightarrow 2428 \text{ kNm} > 1188 \text{ kNm} \dots (Oke)$$

kontrol prestresing partial ratio

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n}$$

M_{np} = momen nominal beton prategang

$$\begin{aligned}
 &= A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 2200 \times 1613 \left(600 - \frac{66,9}{2} \right) \\
 &= 2010 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

M_n = momen nominal total = 2968 kNm

Maka,

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n} = \frac{2010}{2968} = 0,75 = 75 \% \leq 80 \% \dots \text{(Oke)}$$

4.4.11 Pengangkuran Ujung

Metode perhitungan perencanaan daerah pengangkuran global sesuai dengan SNI 2847 2013 Pasal 18.13 mensyaratkan untuk mengalihkan gaya tendon dengan faktor beban sebesar 1,2.

Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh gaya prategang awal yang diberikan ialah sebagai berikut :

$$F_o = 2500000 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 F_o = 1,2 \cdot 2500000 = 3000000 \text{ N}$$

$$T \text{ pencar} = 0,25 \Sigma P_u \left(1 - \frac{a}{h} \right)$$

$$d \text{ pencar} = 0,5(h - 2e)$$

Dimana :

ΣP_u = Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

a = Tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

e = Eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif)

h =Tinggi penampang pada arah yang ditinjau

Diperoleh nilai sebagai berikut :

a = 290 mm (angkur dengan strand 5-22, VSL tabel)

e = 100 mm (eksentrisitas pada tumpuan)

h = 800 mm

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$T_{\text{pencah}} = 0,25 \times 3000000 \left(1 - \frac{290}{800}\right) = 478125 \text{ N}$$

$$d_{\text{pencah}} = 0,5(800 - 2 \times 100) = 300 \text{ mm}$$

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{PENCAH}}}{f_y} = \frac{478125}{400} = 1195 \text{ mm}^2$$

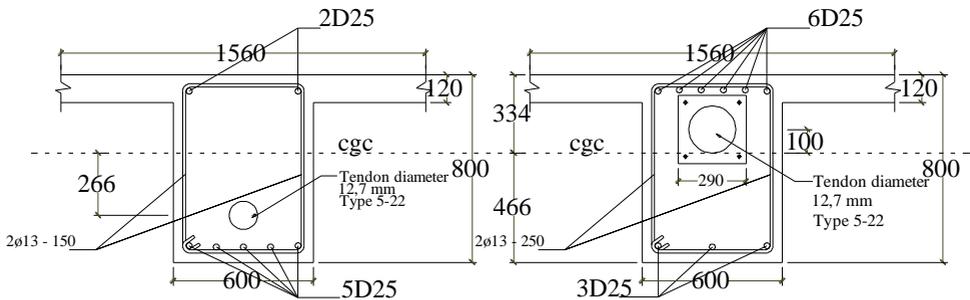
Digunakan tulangan D13 ($A_v = 265 \text{ mm}^2$), maka kebutuhan tulangan sengkang ialah sebanyak :

$$n = \frac{1195}{265} = 4,5 \approx 5 \text{ buah}$$

Spasi antar sengkang dihitung dengan cara:

$$s = \frac{d_{\text{PENCAH}}}{n} = \frac{300}{5} = 60 \text{ mm, diambil } 60 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan D13 - 60



Gambar 4. 31 Penampang Balok Pratekan

4.5 Perencanaan Struktur Utama Non Pratekan

Perencanaan struktur utama non pratekan ini meliputi perencanaan balok, kolom, dan shearwall. Perencanaan konstruksi Gedung Star hotel dan apartemen ini menggunakan beton bertulang, sehingga diperlukan software bantu sipil untuk perhitungan gaya-gaya dalamnya.

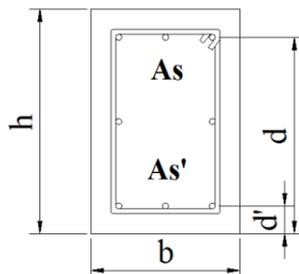
4.5.1 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Pada pembahasan perencanaan balok induk kali ini dijelaskan perencanaan jenis balok B1.

4.5.1.1 Data perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

Mutu Beton ($f'c$)	= 30 MPa
Mutu Baja (f_y)	= 400 MPa
Dimensi	= 40/60
Decking	= 40 mm(SNI 2847 2013, Pasal 7.7.1(c))
D Lentur	= 22 mm
Ø Sengkang	= 10 mm
Bentang (L)	= 8,975 m
b Kolom	= 0,95 m
Bentang bersih (L_n)	= $8,975 - \frac{1}{2}(0,95 + 0,95) = 8,025\text{m}$
Tinggi efektif (d)	= $600 - 40 - 10 - (\frac{1}{2}22) = 539\text{mm}$



Gambar 4. 32 Tinggi Efektif Balok

Output gaya dalam dari SAP200 pada Balok Induk.

- Momen Tumpuan = 48962,62 Kg.m
- Momen Lapangan = 16989,31 Kg.m
- Torsi max = 1932 Kg.m

4.5.1.2 Penulangan Lentur

Pada penulangan lentur diperhitungkan gaya gempa yang menghasilkan momen pada tumpuan.

➤ Penulangan Lentur Pada Tumpuan.

$$Mu = 48962,62 \text{ Kg.m} = 480323302 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9 \quad (\text{SNI 2847 2013 Pasal 9.3.2.2})$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{480323302}{0,9 \cdot 400 \cdot 539^2} = 4,68$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,6 \cdot 4,68}{400}} \right) = 0,013$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \cdot (f'c - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \cdot (30 - 28) / 7) = 0,836$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f'c}{fy} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 0,836 \cdot \left(\frac{30}{400} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0320$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}} = 0,75 \cdot 0,0320 = 0,0240$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / fy = 1,4 / 400 = 0,0035$$

Syarat:

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{balance}} \rightarrow 0,0035 < 0,013 < 0,024 \text{ (Ok)}$$

Digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,013$

$$A_{s \text{ perlu Lentur}} = \rho \cdot b \cdot x \cdot d = 0,013 \cdot 400 \cdot 549 = 2811 \text{ mm}^2$$

❖ Penulangan Torsi Tambahan

$$Tu = 18954293,4 \text{ Nmm} \text{ (Output SAP2000)}$$

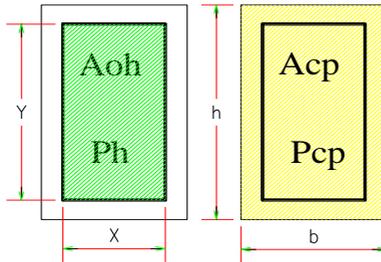
$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI 2847 2013 Pasal 9.3.2.3})$$

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{18954293}{0,75} = 25272391 \text{ Nmm}$$

$$A_{cp} = 600 \cdot 400 = 240000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (600 + 400) = 2000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 X &= b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \phi \text{ sengkang}) \\
 &= 400 - 2 \times 40 - 2 \times \frac{1}{2} 10 = 310 \text{ mm} \\
 Y &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \frac{1}{2} \phi \text{ sengkang}) \\
 &= 600 - 2 \times 40 - 2 \times \frac{1}{2} 10 = 510 \text{ mm} \\
 A_{oh} &= X \times Y = 310 \times 510 = 158100 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 \times (X+Y) = 2 \times (310+510) = 316820 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 33 Luasan Aoh dan Acp

Torsi dapat diabaikan jika T_u kurang dari batas T_u (SNI 2847 2013 pasal 11.5.2.2).

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } T_u &= \frac{\phi \sqrt{f'c}}{3} x \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{0,75 \sqrt{30}}{3} x \left(\frac{240000^2}{2000} \right) = 39041663 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$T_u < \text{Batas } T_u \rightarrow$ **Torsi diabaikan, As Torsi = 0**

❖ Penulangan Lentur dan Torsi

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ Torsi} \\
 &= 2811 + 0 = 2811 \text{ mm}^2 \\
 N_{\text{Tulangan}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{2811}{\frac{1}{4} x \pi x 22^2} = 7,4 \approx 8 \text{ buah.} \\
 S_{\text{tulangan}} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2xD - 2x\phi}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2x40 - 2x22 - 2x10}{8-1} = 17,71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat S maksimum:

$25 \text{ mm} < S_{\text{tulangan}}$ (Not Ok, 2 Lapis)

Maka A_s lentur tarik dipasang tulangan 8 D 22 (A_s pasang = 3040 mm^2).

Untuk As' lentur tekan dimuka kolom harus tidak kurang dari setengah As lentur tarik. (SNI 2847 2013 pasal 21.5.2.2)

$$As'_{\text{positif}} = \frac{1}{2} \times 3040 = 1519,7 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{1519,7}{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2} = 4 \approx 4 \text{ buah.}$$

Maka As lentur tekan dipasang tulangan 4 D 22 (As pasang = 1520 mm²).

❖ Kemampuan Penampang

$$\alpha = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{3040 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 119,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= As_{\text{pasang}} \times 1,25fy \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 3040 \times 1,25 \times 400 \times \left(539 - \frac{119,1}{2}\right) \\ &= 72857 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\phi M_{n \text{ rencana}} > M_u$$

$$0,9 \times 72857 \text{ Kgm} > 48962,6 \text{ Kgm}$$

$$65571 \text{ Kgm} > 48962,6 \text{ Kgm (Ok)}$$

➤ Penulangan Lentur Pada Lapangan.

$$Mu = 16989,3 \text{ Kg.m} = 166665131 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9 \quad (\text{SNI 2847 2013 Pasal 9.3.2.2})$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{166665131}{0,9 \cdot 400 \cdot 539^2} = 1,62$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,68$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{15,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,6 \times 1,62}{400}}\right) = 0,0042 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f'c - 28)) / 7 \\ &= 0,85 - (0,05 \times (30 - 28)) / 7 = 0,836 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'c}{fy}\right) \times \left(\frac{600}{600 + fy}\right) \\ &= 0,85 \times 0,836 \times \left(\frac{30}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0,0320 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0320 = 0,0240$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / fy = 1,4 / 400 = 0,005$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{balance}} \rightarrow 0,0035 < 0,0042 < 0,0240 \text{ (Ok)}$$

Digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0042$

$$A_s \text{ perlu Lentur} = \rho \times b \times d = 0,0042 \times 400 \times 549 = 905 \text{ mm}^2$$

❖ Penulangan Lentur dan Torsi

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_{s \text{ lentur}} + A_{s \text{ Torsi}} \\ &= 905 + 0 = 887 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{905}{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2} = 2,38 \approx 3 \text{ buah.}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{tulangan}} &= \frac{b - 2 \times \text{decking} - 2 \times D - 2 \times \emptyset}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 22 - 2 \times 10}{3 - 1} = 117 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat S maksimum:

$$25 \text{ mm} < S_{\text{tulangan}} \quad \text{(Ok)}$$

Maka As lentur tarik dipasang tulangan 3 D 22 (As pasang = 1140 mm²).

Untuk As lentur bagian atas daerah lapangan diambil tidak boleh kurang dari sepeleMPat As max (SNI 2847 2013 pasal 21.5.2.2)

$$A_s \text{ atas} = \frac{1}{4} \times 3040 = 760 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{Tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{760}{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2} = 2 \approx 2 \text{ buah.}$$

Maka As lentur bagian atas dipasang tulangan 2 D 22 (As pasang = 759,9 mm²).

❖ Kemampuan Penampang

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_{c} \times b} = \frac{887 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 44,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \text{ pasang} \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) \\ &= 905 \times 1,25 \times 400 \times \left(539 - \frac{44,6}{2} \right) \\ &= 29444 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Syarat:

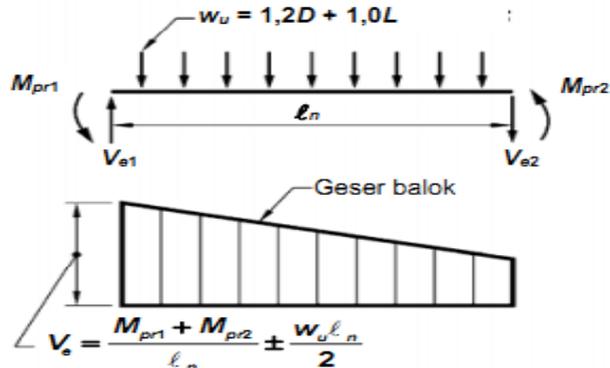
$$\phi M_{n \text{ rencana}} > M_u$$

$$0,9 \times 29444 \text{ Kgm} > 16989,3 \text{ Kgm}$$

$$26499 \text{ Kgm} > 16989,3 \text{ Kgm (Ok)}$$

4.5.1.3 Penulangan Geser

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.5 yaitu gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian tumpuan.



Gambar 4. 34 Geser Desain Balok

- Perhitungan Gaya Geser Desain Balok (V_e)

$$\frac{W_u \cdot l_n}{2} = 15412 \text{ Kg (Output SAP2000)}$$

$$L_n = 8,025 \text{ m}$$

$$A_s \text{ negatif} = 3040 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_{cx} \times b} = \frac{3040 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 119,19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 3040 \times 1,25 \times 400 \times \left(539 - \frac{119,19}{2}\right) \\ &= 72857 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

$$A_s \text{ positif} = 1519,7 \text{ mm}^2$$

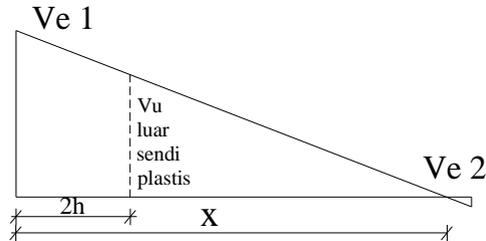
$$\alpha = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_{cx} \times b} = \frac{1519 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 59,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 1519 \times 1,25 \times 400 \times \left(539 - \frac{59,5}{2}\right) \\ &= 38693 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

Gaya Geser sendi plastis (Tumpuan):

$$V_{e1} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= \frac{72857 + 38693}{8,025} + 15412 = 29312 \text{ Kg} \\
 &= \frac{Mpr1 + Mpr2}{Ln} - \frac{Wu \times Ln}{2} \\
 &= \frac{72857 + 38693}{8,025} - 15412 = -1511 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 35 Gaya Geser Balok

Gaya Geser Luar sendi Plastis (Lapangan):

$$\begin{aligned}
 x &= 7,591 \text{ m (Output Autocad)} \\
 \frac{V_{e3}}{V_{e1}} &= \frac{x-2h}{x} \\
 V_{e3} &= \frac{x-2h}{x} \times V_{e1} = \frac{7,591-1,2}{7,591} \times 29312 \\
 &= 24678 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

➤ Sumbangan kekuatan geser beton:

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 539 = 200751 \text{ N} \\
 \phi &= 0,75 \text{ (SNI 2847 2013, pasal 9.3.2.3)} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times 200751 \text{ N} = 150563 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan

$V_c = 0$ (SNI 2847 2013 Pasal 21.6.5.2), jika:

- $\frac{Wu \times Ln}{2} > \frac{1}{2} V_e$
 $15412 \text{ kg} > \frac{1}{2} 29312 = 14656 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$
- $P_u < A_g \cdot f'c / 10$
 $P_u = 11160 \text{ N (Output SAP2000)}$
 $A_g \cdot f'c / 10 = 600 \times 400 \times 30 / 10 = 720000 \text{ N}$
 $11160 \text{ N} < 720000 \text{ N} \quad (\text{Ok})$

Maka $V_c = 0$.

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{29312}{0,75} - 0 = 383270 \text{ N}$$

direncanakan 3 \emptyset 10 mm ($A_v = 235 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{235,5 \times 400 \times 539}{383270} = 132,47 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan geser maksimum sesuai SNI 2847 2013 pasal 21.5.3.2

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- 300 mm

Maka dipakai sengkang 3 \emptyset 10 – 130 mm pada daerah Tumpuan sepanjang $2h = 120 \text{ mm}$.

➤ Perencanaan Tulangan Geser Lapangan

$V_e > \phi V_c \rightarrow$ Perlu tulangan Geser

$$24917 \text{ kg} > 0,75 \times 153356 \text{ N}$$

$244443 \text{ N} > 115017 \text{ N} \rightarrow$ Perlu ulangan Geser

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{244443}{0,75} - 153356 = 172568 \text{ N}$$

direncanakan 3 \emptyset 10 mm ($A_v = 235 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{235,5 \times 400 \times 539}{172568} = 294 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan geser minimum sesuai SNI 2847 2013 pasal 11.4.5.1

$$d/2 = 549/2 = 274,5 \text{ mm}$$

Maka dipakai 3 \emptyset 10 – 250 mm pada daerah lapangan.

4.5.1.4 Panjang Penyaluran Tulangan Balok

Perhitungan panjang penyaluran tulangan diatur dalam SNI 2847 2013 pada pasal 12.2, pasal 12.3 dan pasal 12.5.

➤ Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1,3 \text{ (Faktor lokasi penulangan)}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (Faktor pelapis, Tanpa pelapis)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Faktor Agregat ringan, Beton normal)}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) \times d_b > 300 \text{ mm}$$

$$= \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) \times 22 = 1228 \text{ mm} \approx 1230 \text{ mm}$$

Dipakai panjang penyaluran tulangan tarik sebesar 1230 mm

➤ Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

$$l_{dc} = db \times \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'c}} > 200 \text{ mm}$$

$$= 22 \times \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} = 385,5 \text{ mm} \approx 390 \text{ mm}$$

Dipakai panjang penyaluran tulangan tekan sebesar 390 mm

- Panjang Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik Menurut SNI 2847 2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan dengan kait standar 90° dalam beton berat normal adalah sebagai berikut :

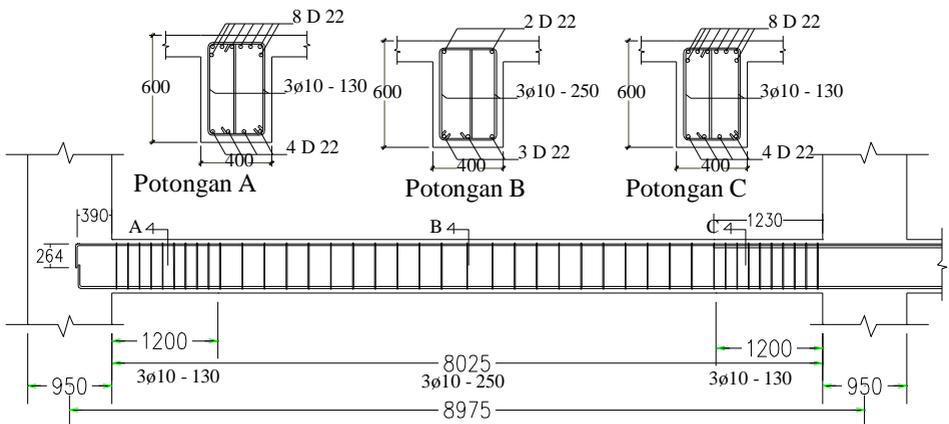
$$l_{dh} > 8db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = db \times \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'c}} = 22 \times \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}}$$

$$= 390 \text{ mm} \approx 390 \text{ mm}$$

Jadi dipakai panjang penyaluran tulangan berkait sebesar 410 mm dengan perpanjangan kait 12db sebesar 264 mm.



Gambar 4. 36 Penulangan Balok B1

Untuk Penulangan Balok yang lain dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 31 Penulangan Balok Induk

Jenis Balok	L m	Dimensi cm		Tulangan Lentur (mm)				Tulangan Geser (mm)	
		b	h	Tumpuan		Lapangan		Daerah Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
				Negatif	Positif	Negatif	Positif		
B1	8,975	40	60	8 D 22	4 D 22	2 D 22	3 D 22	3 \emptyset 10 - 130	3 \emptyset 10 - 250
B2	5,825	40	60	6 D 22	3 D 22	2 D 22	2 D 22	2 \emptyset 10 - 130	2 \emptyset 10 - 250
B3	7,4	40	60	7 D 22	4 D 22	2 D 22	3 D 22	2 \emptyset 10 - 130	2 \emptyset 10 - 230
B4	4,975	40	60	5 D 22	3 D 22	2 D 22	2 D 22	2 \emptyset 10 - 130	2 \emptyset 10 - 250
B5	3,15	40	60	4 D 22	2 D 22	2 D 22	2 D 22	2 \emptyset 10 - 130	2 \emptyset 10 - 250
B6	9,8	45	65	9 D 22	5 D 22	3 D 22	3 D 22	3 \emptyset 10 - 130	3 \emptyset 10 - 190

4.5.2 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul seluruh beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Pada pembahasan kali ini akan dijelaskan perencanaan pada jenis kolom K2.

4.5.2.1 Data Perencanaan

Data Perencanaan yang diperlukan meliputi:

- Mutu Beton (f^c) = 35 MPa
- Mutu Baja (f_y) = 400 MPa
- D tul = 25 mm
- D Sengkang = 16 mm
- h Kolom = 4,5 m
- Dimensi Kolom = 85 cm x 85 cm
- decking = 40 mm

4.5.2.2 Kontrol Dimensi Penampang

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 jika komponen struktur SRPMK menahan gaya tekan aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi beban yang melebihi $0,1 A_g \times f^c$ maka komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut :

- Dimensi lebih besar dari 300 mm
300 mm < 850 mm (Ok)
- Rasio dimensi lebih besar dari 0,4
0,4 < $850/850 = 1$ (Ok)
- P_u lebih besar dari $0,1 A_g f^c$
 $P_u = 6634200$ N (output SAP2000)
 $0,1 A_g f^c = 2528750$ N
 $2528750 < 6634200$ N (Ok)

4.5.2.3 Gaya Dalam

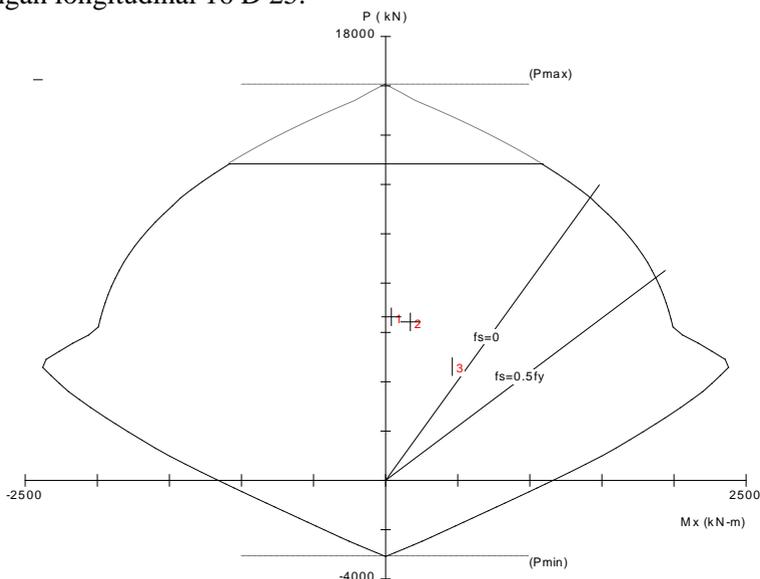
Untuk merencanakan kolom dibutuhkan gaya dalam dari hasil output dari SAP2000 sebagai berikut:

Tabel 4. 32 Gaya Dalam Kolom

Frame	Combination	P Ton	My Ton.m	Mx Ton.m
182	1,2 DL + 1,6 LL	-663,42	14,025	3,997
182	1,2 DL + 1 LL + Qy	-642,72	-41,52	-17,17
132	1,2 DL + 1LL + Qx	-461,52	-10,25	-46,28

4.5.2.4 Perencanaan Tulangan Memanjang Kolom

Untuk merencanakan tulangan longitudinal kolom akan digunakan program bantu PCACOL dimana nantinya akan dimasukkan gaya dalam berfaktor dan direncanakan diameter dan jumlah tulangan yang akan digunakan. Dari hasil analisa program PCACOL didapatkan untuk jenis kolom K2 menggunakan tulangan longitudinal 16 D 25.

