



TUGAS AKHIR TERAPAN – VC181819

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANTAI DENGAN SISTEM GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

Mahasiswa
Haidar Abdul Syakur
NRP 10111310000091

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPERMBER
SURABAYA 2020



TUGAS AKHIR TERAPAN – VC181819

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANATAI DENGAN SISTEM GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

Mahasiswa
Haidar Abdul Syakur
NRP 10111310000091

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT APPLIED – VC181819

DESIGN STRUCTURE OF 10 FLOOR APARTMENTS WITH DOUBLE SYSTEM LOCATED ON THE BEACH

Student
Haidar Abdul Syakur
NRP 10111310000091

Academic Supervisor
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATION
SEPULUH NOPEMBER INTITUTE OF TECHNOLOGI
SURABAYA 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANTAI DENGAN SISTEM GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

TUGAS AKHIR TERAPAN

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

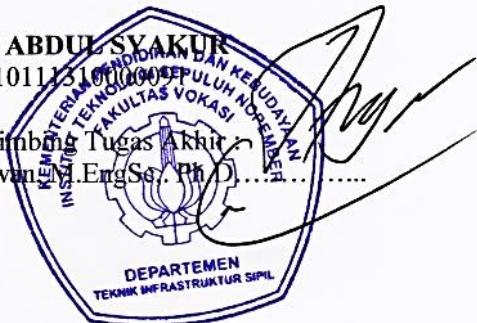
Oleh :

Haidar

HAI DAR ABDUL SYAKUR

NRP. 1011131010001

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir
1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc., Ph.D.
(Pembimbing I)



SURABAYA, 17 Agustus 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANTAI DENGAN SISTEM GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

Nama Mahasiswa : Haidar Abdul Syakur
NRP : 10111310000091
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D**

Abstrak

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa. Hal ini dapat dilihat pada berbagai kejadian gempa dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah di Indonesia dan menyebabkan kerusakan berbagai sarana dan prasarana di daerah-daerah yang terkena dampak bencana tersebut. Kondisi alam ini menyebabkan perlunya pemenuhan terhadap kaidah-kaidah perencanaan/ pelaksanaan sistem struktur tahan gempa pada setiap struktur bangunan yang akan didirikan di wilayah Indonesia, khususnya struktur bangunan beton bertulang yang di bangun di wilayah dengan kerawanan (resiko) gempa menengah hingga tinggi. Hal ini bertujuan agar pada saat terjadi gempa, struktur bangunan dapat bertahan dan melindungi penghuni dari resiko bahaya gempa.

Proyek apartemen ini berlokasi di Surabaya. Proyek ini memiliki ketinggian 49 lantai dan 4 lantai basement. Proyek ini menggunakan sistem ganda dengan mengkombinasikan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK) serta metode konvensional.

Pada tugas akhir terapan kali ini dimaksudkan untuk mengetahui cara mendesain struktur bangunan tahan gempa kategori disain sismik D dengan memperhitungkan kategori paparan akibat kondisi pantai. Tinggi apartemen semula 49 lantai dimodifikasi menjadi 10 lantai tanpa memperhitungkan

peruntukan bangunan pada lantai 1 sampai 5 sebagai mall dan memperhitungkan basement serta menggunakan denah lantai 6 sampai 15.

Dalam perencanaan elemen dan pendetailan penulis menggunakan ketentuan SNI 2847:2013, SNI 1726:2012, SNI 1727:2013 dan beberapa referensi lainnya.

Hasil dari modifikasi ini meliputi ukuran balok induk 400/700mm, balok anak 300/700mm, dan kolom 700x750mm serta dinding geser 300mm dan 400mm. Kemudian hasil modifikasi desain elemen, pendetailan tulangan serta sambungan dituangkan dalam gambar teknik.

Kata kunci : KDS D, SRPMK, SDSK, Sistem Ganda, Paparan Pantai

DESIGN STRUCTURE OF 10 FLOOR APARTMENTS WITH DOUBLE SYSTEM LOCATED ON THE BEACH

Student Name : Haidar Abdul Syakur
NRP : 10111310000091
Department : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
**Academic Supervisor : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D**

Abstract

Most of Indonesia is a region that has a high level of vulnerability to earthquakes. This can be seen in various earthquake events in the last few years that hit several regions in Indonesia and caused damage to various facilities and infrastructure in areas affected by the disaster. This natural condition causes the need to fulfill the principles of planning / implementing earthquake resistant structural systems in every building structure that will be erected in the territory of Indonesia, especially reinforced concrete structures built in areas with medium to high earthquake hazard. It is intended that during an earthquake, the structure of the building can survive and protect occupants from the risk of earthquake danger.

This apartment project is located in Surabaya. This project has a height of 49 floors and 4 basement floors. This project uses a dual system by combining the Special Moment Resistant Frame System (SRPMK) and the Special Structure Wall System (SDSK) as well as the conventional method.

This final project is intended to find out how to design earthquake resistant building structures in the D seismic design category by taking into account the category of exposure due to coastal conditions. The height of the original apartment was 49 floors modified to 10 floors without taking into account the designation of the building on floors 1 to 5 as a mall and calculating the basement and using floor plans 6 to 15.

In planning the elements and detailed authors use the provisions of SNI 2847: 2013, SNI 1726: 2012, SNI 1727: 2013 and several other references.

The results of this modification include the size of 400 / 700mm main beam, 300 / 700mm joist, and 700x750mm column and 300mm and 400mm shear wall. Then the results of modifications to the design of elements, detailed reinforcement and connections are outlined in technical drawings.

Keywords: *KDS D, SRPMK, SDSK, Dual Systems, Coastal Exposure*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan proyek akhir terapan yang berjudul **“Desain Struktur Apartemen 10 Lantai Dengan Sistem Ganda Terletak Di Tepi Pantai”**.

Dalam penyusunan proyek akhir terapan ini , penulis mendapat banyak doa, bantuan dan dukungan. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan adik yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberi dukungan serta semangat kepada penulis.
2. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dengan kesabaran dan tanggung jawab.
3. Teman-teman yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan tugas akhir terapan ini tak lepas dari berbagai kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga laporan proyek akhir terapan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, 17 Agustus 2020
Penulis,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sistem Struktur Beton Bertulang Penahan Beban Gempa5	
2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	6
2.2.2 Sistem Dinding Struktural (SDS)	26
2.2.3 Sistem Berangkai.....	39
2.3 Durabilitas	45
2.3.1 Kategori Paparan Akibat Kondisi Pantai.....	45
BAB III METODOLOGI	49
3.1 Umum.....	49

3.2	Diagram Alir Perencanaan	49
3.3	Pencarian dan Pengumpulan Data	51
3.4	Penentuan Kriteria Desain.....	52
3.5	Preliminary Desain.....	53
3.5.1	Pengaturan Denah.....	53
3.5.2	Penentuan Dimensi Elemen Struktur.....	53
3.6	Permodelan Struktur.....	56
3.7	Pembebanan Struktur	57
3.7.1	Beban.....	57
3.7.2	Kombinasi Pembebanan	64
3.8	Analisa Struktur.....	65
3.8.1	Perhitungan Gaya Dalam.....	65
3.8.2	Kontrol Persyaratan	65
3.9	Perencanaan Penulangan	65
3.9.1	Perencanaan Tulangan Pelat.....	65
3.9.2	Perencanaan Tulangan Balok Anak.....	68
3.9.3	Perencanaan Tulangan Tangga.....	72
3.9.4	Perencanaan Tulangan Balok	72
3.9.5	Perencanaan Tulangan Kolom.....	78
3.9.6	Perencanaan Tulangan HBK	83
3.9.7	Perencanaan Tulangan Dinding Geser	83
3.10	Gambar Teknik.....	87
3.11	Kesimpulan dan Saran.....	87
BAB IV PEMBAHASAN		89
4.1	Preliminary Design.....	89

4.1.1	Umum	89
4.1.2	Data Perencanaan	89
4.1.3	Perencanaan Dimensi Balok	90
4.1.4	Perencanaan Dimensi Pelat	94
4.1.5	Perencanaan Dimensi Dinding Geser	100
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom	102
4.2	Permodelan dan Pembebanan Struktur	105
4.2.1	Umum	105
4.2.2	Permodelan Struktur	106
4.2.3	Pembebanan Struktur	108
4.3	Analisa Struktur	115
4.3.1	Kontrol Pembebanan Gravitasi	116
4.3.2	Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental (T) ..	120
4.3.3	Kontrol Kombinasi Ragam	123
4.3.4	Kontrol Jumlah Ragam Partisipasi Massa	124
4.3.5	Kontrol Gaya Geser Dasar	125
4.3.6	Kontrol Simpangan	129
4.3.7	Kontrol Sistem Ganda	132
4.4	Perencanaan Struktur Sekunder	133
4.4.1	Perencanaan Plat	133
4.4.2	Perencanaan Balok Anak	175
4.4.3	Perencanaan Balok Lift	231
4.4.4	Perencanaan Tangga	251
4.5	Perencanaan Struktur Primer	302
4.5.1	Perencanaan Balok Induk	302

4.5.2	Perencanaan Kolom.....	327
4.5.3	Perencanaan HBK	335
4.5.4	Perencanaan Dinding Geser	337
4.6	Perencanaan Sambungan.....	358
4.6.1	Perencanaan Sambungan Plat dan Plat.....	358
4.6.2	Perencanaan Sambungan Plat dan Balok.....	359
4.6.3	Perencanaan Sambungan Balok dan Balok	361
4.6.4	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom.....	362
4.6.5	Perencanaan Sambungan Balok dan Dinding Geser	364
4.6.6	Perencanaan Sambungan Kolom dan Kolom	365
4.6.7	Perencanaan Sambungan Dinding Geser dan Dinding Geser.....	366
4.7	Metode Pelaksanaan.....	368
4.7.1	Diagaram Alir Pelaksanaan	368
4.7.2	Lingkup Pekerjaan.....	368
4.7.3	Daftar Bahan dan Alat.....	369
4.7.4	Perencanaan.....	370
4.7.5	Pelaksanaan Pekerjaan.....	371
BAB V	PENUTUP.....	397
5.1	Kesimpulan.....	397
5.2	Saran.....	401
DAFTAR PUSTAKA.....		403

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Korelasi Terminologi Kegempaan dalam Beberapa Aturan yang Ada	5
Tabel 2.2. Ketentuan SNI 2847:2013 pasal 21.1.1 dan SNI 1726:2012 tabel 9	7
Tabel 2.3. Kategori dan Kelas Paparan.....	46
Tabel 2.4. Persyaratan untuk Beton dengan Kelas Paparan.....	47
Tabel 3.1. Beban Mati	57
Tabel 3.2. Beban Hidup	58
Tabel 3.3. Faktor Arah Angin.....	59
Tabel 3.4. Koefisien Tekan Internal	59
Tabel 3.5. Koefisien Ekspour	60
Tabel 3.6. Koefisien Tekan Dinding.....	60
Tabel 3.7. Kofisien Tekan Atap.....	60
Tabel 3.8. Kategori Resiko Bangunan	61
Tabel 3.9. Faktor Keutamaan.....	61
Tabel 3.10. Klasifikasi kelas situ	61
Tabel 3.11. Percepatan Respon Spektrum Periode Pendek (Fa)	62
Tabel 3.12. Percepatan Respon Spectrum Periode 1 Detik (Fv)	63
Tabel 3.13. Koefisien Modifikasi Respon (R)	63
Tabel 4.1. Rekapitulasi Dimensi Balok Induk	92
Tabel 4.2. Rekapitulasi Dimensi Balok Anak.....	93
Tabel 4.3. Inersia Balok.....	98
Tabel 4.4. Rasio Kekutan Lentur	99
Tabel 4.5. Rekapitulasi Dimensi Pelat.....	100
Tabel 4.6. Rekapitulasi Dimensi Dinding Geser	101
Tabel 4.7. Rekapitulasi Dimensi Kolom.....	105
Tabel 4.8. Beban Mati	108
Tabel 4.9. Beban Hidup	109
Tabel 4.10. Faktor Arah Angin.....	110
Tabel 4.11. Koefisien Tekan Internal	110
Tabel 4.12. Koefisien Ekspour	111

Tabel 4.13. Koefisien Tekan Dinding.....	111
Tabel 4.14. Kofisien Tekan Atap.....	112
Tabel 4.15. Kategori Resiko Bangunan	113
Tabel 4.16. Faktor Keutamaan.....	113
Tabel 4.17. Hasil Analisa Tanah.....	113
Tabel 4.18. Klasifikasi kelas situ	113
Tabel 4.19. Data Grafik Respon Spektrum Dari puskim.pu.go.id	114
Tabel 4.20. Data Analisa Faktor Gempa Dari puskim.pu.go.id	114
Tabel 4.21. Koefisien Modifikasi Respon (R).....	115
Tabel 4.22. Data Perencanaan SRPMK dan Sistem Ganda	115
Tabel 4.24. Hasil Analisa Struktur SRPMK	115
Tabel 4.25. Hasil Analisa Struktur Sistem Ganda	116
Tabel 4.26. Rekapitulasi Pembebatan Gravitasi Manual	120
Tabel 4.27. Rakapitulasi Pembebatan Gravitasi SAP2000	120
Tabel 4.28. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	121
Tabel 4.29. Koefisien Batas Atas Pendekatan C_u	121
Tabel 4.30. Rekapitulasi Periode SAP2000 Eksisting	122
Tabel 4.31. Rekapitulasi Periode SAP2000 Desain.....	122
Tabel 4.32. Rekapitulasi Kombinasi Ragam Eksisting.....	123
Tabel 4.33. Rekapitulasi Kombinasi Ragam Desain	124
Tabel 4.34. Rekapitulasi Jumlah Ragam Partisipasi Massa SAP2000 Eksisting.....	124
Tabel 4.35. Rekapitulasi Jumlah Ragam Partisipasi Massa SAP2000 Desain	125
Tabel 4.36. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Eksisting	126
Tabel 4.37. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Setelah Ditambahkan Faktor Pengali Eksisting	127
Tabel 4.38. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Desain	128
Tabel 4.39. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Setelah Ditambahkan Faktor Pengali Desain	129
Tabel 4.40. Simpangan Ijin Antar Lantai	129
Tabel 4.41. Rekapitulasi Simpangan SAP2000 (δ_e) Eksisting..	130

Tabel 4.42. Hasil Analisa Simpangan Arah x Eksisting	131
Tabel 4.43. Hasil Analisa Simpangan Arah y Eksisting	131
Tabel 4.44. Rekapitulasi Simpangan SAP2000 (δ_e) Desain	131
Tabel 4.45. Hasil Analisa Simpangan Arah x Desain.....	132
Tabel 4.46. Hasil Analisa Simpangan Arah y Desain.....	132
Tabel 4.47. Rekapitulasi Sistem Ganda Eksisting	133
Tabel 4.48. Rekapitulasi Sistem Ganda Desain.....	133
Tabel 4.49. Distribusi Momen M_o	148
Tabel 4.50. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Interior ...	148
Tabel 4.51. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Eksterior	149
Tabel 4.52. Lajur Kolom Momen Terfaktor Positif.....	149
Tabel 4.53. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Negatif	149
Tabel 4.54. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Positif.....	150
Tabel 4.55. Distribusi Momen M_o	162
Tabel 4.56. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Interior ...	162
Tabel 4.57. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Eksterior	162
Tabel 4.58. Lajur Kolom Momen Terfaktor Positif.....	162
Tabel 4.59. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Negatif	162
Tabel 4.60. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Positif.....	163
Tabel 4.61 Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Plat....	175
Tabel 4.62. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Anak	230
Tabel 4.63. Spesifikasi Lift.....	231
Tabel 4.64. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Lift.....	251
Tabel 4.65. Hasil Analisa Metode Cross	256
Tabel 4.66. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Plat Tangga dan Bordes.....	301
Tabel 4.67. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Bordes.....	302
Tabel 4.68. Rekapitulasi Kuat Lentur Mungkin Maksimum Balok Induk.....	315
Tabel 4.69. Rekapitulasi Geser Muka Kolom Balok	316

Tabel 4.70. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Induk.....	326
Tabel 4.71. Hasil Rekapitulasi Analisa Menggunakan Program Bantu SPColumn	329
Tabel 4.72. Rekapitulasi Kuat Lentur Mungkin Maksimum Balok	332
Tabel 4.73. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Kolom	334
Tabel 4.74. Inersia Dinding Geser	342
Tabel 4.77. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Dinding Geser.....	358
Tabel 4.78. Pengambilan Sampel Beton.....	388

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Denah Lantai Sebelum Dimodifikasi	2
Gambar 2.1. Ketentuan Dimensi Penampang Balok	9
Gambar 2.2. Persyaratan Tulangan Lentur	9
Gambar 2.3. Kombinasi Lentur dan Persyaratan Minimum Kuat Lentur	10
Gambar 2.4. Persyaratan Sambungan Lewatan	10
Gambar 2.5. Persyaratan Tulangan Transversal	11
Gambar 2.6. Contoh Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk	12
Gambar 2.7. Persyaratan untuk Sengkang Tertutup dan Pengikat Silang	12
Gambar 2.8. Kombinasi Geser Akibat Gravitasi dan Gempa	13
Gambar 2.9. Persyaratan Geometri Kolom.....	15
Gambar 2.10. Konsep <i>Strong Column Weak Beam</i>	15
Gambar 2.11. Sambungan Lewatan pada Kolom	18
Gambar 2.12. Pengekangan oleh Tulangan Spiral Terhadap Inti Beton	18
Gambar 2.13. Perilaku Beton yang Terkekang (Imran dan Pantazopoulou, 1996)	19
Gambar 2.14. Persyaratan Kekangan untuk Sengkang Spiral ...	22
Gambar 2.15. Persyaratan Kekangan untuk Sengkang Tertutup Persegi	22
Gambar 2.16. Contoh Pemasangan Tulangan Transversal pada Kolom.....	23
Gambar 2.17. Detail Kolom yang Menumpu Elemen Kaku yang Tidak Menerus.....	24
Gambar 2.18. Perencanaan Geser Rencana untuk Kolom	25
Gambar 2.19. Persyaratan Penulangan Badan Dinding Beton...	29
Gambar 2.20. Perpanjangan Komponen Batas Khusus	33
Gambar 2.21. Ketentuan SNI untuk Komponen Batas Khusus .	34
Gambar 2.22. Penulangan untuk Komponen Batas Khusus	35

Gambar 2.23. Contoh Gaya Dalam pada Joint	36
Gambar 2.24. Jenis Hubungan Balok Kolom	36
Gambar 2.25. Perhitungan Geser Horizontal pada HBK	37
Gambar 2.26. Perhitungan V_u pada HBK	37
Gambar 2.27. Persyaratan Ukuran Balok Pengekang	38
Gambar 2.28. Luas Efektif HBK	39
Gambar 2.29. Standar Kait 90°	39
Gambar 2.30. Contoh Sistem Berangkai pada Gedung Hipotesis Sistem Ganda.....	40
Gambar 2.31. Balok Perangkai dengan Kelompok Tulangan yang Disusun Secara Diagonal.....	42
Gambar 2.32. Alternatif Detailing Penulangan Balok Perangkai	45
Gambar 3.1. Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek (S_s)	62
Gambar 3.2. Percepatan Batuan Dasar Periode 1 Detik (S_1)	62
Gambar 4.1. Denah Pembalokan	90
Gambar 4.2. Denah Pelat	94
Gambar 4.3. b_{ef} , menurut SNI 2847:2013 Gambar S13.2.4.....	97
Gambar 4.4. Inersia Menurut Iswandi Imran dan Fajar Hendrik, 2014.....	97
Gambar 4.5. Balok Eksterior	98
Gambar 4.6. Balok Interior	98
Gambar 4.7. Denah Dinding Geser.....	100
Gambar 4.8. Denah Kolom	102
Gambar 4.9. Permodelan Struktur SRPMK Denah 1	106
Gambar 4.10. Permodelan Struktur SRPMK Denah 2	106
Gambar 4.11. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 1....	107
Gambar 4.12. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 2....	107
Gambar 4.13. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 3....	107
Gambar 4.14. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 4....	108
Gambar 4.15. Grafik Respon Spektrum Dari puskim.pu.go.id	114
Gambar 4.16. Permodelan SAP2000	116
Gambar 4.17. Denah Pelat	133

Gambar 4.18. Denah Balok Anak	175
Gambar 4.19. Denah Balok Lift.....	231
Gambar 4.20. Posisi Lift	231
Gambar 4.21. Denah Tangga	251
Gambar 4.22. Detail Tangga.....	253
Gambar 4.23. Permodelan Tangga	255
Gambar 4.24. Diagram Free Body	256
Gambar 4.25. Bidang N Tangga	259
Gambar 4.26. Bidang D Tangga	259
Gambar 4.27. Bidang M Tangga	260
Gambar 4.28. Denah Balok Induk	302
Gambar 4.29. Denah Kolom	327
Gambar 4.30. Hasil Analisa Kolom Menggunakan Program Bantu SPColumn	329
Gambar 4.31. Denah HBK.....	335
Gambar 4.32. Denah Dinding Geser.....	337
Gambar 4.33. Hasil Analisa Dinding Geser SW1 Menggunakan Program Bantu SPColumn	342
Gambar 4.34. Dinding Geser	342
Gambar 4.35. Hasil Analisa Dinding Geser SW2 Menggunakan Program Bantu SPColumn	348
Gambar 4.37. Hasil Analisa Dinding Geser SW3 Menggunakan Program Bantu SPColumn	355
Gambar 4.39. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik	359
Gambar 4.40. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik	361
Gambar 4.41. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik	362
Gambar 4.42. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik	364
Gambar 4.43. Proses Pelaksanaan Perkerjaan Beton Pada Suatu Proyek.....	372
Gambar 4.44. Sampel Baja Tulangan	373
Gambar 4.45. Penyimpanan Baja Tulangan	374
Gambar 4.46. Bekisting Kolom	377
Gambar 4.47. Bekisting Pelat	378

Gambar 4.48. Bekisting Balok.....	378
Gambar 4.49. Komponen <i>Self Climber</i>	379
Gambar 4.50. Langkah-Langkah Menggunakan <i>Self Climber</i>	380
Gambar 4.51. Pemasangan <i>Self Climbing</i>	381
Gambar 4.52. Bar Bender dan Bar Cutter.....	381
Gambar 4.53. Pemasangan Tulangan.....	382
Gambar 4.54. Pemasangan Beton Tahu dan <i>Spacer Bar</i> Pelat	384
Gambar 4.55. <i>Space Bar</i> Balok	384
Gambar 4.56. Pemasangan Beton Tahu dan <i>Space Bar</i> Kolom dan Dinding Geser.....	384
Gambar 4.57. Pengecekan Tulangan	385
Gambar 4.58. Alat Uji Slump (Kerucut Abrams)	388
Gambar 4.59. Diagram Waktu Perawatan Dan Mutu Beton....	392
Gambar 4.60. Diagram Suhu Perawatan Dan Mutu Beton.....	392
Gambar 4.61. Catatan Perawatan Beton	393
Gambar 4.62. Metode Perawatan Beton	394
Gambar 4.63. Ilustrasi Perawatan Beton.....	394

BAB I

PENDAHULUAN

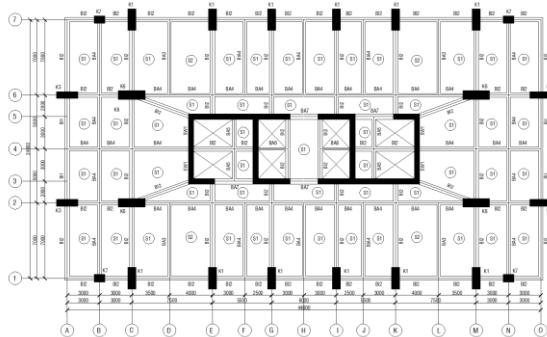
1.1 Latar Belakang

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa. Hal ini dapat dilihat pada berbagai kejadian gempa dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah di Indonesia dan menyebabkan kerusakan berbagai sarana dan prasarana di daerah-daerah yang terkena dampak bencana tersebut. Seperti Gempa Aceh (Imran dkk, 2005), Gempa Yogyakarta (Imran dkk, 2006), Gempa Sumbar (Imran dkk, 2007) dan Gempa Jabar (Imran dkk, 2009). Kondisi alam ini menyebabkan perlunya pemenuhan terhadap kaidah-kaidah perencanaan/ pelaksanaan sistem struktur tahan gempa pada setiap struktur bangunan yang akan didirikan di wilayah Indonesia, khususnya struktur bangunan beton bertulang yang dibangun di wilayah dengan kerawanan (resiko) gempa menengah hingga tinggi. Hal ini bertujuan agar pada saat terjadi gempa, struktur bangunan dapat bertahan dan melindungi penghuni dari resiko bahaya gempa. (Iswandi Imran dan Fajar Hendrik, 2009)

Agar hal yang sama tidak terjadi lagi, prinsip-prinsip dasar berikut perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa diantaranya menggunakan sistem struktur yang sesuai dengan tingkat kerawanan (resiko) gempa, memerhatikan aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan seperti pendetailan tulangan dan sambungan, mengasumsikan bangunan tetap terjaga secara konsisten terhadap kategori paparan, menggunakan material beton dan baja tulangan sesuai persyaratan material konstruksi tahan gempa, memerhatikan pengaruh unsur arsitektur supaya tidak mengganggu sistem portal utama dan memerhatikan metode pelaksanaan, *quality control* dan *quality assurance* sesuai kaidah yang berlaku. (Hoedajanto dan Imran, 2002)

Proyek apartemen ini berlokasi di Surabaya. Proyek ini memiliki ketinggian 49 lantai dan 4 lantai basement. Proyek ini menggunakan sistem ganda dengan mengkombinasikan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser serta metode konvensional.

Pada tugas akhir terapan kali ini dimaksudkan untuk mengetahui cara mendesain struktur bangunan tahan gempa dengan memperhitungkan kategori paparan akibat kondisi pantai. Tinggi apartemen semula 49 lantai dimodifikasi menjadi 10 lantai tanpa memperhitungkan peruntukan bangunan pada lantai 1 sampai 5 sebagai mall dan memperhitungkan basement serta menggunakan denah lantai 6 sampai 15.



Gambar 1.1. Denah Lantai Sebelum Dimodifikasi

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang dapat dirumuskan pada Tugas Akhir Terapan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain bangunan tahan gempa dengan memerhatikan kategori paparan akibat kondisi pantai?
2. Bagaimana mendetailkan penulangan dan sambungan bangunan tahan gempa?

1.3 Tujuan

Dengan rumusan masalah di atas maka tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Dapat mendesain bangunan tahan gempa dengan memerhatikan kategori paparan akibat kondisi pantai.
2. Dapat mendetailkan penulangan dan sambungan bangunan tahan gempa.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam mendesainan, meliputi:

1. Desain tidak memerhatikan peruntukan penggunaan pada lantai 1 sampai 5 untuk mall, hanya untuk peruntukan apartment saja.
2. Desain dilaksanakan untuk 10 lantai dengan denah lantai 6 sampai 15.
3. Perhitungan struktur tidak meliputi perhitungan pondasi.
4. Laporan ini tidak meninjau analisa biaya, utilitas dan arsitektural.
5. Program bantu yang digunakan meliputi SAP 2000 14, Autocad 2013 dan Pcadol.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam mendesainan, meliputi:

1. Menambah wawasan penulis cara mendesain bangunan 10 lantai dengan sistem ganda dengan kelas paparan tepi pantai pada KDS D menggunakan standart keamanan struktur.
2. Menjadikan acuan pembaca untuk mendesain bangunan 10 lantai dengan sistem ganda dengan kelas paparan tepi pantai pada KDS D.
3. Dari hasil mendesain ini bisa diketahui hal yang perlu diperhatikan pada saat perencanaan sehingga dapat meminimalisir kegagalan konstruksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam menyelesaikan desain struktur apartemen 10 lantai dengan sistem ganda terletak di tepi pantai agar dapat memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh sebuah gedung, maka pada tinjauan pustaka ini akan menjelaskan secara garis besar mengenai teori dan studi pustaka.

Peraturan terkait yang digunakan dalam perhitungan:

1. SNI 2847:2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan.
2. SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
3. SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.

2.2 Sistem Struktur Beton Bertulang Penahan Beban Gempa

Detailing struktur pada dasarnya diatur dalam SNI 2847. Detailing tersebut ditetapkan berdasarkan Kategori Desain Seismik (KDS). Kategori Desain Seismik (KDS) diperoleh dari SNI 1726. Tabel 2.1 memperlihatkan korelasi kegempaan dalam beberapa aturan yang ada, termasuk SNI yang baru.

Tabel 2.1. Korelasi Terminologi Kegempaan dalam Beberapa Aturan yang Ada

Standart atau Aturan	Tingkat Resiko Sismik atau Katgori Desain Sismik		
SNI 2847:2002	Resiko Sismik Rendah	Resiko Sismik Menengah	Resiko Sismik Tinggi
SNI 1726:2002	Zona 1, 2	Zona 3, 4	Zona 5, 6
SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012	KDS A, B	KDS C	KDS D, E, F

SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012, struktur bangunan beton bertulang yang dikenakan KDS D, E dan F harus direncanakan dengan menggunakan sistem struktur penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan detailing khusus atau memiliki tingkat daktilitas penuh. Sedangkan bangunan yang dikenakan KDS C harus direncanakan minimum dengan menggunakan sistem struktur yang memenuhi persyaratan detailing menengah atau memiliki paling tidak tingkat daktilitas sedang.

Berdasarkan SNI 2847:2013, sistem struktur penahan beban lateral secara umum dibedakan atas:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).
2. Sistem Dinding Struktural (SDS).

2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen struktur dan join menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. SRPM dapat dikelompokkan sebagai berikut (Tabel 2.2):

1. Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) adalah sistem rangka yang memenuhi ketentuan pasal 1 hingga 20, 21.1.2 dan 21.2. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal KDS B.
2. Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sistem rangka yang memenuhi ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa dan juga ditambahkan memenuhi ketentuan pasal 21.1.8 dan 21.3. Sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal KDS C.
3. Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sistem rangka yang memenuhi ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa dan juga ditambahkan memenuhi ketentuan pasal 21.1.2-21.13. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus wajib digunakan untuk bangunan yang dikenakan KDS D, E atau F.

Tabel 2.2. Ketentuan SNI 2847:2013 pasal 21.1.1 dan SNI 1726:2012 tabel 9

Kategori Desain Seismik	Jenis Struktur yang Dapat Digunakan	Faktor Modifikasi Respons (R) Berdasarkan SNI Gempa
KDS B	Sistem Rangka Pemikul Momen - SRPMB (Pasal 21.2) - SRPMM (Pasal 21.3) - SRPMK (Pasal 21.5-21.8) Sistem Dinding Struktural - SDSB - SDSK (Pasal 21.9)	3 5 8 4 ~ 5 5 ~ 6
KDS C	Sistem Rangka Pemikul Momen - SRPMM (Pasal 21.3) - SRPMK (Pasal 21.5-21.8) Sistem Dinding Struktural - SDSB - SDSK (Pasal 21.9)	5 8 4 ~ 5 5 ~ 6
KDS D, E, dan F	Sistem Rangka Pemikul Momen - SRPMK (Pasal 21.5-21.8)	8 5 ~ 6

	Sistem Dinding Struktural - SDSK (Pasal 21.9)	
--	--	--

2.2.1.1 Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.2.1.1.1 Persyaratan Detailing Komponen Struktur Lentur SRPMK

2.2.1.1.1.1 Persyaratan Gaya dan Geometri

Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur dimana gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada penampangnya tidak melebihi $0.1A_g f_c'$, dengan A_g adalah luas penampang komponen struktur. Secara geometri, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk komponen lentur, yaitu (Gambar 2.1):

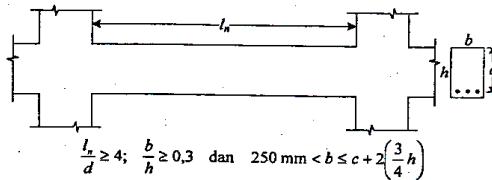
1. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya (lentur).

Persyaratan ini adalah hasil dari beberapa eksperimen yang membuktikan bahwa akibat pembebanan siklik dalam rentan inelastik, perilaku komponen struktur menerus dengan rasio panjang-tinggi kurang dari empat ternyata memiliki perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan perilaku komponen struktur yang relatif lebih langsing.

2. Perbandingan lebar terhadap tinggi komponen struktur tidak boleh kurang dari 0,3.

Persyaratan ini terkait dengan stabilitas penampang komponen struktur, khususnya pada saat penampang mengalami deformasi inelastik yang cukup signifikan.

3. Lebar penampang haruslah:
 - a. $\geq 250\text{mm}$.
 - b. \leq lebar kolom ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang tidak melebihi tiga per empat tinggi komponen struktur lentur. Persyaratan ini terkait dengan transfer momen akibat gempa dari elemen struktur balok ke kolom.

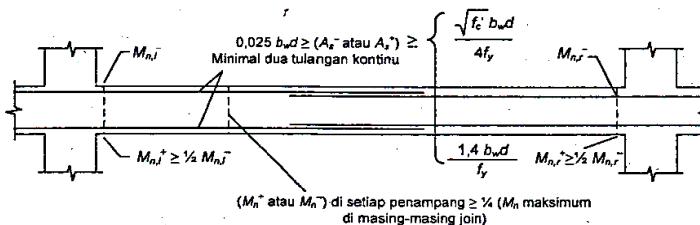


Gambar 2.1. Ketentuan Dimensi Penampang Balok

2.2.1.1.1.2 Persyaratan Tulangan Lentur

Ada beberapa persyaratan tulangan lentur yang perlu diperhatikan pada perencanaan komponen lentur SRPMK, diantaranya adalah:

1. Masing-masing luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang dipersyaratkan, yaitu $(0.25b_w d \sqrt{f_c})/f_y$ atau $(1.4b_w d)/f_y$ (dengan b_w dan d masing-masing adalah lebar dan tinggi efektif penampang komponen lentur). Rasio tulangan lentur maksimum (ρ_{max}) juga dibatasi sebesar 0,025. Selain itu, pada penampang harus terpasang secara menerus minimum dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah.
2. Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut (Gambar 2.2 dan 2.3).