**Gambar 4. 37 Diagram interaksi aksial momen**

Dari hasil running program didapatkan Momen nominal kolom terkecil sebesar 1975 kN.m.

4.5.2.5 Kontrol Rasio Tulangan Kolom

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang, Ast, tidak boleh kurang dari 0.01 Ag atau lebih dari 0.06 Ag. Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCACOL diperoleh Tulangan longitudinal : 16 D25, dengan rasio tulangan = 1.13 % (OK).

4.5.2.6 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap beban aksial terfaktor

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,8 \phi (0,85 \times f'_c (A_g - A_{st}) + f_y (A_{st})) \\ \phi &= 0,65 \\ A_g &= 850 \times 850 = 722500 \text{ mm}^2 \\ A_{st} &= 25 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 = 7850 \text{ mm}^2 \\ \phi P_n &= 0,8 \times 0,65 (0,85 \times 35 (722500 - 7850) + 400 (7850)) \\ &= 12688436 \text{ N} \\ P_u \text{ max} &= 6634200 \text{ N} \\ \text{Syarat :} & \\ \phi P_n > P_u \text{ max} & \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

4.5.2.7 Persyaratan Strong Column Weak Beam

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas , maka SNI - 2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa:

$$\Sigma M_{nc} > 6/5 \Sigma M_{nb}$$

Dimana ΣM_{nc} adalah momen kapasitas kolom dan ΣM_{nb} merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan strong kolom weak beam.

ΣM_{nc} didapatkan dari diagram interaksi aksial dan momen pada kolom yakni sebesar, $\Sigma M_{nc} = 1975,5 \text{ kN.m}$

Untuk ΣM_{nb} didapatkan dari hasil perhitungan tulangan lentur pada tumpuan balok sebanyak 8 D 22 ($A_s = 3040 \text{ mm}^2$) pada tulangan tarik dan 4 D 22 ($A_s = 1519 \text{ mm}^2$) pada tulangan tekannya, sehingga perhitungan ΣM_{nb} adalah sebagai berikut:

$$\alpha^+ = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{cx} b} = \frac{3040 x 400}{0,85 x 35 x 400} = 119,2 \text{ mm}$$

$$\alpha^- = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{cx} b} = \frac{1519 x 400}{0,85 x 35 x 400} = 59,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n+} &= A_s x f_y \left(d - \frac{\alpha^+}{2} \right) \\ &= 3040 x 400 \left(549 - \frac{119}{2} \right) = 743,7 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n-} &= A_s x f_y \left(d - \frac{\alpha^-}{2} \right) \\ &= 1519 x 400 \left(549 - \frac{59,6}{2} \right) = 371,8 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Syarat:

$$M_{nc} > 6/5 M_{nb}$$

$$2 x 1975,5 \text{ kN.m} > 6/5 (743,7 + 371,8) \text{ kN.m}$$

$$3951 \text{ kN.m} > 1338,7 \text{ kN.m} \quad (\text{Ok})$$

4.5.2.8 Perencanaan Tulangan Pengekangan Kolom

Luas total penampang sengkang tertutup persegi sesuai SNI 2847 2013 pasal 21.6.4.4 tidak boleh kurang dari yang disyaratkan (diambil terbesar):

$$A_{sh_1} = 0,3 \frac{s x b c x f'_{tc}}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right]$$

$$A_{sh_2} = 0,09 \frac{s x b c x f'_{tc}}{f_{yt}}$$

s adalah spasi tulangan transversal pada arah longitudinal dan s harus sesuai dengan ketentuan SNI 2847 2013 pasal 21.6.4.3, nilai s diambil terkecil dari:

$$\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} x 850 = 212,5 \text{ mm}$$

$$6 db = 6 x 25 = 150 \text{ mm}$$

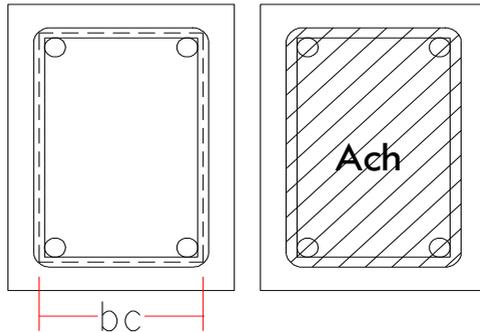
$$100 \text{ mm} < s < 150 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

Maka dipakai $s = 100 \text{ mm}$

$$A_g = 722500 \text{ mm}^2$$

$$b c = b - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot D_{\text{sengkang}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 850 - 2.40 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 16 = 754 \text{ mm} \\
 \text{Ach} &= (b - 2 \text{ decking}) \times (h - 2 \text{ decking}) \\
 &= (850 - 2.40) \times (850 - 2.40) = 592900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 38 bc dan Ach

$$\text{Ash1} = 0,3 \frac{100 \times 754 \times 35}{400} \left[\frac{722500}{592900} - 1 \right] = 432,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash2} = 0,09 \frac{100 \times 754 \times 35}{400} = 593,7 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai Ash terbesar sebesar = 593,7 mm²

Kebutuhan tulangan geser kolom:

$$n = \text{Ash}/\text{Ast} = 593,7 / \frac{1}{4} \pi 16^2 = 2,95 \approx 3 \text{ buah}$$

Pengekangan dipasang sepanjang lo sesuai SNI 2847 2013

Pasal 21.6.4.1 yaitu :

$$l_o > \text{penampang leleh} = 850 \text{ mm}$$

$$l_o > 1/6 l_n = 1/6 \times (3000 - 2 \times (1/2 \times 600)) = 400 \text{ mm}$$

$$l_o > 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan lo terbesar sebesar 850 mm dan digunakan tulangan geser 3D16 – 100 mm sepanjang lo.

4.5.2.9 Penulangan transversal terhadap gaya geser.

Gaya geser rencana V_e untuk kolom harus ditentukan menggunakan gaya-gaya pada muka hubungan pelat kolom, yaitu momen M_{pr} . Dimana M_{pr} ditentukan sebesar momen balance dari diagram interaksi pada program PCACOL dari hasil sebelumnya.

$$M_{pr} = 1975,5 \text{ kN.m}$$

Karena dimensi dan penulangan kolom atas dan bawah sama maka gaya geser diujung kolom akibat momen lentur:

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kolom}} &= 2 \times M_{pr}/l_n = 2 \times 1975,5 / (3000 - 2 (\frac{1}{2} 600)) \\ &= 940,71 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser yang bekerja disepanjang bentang kolom ditentukan dari M_{pr+} dan M_{pr-} balok yang menyatu dengan kolom tersebut. Sesuai perhitungan sebelumnya maka didapatkan nilai M_{pr} sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{pr+} &= 743,7 \text{ kN.m} \\ M_{pr-} &= 371,8 \text{ kN.m} \\ V_{e \text{ balok}} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} = \frac{743,7 + 371,8}{3 - 2(\frac{1}{2} 0,6)} = 265,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari dua hasil V_e diatas digunakan nilai terbesar yakni sebesar 940,71 kN.

Kekuatan geser beton (V_c) untuk komponen yang terkena beban aksial sesuai SNI 2847 2013 pasal 11.2.1.2 :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ P_u &= 6634200 \text{ kN} \\ \lambda &= 1 \text{ (Beton normal)} \\ A_g &= 722500 \text{ mm}^2 \\ b_w &= 850 \text{ mm} \\ d &= 850 - 40 - 16 - \frac{1}{2} 25 = 781,5 \text{ mm} \\ V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{6634200}{14 \cdot 722500} \right) 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 850 \cdot 781,5 \\ &= 1106264 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Tulangan Geser (V_s) didapatkan dari perencanaan berikut dengan mencari S sesuai syarat SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.5 :

$$\begin{aligned} 6d_b < s &= 6 \times 25 = 150 \text{ mm (Ok)} \\ 150 \text{ mm} < s &\text{(Ok)} \\ \text{Maka } s &= 150 \text{ mm} \\ A_s \text{ sengkang} &= 3 \times \frac{1}{4} \pi 16^2 = 602,88 \text{ mm}^2 \\ V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{602,88 \times 400 \times 781,5}{150} = 1256400 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi(V_c + V_s) &> V_e \\ 0,75(1106264 + 1256400) \text{ N} &> 940714 \text{ N} \end{aligned}$$

1771998 N > 940714 N (Ok)

Maka digunakan tulangan geser 3D16-150 mm sepanjang diluar daerah lo.

4.5.2.10 Panjang Lawatan pada sambungan tulangan Kolom

Sambungan tulangan kolom yang diletakkan ditengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lawatan yang ditentukan dari SNI 2847-2013 pasal 12.2.3. Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir, yang dihitung dengan rumus :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}} \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left(\frac{cb+Ktr}{db} \right)} \right) db$$

$\psi_t = 1,3$ (faktor lokasi)
 $\psi_e = 1$ (faktor pelapis)
 $\psi_s = 1$ (faktor ukuran batang tulangan)
 $\left(\frac{cb+Ktr}{db} \right) = 2,5$ (Angka Maksimum)
 $\lambda = 1$ (faktor beton agregat ringan)
 $l_d = \left(\frac{400}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \frac{1,3 \cdot 1 \cdot 1}{(2,5)} \right) 25 = 799,05 \approx 800$ mm

Jadi panjang lawatan sambungan tulangan kolom di tengah tinggi kolom sebesar 800 mm.

4.5.3 Perencanaan Dinding Geser

Perencanaan struktur dinding geser ini terdapat dua jenis dinding geser. Pada pembahasan kali ini akan dibahas perencanaan jenis dinding geser SW1.

4.5.3.1 Data perencanaan

Mutu beton ($f'c$)	= 35 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
D longitudinal	= 16 mm
D transversal	= 13 mm
Tb SW1 arah x	= 350 mm
Tb SW1 arah y	= 200 mm
Tb SW2	= 350 mm
Decking	= 40 mm

$$\begin{aligned} L \text{ SW1 arah x} &= 2,425 \text{ m} \\ L \text{ SW1 arah y} &= 5 \text{ m} \\ L \text{ SW2} &= 2,425 \end{aligned}$$

4.5.3.2 Gaya Dalam Dinding Geser

Gaya dalam dinding geser didapatkan dari program bantu analisis struktur. Diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 33 Gaya Dalam Dinding Geser

StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
Max	900,13	106,54	216,28	-2333,89	703,71
Min	175,66	-125,78	-235,41	2619,90	-1077,05

4.5.3.3 Desain Penulangan Dinding Geser

- Cek dimensi terhadap gaya geser terfaktor

Untuk semua Segmen shearwall V_n tidak boleh lebih besar dari V yang disyaratkan SNI 2847 2013 Pasal 21.9.4.4

$$V_n = V_u / \phi$$

$$\phi = 0,75$$

Arah X

$$V_{nx} = \frac{125,73}{0,75} = 167,7 \text{ Ton} = 1677,11 \text{ kN}$$

$$Acv = l_{wx} \times t_b = 2,425 \times 0,35 = 0,849 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} V \text{ syarat} &= 0,66 Acv \sqrt{f'c} = 0,66 \times 849000 \times \sqrt{35} \\ &= 3314040 \text{ N} = 3314,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat:

$$V \text{ syarat} > V_n$$

$$3314,04 \text{ kN} > 1677,11 \text{ kN} \quad (\text{Ok})$$

Arah Y

$$V_{ny} = \frac{235,41}{0,75} = 313,8 \text{ Ton} = 3138,79 \text{ kN}$$

$$Acv = l_{wy} \times t_b = 5 \times 0,2 = 1 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} V \text{ syarat} &= 0,66 Acv \sqrt{f'c} = 0,66 \times 1000000 \times \sqrt{35} \\ &= 3904610 \text{ N} = 3904,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat:

- V syarat > Vn
 3904,61 kN > 3138,79 kN (Ok)
- Cek jumlah lapis tulangan yang dibutuhkan
 Bila Vu melebihi V yang disyaratkan, maka harus digunakan dua lapis tulangan berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.9.2.2

Arah X

$$Acv = 0,849 \text{ m}^2$$

$$V \text{ syarat} = 0,17 Acv \sqrt{f'c} = 0,17 \times 849000 \times \sqrt{35} \\ = 853,61 \text{ kN}$$

Syarat:

$$Vu < V \text{ syarat} \\ 1257 \text{ kN} > 853,61 \text{ kN} \quad (2 \text{ lapis Tulangan})$$

Arah Y

$$Acv = 1 \text{ m}^2$$

$$V \text{ syarat} = 0,17 Acv \sqrt{f'c} = 0,17 \times 1000000 \times \sqrt{35} \\ = 1005,73 \text{ kN}$$

Syarat:

$$Vu < V \text{ syarat} \\ 2354 \text{ kN} > 1005,73 \text{ kN} \quad (2 \text{ Lapis Tulangan})$$

- Perhitungan kuat Geser yang disumbangkan beton (V_c)
 Menentukan kuat geser beton (V_c) sesuai SNI 2847 2013 Pasal 11.9.6, dimana V_c diambil terkecil dari dua persamaan berikut.

$$V_{c1} = 0,27 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d + \left(\frac{Pu \cdot d}{4lw} \right)$$

$$V_{c2} = \left[0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + \frac{lw \left(0,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + 0,2 \frac{Pu}{lw \cdot h} \right)}{\frac{Mu}{Vu} \cdot \frac{lw}{2}} \right] h \cdot d$$

Arah X

$$d = 0,8 lw = 0,8 \times 2425 = 1940 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,27 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 350 \cdot 1940 + \left(\frac{9001300 \cdot 1940}{4 \cdot 2425} \right) \\ = 2884,86 \text{ kN}$$

$$V_{c2} = \left[0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + \frac{2425 \left(0,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + 0,2 \frac{9001300}{2425 \cdot 350} \right)}{\frac{10770000000}{1257800} \cdot \frac{2425}{2}} \right] 350 \cdot 1940 \\ = 808,5 \text{ kN}$$

Digunakan V_c sebesar: 808,5 kN

Arah Y

$$d = 0,8 l_w = 0,8 \times 5000 = 4000 \text{ mm}$$

$$V_{C1} = 0,27 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 200 \cdot 4000 + \left(\frac{9001300 \cdot 4000}{4.5000} \right) \\ = 3078,13 \text{ kN}$$

$$V_{C2} = \left[0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + \frac{5000 \cdot (0,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + 0,2 \cdot \frac{9001300}{5000 \cdot 200})}{\frac{26199000000}{235410} \cdot \frac{5000}{2}} \right] 200 \cdot 4000 \\ = 1345 \text{ kN}$$

Digunakan V_c sebesar: 1345 kN

- Perhitungan tulangan Transversal dan longitudinal
 - Menentukan spasi tulangan dan kebutuhan tulangan transversal

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.9.9.3 spasi tulangan tranversal tidak boleh melebihi dari point berikut:

Arah X

$$l_w/5 = 2425/5 = 485 \text{ mm}$$

$$3h = 3 \times 350 = 1050 \text{ mm}$$

450 mm

Digunakan $S = 200 \text{ mm}$

Maka digunakan penulangan 2D13-200

Arah Y

$$l_w/5 = 5000/5 = 1000 \text{ mm}$$

$$3h = 3 \times 200 = 600 \text{ mm}$$

450 mm

Digunakan $S = 200 \text{ mm}$

Maka digunakan penulangan 2D13-200

- Cek V_s

Arah X

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{1257,8}{0,75} - 808,5 = 868,57 \text{ kN}$$

$$A_{vt} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 = 265,3 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_{vt} \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{265,3 \cdot 400 \cdot 1940}{200} = 1029,5 \text{ kN}$$

Arah Y

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{2354,1}{0,75} - 1345 = 1345 \text{ kN}$$

$$A_{vt} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 = 265,3 \text{ mm}^2$$

- $$V_s = \frac{Avt \cdot fy \cdot d}{s} = \frac{265,3 \cdot 400 \cdot 4000}{200} = 2122,6 \text{ kN}$$
- Cek Rasio tulangan minimum longitudinal maupun transversal
 Rasio Tulangan Longitudinal dan transversal minimal sebesar 0.0025 dan spasi antar tulangan tidak melebihi 450 mm (SNI 2847 2013, Pasal 21.9.2.1)

Tulangan Transversal

$$\rho_{tx} = \frac{Avt}{h \times s} = \frac{236,5}{350 \times 200} = 0,0038 > 0,0025 \text{ (Ok)}$$

$$\rho_{ty} = \frac{Avt}{h \times s} = \frac{236,5}{200 \times 200} = 0,0066 > 0,0025 \text{ (Ok)}$$

Tulangan Longitudinal

Direncanakan menggunakan tulangan: D22-150 mm

- $\rho_{lx} = 0,0215 \text{ (Output Spcolumn)} > 0,0025 \text{ (Ok)}$
- Menentukan kuat Geser nominal penampang
 $V_{nx} = V_c + V_s = 808,5 + 1029,5 = 1838 \text{ kN}$
 $V_{ny} = V_c + V_s = 1345 + 2122,6 = 3468 \text{ kN}$
 Nilai V_n tidak boleh melebihi syarat dalam SNI 2847 2013 Pasal 21.9.4.1.

$$V_n = Acv \left(\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + \rho_t \cdot fy \right)$$

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (diambil minimum)}$$

Arah X

$$V_n = 0,849 \times 10^6 (1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + 0,0038 \cdot 400)$$

$$= 2140 \text{ kN}$$

Arah Y

$$V_n = 1 \times 10^6 (1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + 0,0066 \cdot 400)$$

$$= 3659 \text{ kN}$$

Syarat:

$$V_n \text{ syarat} > V_{nx}$$

$$2140 \text{ kN} > 1838 \text{ kN} \quad \text{(Ok)}$$

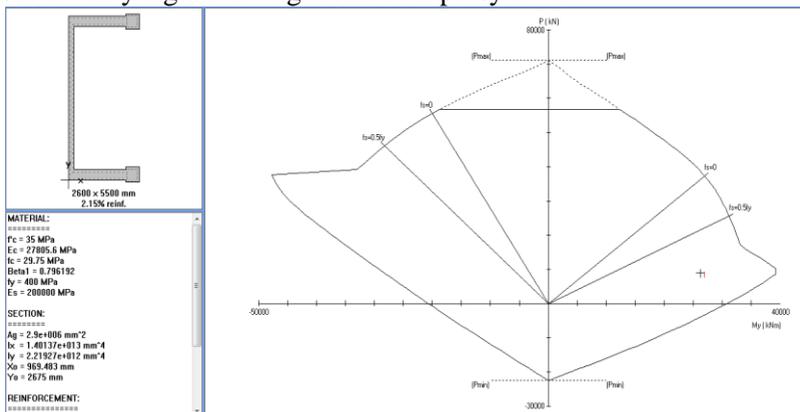
$$V_n \text{ syarat} > V_{ny}$$

$$3659 \text{ kN} > 3468 \text{ kN} \quad \text{(Ok)}$$

- Kontrol Tulangan penahan Aksial Lentur

Pada boundary elemen shearwall dipasang tulangan 20D22, untuk tulangan longitudinalnya direncanakan berdasarkan perhitungan sebelumnya yaitu D22-150, Pengecekan dilakukan

melalui diagram interaksi P-M hasil program Spcolumn. Dari gambar berikut bisa diketahui bahwa persyaratan tulangan shearwall yang dirancang memenuhi persyaratan.

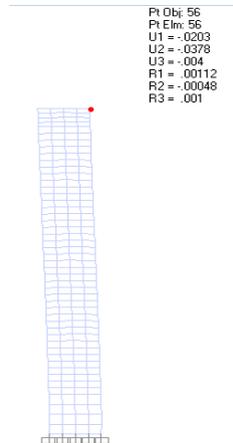


Gambar 4. 39 Diagram Interaksi P-M Shearwall

- Cek Apakah dibutuhkan elemen pembatas khusus penentuan elemen batas khusus berdasarkan pendekatan perpindahan (Displacement Method). Elemen pembatas khusus ini diperlukan bila memenuhi persyaratan berdasarkan persamaan pada SNI 2847 2013 Pasal 21.9.6.2

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta u/hw)}$$

dimana angka simpangan (δu) didapatkan berdasarkan output SAP2000.



Gambar 4. 40 Nilai Simpangan Pada Dinding Geser

Dari gambar diatas didapatkan nilai $\delta u = 37,8$ mm. Nilai $\delta u/hw = 37,8/36500 = 0,001$ harus lebih besar dari 0,007. Jika lebih kecil maka digunakan 0,007.

Nilai l_w diambil terbesar dari arah x dan y yaitu 5 m.