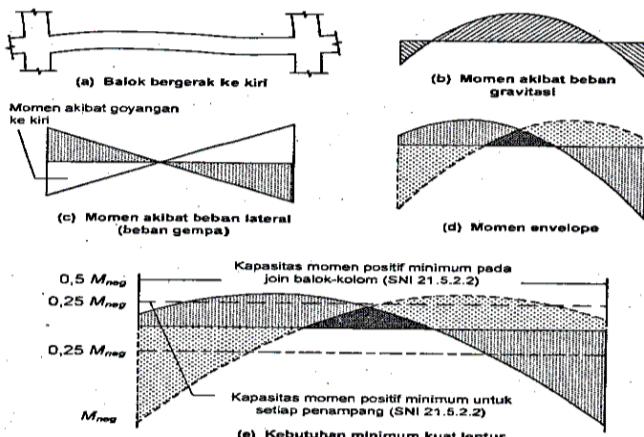


Gambar 2.2. Persyaratan Tulangan Lentur

3. Sambungan lewatan untuk penyambungan tulangan lentur harus diberi tulangan spiral atau sengkang tertutup di sepanjang sambungan tersebut (Gambar 2.4). Pemasangan tulangan spiral

atau sengkang tertutup ini penting untuk mengekang beton di daerah sambungan dan mengantisipasi terkelupasnya selimut beton pada saat penampang mengalami deformasi inelastik yang signifikan.

4. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada:
 - a. Daerah hubungan balok kolom.
 - b. Daerah hingga jarak dua kali tinggi balok h dari muka kolom, dan
 - c. Lokasi-lokasi yang berdasarkan hasil analisis, memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastik struktur portal bangunan.



Gambar 2.3. Kombinasi Lentur dan Persyaratan Minimum Kuat Lentur



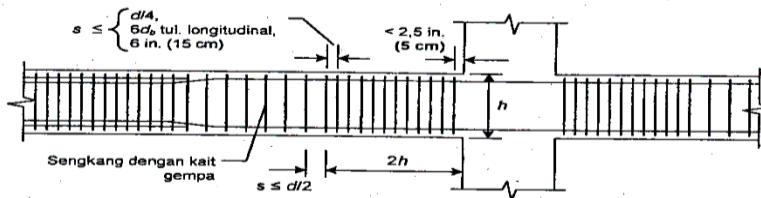
Gambar 2.4. Persyaratan Sambungan Lewatan
Batasan-batasan ini perlu diperhatikan dalam perencanaan komponen struktur SRPMK, karena sambungan lewatan tidak

dapat diandalkan bila menerima beban siklik yang dapat memaksa penampang berdeformasi dalam rentan inelastiknya.

2.2.1.1.3 Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal pada komponen lentur dibutuhkan terutama untuk menahan geser, mengekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral bagi batang-batang tulangan lentur dimana tegangan leleh dapat terbentuk. Karena pengelupasan (*spalling*) selimut beton dapat terjadi pada saat gempa kuat, terutama di daerah sendi plastis dan di daerah sekitarnya, maka semua tulangan transversal pada elemen SRPMK harus berbentuk sengkang tertutup. Beberapa persyaratan harus dipenuhi untuk pemasangan tulangan sengkang tertutup diantaranya:

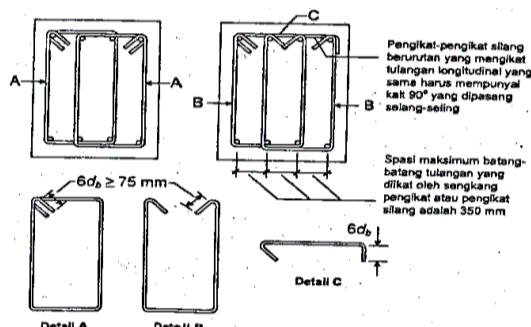
1. Sengkang tertutup harus dipasang:
 - a. Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan.
 - b. Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang yang berpotensi membentuk sendi plastis.
2. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50mm dari muka tumpuan. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi (Gambar 2.5):
 - a. $d/4$.
 - b. Enam kali diameter terkecil tulangan memanjang.
 - c. 150mm.



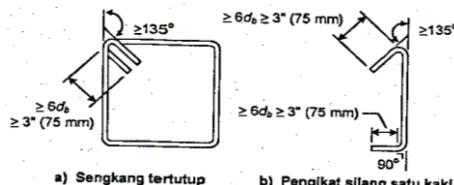
Gambar 2.5. Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan sengkang tertutup dapat dipasang sebagai tulangan tunggal atau bertumpuk. Pada gambar 2.6 diperlihatkan beberapa contoh penggunaan sengkang tertutup yang dipasang bertumpuk, dengan memanfaatkan tulangan pengikat silang (*crosstie*).

Tulangan sengkang tertutup dan pengikat silang (*crosstie*) harus diberi kait gempa diujung-ujungnya (Gambar 2.7). Pengikat silang didefinisikan sebagai tulangan pengikat yang ujung-ujungnya diberi kait gempa dan kait 90° . Sedangkan kait gempa didefinisikan sebagai kait pada sengkang yang mempunyai bengkokan tidak kurang dari 135° (untuk sengkang cincin dapat diambil $\geq 90^\circ$) + perpanjangan $6d_b$ (Gambar 2.7).



Gambar 2.6. Contoh Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk



Gambar 2.7. Persyaratan untuk Sengkang Tertutup dan Pengikat Silang

2.2.1.1.4 Persyaratan Kuat Geser Komponen Struktur Lentur

Kuat geser perlu V_e untuk perencanaan geser bagi komponen struktur lentur SRPMK harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada komponen struktur antara dua muka tumpuan (Gambar 2.8), yaitu:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u + l_n}{2} \quad (2.1)$$

dimana,

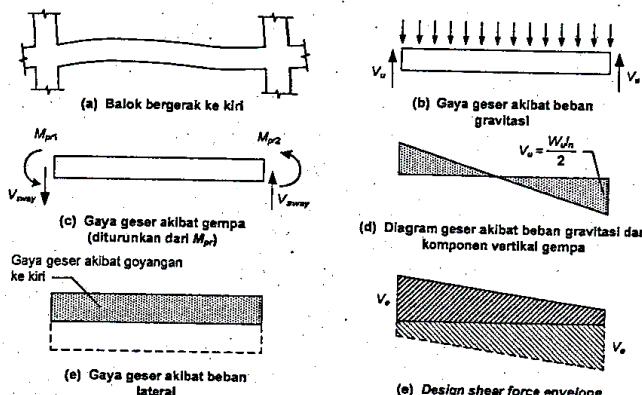
V_e = Gaya geser ultimit balok akibat gempa

M_{pr1} = Probable moment diperletakan 1 akibat goyangan kekiri (atau kanan)

M_{pr2} = Probable moment diperletakan 2 akibat goyangan kekiri (atau kanan)

W_u = Pengaruh beban gravitasi ($1,2D + 1,0L$)

l_n = Panjang bentang bersih balok



Gambar 2.8. Kombinasi Geser Akibat Gravitasi dan Gempa

Momen ujung M_{pr} (*probable moment capacity*) didefinisikan sebagai momen maksimum yang diperlukan untuk membuat penampang desain (yaitu penampang dengan dimensi dan konfigurasi baja tulangan sesuai desain) membentuk sendi

plastis. Momen ujung M_{pr} dihitung berdasarkan nilai kuat tarik baja tulangan yang telah diperbesar dengan menerapkan faktor kuat lebih bahan, yaitu sebesar $1,25f_y$.

Diagram kuat geser perlu diperoleh (Gambar 2.8) kemudian digunakan untuk merencanakan kuat geser di sepanjang komponen lentur. Perencanaan geser dilakukan dengan mengansumsikan bahwa baik beton maupun baja tulangan transversal sama-sama berkontribusi dalam menahan gaya geser rencana yang terjadi. Namun, khusus untuk daerah yang berpotensi membentuk sendi plastis (yaitu sepanjang $2h$ dari muka kolom), tulangan transversal harus dirancang untuk menahan kuat geser perlu dengan menganggap kontribusi penampang beton dalam menahan geser ($V_c = 0$) selama:

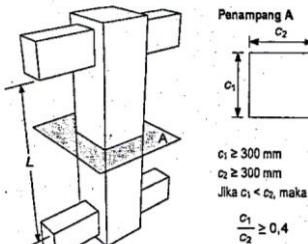
- a. Gaya geser akibat gempa (yaitu suku pertama pada persamaan mewakili setengah atau lebih dari kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut (Pers. 2.1), dan
- b. Gaya aksial tekan terfaktor pada penampang, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$.

2.2.1.2 Persyaratan Detailing Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial

2.2.1.2.1 Persyaratan Geometri

Komponen struktur yang dibahas dalam pasal ini adalah komponen struktur kolom, yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial. Besarnya beban aksial terfaktor yang bekerja pada komponen struktur kolom dibatasi tidak kurang dari $0.1A_g f'_c$. Beberapa persyaratan geometri juga harus dipenuhi oleh komponen struktur kolom SRPMK, diantaranya (Gambar 2.9):

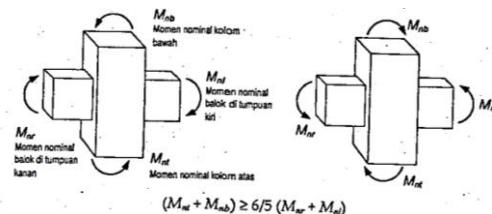
1. Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300mm.
2. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.



Gambar 2.9. Persyaratan Geometri Kolom

2.2.1.1.2.2 Perencanaan Lentur

Berdasarkan SNI 2847:2013, kuat lentur kolom SRPMK harus memenuhi ketentuan kolom kuat balok lemah sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Konsep Strong Column Weak Beam

$$\sum M_e \geq (6/5) M_g \quad (2.2)$$

dengan,

$\sum M_e$ = Jumlah M_n kolom yang merangka pada hubungan balok kolom. M_n harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan M_n terkecil.

$\sum M_g$ = Jumlah M_n balok yang merangka pada hubungan balok kolom. Pada konstruksi balok T, dimana pelat dalam keadaan tertarik pada muka kolom, tulangan pelat yang berada dalam daerah lebar efektif pelat harus diperhitungkan dalam menentukan M_n balok bila tulangan

tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritis lentur.

Seperti diuraikan diatas, kuat lentur kolom harus memenuhi ketentuan kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*). Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom-kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Bila komponen kolom direncanakan tidak lebih kuat dari pada balok-balok yang merangka pada suatu hubungan balok kolom yang sama, sangat mungkin terjadi perilaku inelastik, dan bahkan plastifikasi diujung-ujung kolom. Hal ini tidak diinginkan karena kolom tidak memiliki kemampuan disipasi energi sebaik balok. Besarnya beban aksial yang bekerja pada kolom menyebabkan lebih rendahnya tingkat daktilitas kolom dibandingkan dengan daktilitas balok.

Bila ada desain kolom yang tidak memenuhi ketentuan kolom kuat balok lemah diatas, maka kuat lateral dan kekakuan kolom tersebut harus diabaikan dalam perhitungan kekuatan dan kekakuan struktur.

Untuk perhitungan M_n pada konstruksi balok T yang merangka pada hubungan balok kolom, lebar efektif pelat dapat diambil sesuai SNI 2847:2013 pasal 8.12. Berdasarkan SNI 2847:2013, lebar efektif pelat pada konstruksi balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok. Selain itu, lebar efektif dari masing-masing sisi badan balok T tidak boleh melebihi:

- a. Delapan (8) kali tebal pelat.
- b. Setengah (1/2) jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

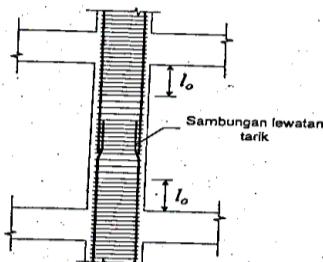
Untuk balok tepi, lebar efektif sayap dari sisi badan tidak boleh lebih dari:

- a. Seperduabelas (1/12) dari bentang balok.
- b. Enam (6) kali tebal pelat.
- c. Setengah (1/2) jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

2.2.1.1.2.3 Persyaratan Tulangan Lentur

Berdasarkan SNI 2847:2013, tulangan lentur kolom harus memenuhi beberapa persyaratan berikut:

1. Rasio penulangan dibatasi minimum tidak boleh kurang dari 0,01 dan maksimum tidak boleh lebih dari 0,06. Batas bawah rasio tulangan lentur kolom terutama berguna untuk mengantisipasi pengaruh deformasi jangka panjang dan agar kuat lentur rencana penampang kolom lebih besar daripada kuat lentur retaknya. Batas atas rasio tulangan lentur ditetapkan untuk menjaga agar tidak terjadi kongesti (kerapatan) tulangan berlebihan pada penampang, khususnya di daerah sambungan lewatan.
2. Sambungan mekanis tipe 1 untuk penyambungan tulangan lentur (dengan kekuatan 125% kuat leleh batang tulangan yang disambung) tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi membentuk sendi plastis, kecuali sambungan mekanis tipe 2 (yaitu sambungan mekanis dengan kekuatan yang lebih kuat dari kuat tarik batang tulangan yang disambung).
3. Sambungan las untuk penyambungan tulangan lentur (dengan kekuatan 125% kuat leleh batang tulangan yang disambung) tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi membentuk sendi plastis.
4. Sambungan lewatan hanya diizinkan di lokasi setengah panjang elemen struktur yang berada ditengah (Gambar 2.11), direncanakan sebagai sambungan lewatan tarik, dan harus diikat dengan tulangan spiral atau sengkang tertutup yang direncanakan sesuai ketentuan tulangan transversal dibawah ini.

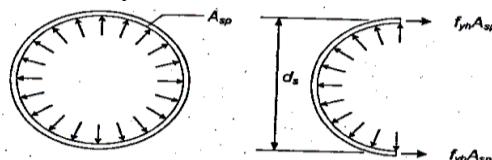


Gambar 2.11. Sambungan Lewatan pada Kolom

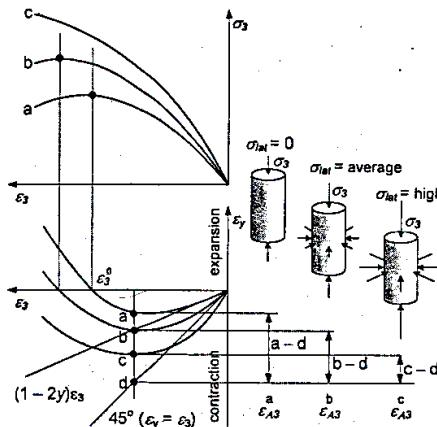
2.2.1.1.2.4 Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal pada kolom utama berfungsi untuk mengekang daerah inti kolom. Tulangan transversal pada kolom dapat berupa tulangan spiral atau tulangan sengkang tertutup. Pada saat kolom menerima gaya aksial tekan, inti kolom cenderung mengembang karena adanya pengaruh rasio poisson dan sifat dilatasi material beton. Pengembangan ini menyebabkan tulangan sengkang tertutup atau spiral yang melingkupi inti beton menjadi tertarik dan menimbulkan efek tegangan lateral terhadap inti beton (Gambar 2.12). Dalam kondisi terkekang, beton memiliki kuat tekan aksial yang lebih tinggi dan perilaku yang lebih duktal (Imran dan Pantazopoulou, 1996; Mander dkk, 1988). Gambar 2.13 memperlihatkan perubahan perilaku aksial beton dengan meningkatnya tegangan lateral yang diaplikasikan.

Richart dkk. (1982) memberikan persamaan untuk mengestimasi nilai kuat tekan aksial beton yang terkekang oleh adanya tegangan lateral f_l .



Gambar 2.12. Pengekangan oleh Tulangan Spiral Terhadap Inti Beton



Gambar 2.13. Perilaku Beton yang Terkekang (Imran dan Pantazopoulou, 1996)

$$f'_{cc} = f'_c + 4.1 f_l \quad (2.3)$$

dengan, f'_{cc} adalah nilai kuat tekan beton terkekang.