Untuk mendapatkan nilai c didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\alpha = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$As = 62323 \text{ mm}^2 \text{ (Output Spcolumn)}$$

$$b = 350 \text{ mm (b terbesar)}$$

$$\text{maka } \alpha \text{ didapatkan sebesar } = 2394 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \cdot (f'c - 28) / 7 = 0,85 - 0,05 \cdot (35 - 28) / 7 = 0,80$$

$$c = \alpha / \beta = 2394 / 0,8 = 2993 \text{ mm}$$

syarat:

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta u/hw)} = \frac{5000}{6000(0,007)} = 1190 \text{ mm}$$

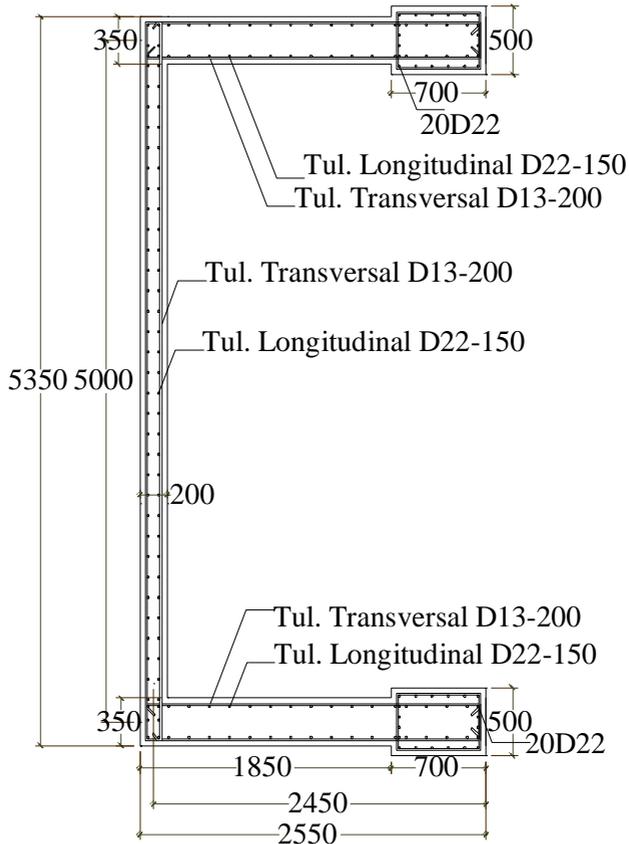
$$2993 \text{ mm} > 1190 \text{ mm (Dibutuhkan panjang elemen khusus)}$$

Digunakan nilai c sebesar 1190 mm. Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.9.6.4 panjang elemen pembatas khusus ditetapkan dari nilai terbesar antara:

$$c - 0,1l_w = 1190 - 0,1 \times 5000 = 690,5 \text{ mm}$$

$$c/2 = 1190/2 = 595,2 \text{ mm}$$

maka digunakan panjang elemen pembatas khusus sebesar $690,48 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$



Gambar 4. 41 Penulangan Shearwall tipe SW1

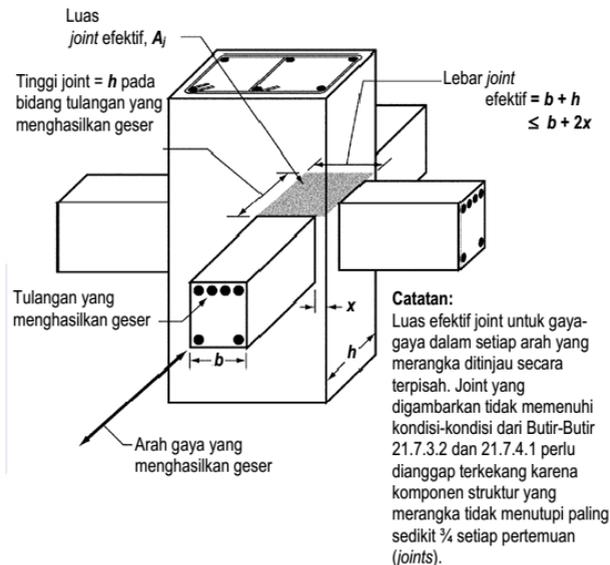
4.5.4 Hubungan Balok kolom

Sesuai dalam ketentuan bahwa suatu joint telah diatur secara lengkap dalam SNI 2847:2013 pasal 21.7 yaitu mengenai joint rangka momen khusus. Dimana dalam suatu joint telah dijelaskan dalam pasal 21.7.3.2 telah dijelaskan bahwa komponen struktur merangka kedalam semua empat sisi joint

bilamana setiap lebar komponen struktur adalah paling sedikit (3/4) lebar kolom harus dipasang tulangan trnversal sedikitnya setengah dari yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4(a) dan (b) dan s lebih kecil dari 150 mm.

Kekuatan geser nominal (V_n) untuk beton berat normal dalam SNI pasal 21.7.4 telah disebutkan bahwa V_n joint tidak boleh diambil lebih besar dari nilai yang ditetapkan sebagai berikut :

- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua eMPat muka, $V_n = 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$



Gambar 4. 42 Hubungan Balok Kolom

4.5.4.1 Luas Efektif Join

Luas efektif hubungan balok kolom dinyatakan dalam A_j .

- Lebar joint efektif = $b+h = 850 + 850 = 1700$ mm
- Lebar joint efektif = $b+2x = 850+2(850-400) = 1750$ mm
- Lebar joint efektif = $\frac{3}{4} \times b = \frac{3}{4} \times 850 = 637,5$ mm

Maka dipakai lebar efektif sebesar 637,5 mm, sehingga luas efektif balok (A_j) = $637,5^2 = 406406,25$ mm²

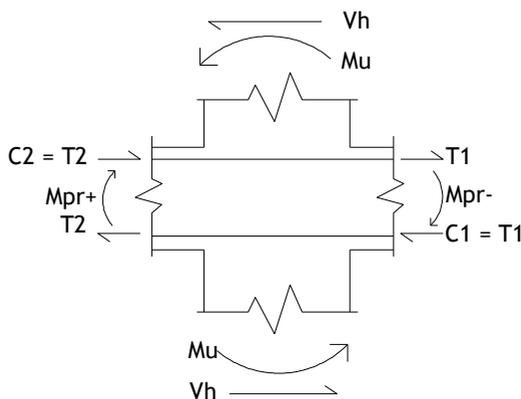
4.5.4.2 Penulangan Transversal HBK

Kolom dianggap terkekang bila ada empat balok yang merangka pada keempat sisi HBK tersebut, maka berdasarkan hasil perencanaan kolom sebelumnya didapatkan 3D16-150 mm dapat digunakan pada HBK ini.

4.5.4.3 Kuat Geser di HBK

Geser pada kolom atas, V_h merupakan gaya geser kolom yang dihitung dari M_u kedua ujung balok yang menyatu di HBK. Untuk M_{pr+} dan M_{pr-} didapatkan dari hasil perhitungan gaya geser yang bekerja sepanjang bentang kolom pada perhitungan penulangan transversal sebelumnya.

Karena dimensi kolom sama, maka nilai M_u atas dan M_u bawah sama.



Gambar 4. 43 Sketsa Gaya dalam yang bekerja pada HBK

$$L = 3 \text{ m}$$

$$M_{pr+} = 371,8 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr-} = 743,7 \text{ kN.m}$$

$$M_u = \frac{1}{2} (M_{pr+} + M_{pr-}) = \frac{1}{2} (371,8 + 743,7) = 557,8 \text{ kN.m}$$

$$V_h = \frac{M_u \text{ atas} + M_u \text{ Bawah}}{L} = \frac{557,8 + 557,8}{3} = 371,8 \text{ kN}$$

Luas tulangan yang bekerja pada T1 adalah A_s - balok sebesar 3039,52 mm². Untuk T2 adalah A_s + balok sebesar

1519,72 mm². Sehingga gaya yang bekerja pada T1 dan T2 di HBK adalah.

$$\begin{aligned} T1 &= C1 = 1,25 \times A_s \times f_y = 1,25 \times 3039,52 \times 400 \\ &= 1519,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T2 &= C2 = 1,25 \times A_s \times f_y = 1,25 \times 1519,72 \times 400 \\ &= 759,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan meninjau keseimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh.

$$V_j = T1 + C2 - V_h = 1519,7 + 759,88 - 371,8 = 1907,7 \text{ kN}$$

Besar V_j tidak boleh melebihi besar V_n berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.7.4.1.

$$V_n = 1,7 \sqrt{f'c} A_j = 1,7 \sqrt{35} \times 406406,25 = 4087 \text{ kN}$$

Kontrol:

$$\phi V_n > V_j$$

$$0,75 \times 4087 \text{ kN} > 1907,7 \text{ kN}$$

3066 kN > 1907,7 kN (Ok, Join mempunyai kuat geser yang memadai)

4.6 Perencanaan Pondasi

4.6.1 Umum

Pondasi merupakan komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Untuk merencanakan pondasi harus memperhatikan beberapa hal diantaranya jenis tanah, kondisi tanah dan struktur tanah, karena sangat berkaitan dengan daya dukung tanah tersebut dalam memikul beban yang terjadi di atasnya. Perencanaan ini meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (pile cap) dan perencanaan sloof (tie beam).

4.6.2 Data Tanah

Data tanah yang diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Perencanaan pembangunan gedung Star Hotel dan Apartemen ini berlokasi di Kabupaten Lombok sehingga data tanah yang diperlukan untuk perencanaan pondasi didapatkan

melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur akan dibangun.

4.6.3 Spesifikasi Tiang Pancang

Pondasi direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang jenis pencil pile shoe beton pracetak dengan bentuk penampang bulat berongga produk dari PT WIKA BETON. Berikut spesifikasi tiang pancang yang direncanakan.

Data Tiang Pancang

Diameter Outside	= 600 mm
Wall thickness	= 100 mm
Class	= A2
Allowable Axial load	= 249 Ton

4.6.4 Perhitungan Pondasi Tiang Pancang

4.6.4.1 Analisa Daya Dukung Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tanah pada pondasi (QL) ini dilakukan berdasarkan hasil uji SPT (Standard Penetration Test) dengan menggunakan metode Luciano Decourt. Dengan Perumusan Sebagai Berikut:

$$QL = Q_p + Q_s$$

Dimana :

$$Q_p = q_p \times A_p$$

A_p = Luas Penampang diujung tiang

$$q_p = \text{Tegangan diujung tiang} = N_p \times K$$

N_p = harga rata-rata SPT 4B diatas dasar pondasi dan 4B dibawah dasar pondasi, dengan B adalah diameter tiang.

K = Koefisien karakteristik tanah.

$$= 12 \text{ t/m}^2 \text{ (Lempung)}$$

$$= 20 \text{ t/m}^2 \text{ (Lanau Berlempung)}$$

$$= 25 \text{ t/m}^2 \text{ (Lanau Berpasir)}$$

$$= 40 \text{ t/m}^2 \text{ (Pasir)}$$

$$Q_s = q_s \times A_s$$

A_s = Luasan selimut tiang yang pancang terbenam

$$q_s = \text{Tegangan akibat lekatan lateral dalam } \text{t/m}^3 = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right)$$

N_s = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam dengan batasan $3 < N < 50$.

4.6.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Pada Perhitungan kali ini diambil pada kedalaman 33 m. Untuk nilai N_1, N_2 dan N_3 diambil berdasarkan besar N SPT di sekitar kedalaman 33 m.

$$K = 25 \text{ t/m}^2 \text{ (Lanau berpasir)}$$

$$q_p = N_p \times K = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{4D} \times K = \frac{19 + 24 + 35}{4 \times 600} \times 25 \\ = 813 \text{ t/m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 0,6^2 = 0,28 \text{ m}^2$$

$$Q_P = q_p \times A_p = 813 \times 0,28 = 229,6 \text{ Ton}$$

$$N_s = (\sum N_i / i) = 229 / 18 = 12,7 \text{ t/m}^2$$

$$A_s = \pi \times D \times h_i = \pi \times 0,6 \times 33 = 62,2 \text{ m}^2$$

$$Q_S = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s = \left(\frac{12,7}{3} + 1 \right) \times 62,2 = 326 \text{ Ton}$$

$$Q_L = Q_P + Q_S = 229,6 + 326 = 555,4 \text{ Ton}$$

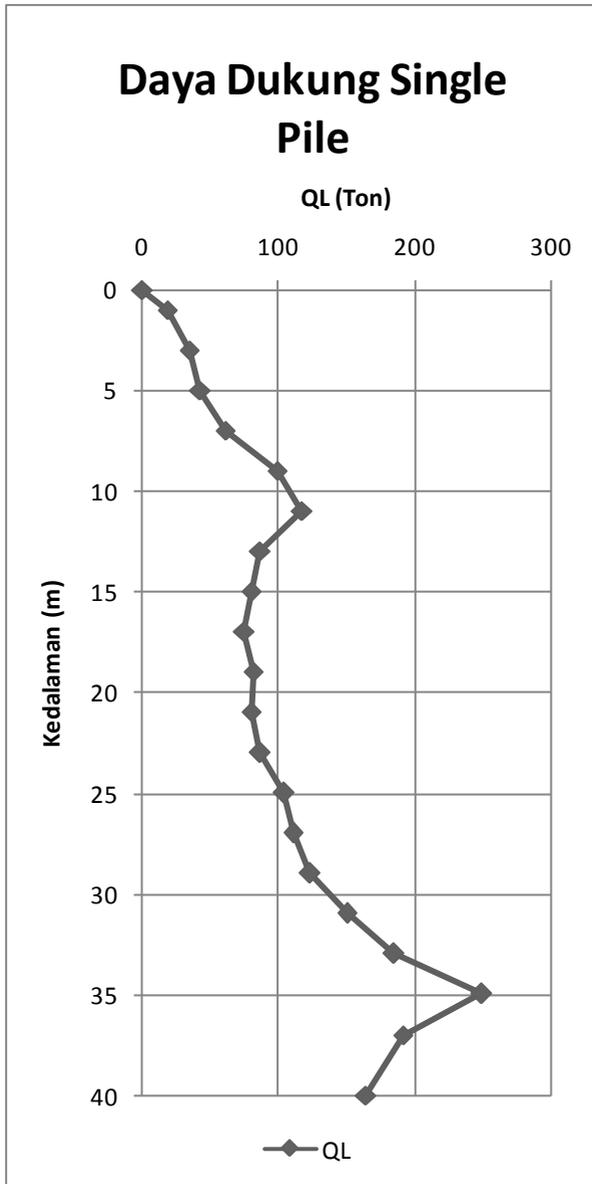
$$SF = 3$$

$$Q_{ijin} = Q_L / SF = 555,4 / 3 = 185,1 \text{ Ton}$$

Untuk daya dukung tiang pancang tunggal di kedalaman lain bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 34 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

No	Depth m	N	Np	K t/m ²	qP t/m ²	Ap m ²	Qp T	Σni	Ns	As m ²	QS Ton	QL Ton	SF	Q ijin Ton
1	0	0	0,0	12	0	0,283	0	0	0	0,00	0	0,00	3	0
2	1	12	8,8	20	175	0,283	49,5	12	6	1,88	5,652	55,11	3	18,4
3	3	9	15,0	20	300	0,283	84,8	21	7	5,65	18,84	103,62	3	34,5
4	5	15	15,8	25	396	0,283	112	36	2,25	9,42	16,49	128,35	3	42,8
5	7	14	17,9	25	448	0,283	127	50	10	13,19	57,15	183,73	3	61,2
6	9	14	19,6	40	783	0,283	221	64	10,67	16,96	77,24	298,61	3	99,5
7	11	19	22,1	40	883	0,283	250	83	11,86	20,72	102,6	352,26	3	117
8	13	20	18,3	25	458	0,283	130	103	12,88	24,49	129,6	259,13	3	86,4
9	15	5	14,2	25	354	0,283	100	108	12	28,26	141,3	241,39	3	80,5
10	17	9	9,6	25	240	0,283	67,7	117	11,7	32,03	156,9	224,64	3	74,9
11	19	9	12,9	20	258	0,283	73	126	11,45	35,80	172,5	245,48	3	81,8
12	21	13	14,2	12	170	0,283	48	139	11,58	39,56	192,3	240,37	3	80,1
13	23	12	14,6	12	175	0,283	49,5	151	11,62	43,33	211,1	260,56	3	86,9
14	25	10	15,0	20	300	0,283	84,8	161	11,5	47,10	227,7	312,43	3	104
15	27	14	14,6	20	292	0,283	82,4	175	11,67	50,87	248,7	331,11	3	110
16	29	11	18,3	20	367	0,283	104	186	11,63	54,64	266,4	369,97	3	123
17	31	19	22,5	25	563	0,283	159	205	12,06	58,40	293,2	452,13	3	151
18	33	24	32,5	25	813	0,283	230	229	12,72	62,17	325,8	555,44	3	185
19	35	35	33,3	40	1333	0,283	377	264	13,89	65,94	371,3	748,15	3	249
20	37	21	30,8	20	617	0,283	174	285	14,25	69,71	400,8	575,09	3	192
21	40	18	16,3	12	195	0,283	55,1	303	14,43	75,36	437,8	492,91	3	164



Gambar 4. 44 Grafik Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

4.6.4.3 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Kolom

Pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 60 cm.

- Dimensi Poer

Jarak dari as ke as antar tiang pancang direncanakan seperti pada perhitungan dibawah ini:

Jarak antar tiang pancang.

$$2D \leq S \leq 3D$$

$$2 \times 0,6 \leq S \leq 3 \times 0,6$$

$$1,2 \leq S \leq 1,8$$

Dipakai jarak sebesar 1,5 m.

Jarak tiang pancang ke tepi.

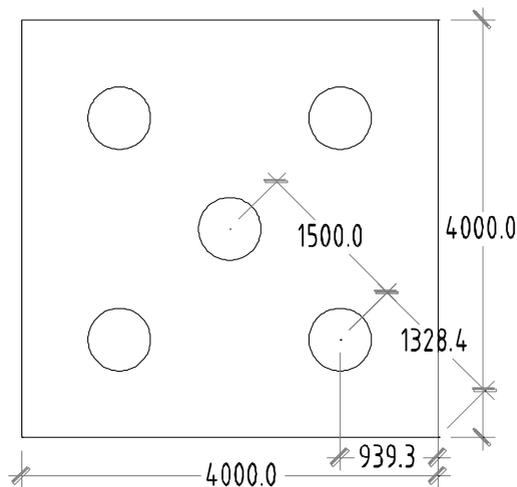
$$1,5D \leq S' \leq 2D$$

$$1,5 \times 0,6 \leq S' \leq 2 \times 0,6$$

$$0,9 \leq S' \leq 1,2$$

Dipakai jarak sebesar 0,94 m

Tinggi Poer direncanakan sebesar 1 m



Gambar 4. 45 Konfigurasi Rencana Pondasi Kelompok

- Gaya dalam

Pada perhitungan kali ini digunakan gaya dalam pada joint 25. Dengan gaya dalam sebagai berikut:

$$P = 573 \text{ Ton}$$

$$H_x = 0,47 \text{ Ton}$$

$$H_y = 2,41 \text{ Ton}$$

$$M_x = 0,58 \text{ Ton}$$

$$M_y = 0,14 \text{ Ton}$$

- **Gaya Aksial Akibat Beban**

$$P = 573 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} M_{x \text{ kombinasi}} &= M_x + H_y \times h_{\text{poer}} \\ &= 0,58 + 2,41 \times 1 = 2,99 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y \text{ kombinasi}} &= M_y + H_x \times h_{\text{poer}} \\ &= 0,14 + 0,47 \times 1 = 0,6 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat poer} = V_{\text{poer}} \times BJ_{\text{Beton}} = 4 \times 4 \times 1 \times 2,4 = 38,4 \text{ Ton}$$

$$\Sigma P = P + \text{Berat Poer} = 573 + 39,4 = 611,4 \text{ Ton}$$

- **Jumlah tiang pancang dalam 1 grup**

$$n = \frac{\Sigma P}{Q_{\text{ijin}}} = \frac{611,4}{185,1} = 3,3 \approx 5 \text{ Buah}$$

- **Efisiensi daya dukung tiang pancang kelompok**

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{D}{\pi \cdot S \cdot m} \left[m \cdot (n - 1) + (m - 1) + \sqrt{2(m - 1)(n - 1)} \right] \\ &= 1 - \frac{600}{\pi \cdot 1500 \cdot 2} \left[2 \cdot (2 - 1) + (2 - 1) + \sqrt{2(2 - 1)(2 - 1)} \right] \\ &= 0,718 \end{aligned}$$

- **Syarat :**

$$\Sigma P < Q_{\text{kelompok}}$$

$$611,4 \text{ Ton} < Q_{\text{ijin}} \times n \times \eta$$

$$611,4 \text{ Ton} < 185 \times 5 \times 0,718$$

$$611,4 \text{ Ton} < 665,45 \text{ Ton (Ok)}$$

4.6.4.4 Kontrol Beban Maksimum Tiang (P_{max}) Kolom

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang.

$$P_{\text{max}} = \left(\frac{P}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\text{maks}}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\text{maks}}}{\Sigma y^2} \right)$$

$$P_{\text{max}} = \left(\frac{611}{5} + \frac{0,615 \times 1,5}{1,5 \times 4} + \frac{2,99 \times 1,5}{1,5 \times 4} \right) = 122,9 \text{ Ton}$$

4.6.4.5 Kontrol Kekuatan Tiang Pancang Kolom Terhadap Kekuatan Aksial

Tiang Pancang Berdasarkan spesifikasinya tidak diperkenankan menerima gaya aksial sebagai berikut:

$$\text{Allowable axial load} = 249 \text{ Ton}$$

$$Q_{ijin} = 185,1 \text{ Ton}$$

Syarat 1:

$$P_{\max} < P_{ijin} \text{ produk}$$

$$122,9 \text{ Ton} < 249 \text{ Ton} \quad (\text{Ok})$$

Syarat 2:

$$P_{\max} < \eta \times Q_{ijin}$$

$$122,9 \text{ Ton} < 0,718 \times 185,1 = 133 \text{ Ton} \quad (\text{Ok})$$

4.6.4.6 Perencanaan Poer Pada Pondasi Kolom

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

- Data Perencanaan :

$$\Sigma n = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Dimensi Kolom} = 950 \times 950 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dimensi Poer} = 4 \times 4 \times 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Dtulangan} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 75 \text{ mm}$$

$$dx = h - \text{decking} - \frac{1}{2}D = 1000 - 75 - \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 912,5 \text{ mm}$$

$$dy = h - \text{decking} - D - \frac{1}{2}D = 1000 - 75 - 25 - \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 887,5 \text{ mm}$$

- Kontrol Geser Pons

Dalam merencanakan poer harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12(2). Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari perumusan berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_c = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$$

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi.
 $= 950/950 = 1$

b_o = Keliling penampang kritis pada poer
 $= 2(bk + d) + 2(hk + d)$
 $= 2(950+912,5) + 2(950+912,5) = 7450 \text{ mm}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 7450 \cdot 912,5 = 1538 \text{ T}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 7450 \cdot 912,5 = 995,4 \text{ T}$$

syarat:

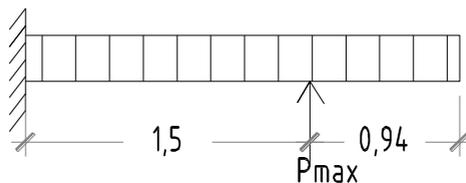
$$P_u < \phi V_c$$

$$573 \text{ T} < 995,4 \text{ T} \quad (\text{Ok})$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer yang direncanakan memenuhi syarat terhadap geser ponds.

- Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat (P) di tiang kolom yang berasal dari gaya perlawanan tanah (beban ijin terpusat dari tiang) dan beban terbagi rata (q) yang berasal dari berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.



Gambar 4. 46 Mekanika Beban Poer

$$P_{max} = 122,9 \text{ T}$$

$$Q_{poer} = h \times b \times B_J \text{ Beton} = 1 \times 4 \times 2,4 = 9,6 \text{ t/m}$$

$$\text{Momen} = 122,9 \times 1,5 - \frac{1}{2} \times 9,6 \times 2,44^2 = 156 \text{ Ton.m}$$

$$= 3400605942 \text{ Nmm}$$

Penulangan Arah X

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1,4/f_y = 1,4/400 = 0,0035 \\ R_n &= \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3400605942}{0,9 \times 4000 \times 912,5^2} = 1,13 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,4 \\ \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,4} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,4 \times 1,13}{400}} \right) = 0,00289 \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 1000 \times 937,5 = 3281 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 25^2 = 491 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{(3281/491)} = 149,5 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}$$

Penulangan lentur bawah D25-125 mm (3925 mm²).

Untuk penulangan lentur atas digunakan ½ Lentur bawah, maka penulangannya D19-125 mm.

4.6.4.7 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Shearwall

- Data Perencanaan

$$\text{Kedalaman Tiang Pancang} = 33 \text{ m}$$

$$\text{Diameter Tiang Pancang} = 600 \text{ mm}$$

Direncanakan dimensi poer dengan ketentuan sebagai berikut:

Syarat jarak antar tiang pancang:

$$2D < S < 3D$$

$$2 \times 0,6 < S < 3 \times 0,6$$

$$1,2 < S < 1,8$$

Dipakai jarak sebesar 1,75 m.

Syarat jarak tiang pancang ke tepi:

$$1,5D < S' < 2,5D$$

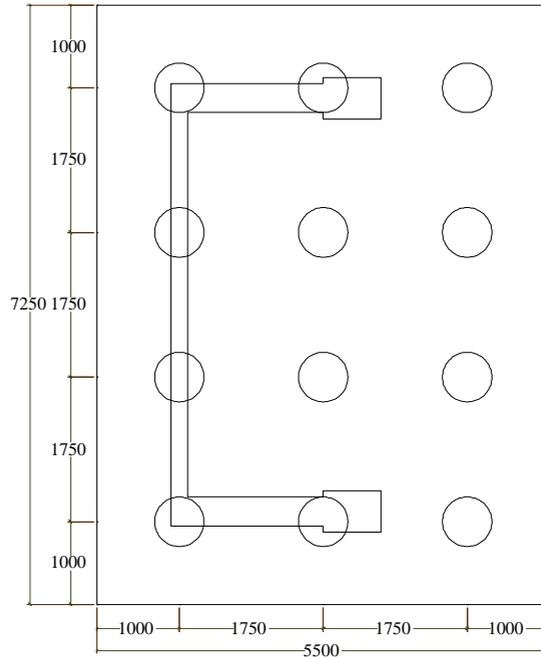
$$1,5 \times 0,6 < S' < 2,5 \times 0,6$$

$$0,9 < S' < 1,2$$

Dipakai jarak sebesar 1 m.

Tinggi Poer direncanakan sebesar 1 m.

Maka dimensi seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 47 Desain Poer Shearwall

- **Gaya Dalam**

$$\begin{aligned}
 P &= 560 \text{ T} \\
 H_x &= 10 \text{ T} \\
 H_y &= 10,3 \text{ T} \\
 M_x &= 194 \text{ T.m} \\
 M_y &= 160,5 \text{ T.m}
 \end{aligned}$$

- **Gaya Aksial Akibat Beban**

$$\begin{aligned}
 P &= 560 \text{ Ton} \\
 M_{x \text{ kombinasi}} &= M_x + H_y \times h_{\text{poer}} \\
 &= 194 + 10,3 \times 1 = 204,1 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{y \text{ kombinasi}} &= M_y + H_x \times h_{\text{poer}} \\
 &= 160 + 10 \times 1 = 170,6 \text{ Ton.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat poer} &= \text{Luas}_{\text{poer}} \times h_{\text{poer}} \times \text{BJ}_{\text{Beton}} \\
 &= 5,5 \times 7,25 \times 1 \times 2,4 = 95,7 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma P = P + \text{Berat Poer} = 560 + 95,7 = 655,5 \text{ Ton}$$

- **Jumlah tiang pancang dalam 1 grup**

$$n = \frac{\Sigma P}{Q \text{ ijin}} = \frac{655,5}{185,1} = 3,54 \approx 9 \text{ Buah}$$

- **Efisiensi daya dukung tiang pancang kelompok**

$$\eta = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m} \left[m \cdot (n - 1) + (m - 1) + \sqrt{2(m - 1)(n - 1)} \right]$$

$$= 1 - \frac{600}{\pi \cdot 1250 \cdot 2} \left[5 \cdot (3 - 1) + (4 - 1) + \sqrt{2(4 - 1)(3 - 1)} \right]$$

$$= 0,6$$

- **Syarat :**

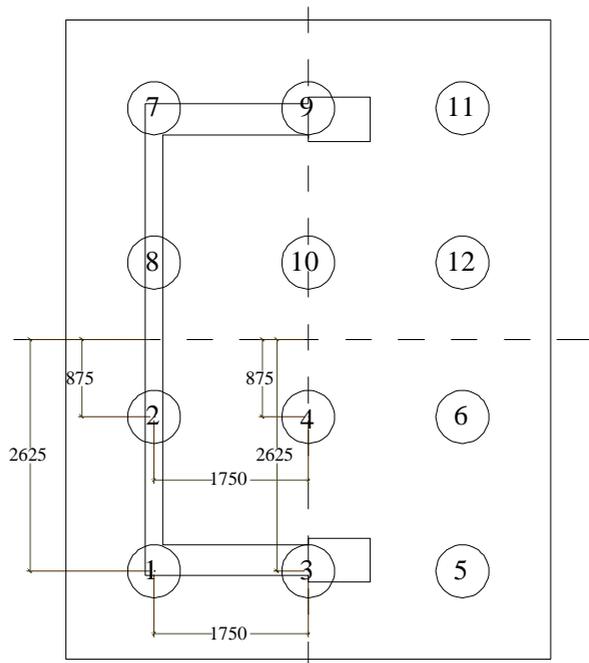
$$\Sigma P < Q \text{ kelompok}$$

$$655,5 \text{ Ton} < Q_{ijin} \times n \times \eta$$

$$655,5 \text{ Ton} < 185 \times 9 \times 0,6$$

$$655,5 \text{ Ton} < 1344,5 \text{ Ton (Ok)}$$

4.6.4.8 Kontrol Beban Maksimum Tiang (P_{max}) Shearwall



Gambar 4. 48 Jarak Tiang pancang ke titik berat

Tabel 4. 35 Jarak Tiang Pancang Ke Titik Berat

Tiang	Sumbu (m)			
	x	x ²	y	y ²
1	1.75	3.06	2.625	6.891
2	1.75	3.06	0.875	0.766
3	0.00	0.00	2.625	6.891
4	0.00	0.00	0.875	0.766
5	1.75	3.06	2.625	6.891
6	1.75	3.06	0.875	0.766
7	1.75	3.06	2.625	6.891
8	1.75	3.06	0.875	0.766
9	0.00	0.00	2.625	6.891
10	0.00	0.00	0.875	0.766
11	1.75	3.06	2.625	6.891
12	1.75	3.06	0.875	0.766
Σ		24.50		45.94

- **Kontrol Beban Maksimum (Pmax)**

$$P_{\max} = \left(\frac{P}{n} + \frac{My.Xmaks}{\sum x^2} + \frac{Mx.Ymaks}{\sum y^2} \right)$$

$$P_{\max} = \left(\frac{617}{9} + \frac{170,5x1,75}{24,5} + \frac{204,1x2,625}{45,94} \right) = 78,5 \text{ Ton}$$

4.6.4.9 Kontrol Kekuatan Tiang Pancang Shearwall Terhadap Kekuatan Aksial

Tiang Pancang Berdasarkan spesifikasinya tidak diperkenankan menerima gaya aksial sebagai berikut:

$$\text{Allowable axial load} = 249 \text{ Ton}$$

$$Q_{ijin} = 78,5 \text{ Ton}$$

Syarat 1:

$$P_{\max} < P_{ijin} \text{ produk}$$

$$78,5 \text{ Ton} < 249 \text{ Ton} \quad (\text{Ok})$$

Syarat 2:

$$P_{\max} < \eta \times Q_{ijin}$$

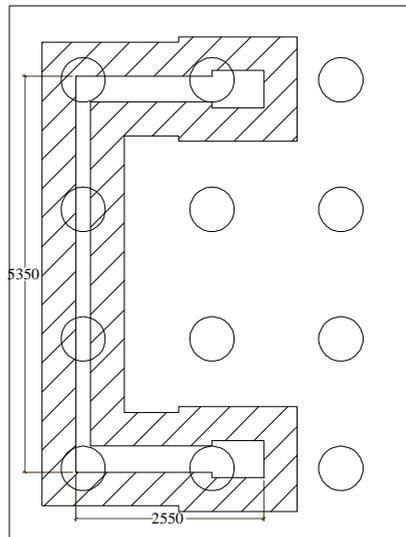
$$78,5 \text{ Ton} < 0,718 \times 185,1 = 133 \text{ Ton} \quad (\text{Ok})$$

4.6.4.10 Perencanaan Poer Pada Pondasi Shearwall

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

- **Data Perencanaan :**

Σn	= 12 buah
Dimensi Poer	= Luas poer x h poer = (5,5 x 7,25 x 1) m ³
Mutu beton ($f'c$)	= 35 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Dtulangan decking	= 25 mm
dx	= h-decking - $\frac{1}{2}D$ = 1000 - 75 - $\frac{1}{2}.25$ = 912,5 mm
dy	= h-decking - D - $\frac{1}{2}D$ = 1000 - 75 - 25 - $\frac{1}{2}.25$ = 887,5 mm



Gambar 4. 49 Penampang kritis poer

- **Kontrol Geser Pons**

Dalam merencanakan poer harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12(2). Rasio sisi panjang terhadap daerah reaksi (β) serta keliling penampang kritis (b_o) sejarak $d/2$ ditunjukkan pada Gambar diatas. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari perumusan berikut:

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c2} = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$$

$$\beta = \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi.} \\ = 2,55/5,35 = 0,477$$

$$b_o = \text{Keliling penampang kritis pada poer} \\ = 24748 \text{ mm}$$

$$\phi V_{c1} = 0,75 \times 0,17 \left(1 + \frac{2}{0,477} \right) 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 24748 \cdot 912,5 \\ = 8851 \text{ T}$$

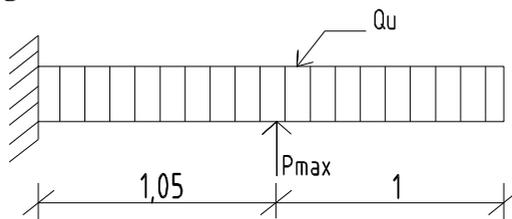
$$\phi V_{c2} = 0,75 \times 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 24748 \cdot 912,5 = 3307 \text{ T}$$

$$\text{syarat:} \\ P_u < \phi V_c$$

$$560 \text{ T} < 3307 \text{ T} \quad (\text{Ok})$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer yang direncanakan memenuhi syarat terhadap geser pons.

- Penulangan Poer



Gambar 4. 50 mekanika beban poer shearwall

$$Q_{poer} = h \times b \times B J \text{ Beton} = 1 \times 7,25 \times 2,4 = 17,4 \text{ t/m}$$

$$\text{Momen} = 2P_{max} \times L - \frac{1}{2} \times Q \times L \text{tot}^2$$

$$= 2 \times 78,5 \times 1,05 - \frac{1}{2} \times 17,4 \times 2,05 = 128,2 \text{ Ton.m}$$

$$= 1282378329 \text{ Nmm}$$

Penulangan Arah X

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/400 = 0,0035$$

$$R_n = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1282378329}{0,9 \times 1000 \times 912,5^2} = 1,71$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,44$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,4} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,4 \times 1,71}{400}} \right) = 0,0044$$

Maka digunakan $\rho = 0,0044$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0044 \times 1000 \times 912,5 = 4023 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 25^2 = 491 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{(4023/491)} = 122 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

Penulangan lentur bawah D25-120 mm (4089 mm²).

Untuk penulangan lentur atas digunakan ½ Lentur bawah, maka penulangannya D19 - 120 mm (2362 mm²).

4.6.4.11 Perencanaan Sloof

- Data Perencanaan

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (f_y)} = 400 \text{ MPa}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$D \text{ lentur} = 13 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 40 \text{ mm}$$

$$d' = h - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2}D$$

$$= 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 13 = 344 \text{ mm}$$

$$L \text{ sloof terbesar} = 8,975 \text{ m}$$

- Gaya Dalam

$$P = 10\% P_{\text{kolom}} = 10\% \times 573 = 57,3 \text{ Ton}$$

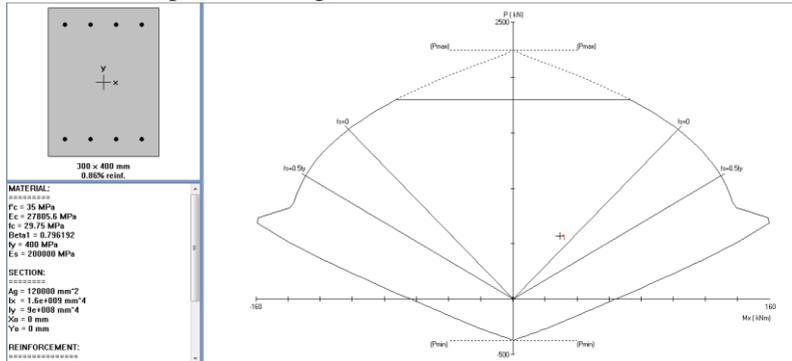
$$Q_{\text{sloof}} = h \times b \times b_j = 0,4 \times 0,3 \times 2,4 = 0,288 \text{ t/m}$$

$$\text{Momen} = (1/8) Q L^2 = (1/8) \times 0,288 \times 8,975^2$$

$$= 2,89 \text{ Ton.m}$$

$$V = \frac{1}{2} Q L = \frac{1}{2} \times 0,288 \times 8,975 = 1,29 \text{ Ton}$$

- Penulangan Lentur Sloff
Pada penulangan lentur sloff menggunakan program bantu Pacol dan didapatkan tulangan 8 D 13 sudah memenuhi.



Gambar 4. 51 Interaksi Gaya Aksial dan momen sloff

- Penulangan Geser Sloff

$$\phi V_c = 0,75 \times 0,17 \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,75 \times 1,7 \times 300 \times 344 \times \sqrt{35} = 77731 \text{ N}$$

Syarat:
 $\phi V_c > V_{\text{sloff}}$
 77731 N > 12924 N (Ok)
 Dipasang tulangan geser minimum d/2 atau 300 mm.
 $S = d/2 = 344/2 = 171,8 \approx 150 \text{ mm}$
- Review penulangan
 Lentur Atas 4D13
 Lentur Bawah 4D13
 Senggang D10-150 mm

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan pada bab pembahasan didapatkan kesimpulan sesuai tujuan penulisan tugas akhir ini. Yakni diantaranya.

1. Pada perencanaan struktur sekunder didapatkan 3 jenis balok anak, 3 jenis pelat dan 2 jenis tangga.
2. Dari hasil analisis beban gempa, struktur gedung termasuk ke dalam kategori desain seismik D dengan demikian konfigurasi konfigurasi sistem struktur penahan gempa yang diterapkan adalah Sistem ganda dengan SRPMK. Dari program SAP2000 didapatkan kontrol nilai akhir respon spektrum V dinamik arah x dan y sebesar 438 Tonf dan 403 Tonf, kontrol partisipasi massa memenuhi syarat yaitu pada mode 14, memenuhi kontrol *drift* (simpangan) yaitu tidak boleh melebihi 60 mm yang dimana simpangan maksimumnya sebesar 31,4 mm, dan kontrol waktu getar alami(T) sebesar 0,945 detik untuk arah x dan 0,842 detik untuk arah y dan Kontrol Sistem ganda memenuhi persyaratan, yakni portal menahan gempa minimal 25%.
3. Pada perencanaan balok pratekan direncanakan dengan dimensi 60/80 cm, didapatkan Gaya (F) Sebesar 2500 kN, digunakan Strand berjumlah 22 tipe tendon (5-22) 1 buah dan menghasilkan lendutan sebesar 2,4 mm (\downarrow) yang telah memenuhi persyaratan.
4. Hasil dari perencanaan struktur utama didapatkan 6 jenis balok induk yang berdimensi 40/60 cm untuk jenis balok 1 sampai 5 dan 45/65 pada balok 6, pada kolom didapatkan 3 jenis dan shearwall 2 jenis.
5. Pada perencanaan pondasi tiang pancang, didapatkan 3 jenis pondasi dan direncanakan pada kedalaman 33 m pada masing-masing jenis pondasi.

5.2 Saran

Dalam perencanaan struktur gedung yang sistem penahan gempanya adalah sistem ganda, perlu memperhatikan beberapa aspek yaitu mutu beton, jumlah, letak dan dimensi penampang elemen struktur seperti kolom dan shearwall supaya dapat memenuhi persyaratan sistem ganda yakni portal dapat menahan minimal 25% gaya gempa.

Disarankan saat merencanakan beton pratekan perlu dilakukan formulasi pada program *Microsoft excel*, baik dalam dimensi, gaya *jacking*, maupun eksentrisitas gayanya. Hal tersebut sangat diperlukan mengingat banyaknya *trial and error* yang harus dilakukan untuk mendapatkan dimensi, gaya dan eksentrisitas yang efektif dan efisien.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). **SNI 03-1726-2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). **SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Budiadi, A. (2008). **Desain Praktis Beton Prategang**. Jakarta: Andi.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung**. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Lin.T.Y dan Burns, H. (2000). **Desain Struktur Beton Prategang, Jilid I**. Batam: Interaksara.
- McCormac, J. C. (2004). **Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 2**. Bandung: Erlangga.
- Nur Arifin, C., Raka, I. G., & Aji, P. (2015). **Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Favehotel Surabaya Menggunakan Sistem Ganda Dan Balok Prategang Pada Lantai Atap**. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2015) 1-6* .
- Projjo. (2015). **NTB Targetkan 3 juta wisatawan di tahun 2016**. <URL:<http://www.travel.koMPas.com/read/NTB.Targetkan.Kunjungan.3.Juta.Wisatawan.Tahun.2016.htm>>.
- Purwono, R. (2006). **Perencanaan Struktur Brton Bertulang tahan Gempa**. Surabaya: ITS press.
- Tavio dan Kusuma, Beny. (2009). **Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa**. Surabaya: ITS press.
- Tri, S. (2012). **Pengaruh Pemodelan Kolom Terhadap Balok Beton Prategang Tiga Bentang Non**

Simetris. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan, Tangerang* , 1-9.

Wahyudi, H. (1999). **Daya dukung Pondasi Dalam.** Surabaya: DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wikana, Iwan dan Widayat Yohanes. (2007). **Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan lapisan Mutu Beton Yang Berbeda.** Yogyakarta: DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, UKRIM.

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**Fajrin Ramadhani,**

Penulis dilahirkan di Sampang, 15 Februari 1994, merupakan anak ke empat dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al karomah Sampang, SDN Karang Dalam IV Sampang, SLTP Negeri 1 Sampang, SMKN 1 Sampang Jurusan Teknik Gambar Bangunan. Setelah lulus dari SMK Negeri 16 Surabaya tahun 2008,

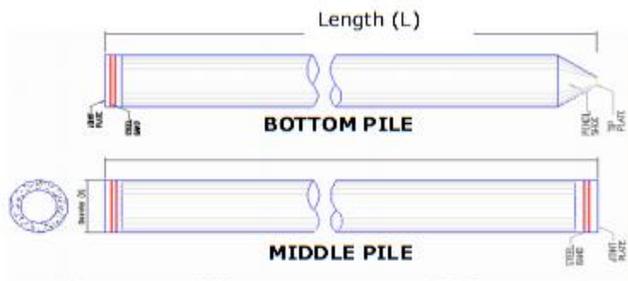
Penulis mengikuti ujian masuk Diploma ITS dan diterima di jurusan Teknik Sipil pada tahun 2012. Di Jurusan Teknik Sipil Prodi D-III ini penulis mengambil keahlian bidang studi Bangunan Transportasi..