SNI 2847:2013 mensyaratkan bahwa jumlah tulangan spiral atau sengkang tertutup yang dipasang di daerah-daerah tertentu kolom yang berpotensi membentuk sendi plastis harus memenuhi ketentuan berikut:

1. Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin, ρ_s , tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0.12 \frac{f'_c}{f'_{yt}} \quad (2.4)$$

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f'_{yt}} \quad (2.5)$$

2. Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang daripada persamaan-persamaan dibawah ini.
 - a. Untuk potongan penampang yang arah normalnya searah sumbu x:

$$A_{shx} = 0.3 \left(s b_{cx} \frac{f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2.6)$$

$$A_{shx} = 0.09 \left(s b_{cx} \frac{f_c'}{f_y} \right) \quad (2.7)$$

b. Untuk potongan penampang yang arah normalnya searah sumbu y:

$$A_{shy} = 0.3 \left(s b_{cy} \frac{f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2.8)$$

$$A_{shy} = 0.09 \left(s b_{cy} \frac{f_c'}{f_y} \right) \quad (2.9)$$

dengan,

A_{shx} = luas penampang total tulangan transversal dalam rentang spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_{cx}

A_{shy} = luas penampang total tulangan transversal dalam rentang spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_{cy}

s = spasi tulangan transversal

b_{cx} = dimensi penampang inti kolom yang arah normalnya sejajar sumbu x, diukur dari sumbu ke sumbu tulangan transversal terluar

b_{cy} = dimensi penampang inti kolom yang arah normalnya sejajar sumbu y, diukur dari sumbu ke sumbu tulangan transversal terluar

A_g = luas bruto penampang kolom

A_{ch} = luas penampang inti kolom dari sisi luar ke sisi luar tulangan sengkang tertutup

A_c = luas penampang inti kolom dari sisi luar ke sisi luar tulangan spiral

f_y = kuat leleh tulangan transversal (maksimum 700MPa)

Persamaan (2.5), (2.6) dan (2.8) yang diberi tanda asterisk diturunkan dengan prinsip bahwa luas tulangan sengkang tertutup atau spiral yang terpasang harus mampu meningkatkan kuat tekan inti kolom sedemikian hingga peningkatan tersebut dapat

mengkompensasi berkurangnya daya dukung kolom dengan lepasnya selimut beton. Secara matematis, hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

Kuat tekan sumbangan selimut beton = kuat tekan tambahan inti beton

(hilang karena selimut beton lepas) (pengaruh adanya kekangan)

$$0.85 f_c' (A_g - A_c) = 4.1 f_l (A_c - A_s) \quad (2.10)$$

Hal ini berarti bahwa lepasnya selimut beton pada kolom tidak boleh mengurangi kemampuan kolom dalam menahan beban aksial tekan.

Persamaan (2.5), (2.6) dan (2.8) di atas tidak perlu diperhatikan bila bagian inti penampang kolom (tanpa selimut beton) telah direncanakan terhadap kombinasi beban gempa dan mampu menahan gaya dalam yang terjadi. Sehingga walaupun luasan tulangan sengkang atau spiral yang terpasang lebih kecil daripada luasan tulangan minimum yang disyaratkan oleh persamaan-persamaan tersebut, struktur kolom tetap mampu menahan gaya dalam yang terjadi pada saat selimut beton lepas. Jadi, dalam hal ini, kebutuhan tulangan sengkang tertutup dan spiral pada kolom hanya perlu direncanakan terhadap persamaan-persamaan lainnya, yaitu Pers. (2.4), (2.7) dan (2.9).

Rasio volume tulangan spiral ρ_s , pada persamaan (2.4) dan (2.5) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho_s = \frac{\text{Volume Spiral Satu Lilitan}}{\text{Volume Core}} = \frac{A_{sp} \pi D_c}{\frac{1}{4} \pi D_c^2 s} = \frac{4 A_{sp}}{D_c s} \quad (2.11)$$

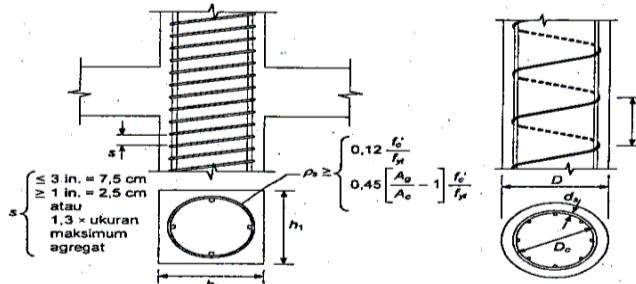
Berdasarkan SNI 2847:2013, spasi tulangan transversal yang dipasang di sepanjang daerah yang berpotensi membentuk sendi plastis (yaitu diujung-ujung kolom) tidak boleh lebih dari (Gambar 2.14 dan 2.15):

- Seperempat dimensi terkecil komponen struktur.
- Enam kali diameter tulangan longitudinal.

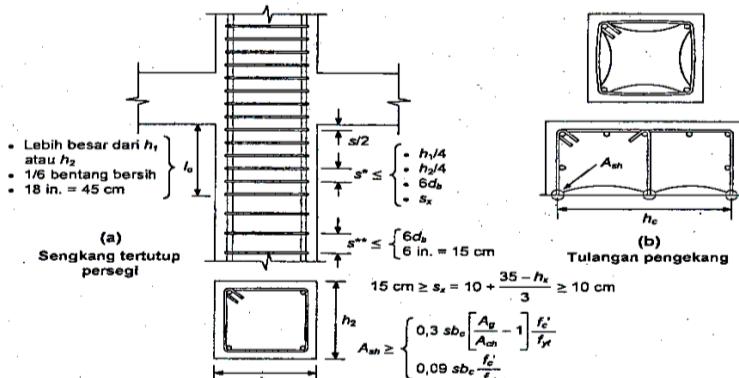
$$c. s_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (2.12)$$

Nilai s_x pada persamaan diatas dibatasi maksimum 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

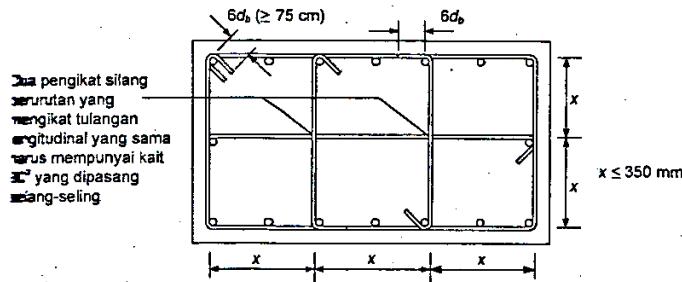
Tulangan transversal dapat berupa tulangan sengkang tunggal atau tumpuk. Pengikat silang yang diameter dan spasinya sama dengan sengkang tertutup juga boleh dipergunakan (Gambar 2.16). Pada gambar 2.16 juga diberikan persyaratan jarak maksimum yang diizinkan antar tulangan longitudinal kolom yang diberi penopang lateral, yaitu $x \leq 350$ mm.



Gambar 2.14. Persyaratan Kekangan untuk Sengkang Spiral



Gambar 2.15. Persyaratan Kekangan untuk Sengkang Tertutup Persegi



Gambar 2.16. Contoh Pemasangan Tulangan Transversal pada Kolom

Daerah-daerah pada kolom yang berpotensi membentuk sendi plastis, yang harus dipasangi tulangan transversal dengan luasan dan spasi sesuai ketentuan diatas diatur sebagai berikut:

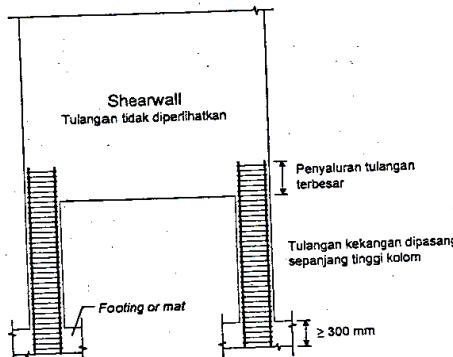
- Sepanjang l_o dari setiap muka hubungan balok kolom.
- Sepanjang l_o pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk leleh lentur (sendi plastis) akibat deformasi lateral inelastik pada struktur rangka.
- Sepanjang daerah sambungan lewatan tulangan longitudinal kolom.
- Kedalam kepala fondasi sejauh minimum 300 mm (Gambar 2.17).

Panjang l_o dalam hal ini ditentukan tidak kurang dari:

- Tinggi penampang struktur kolom pada muka hubungan balok kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur.
- Seperenam ($1/6$) bentang bersih struktur kolom.
- 450 mm.

Bila gaya-gaya aksial terfaktor pada kolom akibat beban gempa melampaui $A_{gf_c}'/10$ dan gaya aksial tersebut berasal dari komponen struktur lainnya yang sangat kaku yang didukungnya, misalnya dinding (Gambar 2.17), maka kolom tersebut harus diberi tulangan transversal sesuai ketentuan di atas pada seluruh tinggi kolom. Daerah pemasangan tulangan transversal tersebut harus

diperpanjang untuk suatu jarak sebesar panjang penyaluran tulangan longitudinal terbesar kedalam komponen struktur yang sangat kaku tersebut di atas (Gambar 2.17).



Gambar 2.17. Detail Kolom yang Menumpu Elemen Kaku yang Tidak Menerus

Diluar daerah l_o tulangan spiral atau sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih daripada nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal kolom atau 150 mm.

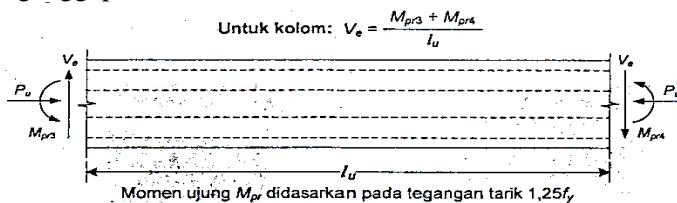
2.2.1.1.2.5 Perencanaan Geser

Gaya geser rencana, V_e , untuk perencanaan geser kolom harus ditentukan berdasarkan gaya lentur maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok kolom pada setiap ujung komponen struktur (Gambar 2.18). Namun demikian, momen M_{pr} kolom yang digunakan untuk perhitungan V_e tidak perlu lebih besar daripada M_{pr} balok yang merangka pada hubungan balok kolom yang sama. Gaya geser V_e yang digunakan untuk desain tidak boleh kecil daripada nilai gaya geser hasil analisis struktur.

Perencanaan tulangan transversal yang dipasang sepanjang daerah l_o , untuk menahan gaya geser V_e , harus dilakukan dengan menganggap $V_c = 0$ bila:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan M_{pr} mewakili 50% atau lebih kuat geser perlu maksimum pada bagian di sepanjang l_o .
- Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui $A_g f_c' / 20$.

Karena gaya aksial terfaktor yang bekerja pada komponen struktur kolom umumnya lebih besar daripada $A_g f_c' / 20$, maka pada dasarnya ketentuan di atas tidak berlaku. Jadi, perencanaan geser kolom di sepanjang daerah l_o tetap dapat dilakukan dengan menganggap beton efektif dalam berkontribusi menahan geser.



Gambar 2.18. Perencanaan Geser Rencana untuk Kolom

2.2.1.3 Persyaratan Detailing Hubungan Balok-Kolom (Join) SRPMK

Hubungan balok kolom (join) merupakan elemen struktur yang paling penting dalam suatu sistem struktur rangka pemikul momen. Akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur, momen lentur ujung pada balok-balok yang merangka pada join yang sama akan memutar join pada arah yang sama. Hal ini akan menimbulkan gaya geser yang besar pada hubungan balok kolom (Gambar 2.19). Ada beberapa tipe hubungan balok kolom yang dapat dijumpai pada suatu sistem struktur rangka pemikul momen (ACI-ASME 352, 2002) dan tipenya tergantung pada lokasi tempat join tersebut berada (Gambar 2.20).

2.2.1.3.1 Persyaratan Gaya dan Geometri

Pada perencanaan hubungan balok kolom, gaya pada tulangan lentur di muka hubungan balok kolom dapat ditentukan berdasarkan tegangan $1,25f_y$. Faktor reduksi untuk perencanaan

join dapat diambil sebesar 0,8. Beberapa persyaratan geometri harus dipenuhi untuk join SRPMK, diantaranya:

- a. Untuk beton normal, dimensi kolom pada hubungan balok kolom dalam arah paralel tulangan longitudinal balok minimal harus 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar pada balok.
- b. Untuk beton ringan, dimensi minimumnya adalah 26 kali diameter.

2.2.2 Sistem Dinding Struktural (SDS)

Sistem Dinding Struktural (SDS) adalah dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi gaya geser, momen dan gaya aksial yang ditimbulkan gempa. Suatu dinding geser (*shearwall*) pada dasarnya merupakan dinding struktural. Dinding struktural dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Dinding Struktural Beton Biasa (SDSB) adalah suatu dinding struktural yang memenuhi ketentuan SNI SNI 2847:2013 pasal 1 hingga 20 dan pasal 22. Sistem dinding ini memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya boleh digunakan untuk struktur bangunan yang dikenakan maksimal KDS C.
2. Dinding Struktural Beton Khusus (SDSK) adalah suatu dinding struktural yang memenuhi ketentuan untuk dinding struktur beton biasa juga memenuhi ketentuan pasal 21.9. Sistem ini pada prinsipnya memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk struktur bangunan yang dikenakan KDS D, E atau F.

2.2.2.1 Sistem Dinding Struktur Khusus

2.2.2.1.1 Dinding geser

Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi geser, momen dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagai besar beban gempa akan terserap oleh dinding tersebut.

Dinding geser biasanya dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu:

1. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku lentur.
2. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$ dan didesain dikontrol oleh perilaku geser.
3. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa yang ditahan oleh sepasang dinding, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

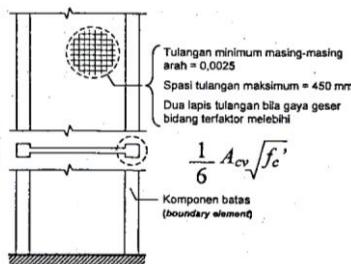
Dalam praktiknya, dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka pemikul momen pada gedung. Dinding struktural yang umum digunakan pada gedung tinggi adalah dinding geser kantilever dan dinding geser berangkai. Berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), dinding geser beton utamanya untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana. Kerusakan pada dinding geser ini hanya boleh terjadi akibat momen lentur (bukan akibat geser), melalui pembentukan sendi plastis di dasar dinding. Nilai momen leleh pada dasar dinding tersebut dapat mengalami pembesaran akibat faktor kuat lebih bahan. Jadi berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), dinding geser harus direncanakan dengan metode desain kapasitas. Dinding geser kantilever termasuk dalam kelompok *flexural wall*, dimana rasio antara tinggi dan panjang dinding geser tidak boleh kurang dari 2 dan dimensi panjangnya tidak boleh kurang dari 1.5m.

Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus dengan dua struktur yang berbeda sifatnya tersebut digabungkan. Dari gabungan keduanya diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis. Kerjasama ini dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti (BSN, 2012):

1. Sistem rangka gedung, yaitu sistem struktur yang pada dasarnya memuliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Pada sistem ini, beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing. Sistem rangka gedung dengan dinding geser beton bertulang yang bersifat daktail penuh dapat direncanakan dengan menggunakan nilai faktor modifikasi respon R sebesar 6.
2. Sistem ganda, yang merupakan gabungan dari sistem pemikul momen beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan sistem rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral gempa, dengan memerhatikan interaksi keduanya. Nilai R yang direkomendasikan untuk sistem ganda yang terdiri atas sistem dinding geser dengan rangka SPRMK adalah 7.
3. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka. Sistem ini merupakan gabungan sistem dinding geser beton bertulang biasa dan sistem rangka pemikul momen biasa. Nilai R yang direkomendasikan untuk sistem ini adalah 4.5.

2.2.2.1.1.1 Persyaratan Penulangan

Rasio penulangan vertikal dan horizontal minimum pada dinding struktur ditetapkan sebesar 0.0025. Spasi tulangan dibatasi maksimum 450mm. Persyaratan lainnya untuk penulangan dinding geser dapat dilihat pada gambar 2.26.



Gambar 2.19. Persyaratan Penulangan Badan Dinding Beton

2.2.2.1.1.2 Perencanaan Geser

Perencanaan dinding geser sebagai elemen struktur penahan gempa pada gedung bertingkat bisa dilakukan dengan konsep gaya dalam (yaitu dengan hanya meninjau gaya-gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi beban gempa) atau dengan konsep desain kapasitas. Pada bagian berikut ini, kedua konsep desain tersebut akan dijelaskan.

1. Konsep Gaya Dalam

Menurut konsep ini dinding geser didesain berdasarkan gaya dalam V_u dan M_u yang terjadi akibat beban gempa. Konsep desain dinding geser berdasarkan gaya dalam ini pada dasarnya mengacu pada SNI 2847:2013 (BSN, 2013) dan ACI 318 (2011). Kuat geser perlu dinding struktural, V_u diperoleh dari analisa beban lateral dengan faktor beban yang sesuai, sedangkan kuat geser nominal V_n dinding struktural harus memenuhi:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f_c} + \rho_t f_y) \quad (2.19)$$

dengan,

A_{cv} = Luas penampang total dinding struktural

α_c = 0.25 untuk $h_w/l_w \leq 1.5$

= 0.17 untuk $h_w/l_w \geq 2$

λ = Faktor modifikasi yang merefleksikan pengaruh property mekanik beton ringan (relatif terhadap beton normal)

ρ_t = Rasio penulangan arah horizontal (transversal)

Perlu dicatat bahwa pada persamaan di atas pengaruh adanya tegangan aksial yang bekerja pada dinding geser tidak diperhitungkan. Hal ini berarti bahwa persamaan tersebut di atas karena akan menghasilkan nilai kuat geser yang bersifat konservatif. Selain itu, agar penerapan konsep desain geser berdasarkan gaya dalam ini berhasil, maka kuat lebih (*overstrength*) desain lentur dinding struktural yang direncanakan sebaiknya dijaga serendah mungkin. Dalam kaitan dengan hal ini, SNI 2847:2013 (BSN, 2013) mensyaratkan agar beton dan tulangan longitudinal dalam lebar efektif flens, komponen batas, dan bahan dinding harus dianggap efektif menahan lentur.