Selanjutnya, penulis langsung melanjutkan sekolahnya ke jenjang S1 Teknik Sipil ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 3115.105.055. Pada akhir masa perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil ITS, penulis memfokuskan bidang struktur dan memilih untuk menggunakan judul Struktur Beton Pratekan. Pemilihan pada Struktur Beton Pratekan karena ketertarikan penulis akan mata kuliah ini. Untuk keperluan info tentang Tugas Akhir ini bisa menghubungi Penulis di email dani.citizen23@gmail.com

Lampiran 1
Data Tanah

Lampiran 2
Brosur Tiang Pancang

Shape and Dimension



Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Adial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50
800	120	A1	2564	641	6 - 24	40.70	63.60	415.00
		A2				46.20	84.40	406.20
		A3				51.00	97.80	398.20
		B				55.70	108.20	390.80
		C				70.60	129.80	367.60
1000	140	A1	3872	946	6 - 24	75.00	117.90	614.00
		A2				82.30	139.80	604.80
		A3				93.30	170.90	590.60
		B				105.70	199.70	575.00
		C				123.60	229.90	552.90
1200	150	A1	4948	1237	6 - 24	120.00	180.00	802.40
		A2				130.00	195.00	794.00
		A3				145.00	217.50	778.10
		B				170.00	306.00	751.50
		C				200.00	400.00	721.10

Lampiran 3
Brosur Tendon

1 - STRAND

1.1 - STRAND PROPERTIES 13mm (0.5")

Strand type	prEN 10138 - 3 (2006)			ASTM A 416-06 Grade 270
	Y1860S7			
Nominal diameter	d (mm)	12.5	12.9	12.7
Nominal cross section	A _p (mm ²)	93	100	98.7
Nominal mass	M (kg/m)	0.726	0.781	0.775
Nominal yield strength	f _{yk} (MPa)	1634 ¹⁾	1640 ²⁾	167.9
Nominal tensile strength	f _{pk} (MPa)	186.0	186.0	186.0
Specif./min. breaking load	F _{pk} (kN)	173	186	183.7
Young's modulus	E (GPa)	approx. 195		
Relaxation ³⁾ after 1000 h at 20°C and 0.7 x F _{pk}	(%)	max. 2.5		

1) Characteristic value according to EN 1992-1-1, provision relaxation

2) Minimum load at 1% strain for low-relaxation strand

3) Value for relaxation class acc. to prEN 10138-3 for low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06

1.2 - TENDON PROPERTIES 13mm (0.5")

Unit	Strands numbers	Steel area						Breaking load		Corrugated steel duct ¹⁾ (recommended)	Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS ²⁾	Steel pipes
		A _p acc. to prEN		ASIM	Y1860S7 (prEN)		Grade 270 (ASTM)	f _k /f _{yk}	e	f _k /f _{yk}	e	Ø ext x t
		d=12.5 mm A _p =93 mm ²	d=12.9 mm A _p =100 mm ²	d=12.7 mm A _p =100 mm ²	d=12.5 mm A _p =93 mm ²	d=12.9 mm A _p =100 mm ²	d=12.7 mm A _p =98.7 mm ²	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
		(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
5-1	1	93	100	98.7	173	186	183.7	2025	3	2225	6	25.0 x 2.0
5-2	2	186	200	197.4	346	372	367.4	3540	6	4450	12	31.8 x 2.02 x 0.0
5-3	3	279	300	296.1	519	558	551.1	5310	9	6675	18	37.6 x 2.02 x 0.0
5-4	4	372	400	395.2	692	744	735.2	7092	12	8900	24	43.4 x 2.02 x 0.0
5-7	5	465	500	494.4	865	930	919.5	8950	15	11325	30	50.2 x 2.02 x 0.0
5-8	6	654	700	692.4	1218	1314	1302.6	12720	18	15780	36	57.0 x 2.02 x 0.0
5-7	7	651	700	691.1	1211	1302	1296.6	12667	18	15663	36	56.8 x 2.02 x 0.0
5-12	8	944	1000	990.0	1718	1854	1842.0	18060	24	22320	48	70.8 x 2.02 x 0.0
5-12	9	944	1000	988.8	1718	1854	1853.4	18267	24	22320	48	70.8 x 2.02 x 0.0
5-12	10	1037	1100	1097.7	1917	2064	2052.0	20160	27	24480	54	77.6 x 2.02 x 0.0
5-12	11	1037	1100	1086.6	1903	2046	2021.4	20067	27	24363	54	77.4 x 2.02 x 0.0
5-15	13	1209	1300	1281.0	2241	2418	2388.6	23427	32	28032	64	90.6 x 2.02 x 0.0
5-15	14	1302	1400	1382.4	2422	2604	2572.2	25272	36	30360	72	97.4 x 2.02 x 0.0
5-15	15	1395	1500	1481.1	2595	2790	2756.7	27077	39	32499	78	104.2 x 2.02 x 0.0
5-19	16	1488	1600	1578.0	2768	2976	2939.2	28927	42	34842	84	111.0 x 2.02 x 0.0
5-19	17	1581	1700	1678.8	2941	3162	3123.0	30782	45	37185	90	117.8 x 2.02 x 0.0
5-19	18	1674	1800	1777.8	3114	3348	3307.8	32640	48	39528	96	124.6 x 2.02 x 0.0
5-19	19	1767	1900	1876.5	3287	3534	3491.4	34487	51	41871	102	131.4 x 2.02 x 0.0
5-22	20	1860	2000	1974.0	3460	3720	3678.0	36360	54	44214	108	138.2 x 2.02 x 0.0
5-22	21	1953	2100	2072.7	3633	3906	3861.0	38199	57	46557	114	145.0 x 2.02 x 0.0
5-22	22	2046	2200	2171.4	3806	4092	4047.0	40068	60	48900	120	151.8 x 2.02 x 0.0
5-22	23	2139	2300	2270.1	3979	4278	4233.0	41927	63	51243	126	158.6 x 2.02 x 0.0
5-22	24	2232	2400	2368.8	4152	4454	4409.0	43689	66	53586	132	165.4 x 2.02 x 0.0
5-22	25	2325	2500	2467.5	4325	4650	4605.0	45648	69	55929	138	172.2 x 2.02 x 0.0
5-22	26	2418	2600	2566.2	4498	4836	4791.0	47507	72	58272	144	179.0 x 2.02 x 0.0
5-22	27	2511	2700	2664.9	4671	5022	4977.0	49368	75	60615	150	185.8 x 2.02 x 0.0
5-31	28	2604	2800	2763.6	4844	5208	5163.0	51227	78	62958	156	192.6 x 2.02 x 0.0
5-31	29	2697	2900	2862.3	5017	5394	5349.0	53087	81	65301	162	199.4 x 2.02 x 0.0
5-31	30	2790	3000	2961.0	5190	5580	5535.0	54948	84	67644	168	206.2 x 2.02 x 0.0
5-31	31	2883	3100	3059.7	5363	5766	5721.0	56807	87	70000	174	213.0 x 2.02 x 0.0
5-37	32	2976	3200	3158.4	5536	5952	5907.0	58668	90	72343	180	219.8 x 2.02 x 0.0
5-37	33	3069	3300	3257.1	5709	6138	6093.0	60527	93	74686	186	226.6 x 2.02 x 0.0
5-37	34	3162	3400	3355.8	5882	6324	6279.0	62387	96	77029	192	233.4 x 2.02 x 0.0
5-37	35	3255	3500	3454.5	6055	6510	6465.0	64248	99	79372	198	240.2 x 2.02 x 0.0
5-37	36	3348	3600	3553.2	6228	6696	6651.0	66107	102	81715	204	247.0 x 2.02 x 0.0
5-37	37	3441	3700	3651.9	6401	6882	6837.0	67968	105	84058	210	253.8 x 2.02 x 0.0
5-41	41	3939	4100	4150.5	7471	7938	7893.0	78527	117	96117	234	294.6 x 2.02 x 0.0
5-56	56	5115	5600	5429.1	9675	10230	10185.0	101448	153	126117	306	378.0 x 2.02 x 0.0

1) But duct available as well

2) But duct PT-PLUS[®] with integrally cast anchorages for PT-PLUS[®] are also available 1.2.1

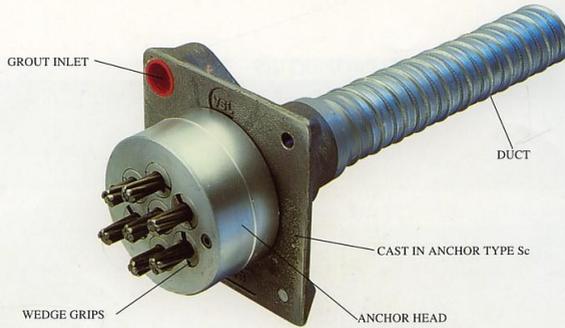
3) If ducts (d=12.5 mm) in the end with square type anchorages please contact your VSL representative in your region with steel type anchorages and be straight between anchorages or use only additional joints with min. width of 5 m. Strands need always be anchored in joints in concrete. (Anchorage is applicable)

4) Some values may slightly vary depending on local availability of ducts. They are rounded for steel applications. For special cases (long tendons, very long tendons, steel ducts) please contact VSL representative - please refer to VSL. In any case the filling shall proceed under steel / ducts seal and covered 3.0 m (9.8 ft).

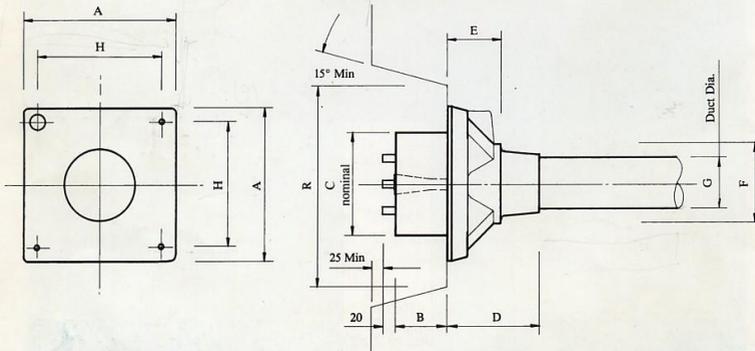
5) Please check with the nearest VSL office for the complete anchorage list.



MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc
LIVE END



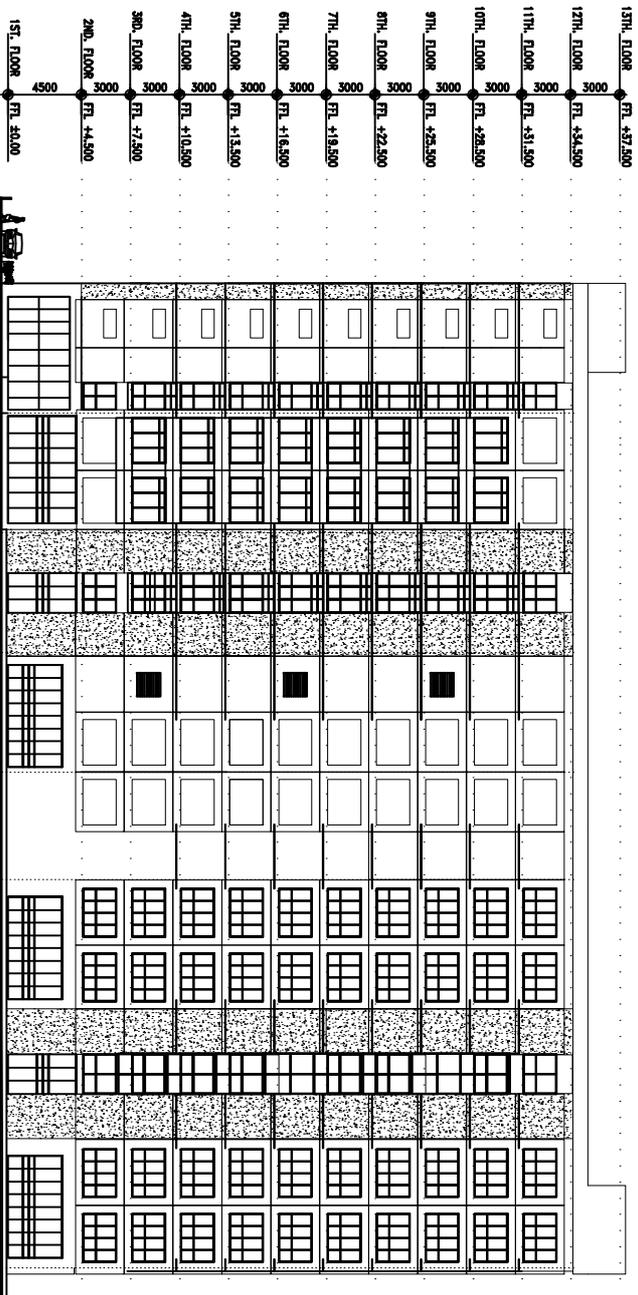
TENDON UNIT	Dimensions (mm)									
	A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R	
STRAND TYPE 12,7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	184	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	161	175	105	250	360
	5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
5-48	430	122	300	340	161	233	127	365	750	
5-55	465	142	320	340	160	400	135	400	750	
STRAND TYPE 15,2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	92	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	112	290	340	160	217	118	325	650
	6-37	430	122	300	340	160	235	135	365	750
	6-42	465	142	320	340	160	250	135	400	750
*6-48P	575	155	340	1035	110	269	144	495	900	
*6-55P	600	190	360	1070	120	294	154	520	900	

Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.

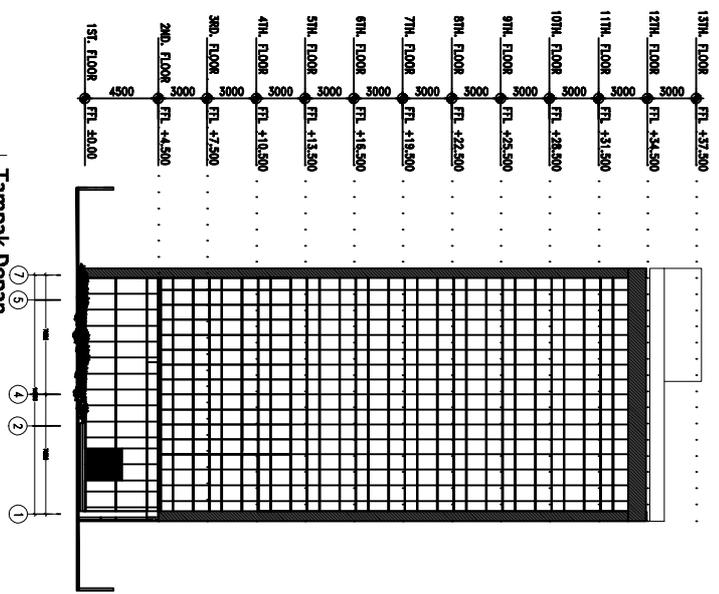
Refer VSL office for details.

*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.

Lampiran 4
Lift

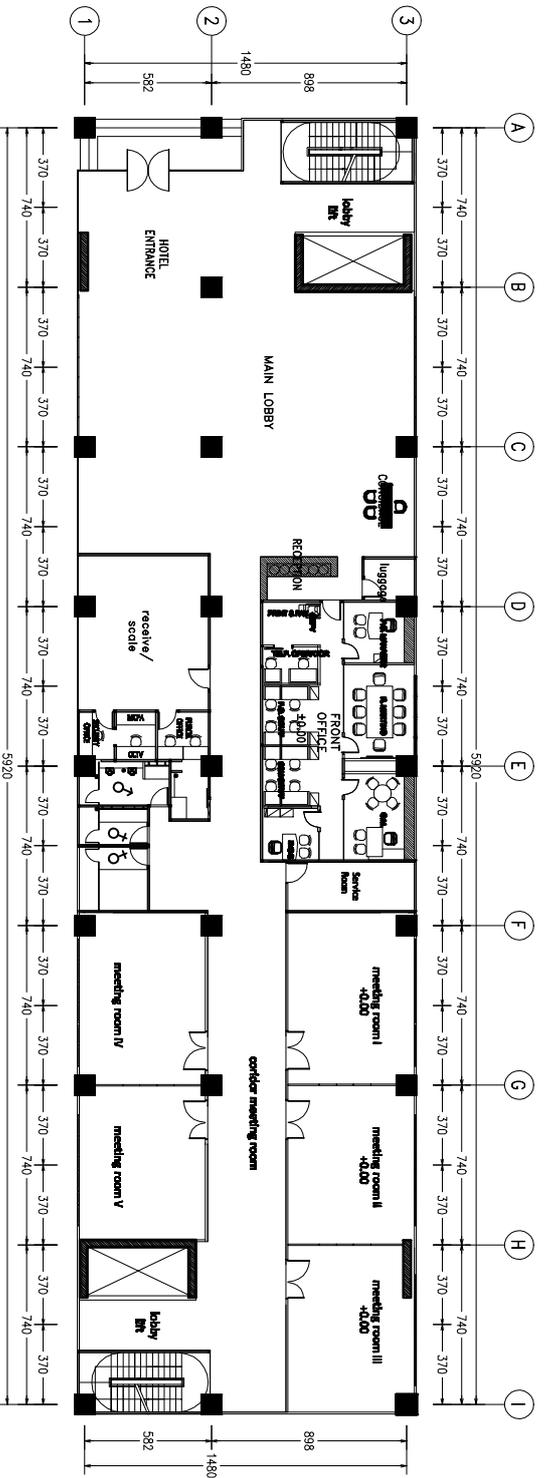


Tampak Samping
1:150

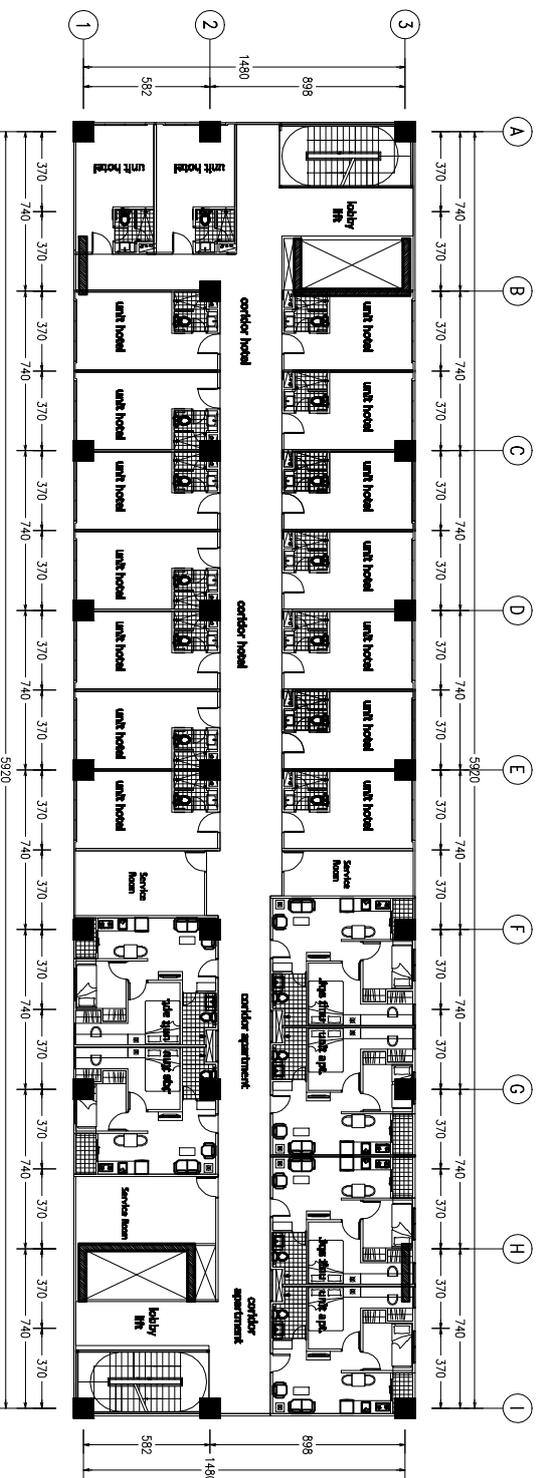


Tampak Depan
1:150

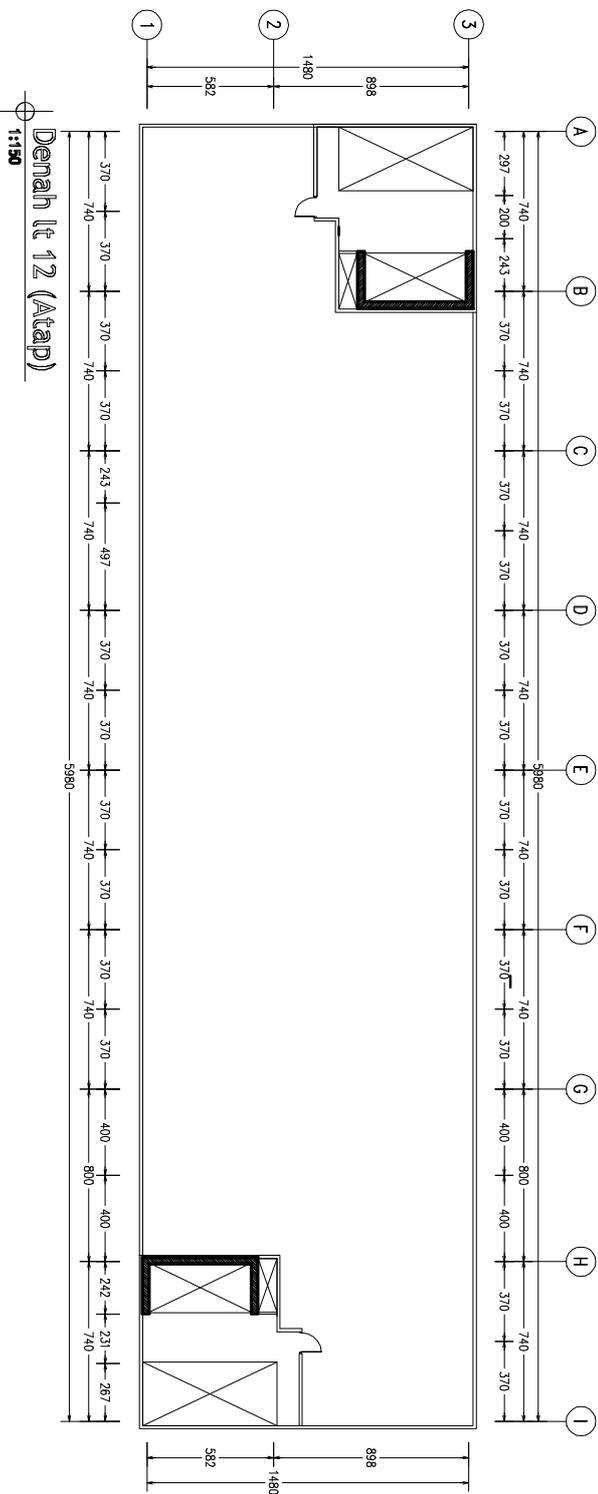
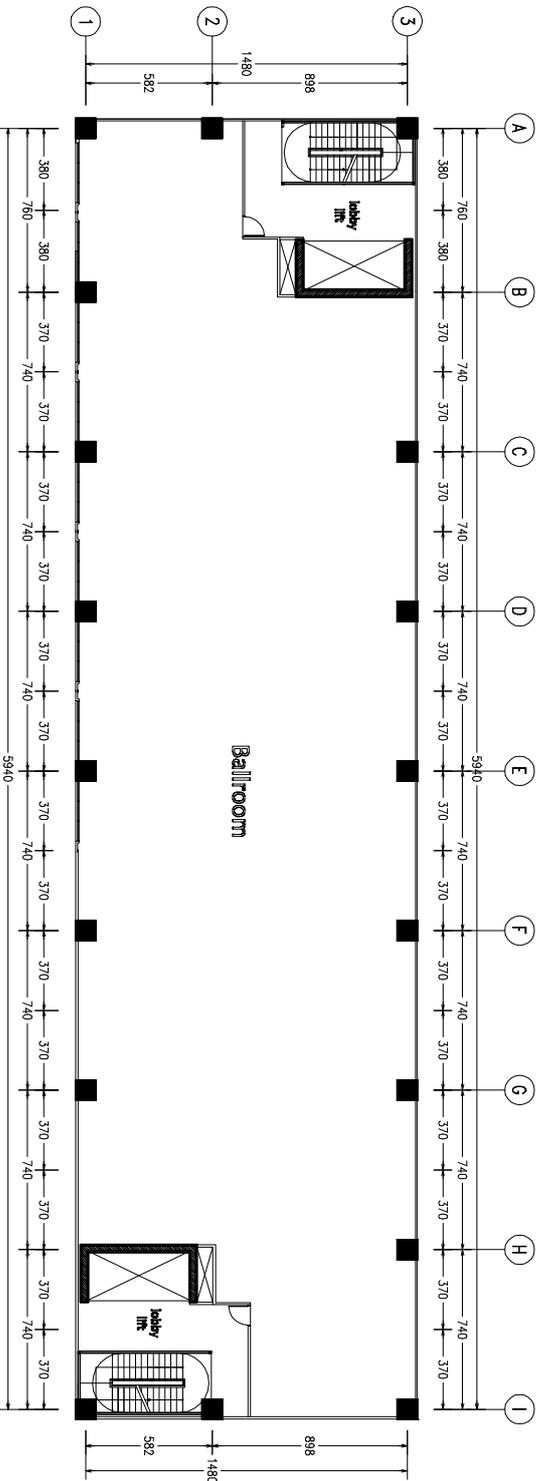
 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>	<p>JUDUL TUGAS AKHIR</p> <p>DESAIN MODERKAS STRUKTUR GEDUNG STAY HOTEL DAN APARTMENT LOKAL BANDIT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BLOK POKOK</p>	<p>NAMA GAMBAR</p> <p>Tampak Depan Tampak Samping</p>	<p>SKALA</p> <p>1:150 1:150</p>	<p>DIGAMBAR</p> <p>FALVIN RAMADHANI 3113102025</p>	<p>DIPERIKSA</p> <p>Dr.Eng. Jenuard Jaja E., ST., MT Dada Imanza, ST., MT., PhD</p>	<p>KODE GAMBAR</p> <p>ARS</p>	<p>NO LEMBAR</p> <p>01</p>
--	--	---	---	-------------------------------------	--	---	-------------------------------	----------------------------



Denah Arsitektur Lt 1
1:150



Denah Arsitektur Lt 2-10
1:150



 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017		JUDUL TUGAS AKHIR		NAMA GAMBAR		SKALA		DIGAMBAR		DIPERIKSA		KODE GAMBAR		NO LEMBAR	
	DESAIN KOMPRESI STRUKTUR DENGAN SYARAT TITIK DARI APARTEMEN LOKASI BUKIT DENEN SISTEM GUNDA DAN SEMPADAN BUKIT PROTEKSI		Denah Arsitektur Lt 11 Denah Lt 12 (Atap)		1:150 1:150		FAJRIN RAMADHANI 319109205		Dr. Eng. Jurnani, Ir. E., ST., MT Dra. Innesia, ST., MT., PhD		ARS		03			



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ANTIKOROSI STRUKTUR GESUNG
STAK HOTEL DAN APARTEMEN LOKOK
BRUKIT DENGAN SISTEM GARDAN DAN
SEBAYAN BALKON POKTOKAN

NAMA GAMBAR

Denah Lt. 1
Denah Pembalokan Lt. 2-11

SKALA

1:150
1:150

DIGAMBAR

FALVIN RAMADHANI 311310205

DIPERIKSA

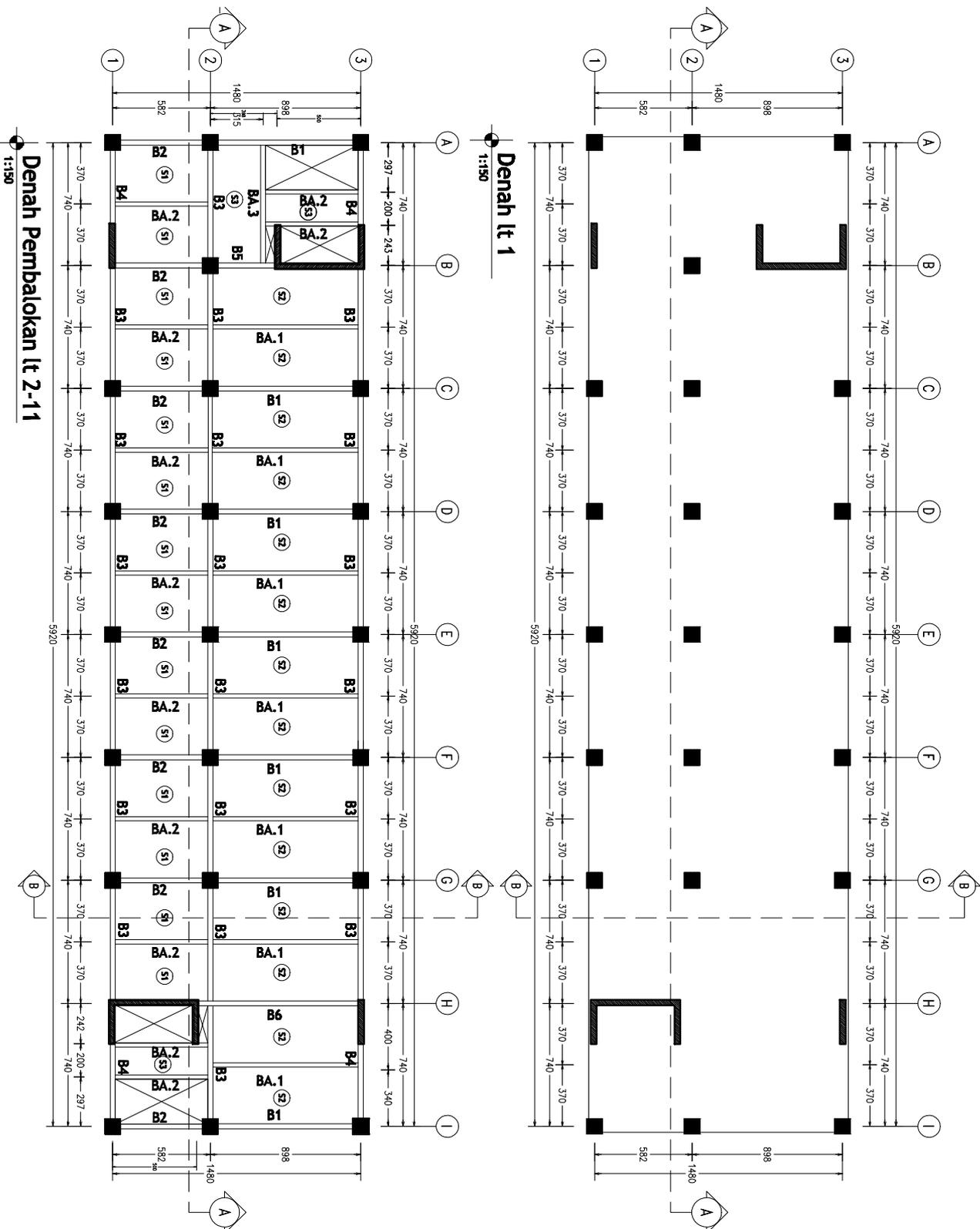
Dr. Eng. Juhardi Jula E., ST., MT
Dede Imanza, ST., MT., PhD

KODE GAMBAR

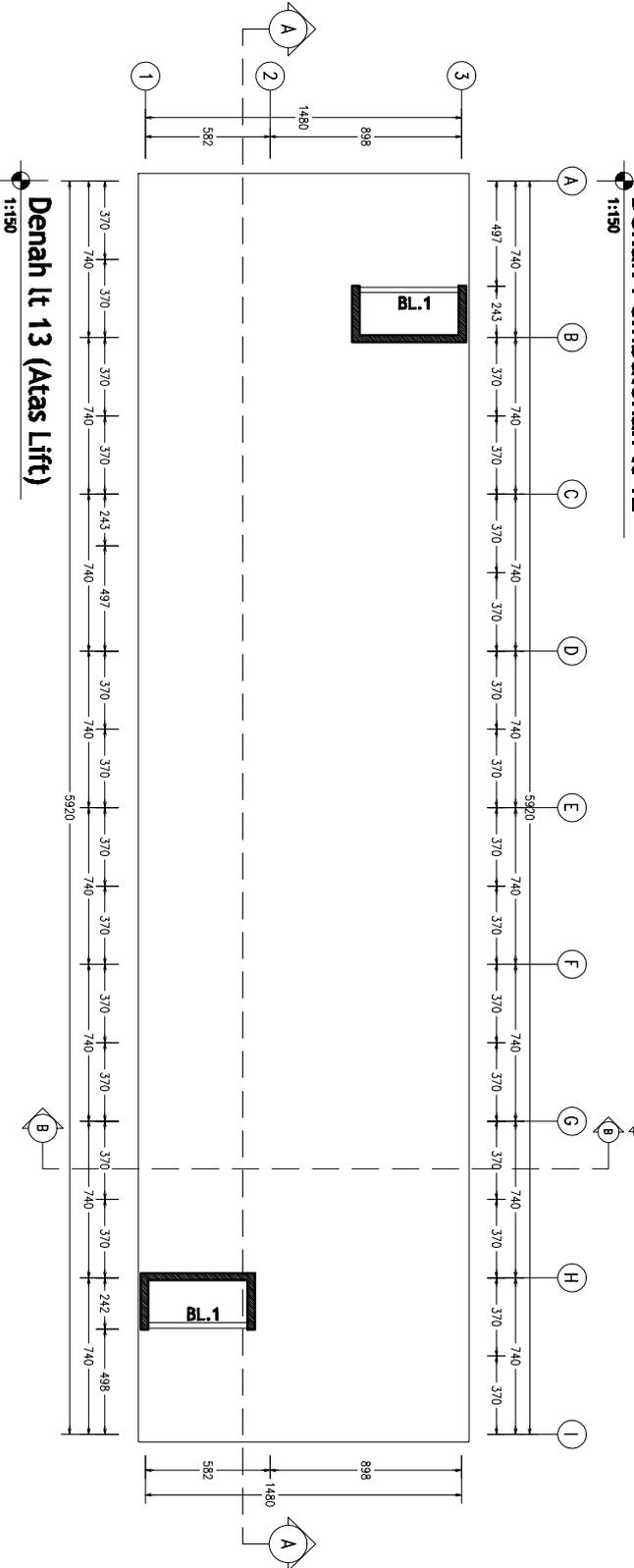
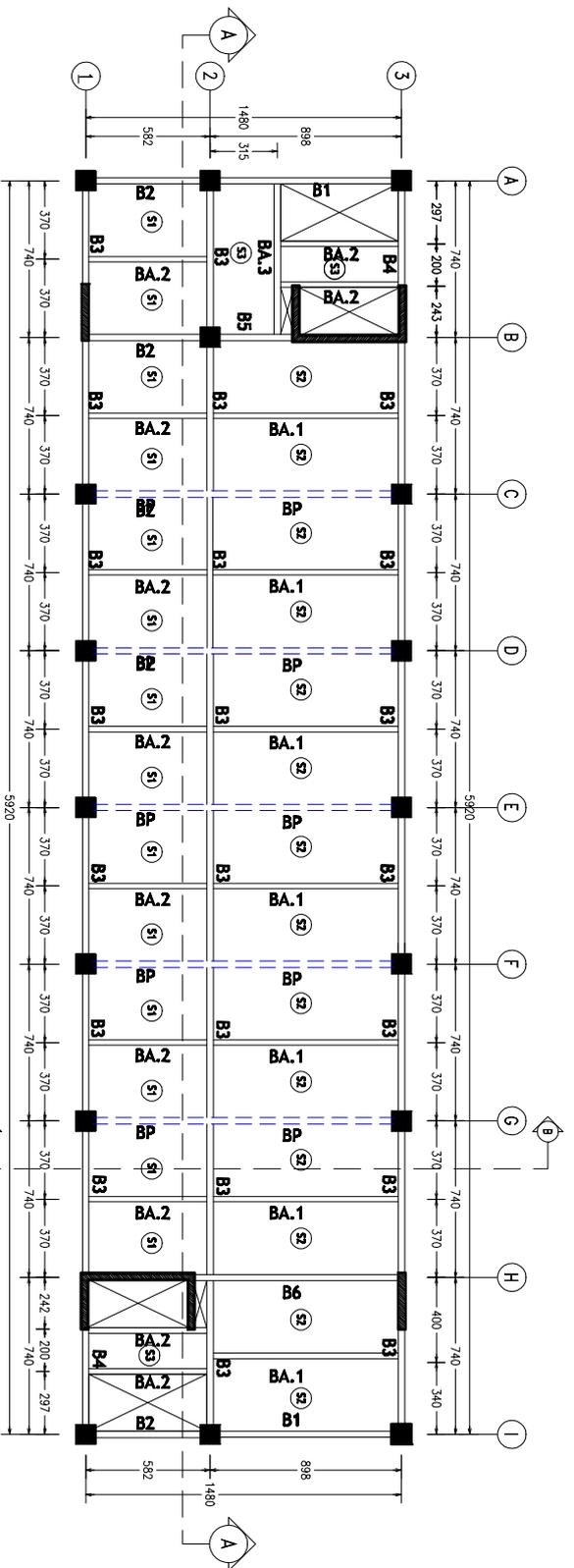
STR

NO LEMBAR

01



Denah Pembalokan Lt 2-11
1:150





ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODERKAS STRUKTUR GEMUNG
STAY HOTEL DAN APARTEMEN LINGKAR
BUNDAK DENGAN SISTEM GANDA DAN
SEBAGIAN BALKON PROTEKSI

NAMA GAMBAR

Potongan A-A
Potongan B-B

SKALA

1:100
1:100

DIGAMBAR

FALRIN RAHMADYANI 3113105025

DIPERIKSA

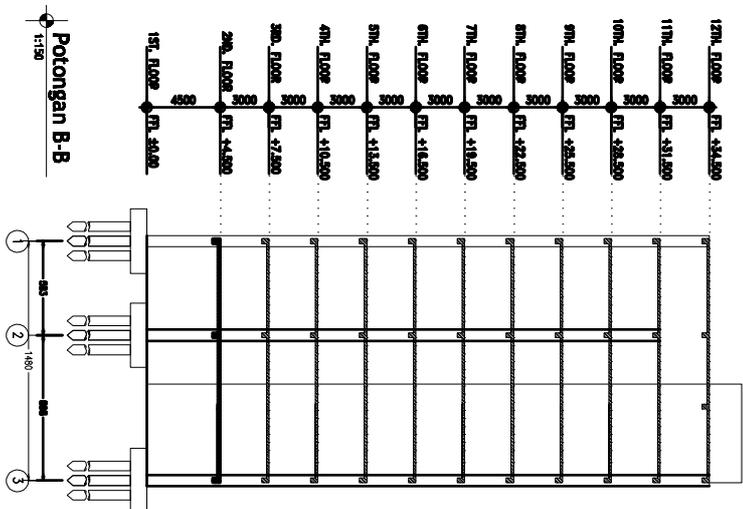
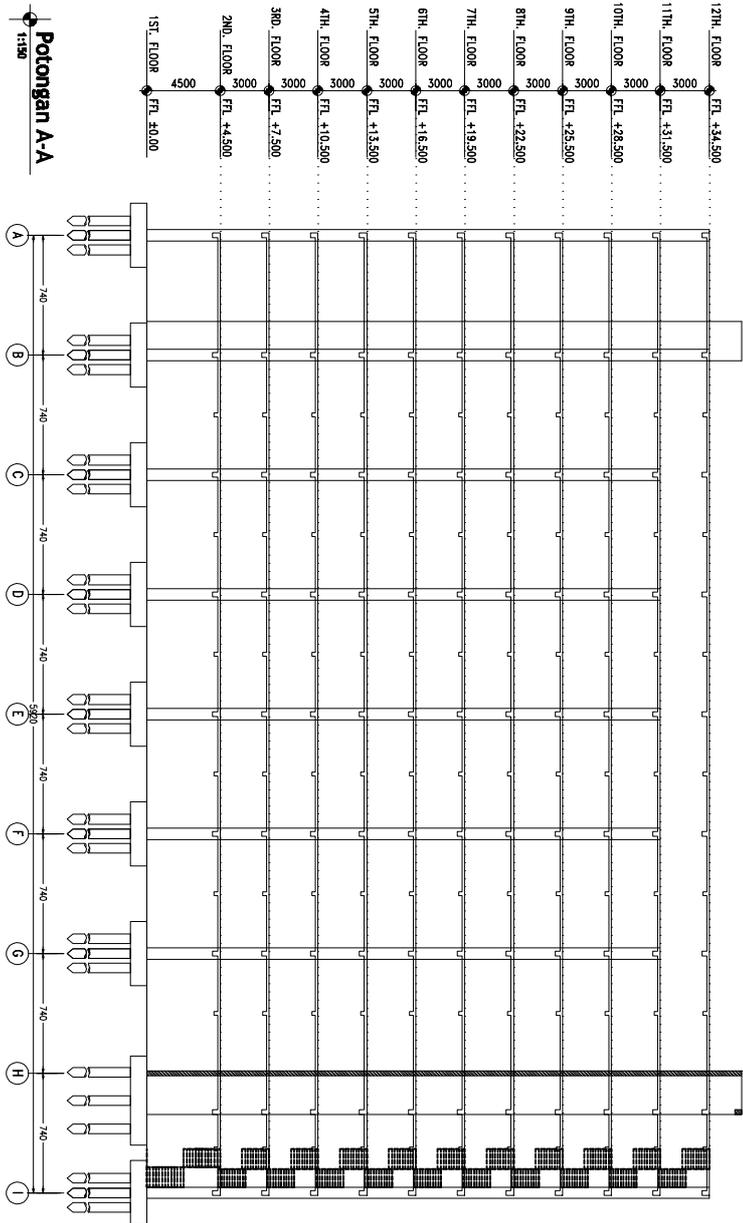
Dr.Eng. Jenuardi Juvia E., ST., MT
Dada Imanata, ST., MT., PhD

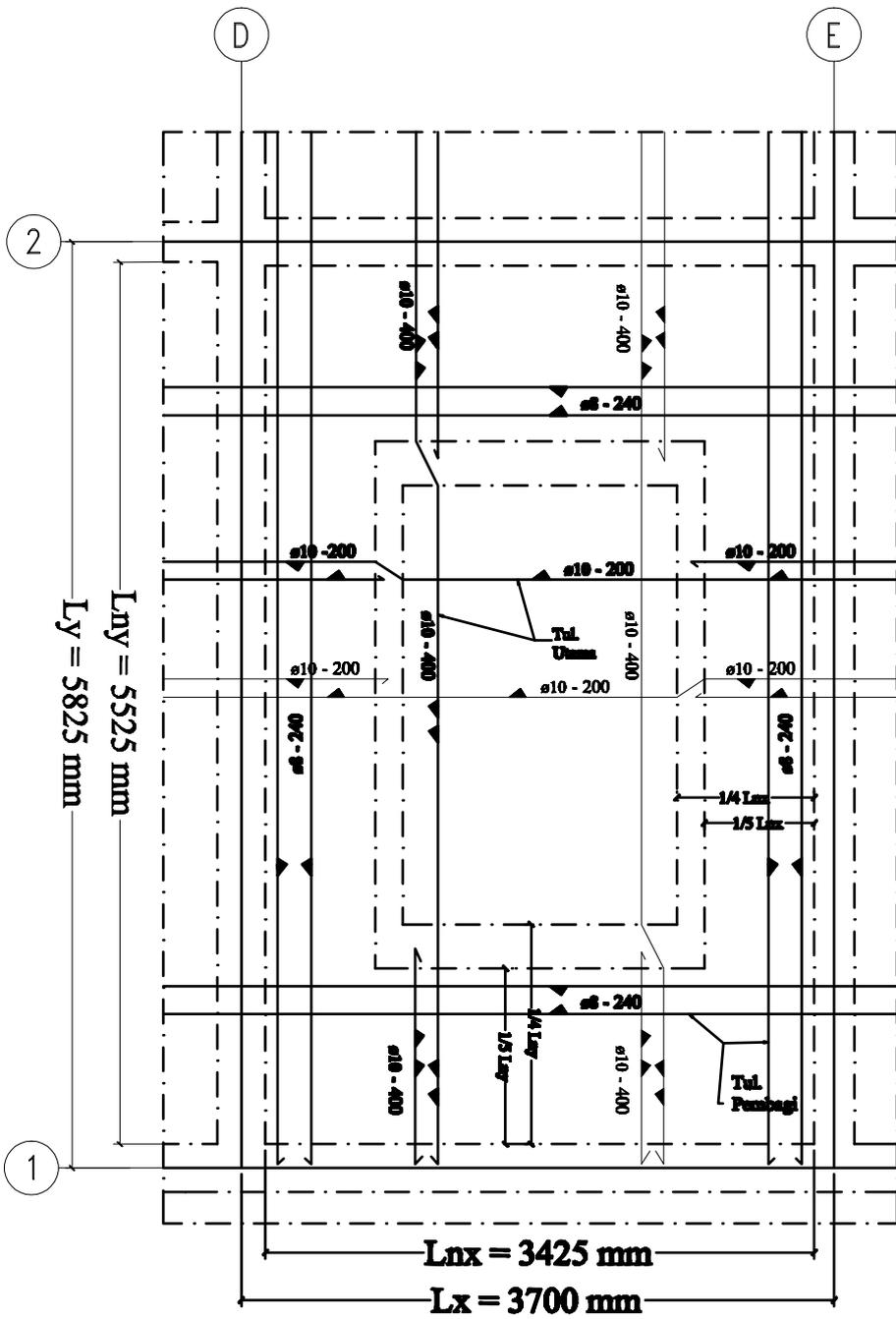
KODE GAMBAR

STR

NO LEMBAR

03





DETAIL PENULANGAN S1

KODE	JENIS	TEBAL (mm)	PENULANGAN		
			Arah X	Arah Y	Susut
S1	2 Arah	120	ø10 - 200	ø10 - 100	ø8 - 240
S2	1 Arah	120	ø10 - 200	-	ø8 - 240
S3	1 Arah	120	ø10 - 200	-	ø8 - 240



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR
 DESAIN MODERAKSI STRUKTUR GEDUNG
 STAN HOTEL DAN APARTEMEN LOKOK
 BAKAT DENGAN SISTEM GANDA DAN
 SEBAGIAN BALKON PROTEKSI