Dinding juga harus mempunyai tulangan geser tersebar yang memberikan tahanan dua arah orthogonal pada bidang dinding. Apalagi rasio h_w/l_w tidak melebihi 2, rasio penulangan ρ_l (longitudinal) tidak boleh kurang daripada rasio penulangan ρ_t (lateral). Selain itu, berdasarkan SNI 2847:2013, dinding struktural dengan rasio h_w/l_w tidak melebihi 2 (yaitu dinding struktural yang perlakunya didominasi oleh geser dan bersifat *brittle*) sebaiknya didesain dengan metode desain kapasitas. Sebagai alternatif, bila kuat geser nominalnya tetap dipertahankan lebih kecil daripada geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya, maka dinding struktural tersebut dapat didesain dengan faktor reduksi yang lebih rendah, yaitu 0.6 (lihat SNI 2847:2013, pasal 9.3.4).

2. Konsep Desain Kapasitas

Pada konsep desain kapasitas, tidak semua elemen struktur dibuat sama kuat terhadap gaya dalam yang direncanakan, tetapi ada elemen-elemen struktur atau pada titik struktur yang dibuat lebih lemah dibanding dengan yang lain. Hal ini dibuat demikian agar di elemen atau titik tersebutlah kegagalan

struktur akan terjadi disaat beban maksimum bekerja pada struktur.

Pada dinding geser kantilever, sendi plastis diharapkan terjadi pada bagian dasar dinding. Dalam konsep desain kapasitas, kuat geser di dasar dinding harus didesain lebih kuat daripada geser maksimum yang mungkin terjadi pada saat penampang di dasar dinding tersebut mengembangkan momen plastisnya.

Konsep desain kapasitas untuk perencanaan dinding geser dianut dalam SNI 03-2847:92 (BSN, 1992) dan SNI 03-1726:02 (BSN 2002). Kuat geser rencana pada penampang dasar dinding geser, sehubungan dengan adanya pembesaran momen yang mungkin terjadi, dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{u,d,max} = \omega_d \cdot 0.7 \frac{M_{kap,d}}{M_{E,d,maks}} V_{E,d,maks} \quad (2.20)$$

dengan:

- ω_d = Koefisien perbesaran dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan.
- $M_{kap,d}$ = Momen kapasitas pada penampang dasar dinding yang dihitung berdasarkan luas baja tulangan yang terpasang dan dengan tegangan tarik baja tulangan sebesar $1.25f_y$.
- $M_{E,d,maks}$ = Momen lentur maksimum pada penampang dasar dinding akibat beban gempa tak terfaktor.
- $V_{E,d,maks}$ = Gaya geser maksimum pada penampang dasar dinding akibat beban gempa tak terfaktor.

2.2.2.1.3 Perencanaan Terhadap Beban Lentur dan Akial

Dinding struktural yang memikul beban kombinasi beban lentur dan aksial harus direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2013. Beton dan tulangan longitudinal dalam daerah lebar efektif sayap dinding (dinding T atau L atau I), komponen batas, dan badan dinding harus dianggap efektif dalam menahan beban lentur yang bekerja. Berdasarkan SNI 2847:2013, lebar efektif

sayap dinding yang dianggap efektif menahan beban lentur adalah setebal beban dinding ditambah nilai terkecil dari setengah jarak bersih antara didning-dinding yang bersebelahan atau seperempat tinggi total dinding.

2.2.2.1.4 Komponen Batas Khusus

Komponen batas pada suatu dinding merupakan bagian pada tepi-tepi dinding yang diperkuatas secara khusus. Komponen batas pada dasarnya tidak harus diberi ketebalan melebihi tebal dinding. Pada tepi-tepi dinding yang tegangan/ regangan tekanannya signifikan, penampang betonnya harus diberi kekangan agar dapat dihasilkan perilaku dinding yang daktail. Daerah-daerah yang harus dikekang tersebut mempresentasikan daerah komponen batas. Kebutuhan komponen batas di tepi-tepi dinding struktural harus dievaluasi berdasarkan persyaratan (a) atau (b) dibawah ini (SNI 2847:2013 pasal 21.9.6), yaitu:

1. Kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor yang bekerja pada dinding geser melebihi $0.2 f_c'$,

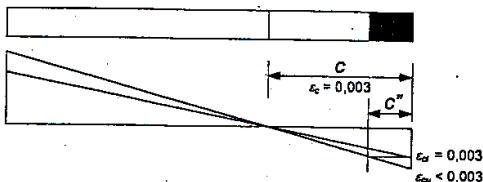
$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u y}{I} > 0.2 f_c' \quad (2.21)$$

Cara ini disebut sebagai pendekatan tegangan. Batasan tegangan tekan $0.2 f_c'$ pada dasarnya dianggap sebagai batas tegangan tekan minimum dimana beton sudah dikekang.

2. Jarak c dari serat terluar zona kompresi lebih besar dari (Gambar 2.27),

$$c > \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} \quad (2.22)$$

Besaran δ_u/h_w dalam persamaan diatas tidak boleh kurang dari 0.007 cara ini disebut sebagai pendekatan perpindahan.



Gambar 2.20. Perpanjangan Komponen Batas Khusus

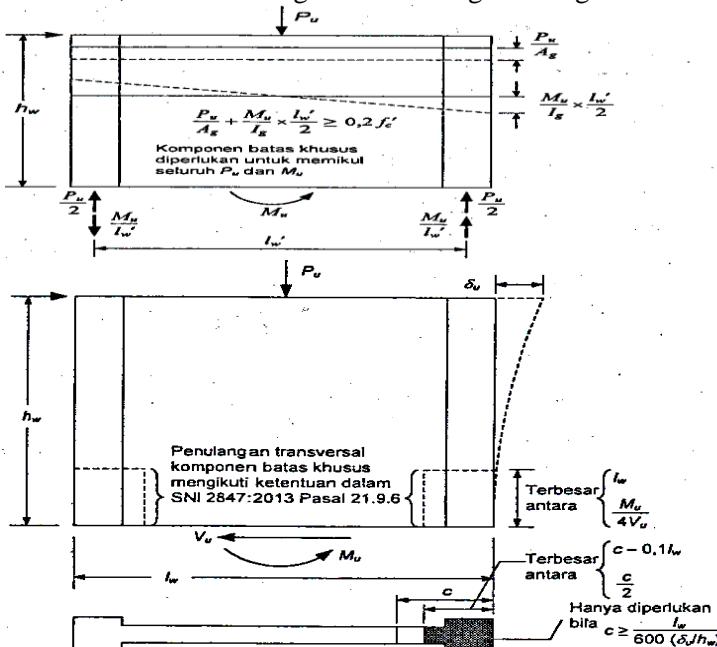
Pendekatan tegangan biasanya lebih konservatif daripada pendekatan perpindahan. Secara teoritis, pendekatan perpindahan pada dasarnya lebih realistik. Pada pendekatan ini, kebutuhan daerah komponen batas ditentukan berdasarkan ada tidaknya daerah dengan nilai regangan tekanan melebihi 0.003 (Gambar 2.27). Bagi beton yang tidak terkekang, regangan 0.003 merupakan batas regangan ultimit yang masih mampu ditahan beton. Hanya beton yang terkekang dengan baik yang masih mampu menerima regangan tekan melebihi 0.003.

Bila komponen batas diperlukan, ketentuan berikut ini harus dipenuhi seperti terlihat pada gambar 2.28.

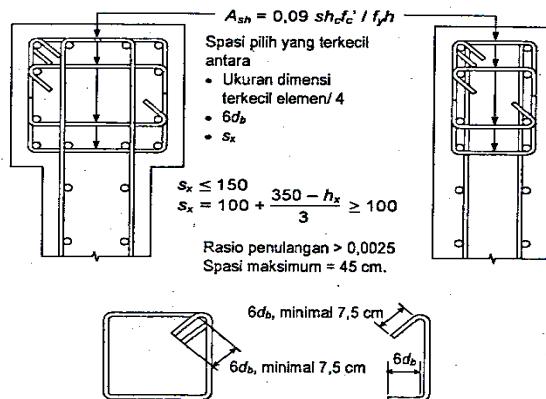
1. Komponen batas harus menerus secara horizontal dari sisi serat tekan terluar sejarak tidak kurang dari ($c - 0.11w$) dan $c/2$.
2. Pada daerah penampang berflens (bersayap), komponen batas harus mencakup lebar efektif flens pada sisi tekan dan harus menerus setidak-tidaknya 300mm ke dalam web.
3. Tulangan transversal komponen batas khusus harus memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kolom, yaitu persamaan 2.7 dan 2.9 (Gambar 2.28).
4. Tulangan horizontal pada badan dinding harus diangkur di dalam inti beton yang terkekang pada komponen batas agar tulangan horizontal tersebut dapat mengembangkan kuat lelehnya f_y .
5. Rasio tulangan longitudinal di daerah komponen batas khusus tidak boleh kurang dari 0.5% (UBC, 1997)

Bila komponen batas tidak diperlukan, ketentuan berikut ini (SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.5) harus dipenuhi:

1. Bila rasio tulangan utama pada tepi dinding melebihi $2.8/f_y$, maka harus dipasang tulangan transversal pada daerah tepi dinding sesuai dengan ketentuan tulangan transversal kolom (Pers. 2.7 dan 2.9). Spasi maksimum tulangan transversal tersebut tidak boleh lebih dari 200mm.
2. Kecuali bila V_u pada bidang dinding lebih kecil dari $0.083A_{cv}\sqrt{f_c}$, maka tulangan horizontal yang berhenti pada tepi dinding struktural tanpa komponen batas harus memiliki kait standart yang mengait pada tulangan tepi atau tulangan tepi tersebut harus dilingkupi oleh sengkang jenis "U" yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dengan tulangan horizontal, dan disambung lewatkan dengan tulangan horizontal



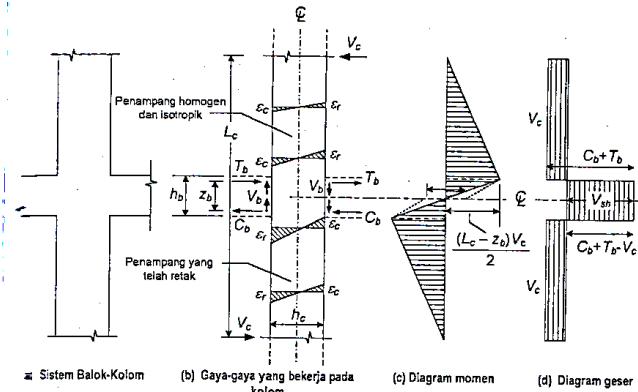
Gambar 2.21. Ketentuan SNI untuk Komponen Batas Khusus



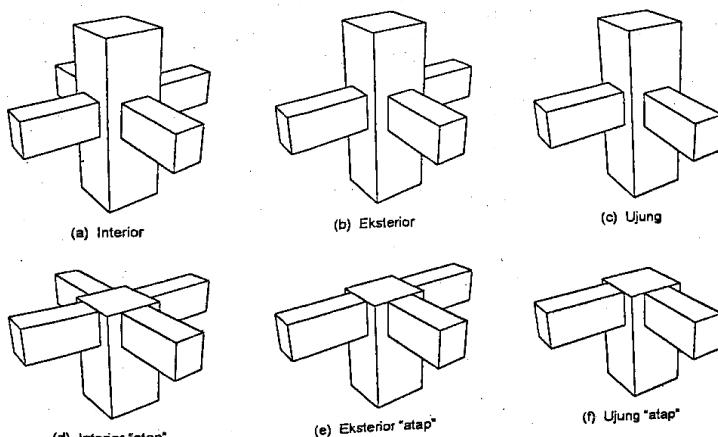
Gambar 2.22. Penulangan untuk Komponen Batas Khusus

2.2.2.1.5 Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal seperti sengkang tertutup yang dipasang pada daerah sendi plastis kolom harus dipasang juga di daerah hubungan balok kolom (HBK), kecuali bila hubungan tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur balok yang merangka padanya. Bila ada balok-balok dengan lebar setidaknya tiga perempat ($\frac{3}{4}$) lebar kolom merangka pada keempat sisi HBK maka tulangan transversal yang harus dipasang di daerah join hanyalah setengah ($\frac{1}{2}$) dari yang dipasang di daerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal ini harus dipasang mulai dari sisi terbawah balok yang merangka ke hubungan tersebut. Spasi tulangan transversal pada kondisi ini dapat diperbesar menjadi 150mm.

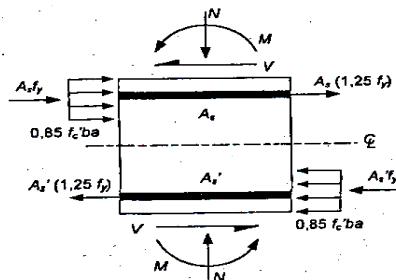


Gambar 2.23. Contoh Gaya Dalam pada Joint

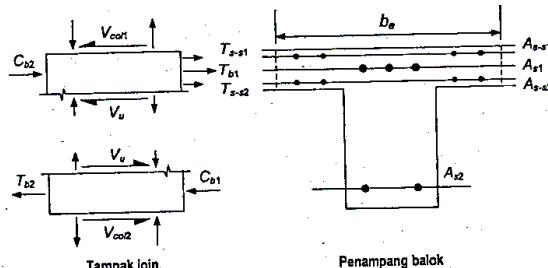


Gambar 2.24. Jenis Hubungan Balok Kolom

Gaya geser horizontal pada daerah HBK dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa elemen lentur yang merangka pada HBK tersebut telah mencapai kapasitasnya, dengan menetapkan gaya tarik tulangan lentur balok sebesar $A_s(1.25f_y)$ (Gambar 2.20 dan 2.21).



Gambar 2.25. Perhitungan Geser Horizontal pada HBK



Gambar 2.26. Perhitungan V_u pada HBK

Berdasarkan gambar diatas, gaya geser horizontal di HBK dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_u = T_{b1} + T_{s1} + T_{s2} + C_{b2} = V_{col1} \quad (2.13)$$

dengan,

$$T_{b1} + T_{s1} + T_{s2} = \alpha f_y (A_{s1} + A_{s-s1} + A_{s-s2}) \quad (2.14)$$

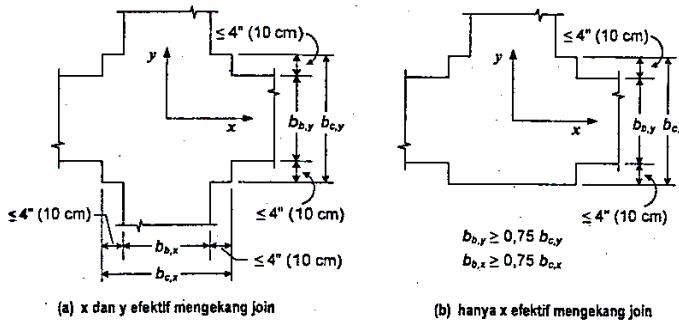
$$C_{b2} = T_{b2} = A_{s2} \alpha f_y \quad (2.15)$$

$$\alpha = 1.25 \quad (2.16)$$

Kuat geser yang dapat diberikan oleh HBK tergantung pada kondisi kekangan yang bekerja pada HBK (ACI 318, 2011; ACI-ASCE 352, 2002). Berdasarkan SNI 2847:2013, persamaan kuat geser HBK dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{jn} = c \sqrt{f_c} A_j \quad (2.17)$$

Dengan nilai c dibatasi sama dengan 1,7 untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada keempat sisinya, 1,25 untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan dan 1,0 untuk hubungan lainnya. Suatu balok yang merangka pada suatu hubungan balok kolom dianggap memberikan kekangan bila setidak-tidaknya tiga per empat ($\frac{3}{4}$) bidang muka HBK tersebut ditutupi oleh balok yang merangka tersebut (Gambar 2.22). HBK dapat dianggap terkekang penuh bila ada empat balok yang merangka pada masing-masing keempat sisi HBK tersebut.



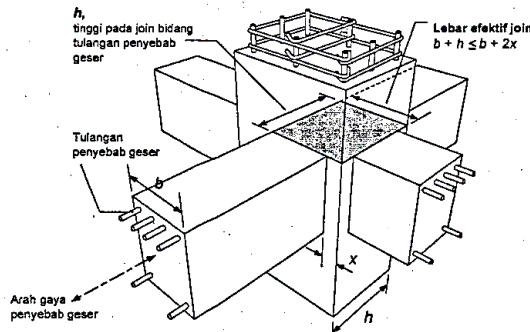
Gambar 2.27. Persyaratan Ukuran Balok Pengekang

Luas efektif join (A_j) pada persamaan 2.19 dapat dihitung sebagai hasil perkalian antara lebar efektif join dan tinggi (h).

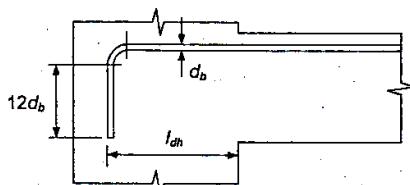
Pengangkuran tulangan lentur balok didaerah join dapat dilakukan dengan tulangan berkait atau tanpa kait, tergantung pada ketersediaan *space* di daerah join. Bila digunakan tulangan berkait maka panjang penyalurannya ditetapkan sebagai berikut:

- Untuk tulangan diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton normal tidak boleh diambil lebih kecil dari $8d_b$, 150mm, dan nilai yang ditentukan persamaan 2.18 berikut ini:

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f_c}} \quad (2.18)$$



Gambar 2.28. Luas Efektif HBK



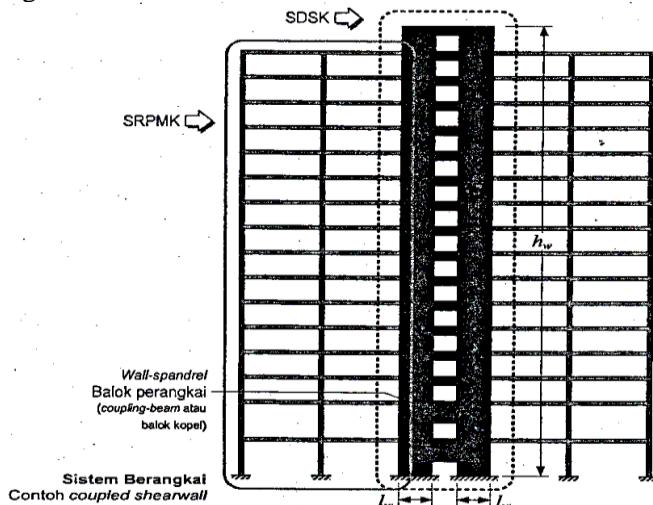
Gambar 2.29. Standar Kait 90°

2. Bila digunakan tulangan tanpa kait, untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik tidak boleh diambil lebih kecil dari:
 - a. Dua setengah (2,5) kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300mm.
 - b. Tiga setengah (3,5) kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.

2.2.3 Sistem Berangkai

Dalam sistem berangkai, dinding-dinding struktural dirangkan satu sama lain dengan balok-balok perangkai, seperti contoh gedung hipotesis sistem ganda pada gambar 2.30. Perilaku

dinding-dinding struktur ini tergantung pada tingkat kekakuan balok-balok perangkainya. Masing-masing dinding akan bekerja sebagai dua kantilever yang sama sekali bekerja secara independen bila balok-balok perangkainya tidak kaku (kekakuannya mendekati nol). Sebaliknya, dinding-dinding struktural ini akan bekerja sebagai suatu sistem kantilever yang solid bila balok-balok perangkainya mempunyai kekakuan yang tinggi. Balok-balok perangkai mempunyai peran penting dalam mendistribusikan geser dari satu dinding ke dinding lainnya dan memungkinkan terjadinya deformasi yang cukup besar akibat geser yang bekerja pada sistem dinding. Akibatnya, gaya geser yang bekerja pada balok perangkai akan cepat terdegradasi pada saat gaya siklik bekerja pada sistem dinding.



Gambar 2.30. Contoh Sistem Berangkai pada Gedung Hipotesis Sistem Ganda

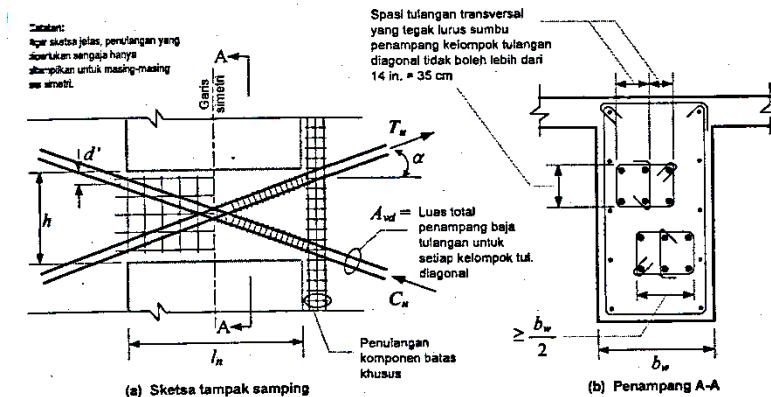
2.2.3.1 Persyaratan Detailing Balok Perangkai

2.2.3.1.1 Persyaratan Geometris

SNI 2847:2013 pasal 21.9.7.1 dan 21.9.7.2 memberikan beberapa ketentuan terkait dimensi dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada balok, yaitu:

1. Balok perangkai dengan perbandingan $l_n/h \geq 4$ harus memenuhi ketentuan-ketentuan untuk elemen lentur SRPMK, kecuali syarat-syarat:
 - a. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0.3.
 - b. Lebar b_w tidak boleh kurang dari 250mm

Tidak harus dipenuhi, bila dapat dibuktikan dengan analisa bahwa stabilitas lateral balok perangkai tersebut masih mencukupi.
2. Balok perangkai dengan perbandingan $l_n/h < 4$, diperkenankan untuk ditulangi dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal dalam dua arah berlawanan secara simetris (Gambar 2.31).
3. Balok perangkai dengan perbandingan $l_n/h < 2$ dan dengan gaya terfaktor, V_u melebihi $0.33\lambda A_{cw}\sqrt{f_c}$, harus ditulangi dengan kelompok tulangan yang disusun secara diagonal dua arah yang berlawanan secara simetris.
Namun ketentuan ini juga tidak harus dipenuhi bila dapat diperlihatkan melalui analisis, tahanan gravitasi struktur secara keseluruhan tidak akan terlalu dipengaruhi oleh:
 - a. Reduksi kekuatan atau kekakuan balok, atau
 - b. Lepasnya balok tersebut dari struktur atau dari integritas komponen nonstruktural, dari datu integritas sambungannya dengan struktur utama.
4. Balok perangkai yang memenuhi ketentuan poin 3 harus memenuhi ketentuan berikut:
 - a. Setiap kelompok tulangan diagonal harus memiliki sekurangnya-kurangnya 4 tulangan yang disusun dalam suatu inti.
 - b. Sisi-sisi inti tersebut berukuran minimum:
 - $b_w/2$ dalam arah tegak lurus bidang balok.
 - $b_w/5$ dalam arah bidang balok perangkai, dan tegak lurus arah diagonal.
 - c. Sisi-sisi tersebut diukur dari tepi-tepi terluar tulangan transversal kelompok tulangan diagonal.



Gambar 2.31. Balok Perangkai dengan Kelompok Tulangan yang Disusun Secara Diagonal

2.2.3.1.2 Perencanaan Geser dan Lentur

Kelompok tulangan balok perangkai yang memenuhi ketentuan-ketentuan pada poin 3 yang disusun secara diagonal pada kedua arah berlawanan secara simetris, akan membentuk gaya-gaya dalam pada balok perangkai seperti terlihat pada gambar 2.31.

$$T_u = C_u = \phi A_{vd} f_y \quad (2.23)$$

$$V_u = 2 T_u \sin\alpha = 2 \phi A_{vd} f_y \sin\alpha \quad (2.24)$$

$$M_u = (\phi A_{vd} f_y \cos\alpha) (h - 2d') \quad (2.25)$$

Dan masing-masing kelompok tulangan diagonal harus memiliki tulangan transversal, yang mana tahanan geser nominal, V_n harus memenuhi ketentuan berikut:

$$V_n = 2 \phi A_{vd} f_y \sin\alpha \leq 0.83 A_{cw} \sqrt{f_c}, \quad (2.26)$$

dengan,

A_{cw} = luas penampang beton dari segmen dinding vertical individu yang ditinjau

A_{vd} = luas total tulangan dalam satu kelompok tulangan

- α = sudut yang dibentuk kelompok tulangan diagonal terhadap bidang horizoltal

Setiap kelompok tulangan diagonal harus diperhitungkan dalam menentukan kuat lentur nominal balok perangkai. Salin itu, untuk dapat mengembangkan kekuatan tariknya hingga mencapai kondisi leleh, tulangan-tulangan diagonal ini harus disalurkan sebagai tulangan Tarik kedalam dinding struktural.

Setiap kelompok tulangan diagonal harus terdiri dari minimum empat batang tulangan yang disusun dalam dua lapis atau lebih, dan tulangan-tulangan diagonal ini harus ditanam ke dalam dinding tidak kurang dari 1.25 kali panjang penyalura untuk f_y dalam kondisi tarik (SNI 2847:2013 pasal 21.9.7.4(b)).

Pada point c pasal 21.9.7.4, SNI 2847:2013 mengatur penyusunan tulangan diagonal dan penulangan transversalnya sebagai berikut:

1. Setiap kelompok tulangan longitudinal harus dilingkupi (dikekang) oleh tulangan transversal dengan jarak antar serat terluar tulangan pengekang tidak kurang dari
 - a. $b_w/2$ untuk arah pararel terhadap b_w .
 - b. $b_w/5$ untuk arah lainnya.

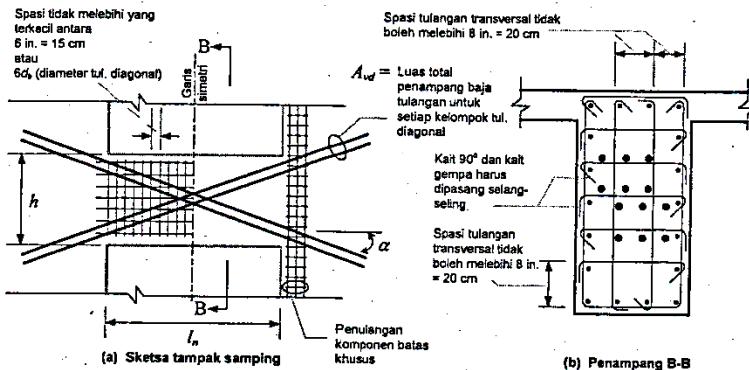
b_w adalah lebar badan (web) balok kopel.
2. Tulangan tranversal harus memenuhi ketentuan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 dan 21.6.4.4
3. Spasi tulangan transversal
 - a. Pararel terhadap tulangan diagonal, harus memenuhi ketentuan pasal 21.6.4.3(c).
 - b. Tidak melebihi 6x diameter tulangan diagonal terbesar.
 - c. Tidak melebihi 350mm (spasi pengikat silang atau sengkang), diukur tegak lurus terhadap tulangan diagonal.
4. Untuk perhitungan A_g , dalam persamaan 2.5 dan 2.6, ketentuan tebal selimut beton minimum di keempat sisi balok kopel dapat merujuk pada pasal 7.7.

5. Tulangan transversal, atau konfigurasi penulangan alternatif yang dimaksudkan sebagai tulangan transversal, yang memenuhi ketentuan spasi dan rasio tulangan minimum, harus dipasang kontinu di bagian perpotongan kelompok-kelompok tulangan diagonal.
6. Tulangan longitudinal dan transversal tambahan harus didistribusikan di sekeliling balok kopel, dengan luas total di setiap arah tidak kurang 0.002b_ws dan spasi tidak melebihi 300mm.

Beberapa ketentuan SNI 2847:2013 lainnya untuk tulangan transversal disepanjang penampang balok kopel seperti diuraikan pada pasal 21.9.7.4(d):

1. Tulangan transversal harus disediakan untuk sepanjang penampang balok kopel, dan harus memenuhi ketentuan:
 - a. Pasal 21.6.4.2 tentang tipe, spasi dan ketentuan pengaitan tulangan transversal.
 - b. Pasal 21.6.4.4 tentang rasio volumetrik tulangan transversal.
 - c. Pasal 21.6.4.7 tentang tulangan transversal tambahan.
2. Spasi tulangan transversal tidak melebihi yang terkecil dari 150mm dan 6x diameter terbesar tulangan diagonal.
3. Spasi pengikat silang atau sengkang pada arah horizontal dan kpenampang balok kopel tidak melebihi 200mm.
4. Setiap pengikat silang dan sengkang harus mengikat tulangan longitudinal dengan diameter yang lebih besar atau disetidaknya sama dengan diameter sengkang dan pengikat silang.
5. Konfigurasi pemasangan sengkang diizinkan mengikuti ketentuan pasal 21.5.3.6.

SNI 2847:2013 mengizinkan alternatif lain penulangan balok perangkai seperti terlihat pada gambar 2.32.



Gambar 2.32. Alternatif Detailing Penulangan Balok Perangkai

2.3 Durabilitas

2.3.1 Kategori Paparan Akibat Kondisi Pantai

Salah satu prinsip dasar yang harus diperhatikan dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa adalah mengasumsikan bangunan tetap terjaga secara konsisten terhadap kategori paparan, khususnya pada studi ini paparan akibat kondisi pantai. Menurut SNI 2847:2013, berikut adalah faktor yang harus diperhatikan:

1. Rasio air-bahan sementisius maksimum ($w/c m$)
2. Mutu beton (f_c')
3. Selimut beton (d_c)

2.3.1.1 Rasio Air Bahan Simentius Maksimum Akibat Paparan Kondisi Pantai

Menurut SNI 2847:2013 pasal 4, cara menentukan rasio air bahan simentius maksimum $w/c m$ pada kondisi paparan pantai sebagai berikut:

1. Menganalisa kondisi lapangan dan mencocokan dengan kelas paparan pada tabel 2.3.
2. Berdasarkan kelas paparan didapatkan rasio air bahan simentius maksimum $w/c m$ pada tabel 2.4 untuk menjamin metode pelaksanaan (mix desain) sesuai perencanaan.

2.3.1.2 Mutu Beton Akibat Paparan Kondisi Pantai

Menurut SNI 2847:2013 pasal 4, cara menentukan mutu beton f_c' pada kondisi paparan pantai sebagai berikut:

1. Menganalisa kondisi lapangan dan mencocokan dengan kelas paparan pada tabel 2.3.
2. Berdasarkan kelas paparan didapatkan rasio air bahan simentius maksimum w/c m pada tabel 2.4 untuk menjamin metode pelaksanaan (mix desain) sesuai perencanaan.
3. Setelah mengetahui kelas paparan dan mendapatkan rasio air bahan simentius maksimal w/c m, carilah mutu beton berdasarkan tabel 2.4.

Tabel 2.3. Kategori dan Kelas Paparan

Kategori	Tingkat Keparahan	Kelas	Kondisi	
			Sulfat (SO_4) larut air dalam tanah, dalam persen masa*	Sulfat (SO_4) larut dalam air, dalam ppm†
S Sulfat	Tidak ada	S0	$\text{SO}_4 < 0,10$	$\text{SO}_4 < 150$
	Sedang	S1	$0,10 \leq \text{SO}_4 < 0,20$	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$ Air laut
	Parah	S2	$0,20 \leq \text{SO}_4 \leq 2,00$	$1500 \leq \text{SO}_4 \leq 10.000$
P Mensyaratkan permeabilitas rendah	Sangat parah	S3	$\text{SO}_4 > 2,00$	$\text{SO}_4 > 10.000$
	Tidak ada	P0	Kontak dengan air dimana permeabilitas rendah tidak disyaratkan	
C Proteksi korosi tulangan	Disyaratkan	P1	Kontak dengan air dimana permeabilitas rendah disyaratkan	
	Tidak ada	C0	Beton kering atau terlindung dari kelembaban	
	Sedang	C1	Beton terpapar terhadap kelembaban tetapi tidak terhadap sumber klorida luar	
	Parah	C2	Beton terpapar terhadap kelembaban dan sumber klorida eksternal dari bahan kimia, garam, air asin, air payau, atau percikan dari sumber-sumber ini	

*Persen sulfat dalam masa dalam tanah harus ditentukan dengan ASTM C1580.

†Konsentrasi sulfat larut dalam air dalam ppm harus ditentukan dengan ASTM D516 atau ASTM D4130.