NAMA GAMBAR
 DETAIL PENULANGAN S2

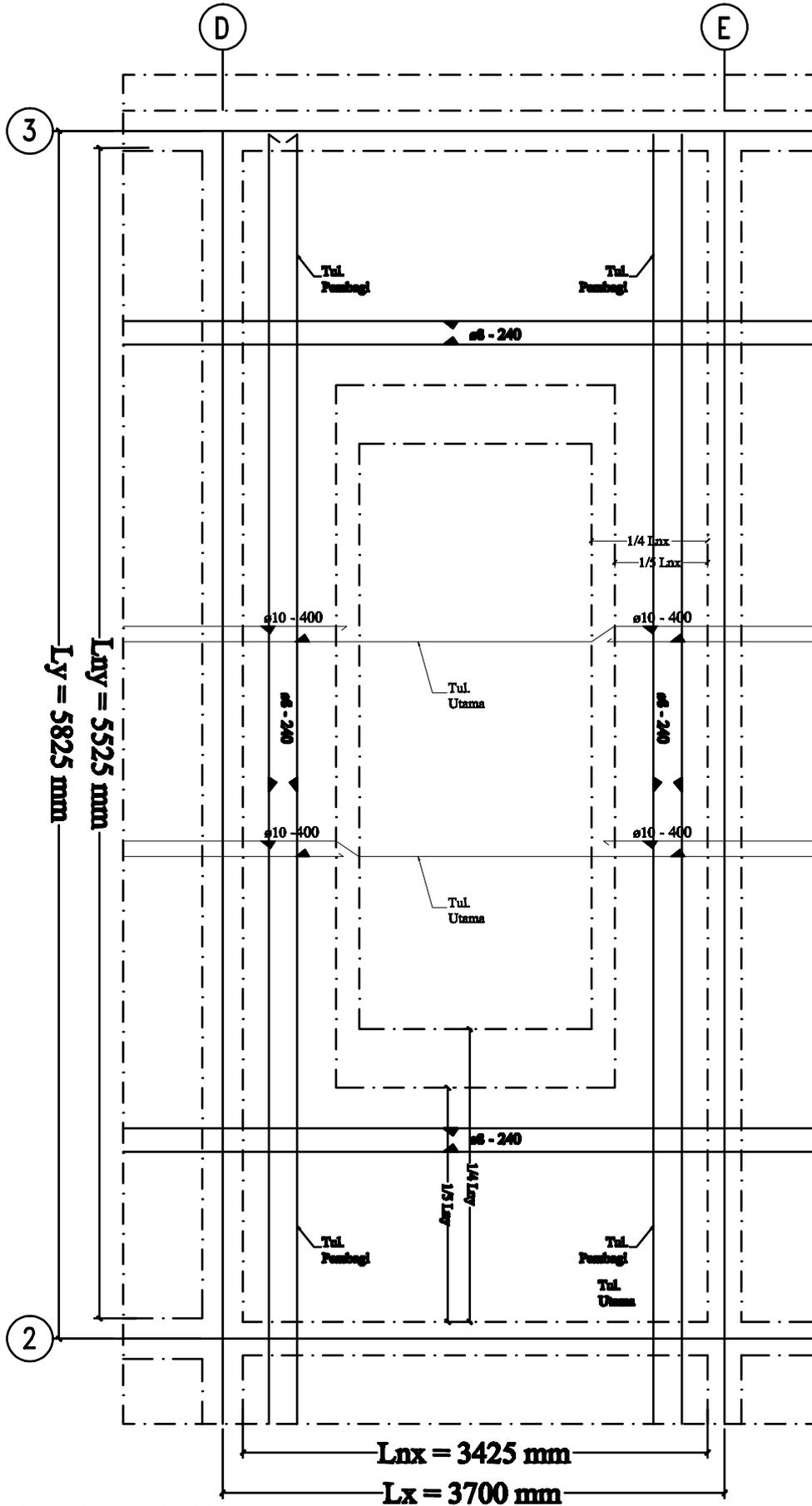
SKALA
 1:10

DIGAMBAR
 FALRIN RAHMADHANI 3113105025

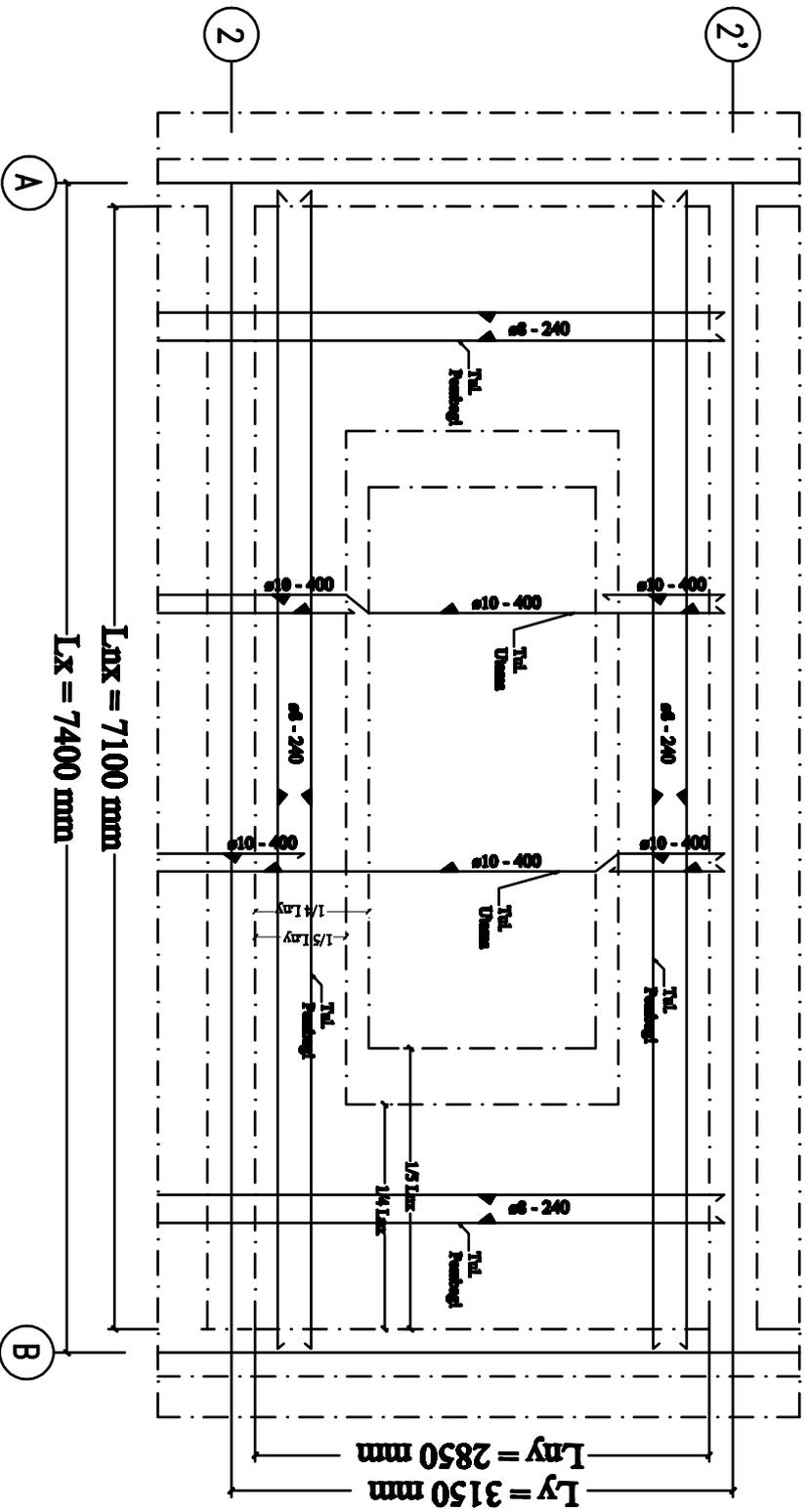
DIPERIKSA
 Dr.ENG. JENNARDI JUNA E., ST., MT
 Dada Inanda, ST., MT., PhD

KODE GAMBAR
 STR

NO LEMBAR
 05



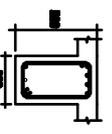
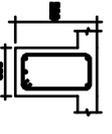
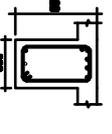
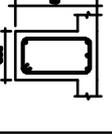
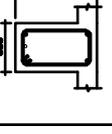
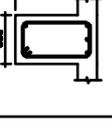
DETAIL PENULANGAN S2
 1:10

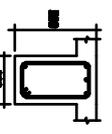
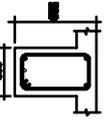
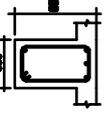
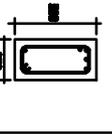
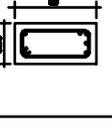


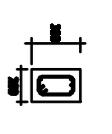
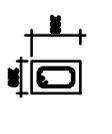
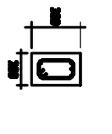
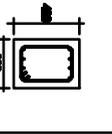
DETAIL PENULANGAN S3

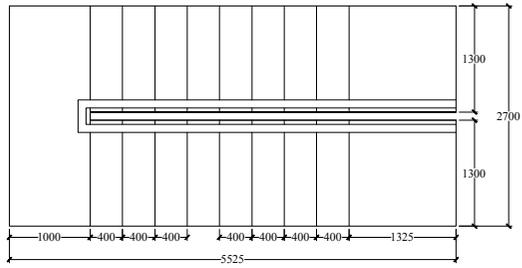
 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>	<p>JUDUL TUGAS AKHIR</p> <p>DESAIN MONOKRATIK STRUKTUR GESENG STAN HOTEL DAN PARTITEN LOKAL BANDIT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALKON POKETKAN</p>	<p>NAMA GAMBAR</p> <p>DETAIL PENULANGAN S3</p>	<p>SKALA</p> <p>1:10</p>	<p>DIGAMBAR</p> <p>FALJUN RAMADHANI 3113102025</p>	<p>DIPERIKSA</p> <p>Dr.Eng. Jenuardi Jawa E., ST., MT Dada Imanza, ST., MT., PhD</p>	<p>KODE GAMBAR</p> <p>STR</p>	<p>NO LEMBAR</p> <p>06</p>
---	--	---	--	--------------------------	--	--	-------------------------------	----------------------------

DETAIL BALOK SEKUNDER

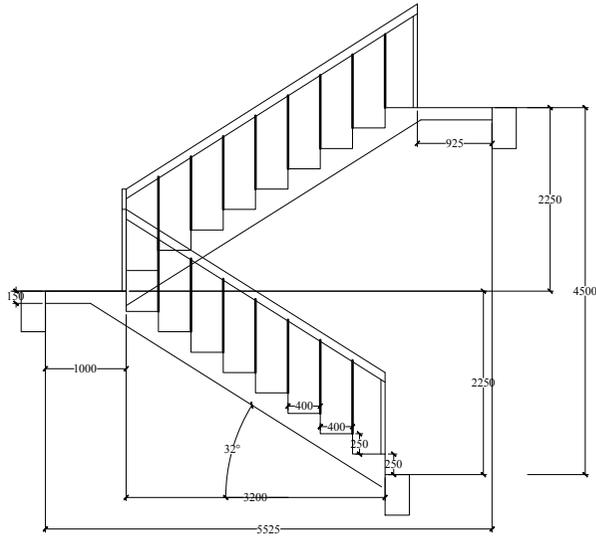
TITIK BALOK		BAL 1			BAL 2		
NOUR	TITIKUAN TIK	LAMPAHAN	TITIKUAN ZAMAN	TITIKUAN TIK	LAMPAHAN	TITIKUAN ZAMAN	
GAMBAR							
	200x200	200x200	200x200	200x200	200x200	200x200	
	TTC. ATAS 3D15	3D15	3D15	3D15	3D15	3D15	
TTC. BAWAH	3D16	3D16	3D16	3D16	3D16	3D16	
TTC. BERTUKAR	200-200	200-200	200-200	200-200	200-200	200-200	

TITIK BALOK		BAL 3			BAL 4		
NOUR	TITIKUAN TIK	LAMPAHAN	TITIKUAN ZAMAN	TITIKUAN TIK	LAMPAHAN	TITIKUAN ZAMAN	
GAMBAR							
	200x200	200x200	200x200	200x200	200x200	200x200	
	TTC. ATAS 3D16	3D16	3D16	4D16	3D16	4D16	
TTC. BAWAH	3D16	3D16	3D16	3D16	3D16		
TTC. BERTUKAR	200-200	200-200	200-200	200-200	200-200		

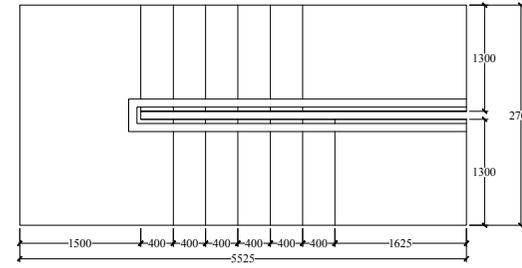
TITIK BALOK		BAL 5			BAL 6		
NOUR	TITIKUAN TIK	LAMPAHAN	TITIKUAN ZAMAN	TITIKUAN TIK	LAMPAHAN	TITIKUAN ZAMAN	
GAMBAR							
	200x200	200x200	200x200	200x200	200x200	200x200	
	TTC. ATAS 3D15	3D15	3D15	4D15	3D15	4D15	
TTC. BAWAH	3D15	3D15	3D15	3D15	3D15		
TTC. BERTUKAR	200-200	200-200	200-200	200-200	200-200		



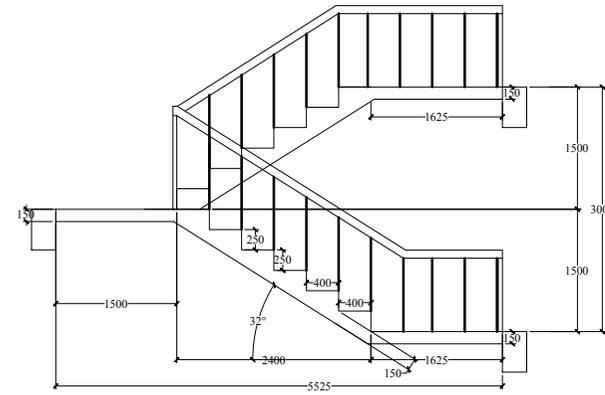
Denah Tangga 1
1:150



Tampak samping Tangga 1
1:150

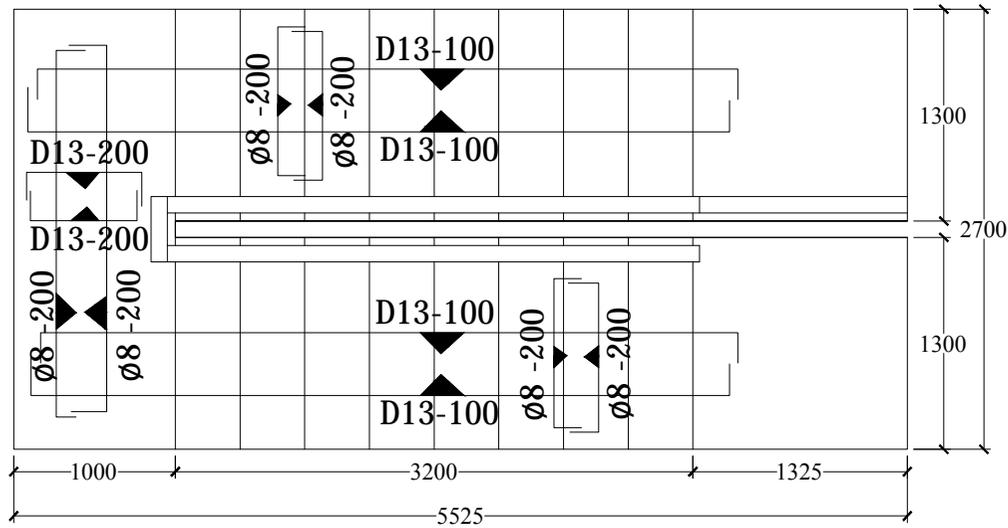


Denah Tangga 2
1:150

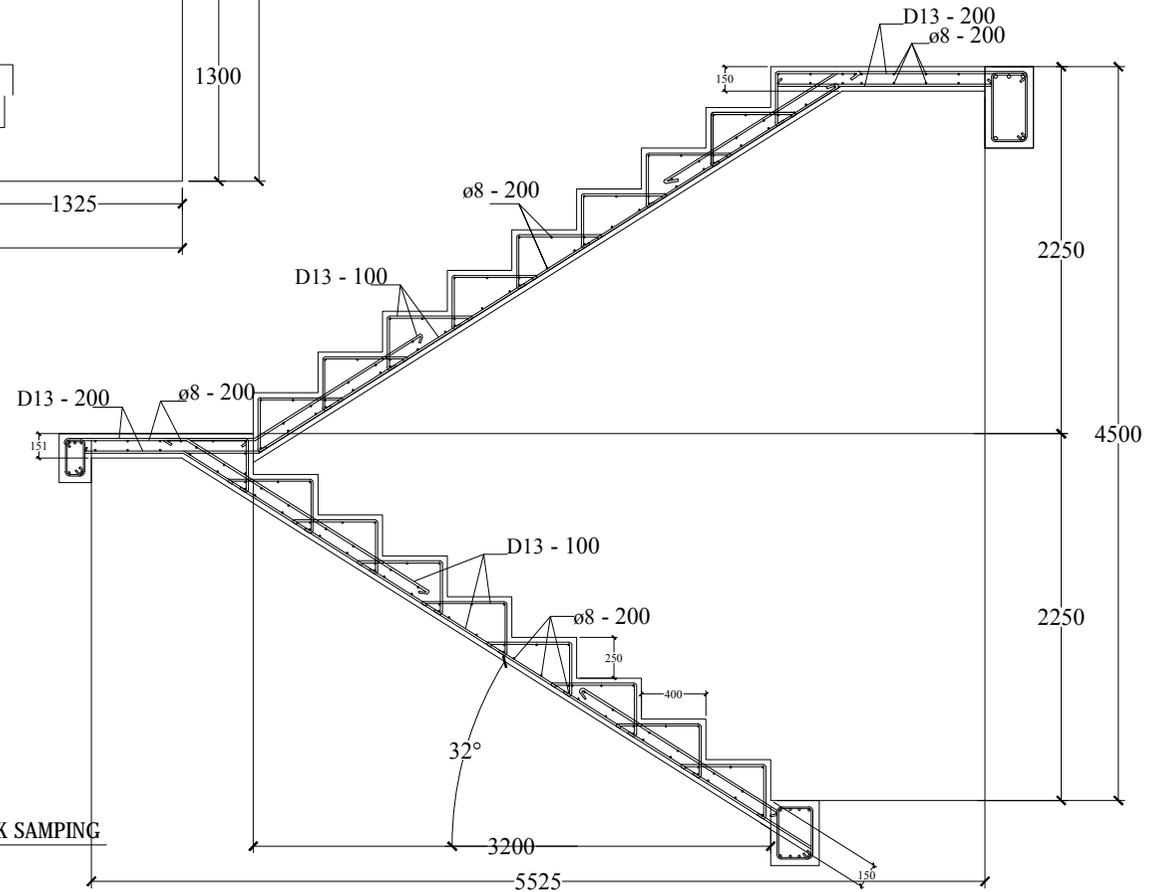


Tampak samping Tangga 2
1:150

 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>	<p>JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK PRATEKAN</p>	<p>NAMA GAMBAR Tampak samping Tangga 1 & 2 Denah Tangga 1 & 2</p>	<p>SKALA 1 : 150 1 : 150</p>	<p>DIGAMBAR FAJRIN RAMADHANI 3115105055</p>	<p>DIPERIKSA Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT Data Iranata, ST., MT., PhD</p>	<p>KODE GAMBAR STR</p>	<p>NO LEMBAR 08</p>
--	--	--	---	--------------------------------------	---	---	----------------------------	-------------------------



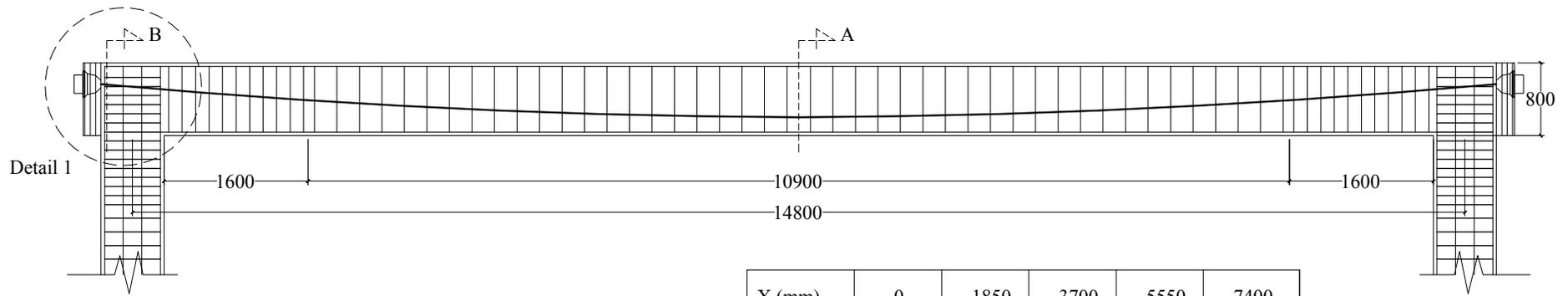
TAMPAK ATAS
1:10



TAMPAK SAMPING
1:10

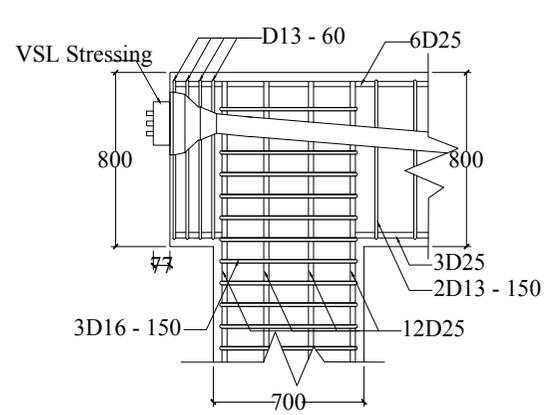
DETAIL PENULANGAN TANGGA 1
1:10

		JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA	DIGAMBAR	DIPERIKSA	KODE GAMBAR	NO LEMBAR
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017	DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK PRATEKAN	DETAIL PENULANGAN TANGGA 1	1:10	FAJRIN RAMADHANI 3115105055	Dr.Eng. Januarti Jaya E., ST.,MT Data Iranata, ST.,MT.,PhD	STR	09

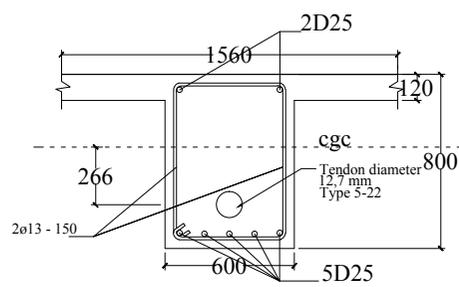


DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEGANG
1:150

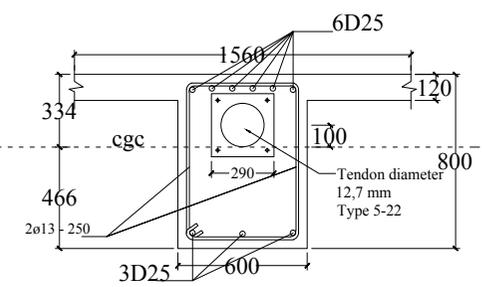
X (mm)	0	1850	3700	5550	7400
Y (mm)	100	-71	-173	-231	-265,8



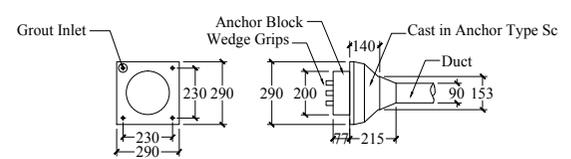
DETAIL 1
1:300



POTONGAN A
1:300



POTONGAN B
1:300



DETAIL ANGKUR VSL STRESSING (Type 5-22)
1:150

<p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>	JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA	DIGAMBAR	DIPERIKSA	KODE GAMBAR	NO LEMBAR
		<p>DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK PRATEKAN</p>	<p>Balok Pratekan</p>	<p>1:300</p>	<p>FAJRIN RAMADHANI 3115105055</p>	<p>Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT Data Iranata, ST., MT., PhD</p>	<p>STR</p>	<p>10</p>

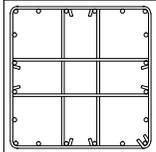
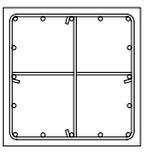
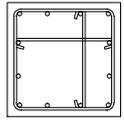
TIPE BALOK	B1			B2		
POSISI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
GAMBAR						
DIMENSI	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600
TUL. ATAS	8 D 22	2 D 22	8 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22
TUL. BAWAH	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	2 D 22	3 D 22
TUL. SENGGANG	3ø10 - 130	3ø10 - 250	3ø10 - 130	2ø10 - 130	2ø10 - 250	2ø10 - 130

TIPE BALOK	B3			B4		
POSISI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
GAMBAR						
DIMENSI	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600
TUL. ATAS	7 D 22	2 D 22	7 D 22	5 D 22	2 D 22	5 D 22
TUL. BAWAH	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	2 D 22	3 D 22
TUL. SENGGANG	2ø10 - 130	2ø10 - 230	2ø10 - 130	2ø10 - 130	2ø10 - 250	2ø10 - 130

TIPE BALOK	B5			B6		
POSISI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
GAMBAR						
DIMENSI	400 x 600	400 x 600	400 x 600	450 x 650	450 x 650	450 x 650
TUL. ATAS	4 D 22	2 D 22	4 D 22	9 D 22	3 D 22	9 D 22
TUL. BAWAH	2 D 22	2 D 22	2 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22
TUL. SENGGANG	2ø10 - 230	2ø10 - 230	2ø10 - 230	3ø10 - 130	3ø10 - 190	3ø10 - 130

DETAIL BALOK INDUK
1:10

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017	JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA	DIGAMBAR	DIPERIKSA	KODE GAMBAR	NO LEMBAR
		DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK PRATEKAN	DETAIL BALOK INDUK	1:10	FAJRIN RAMADHANI 3115105055	Dr.Eng. Januarti Jaya E., ST.,MT Data Iranata, ST.,MT.,PhD	STR	11

TIPE KOLOM	K1	K2	K3
GAMBAR			
DIMENSI	950 x 950	850 x 850	700 x 700
JUMLAH TULANGAN	20 D25	16 D25	12 D25
SENGKANG LUAR lo	4 D16 - 150	3 D16 - 150	3 D16 - 150
SENGKANG lo	4 D16 - 100	3 D16 - 100	3 D16 - 100
PENYALURAN	800	800	800

DETAIL KOLOM
1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK
BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN
SEBAGIAN BALOK PRATEKAN

NAMA GAMBAR

DETAIL KOLOM

SKALA

1:10

DIGAMBAR

FAJRIN RAMADHANI 3115105055

DIPERIKSA

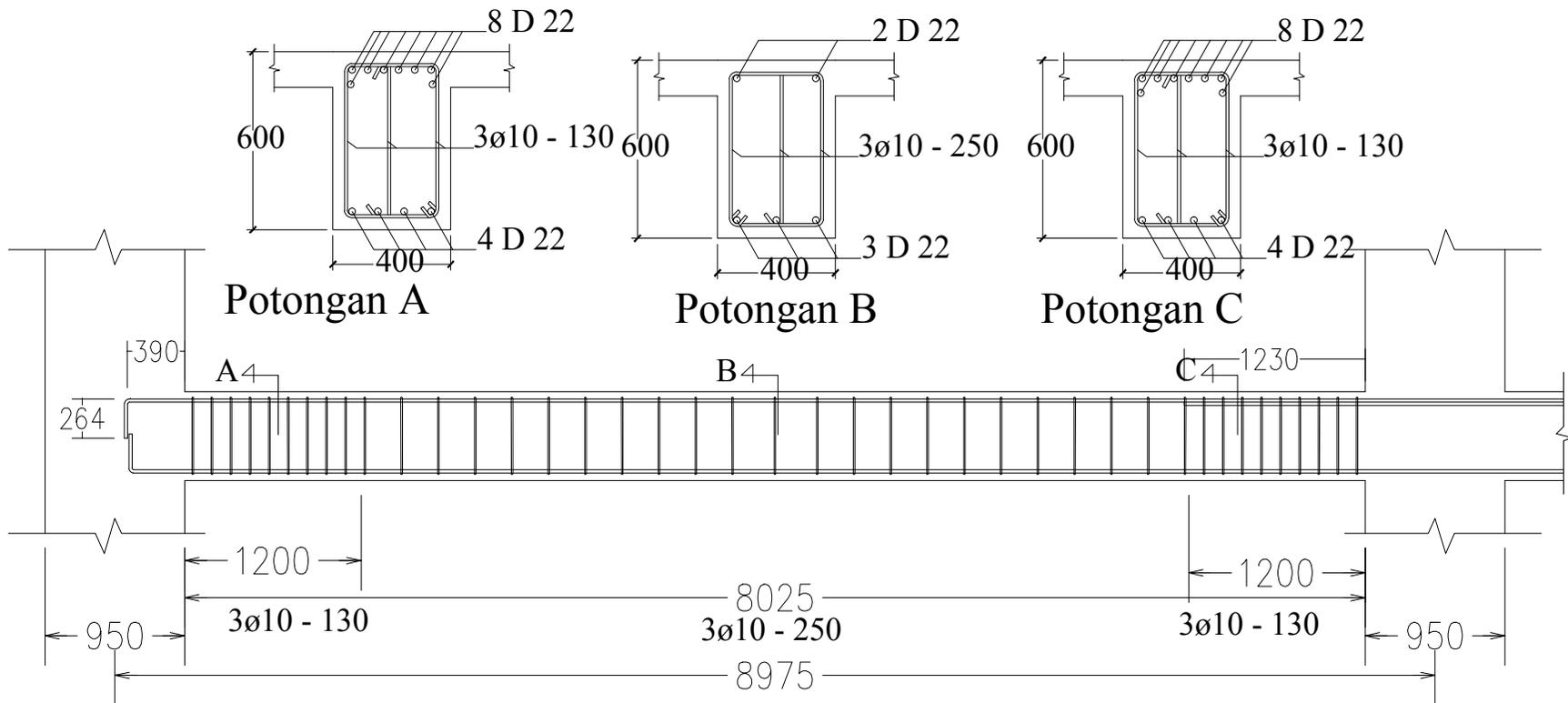
Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT
Data Iranata, ST., MT., PhD

KODE GAMBAR

STR

NO LEMBAR

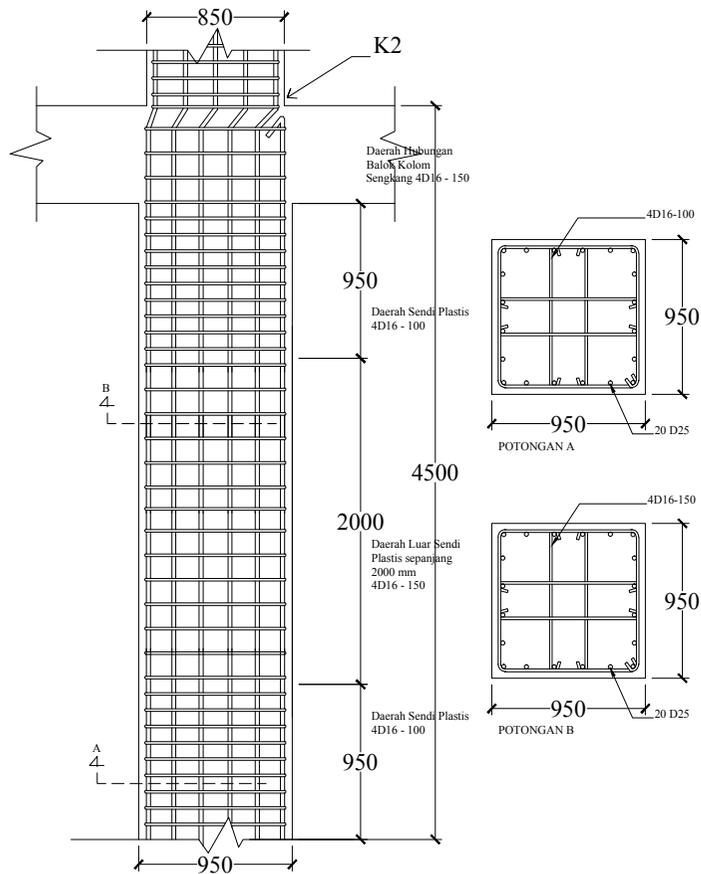
12



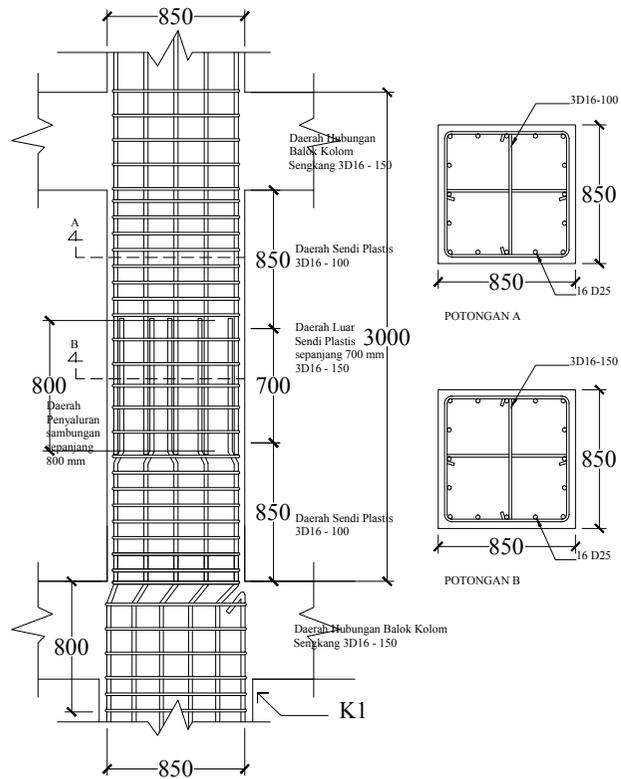
DETAIL PENULANGAN B1

1:10

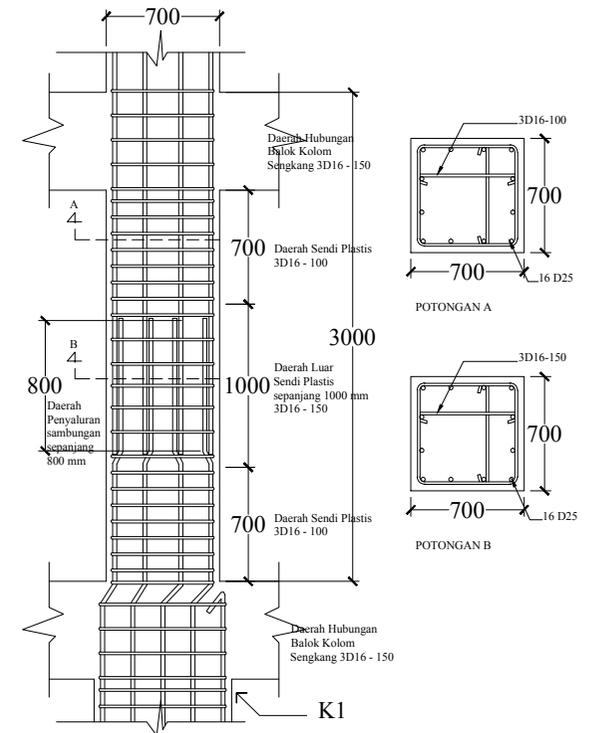
		JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA	DIGAMBAR	DIPERIKSA	KODE GAMBAR	NO LEMBAR
 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>	<p>DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK PRATEKAN</p>	<p>DETAIL PENULANGAN B1</p>	<p>1:10</p>	<p>FAJRIN RAMADHANI 3115105055</p>	<p>Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT Data Iranata, ST., MT., PhD</p>	<p>STR</p>	<p>13</p>



DETAIL PENULANGAN KOLOM K1
1:10



DETAIL PENULANGAN KOLOM K2
1:10



DETAIL PENULANGAN KOLOM K3
1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK
BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN
SEBAGIAN BALOK PRATEKAN

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM

SKALA

1:10

DIGAMBAR

FAJRIN RAMADHANI 3115105055

DIPERIKSA

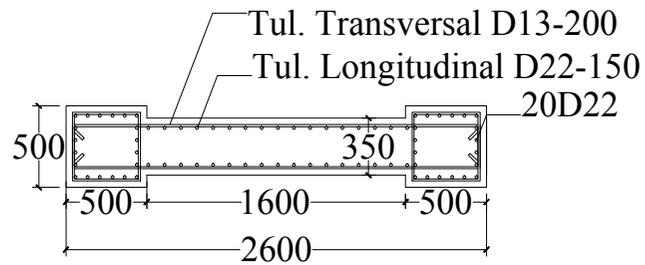
Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT
Data Iranata, ST., MT., PhD

KODE GAMBAR

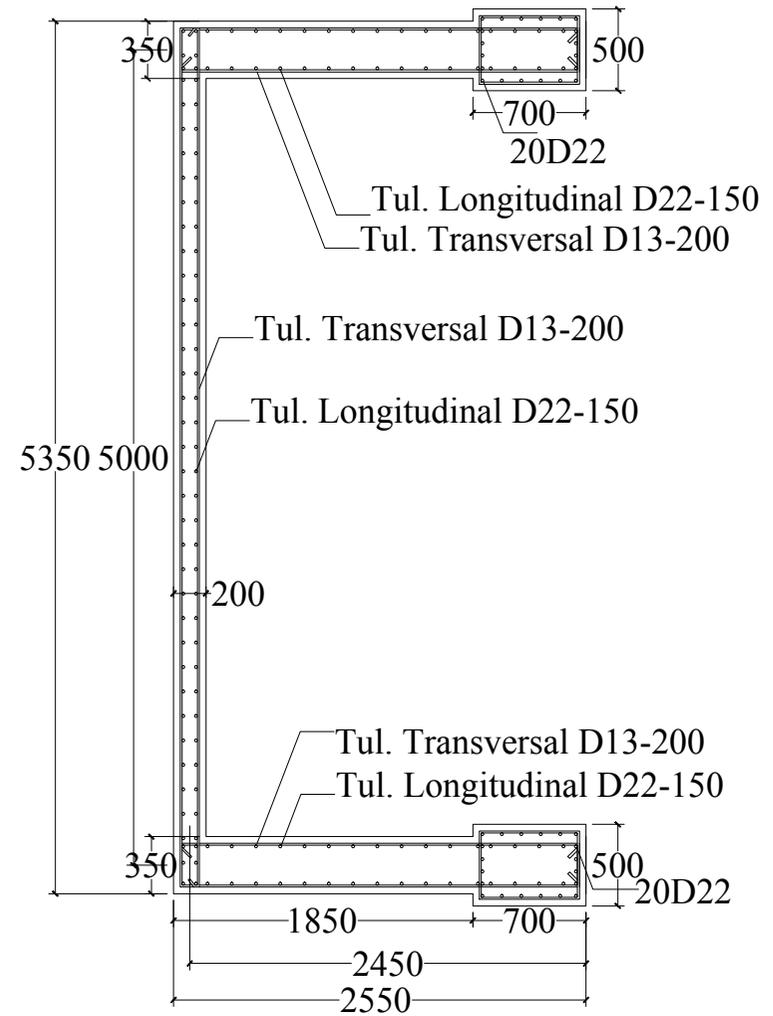
STR

NO LEMBAR

14



PENULANGAN SHEARWALL 2
1:10



PENULANGAN SHEARWALL 1
1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR
DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK
BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN
SEBAGIAN BALOK PRATEKAN

NAMA GAMBAR
PENULANGAN SHEARWALL

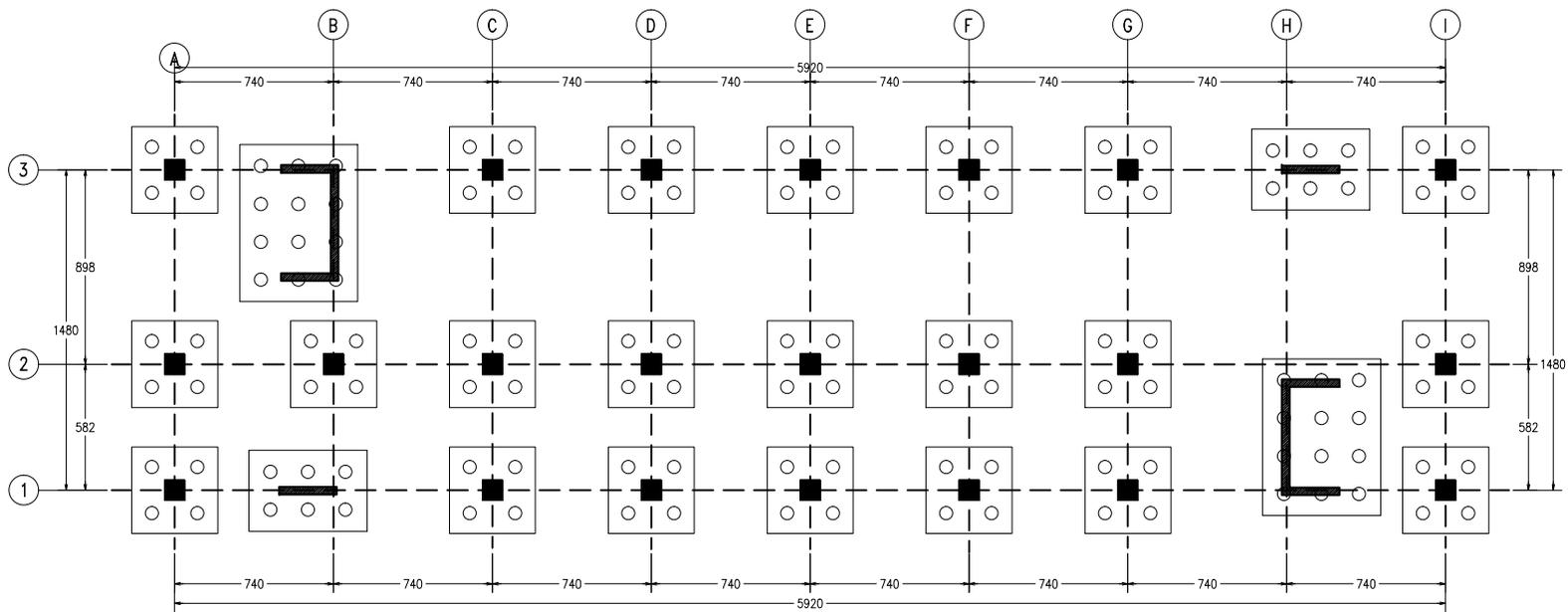
SKALA
1:10

DIGAMBAR
FAJRIN RAMADHANI 3115105055

DIPERIKSA
Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT
Data Iranata, ST., MT., PhD

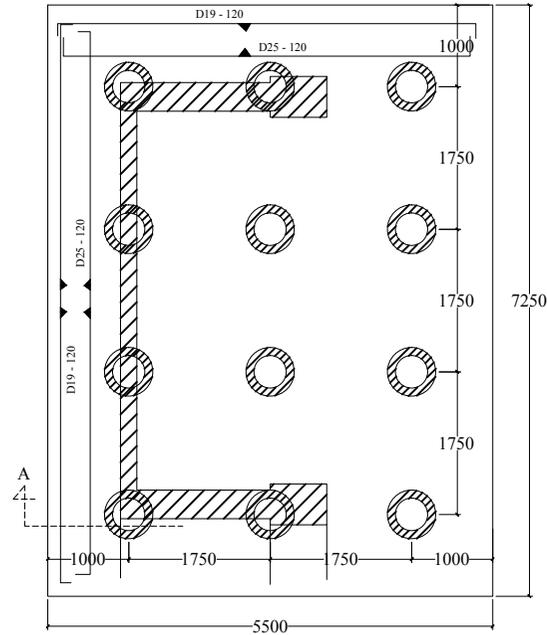
KODE GAMBAR
STR

NO LEMBAR
15

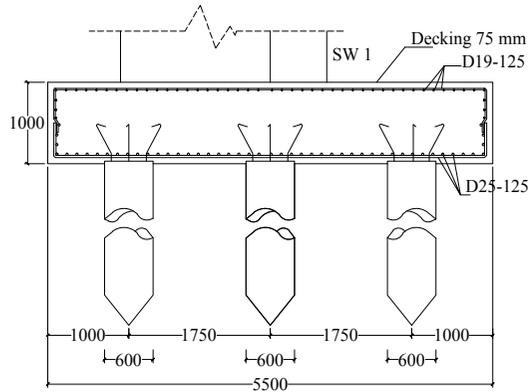


Denah Poer
1:200

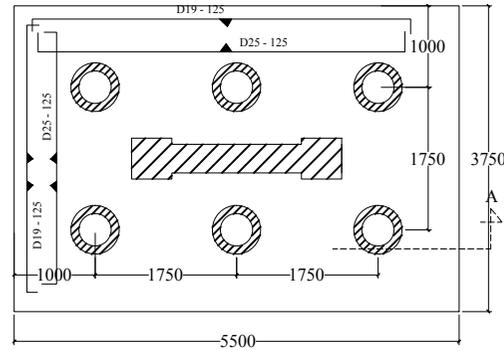
		JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA	DIGAMBAR	DIPERIKSA	KODE GAMBAR	NO LEMBAR
 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>	<p>DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN SEBAGIAN BALOK PRATEKAN</p>	<p>Denah Poer</p>	<p>1:200</p>	<p>FAJRIN RAMADHANI 3115105055</p>	<p>Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT Data Iranata, ST., MT., PhD</p>	<p>STR</p>	<p>16</p>



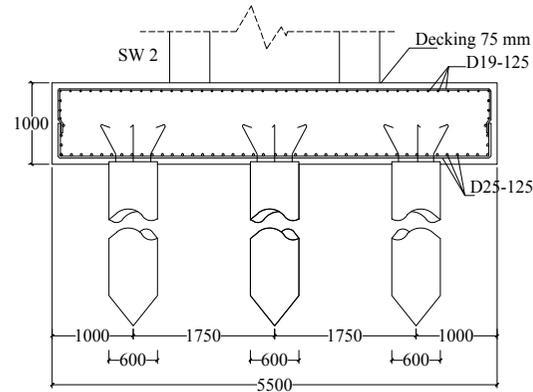
DETAIL POER SHEARWALL 1
1:20



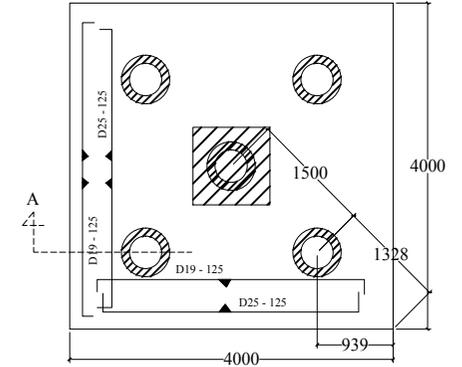
POTONGAN A
1:20



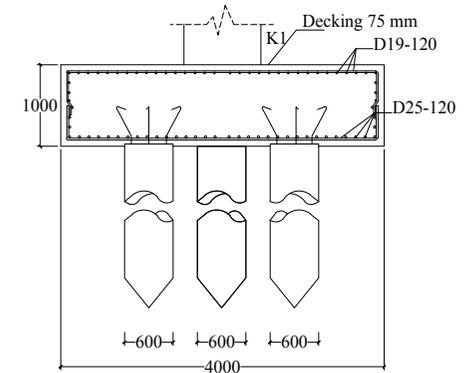
DETAIL POER SHEARWALL 2
1:20



POTONGAN A
1:20



DETAIL POER KOLOM
1:20



POTONGAN A
1:20



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
STAR HOTEL DAN APARTEMEN LOMBOK
BARAT DENGAN SISTEM GANDA DAN
SEBAGIAN BALOK PRATEKAN

NAMA GAMBAR

DETAIL POER

SKALA

1:20

DIGAMBAR

FAJRIN RAMADHANI 3115105055

DIPERIKSA

Dr. Eng. Januarti Jaya E., ST., MT
Data Iranata, ST., MT., PhD

KODE GAMBAR

STR

NO LEMBAR

17