Tabel 2.4. Persyaratan untuk Beton dengan Kelas Paparan

Kelas Paparan	w/cm maks.	f'_c min., MPa	Persyaratan minimum tambahan			Material campuran tambahan kalsium klorida
			ASTM C150	ASTM C595	ASTM C1157	
S0	T/A	17	Tanpa batasan tipe	Tanpa batasan tipe	Tanpa batasan tipe	Tanpa batasan
S1	0,50	28	II ^a	IP(MS), IS(<70) (MS)	MS	Tanpa batasan
S2	0,45	31	V ^b	IP(HS), IS(<70) (HS)	HS	Tidak diizinkan
S3	0,45	31	V + pozzolan atau slag ^c	IP(HS) + pozzolan atau kerak atau IS(<70) (HS) + pozzolan atau slag ^d	HS + pozzolan atau slag ^e	Tidak diizinkan
P0	T/A	17			Tidak ada	
P1	0,50	28			Tidak ada	
Kadar ion klorida (Cl^-) larut air maksimum dalam beton, persen oleh berat semen ^f			Ketentuan terkait			
			Beton bertulang	Beton prategang		
C0	T/A	17	1,00	0,06		
C1	T/A	17	0,30	0,06		Tidak ada
C2	0,40	35	0,15	0,06		7.7.6, 18.16 ^g

^aUntuk beton ringan, lihat 4.1.2.
^bKombinasi alternatif material cementisius dari material yang terdaftar dalam Tabel 4.3.1 harus diizinkan bila diuji untuk ketahanan sulfat dan memenuhi kriteria dalam 4.5.1.
^cUntuk paparan air laut, tipe semen Portland lainnya dengan kadar trikalium aluminat (C₃A) sampai dengan 10 persen diizinkan jika w/cm tidak melebihi 0,40.
^dTipe semen tersedia lainnya seperti Tipe III atau Tipe I diizinkan dalam Kelas Paparan S1 atau S2 jika kadar C₃A masing-masing kurang dari 8 atau 5 persen.
^eJumlah sumber spesifik pozzolan atau slag yang digunakan tidak boleh kurang dari jumlah yang telah ditentukan oleh catatan layan untuk meningkatkan ketahanan sulfat bila digunakan dalam beton yang mengandung semen Tipe V. Sebagai alternatif, jumlah sumber spesifik pozzolan atau slag yang digunakan tidak boleh kurang dari jumlah yang diuji sesuai dengan ASTM C 1012M dan memenuhi kriteria dalam 4.5.1.
^fKadar ion klorida larut air yang disumbang dari material dasar termasuk air, agregat, material cementisius, dan material campuran tambahan harus dilentukan pada campuran beton oleh ASTM C 1218M saat umur antara 28 dan 42 hari.
^gPersyaratan 7.7.6 harus dipenuhi. Lihat 18.16 untuk tendon tanpa lekatkan.

2.3.1.3 Selimut Beton Akibat Paparan Kondisi Pantai

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.7.6, cara menentukan selimut beton d_c pada kondisi paparan pantai sebagai berikut:

1. $d_c \geq 50\text{mm}$ untuk dinding dan slab.
2. $d_c \geq 65\text{mm}$ untuk komponen struktur lainnya direkomendasikan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

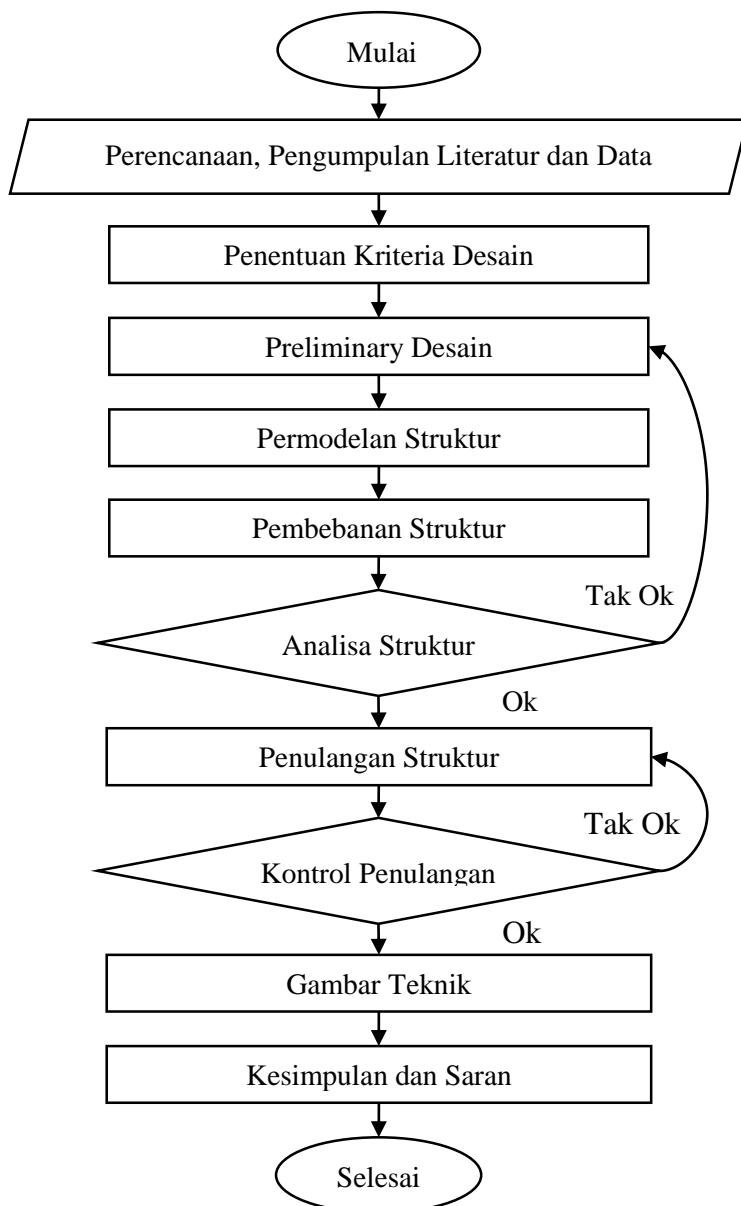
BAB III

METODOLOGI

3.1 Umum

Perencanaan gedung apartment menggunakan metode beton pracetak yang tentunya harus memiliki susunan langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan urutan kegiatan yang akan dilakukan. Urutan-urutan pelaksanaan dimulai dari pengumpulan data dan studi literatur sampai penyajian analisa struktur dan gambar teknik pada akhirnya.

3.2 Diagram Alir Perencanaan



3.3 Pencarian dan Pengumpulan Data

Data-data perencanaan secara keseluruhan mencakup data umum bangunan, data bahan dan data tanah:

1. Data umum
 - a. Nama gedung : Apartment Grand Sungkono Lagoon Tower Caspian
 - b. Lokasi : JL. Abdul Wahab Siamin Kav 9 10 Surabaya (± 13 km dari tepi pantai, menurut Google Earth)
 - c. Fungsi : Apartemen dan mall
 - d. Jumlah lantai : 49
 - e. Tinggi bangunan : +177.4m
 - f. Total luas area : $\pm 981.75\text{m}^2$
 - g. Struktur utama : Struktur benton bertulang
 - h. Sistem Struktur : Sistem ganda (SRPMK dan SDSK)
2. Data bahan
 - a. Mutu beton : f_c' 30
 - b. Mutu baja : BJTP40 dan BJTD40
3. Data tanah : Terlampir
4. Data Gambar
 - a. Gambar struktur : Terlampir
 - b. Gambar arsitektur : Terlampir

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan data perencanaan sebagai berikut:

1. Data umum
 - a. Nama gedung : Apartment Grand Sungkono Lagoon Tower Caspian
 - b. Lokasi : JL. Abdul Wahab Siamin Kav 9 10 Surabaya (diasumsikan di tepi pantai)
 - c. Fungsi : Apartemen dan mall
 - d. Jumlah lantai : 10
 - e. Tinggi bangunan : +34m
 - f. Total luas area : $\pm 1056\text{m}^2$

g. Struktur utama	: Struktur benton bertulang
h. Sistem Struktur	: Sistem ganda (SRPMK dan SDSK)
2. Data bahan	
a. Mutu beton	: $f_c' = 35$
b. Mutu baja	: BJTP40 dan BJTD40
3. Data tanah	: Terlampir
4. Data Gambar	
a. Gambar struktur	: Terlampir
b. Gambar arsitektur	: Terlampir

Beberapa literatur dan peraturan gedung yang digunakan antara lain:

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan (SNI 2847:2013).
2. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).
3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).
4. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung:ITB.
5. Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya:ITS Press.
6. Nawy, Edward G. 2010. Beton Bertulang. Penerjemah: Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc:PT Revika Aditama
7. ACI. 2008. *Building Code Requirement For Structural Concrete And Commentary*-ACI 318-08. USA.

3.4 Penentuan Kriteria Desain

Secara umum pemilihan kriteria desain harus memenuhi syarat berikut:

1. Kuat

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.1, kuat mempunyai arti bahwa kemampuan suatu struktur harus didesain mempunyai

kekuatan desain paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya berfaktor dalam kombinasi yang ditetapkan pada standart ini.

2. Layak

Layak berarti suatu struktur atau elemen struktur harus memiliki lendutan, simpangan dan retakan yang masih dalam batas toleransi sehingga penghuni struktur tersebut tidak merasa terancam bahaya.

Untuk menjamin kelayakannya, dalam perencanaan ini menggunakan kombinasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.5 yang didasarkan pada kelas situ data tanah dan untuk pendetailannya menggunakan SNI 2847:2013 pasal 21.5-21.13.

3.5 Preliminary Desain

3.5.1 Pengaturan Denah

Dalam pengaturan denah yang perlu mendapat perhatian adalah fungsi bangunan dan peruntukan tata ruang.

3.5.2 Penentuan Dimensi Elemen Struktur

3.5.2.1 Dimensi Pelat

Pelat bentang satu arah menurut SNI 2847:2013 tabel 9.5(a) adalah

$$h_{\min} = \frac{1}{28}, f_y = 420 \text{ MPa} \quad (3-1)$$

$$h_{\min} = \frac{1}{28} \left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right), f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa} \quad (3-2)$$

dimana,

l = Panjang bentang

f_y = Mutu baja

Pelat bentang dua arah menurut SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 adalah

$$1. \alpha_{fm} \leq 0.2$$

Tebal pelat tanpa penebalan	= 125mm
Tebal pelat dengan penebalan	= 100mm
2. $0.2 \leq \alpha_{fm} \leq 2.0$	

$$h_{min} = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0.2)} \geq 125\text{mm} \quad (3-3)$$

3. $\alpha_{fm} > 2.0$

$$h_{min} = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta} \geq 90\text{mm} \quad (3-4)$$

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (3-5)$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_c}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h_w}\right) \left(4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_c}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{b_c}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h_w}\right)} \quad (3-6)$$

$$I_b = k \left(\frac{1}{12} b_w h^3 + c^2 b h \right) \quad (3-7)$$

$$I_p = \frac{1}{12} b t^3 \quad (3-8)$$

$$\beta = \frac{l_n}{s_n} \quad (3-9)$$

dimana,

- h = Tebal pelat total
- l_n = Panjang bentang bersih terpanjang pelat
- α_f = Rasio kekuatan lentur
- α_{fm} = Nilai rata-rata α_f untuk ke empat sisi pelat
- β = Rasio bentang bersih terpanjang terhadap bentang bersih terpendek pelat

dimana,

$2 > l_n / s_n$, bentang satu arah

$2 \leq l_n / s_n$, bentang dua arah

3.5.2.2 Balok Anak

Balok anak menurut SNI 2847:2013 tabel 9.5(a) adalah

$$h_{\min} = \frac{1}{21}, f_y = 420 \text{ MPa} \quad (3-10)$$

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right), f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa} \quad (3-11)$$

$$b = \frac{2}{3} h_{\min} \quad (3-12)$$

dimana,

h = Tinggi balok

b_w = Lebar balok

l = Panjang bentang

f_y = Mutu baja

dimana, menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.2.

$b_w \geq 250\text{mm}$

$b_w \geq 0.3h$

3.5.2.3 Tangga

Perencanaan tangga didesain dengan mengasumsikan perletakan yang digunakan adalah sendi-sendi. Syarat perencanaan tangga harus memenuhi syarat berikut ini:

$$64 \leq 2t + i \leq 65 \quad (3-13)$$

$$20 \leq \alpha \leq 40 \quad (3-14)$$

dimana,

i = Lebar injakan

t = Tinggi tanjakan

α = Kemiringan tangga

3.5.2.4 Balok Induk

Balok induk menurut SNI 2847:2013 tabel 9.5(a) adalah

$$h_{\min} = \frac{1}{16}, f_y = 420 \text{ MPa} \quad (3-15)$$

$$h_{\min} = \frac{1}{16} (0.4 + \frac{f_y}{700}), f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa} \quad (3-16)$$

$$b = \frac{2}{3} h_{\min} \quad (3-17)$$

dimana,

h = Tinggi balok

b_w = Lebar balok

l = Panjang bentang

f_y = Mutu baja

dimana, menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.2.

$$b_w \geq 250\text{mm}$$

$$b_w \geq 0.3h$$

3.5.2.5 Dimensi Kolom

Kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.1.1 adalah c_1 dan $c_2 \geq 300\text{mm}$ dan pasal 21.6.1.2 adalah $c_1 / c_2 \geq 0.4$ serta $\phi P_n \leq 0.1 A_g f_c'$. Penentuan dimensi sebagai berikut:

$$A_g = \frac{w}{\phi f_c'} \quad (3-18)$$

dimana,

Φ = 0.65 menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2

W = Beban aksial yang diterima

f_c' = Mutu beton

3.5.2.6 Dinding Geser

Dinding geser menurut SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.1, tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang mana yang lebih pendek, atau kurang dari 100 mm.

3.6 Permodelan Struktur

Permodelan struktur ini menggunakan program bantu SAP2000, dengan cara sebagai berikut:

1. Memasukkan data definisi elemen seperti jenis material, mutu material dan dimensi elemen
2. Menggambarkan elemen struktur seperti pelat, balok dan kolom serta dinding geser
3. Memberikan perletakan pada pondasi (diasumsikan perletakan jepit)

3.7 Pembebanan Struktur

3.7.1 Beban

3.7.1.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727:2013 pasal 3.1.1 dan pasal 3.1.2 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai atap, plafon, tangga, dinding pertisi tetap, *finishing*, kladding gedung dan komponen arsitektural dan structural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk beban keran. Jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak berwenang.

Tabel 3.1. Beban Mati

Berat beton bertulang	=	2400	kg/m ³
Adukan finishing dinding (Merk MU 290,tebal 8mm)	=	1850	kg/m ³
Spesi keramik (Merk MU 440, tebal 20mm)	=	1950	kg/m ³
Tegel (Merk impresso, dimensi 83x400x400mm)	=	16	kg/m ²
Tembok setengah bata (Merk citicon, dimensi 150x200x600mm)	=	600	kg/m ³
MEP (ASCE 7-05)	=	19	kg/m ²
Penggantung plafon (Intallasi PT bora)	=	8	kg/m ²
Plafon	=	8.4	kg/m ²

(Merk ekaboard 6R4,dimensi 6x1220x2440mm)			
Lift (Merk hyundai luxen) (R1 = 15100kg, R2 = 8100kg)	=	23200	kg
Waterproof (Merk sika sikalastic 560, tebal 1.3mm)	=	2.8	kg/m ²

3.7.1.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013 tabel 4-1.

Tabel 3.2. Beban Hidup

Lantai atap	=	96	kg/m ²
Lantai ruangan	=	192	kg/m ²
Koridor	=	479	kg/m ²
Tangga	=	578	kg/m ²
Bordes	=	479	kg/m ²
Hujan	=	30	kg/m ²

3.7.1.3 Beban Hujan

Menurut SNI 1727:2013 pasal 8.3.

$$R = 0.0098 (d_s + d_h) \quad (3-19)$$

dimana,

$$R = \text{Beban air hujan} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$d_s = \text{Kedalaman air rencana} \quad (\text{mm})$$

$$d_h = \text{Tambahan kedalaman air rencana} \quad (\text{mm})$$

3.7.1.4 Beban Angin

Menurut SNI 1727:2013 pasal 26 terdapat beberapa faktor dalam perencanaaan beban angin, meliputi:

- Kecepatan angin (V)
- Faktor arah angin (K_d), pada tabel 26.6.1

Tabel 3.3. Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung Sistem Penahan Beban Angin Utama Komponen dan Kladding	0,85 0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama Segi empat Segi enam Bundar	0,90 0,95 0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85 0,85
Rangka batang menara Segi tiga, segi empat, persegi panjang Penampang lainnya	0,85 0,95

- c. Kategori eksposur B, pada pasal 26.7.2
- d. Kategori topografi (K_{zt}), pada gambar 26.8.1
- e. Faktor efek tiupan angina (G), pada pasal 26.9.1
- f. Klasifikasi ketertutupan, pada pasal 26.10
- g. Koefisien tekan internal (GC_{pi}), pada tabel 26.11.1

Tabel 3.4. Koefisien Tekan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	$\{GC_{pi}\}$
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

- h. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h), pada tabel 27.3-1

Tabel 3.5. Koefisien Eksposure

Tinggi di atas level tanah, z ft	(m)	Eksposur		
		B	C	D
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

- i. Tekanan velositas (q_z), pada pasal 27.3.2

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (\text{N/m}^2, V \text{ dalam m/s}) \quad (3-20)$$

- j. Koefisien tekan eksternal (C_p), pada gambar 27.4-1

Tabel 3.6. Koefisien Tekan Dinding

Permukaan	Koefisien tekanan dinding, C_p		Digunakan dengan
	L/B	C_p	
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 - 1	- 0,5	
	2	- 0,3	
Dinding di sisi angin pergi	≥ 4	- 0,2	q_s
	Seluruh nilai	- 0,7	
Dinding tepi			q_s

Tabel 3.7. Koefisien Tekan Atap

Arah angin	Koefisien tekanan atap, C_p , untuk digunakan dengan q_a											
	Di sisi angin datang Sudut, θ (derajat)					Di sisi angin pergi Sudut, θ (derajat)						
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Tegak lurus terhadap bumbungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	- 0,7 - 0,18	- 0,5 0,0*	- 0,3 0,2	- 0,2 0,3	- 0,2 0,3	0,0*	0,4	0,4	0,01 θ	- 0,3	- 0,5 - 0,6
	0,5	- 0,9 - 0,18	- 0,7 - 0,18	- 0,4 0,0*	- 0,3 0,2	- 0,2 0,2	- 0,2 0,3	0,4	0,4	0,01 θ	- 0,5	- 0,5 - 0,6
	$\geq 1,0$	- 1,3** - 0,18	- 1,0 - 0,18	- 0,7 0,0*	- 0,5 0,2	- 0,3 0,2	- 0,2 0,4	0,0	0,0	0,01 θ	- 0,7	- 0,6 - 0,6
Tegak lurus terhadap bumbungan untuk $\theta < 10^\circ$ sejajar bumbungan untuk semua θ	$\leq 0,5$	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang					C_p	* Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.				
		0 sampai dengan $h/2$	- 0,9, - 0,18	** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai bentuk ini:					** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai bentuk ini:			
		$h/2$ sampai dengan h	- 0,9, - 0,18	Luas (ft ²)					Faktor reduksi			
	$\geq 1,0$	$> h/2$	- 0,5, - 0,18	$\leq 100 (9,3 \text{ m}^2)$					1,0			
			- 0,3, - 0,18	$250 (23,2 \text{ m}^2)$					0,9			
						$\geq 1000 (92,9 \text{ m}^2)$					0,8	

k. Tekanan angin desain (p), pada pasal 27.4.1

$$p = q G C_p - q_i (G C_{pi}) \quad (\text{N/m}^2) \quad (3-21)$$

menurut pasal 27.1.5

$$p_{\min} = 77 \text{ kg/m}^2$$

3.7.1.5 Beban Gempa

Menurut SNI 1726:2012 terdapat beberapa faktor dalam perencanaan beban gempa, meliputi:

- a. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung, pada tabel 1

Tabel 3.8. Kategori Resiko Bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
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

- b. Faktor keutamaan (I_e) gempa, pada tabel 2

Tabel 3.9. Faktor Keutamaan

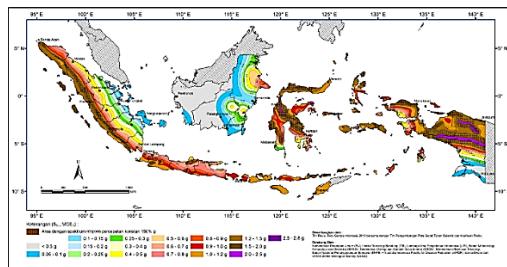
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

- c. Klasifikasi kelas situs pada tabel 3

Tabel 3.10. Klasifikasi kelas situs

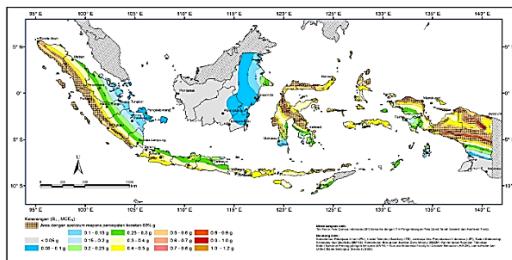
Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	N atau \bar{N}_{st}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

- d. Percepatan batuan dasar periode pendek (S_s), pada gambar 9



Gambar 3.1. Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek (S_s)

e. Percepatan batuan dasar periode 1 detik (S₁) pada gambar 10



Gambar 3.2. Percepatan Batuan Dasar Periode 1 Detik (S₁)

f. Percepatan respon spektrum periode pendek (F_a), pada tabel 4

Tabel 3.11. Percepatan Respon Spektrum Periode Pendek (F_a)

Kelas situasi	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, S _s				
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^o				

g. Percepatan respon spectrum periode 1 detik (F_v), pada tabel 5

Tabel 3.12. Percepatan Respon Spectrum Periode 1 Detik (F_v)

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetaikan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			SS ^b		

- h. Parameter respon spectrum desain untuk periode pendek (S_{MS}), pada pasal 6.2

$$S_{MS} = F_a S_1 \quad (3-22)$$

- i. Parameter respon spectrum desain untuk periode 1 detik (S_{M1}), pada pasal 6.2

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3-23)$$

- j. Parameter spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}), pada pasal 6.3

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-24)$$

- k. Parameter spektra desain untuk periode 1 detik (S_{D1}), pada pasal 6.3

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-25)$$

l. $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ (3-26)

m. $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ (3-27)

- n. Koefisien modifikasi respon (R), pada tabel 9

Tabel 3.13. Koefisien Modifikasi Respon (R)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respon, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^{ε}	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
D. Sistem ganda dengan rangka pemukul 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 konsentrifis khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB

- o. Koefisien respon sesmik (C_s), pada pasal 7.8.1.1

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-28)$$

$$C_{s\ max} = \frac{S_{DI}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-29)$$

$$C_{s\ min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-30)$$

- p. Gaya geser sesmik (V), pada pasal 7.8.1.

$$V = C_s W \quad (3-31)$$

3.7.2 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1727:2013, kombinasi pembebanan terdiri atas:

1. Kombinasi ultimate, pada pasal 2.3.2

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan tulangan

- a. $U = 1,4D$
- b. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- c. $U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L_r \text{ atau } 0,5W)$
- d. $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e. $U = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
- f. $U = 0,9D + 1,0W$
- g. $U = 0,9D + 1,0E$

2. Kombinasi layan, pasal 2.4.1

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan pondasi dan struktur baja

- a. $U = D$
- b. $U = D + L$
- c. $U = D + L_r \text{ atau } S \text{ atau } R$
- d. $U = D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e. $U = D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- f. $U = D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- g. $U = D + 0,75L + 0,75(0,7E) + 0,75S$
- h. $U = 0,6D + 0,6W$
- i. $U = 0,6D + 0,7E$

dimana,

- D = beban mati
- L = beban hidup
- E = beban gempa
- W = beban angin
- Lr = beban hidup atap
- R = beban hujan
- S = beban salju

3.8 Analisa Struktur

3.8.1 Perhitungan Gaya Dalam

Perhitungan gaya-gaya dalam struktur utama menggunakan bantuan program SAP2000. Adapun hal- hal yang diperhatikan dalam analisa struktur ini antara lain:

1. Bentuk gedung
2. Wilayah gempa
3. Dimensi elemen-elemen struktur dari preliminary desain
4. Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanan

3.8.2 Kontrol Persyaratan

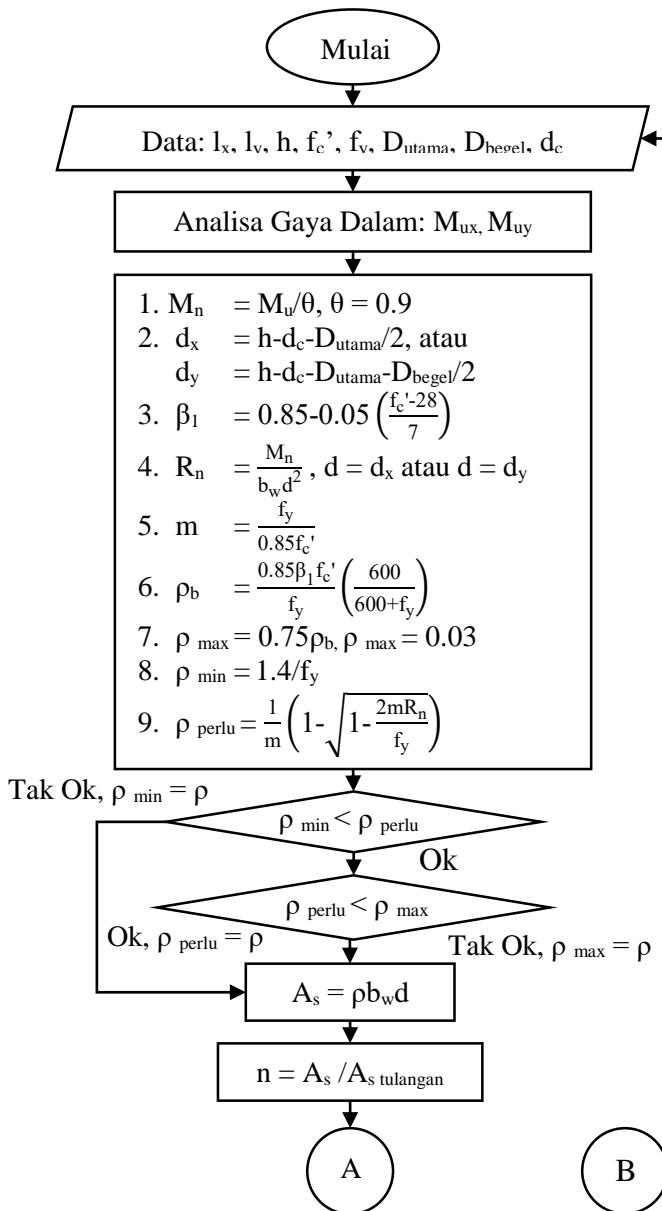
Hasil analisis struktur bangunan gedung dikontrol terhadap persyaratan bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.9 meliputi:

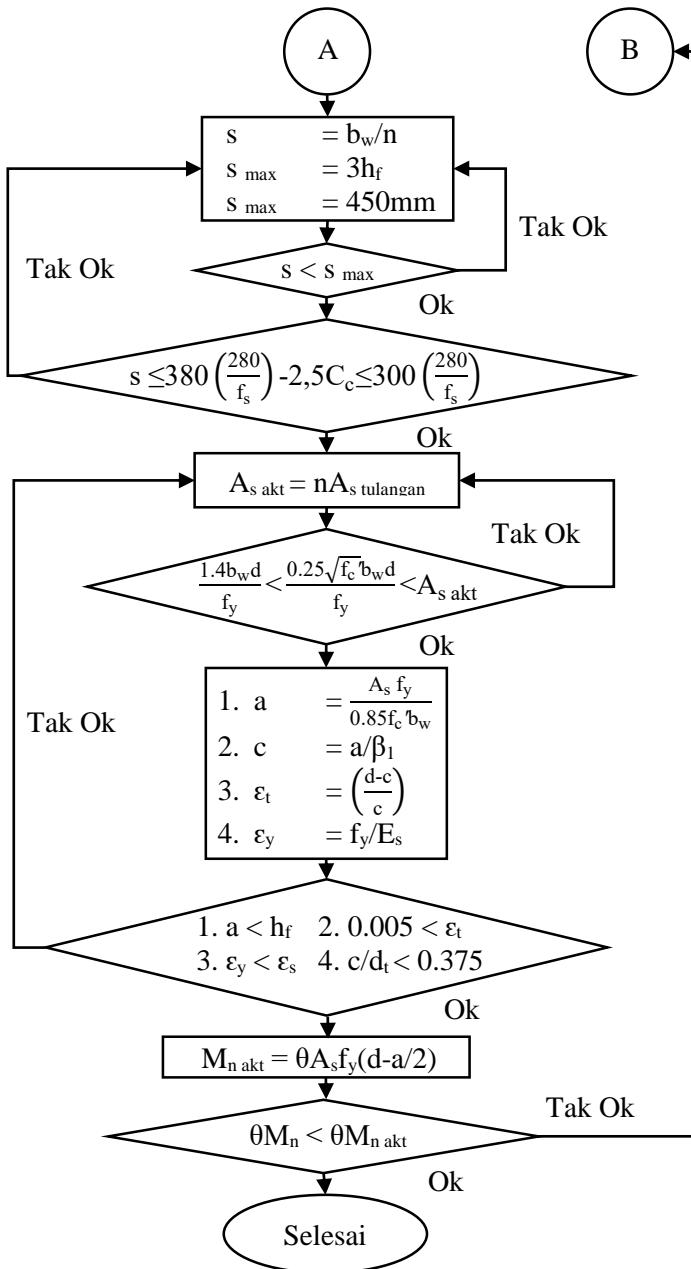
1. Periode waktu getar alami fundamental (T)
2. Kombinasi Ragam
3. Jumlah ragam partisipasi massa
4. Geser dasar seismik (V)
5. Simpangan antar lantai (Δ)
6. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja (SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1)

3.9 Perencanaan Penulangan

3.9.1 Perencanaan Tulangan Pelat

3.9.1.1 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Pelat



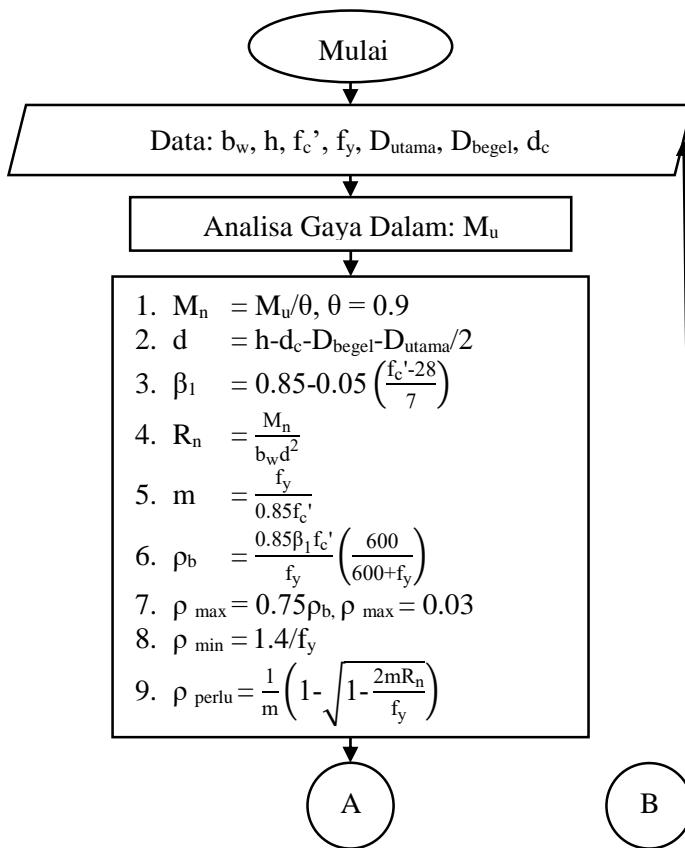


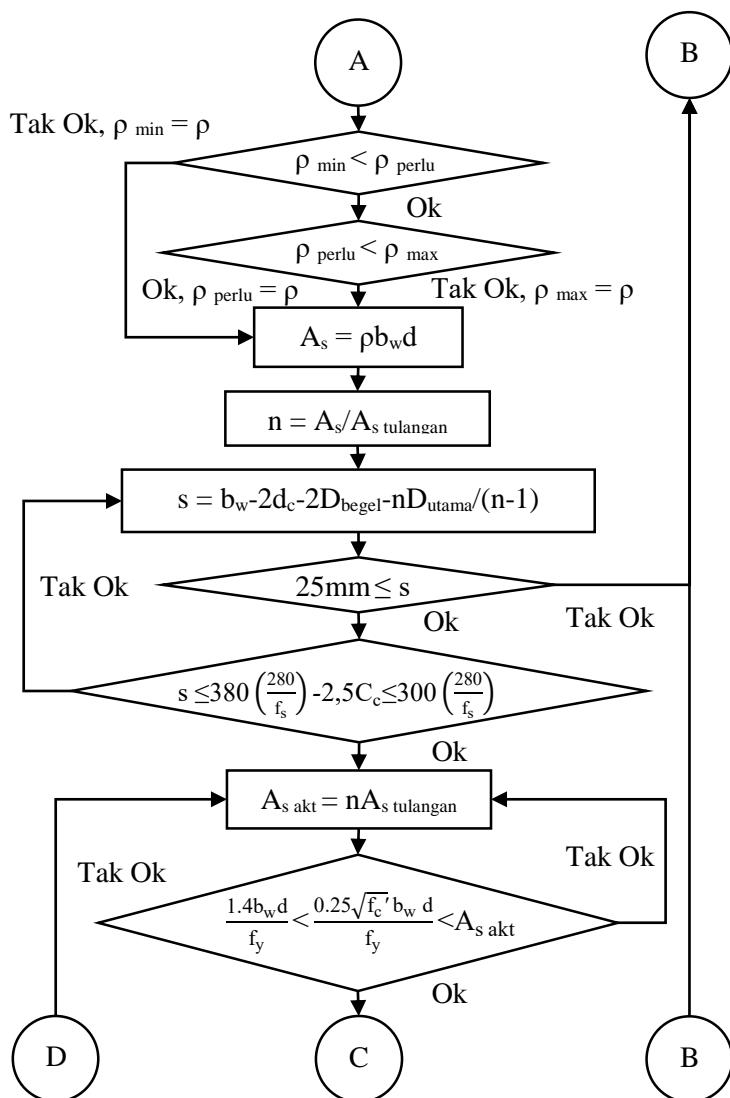
3.9.1.2 Perhitungan Tulangan Susut

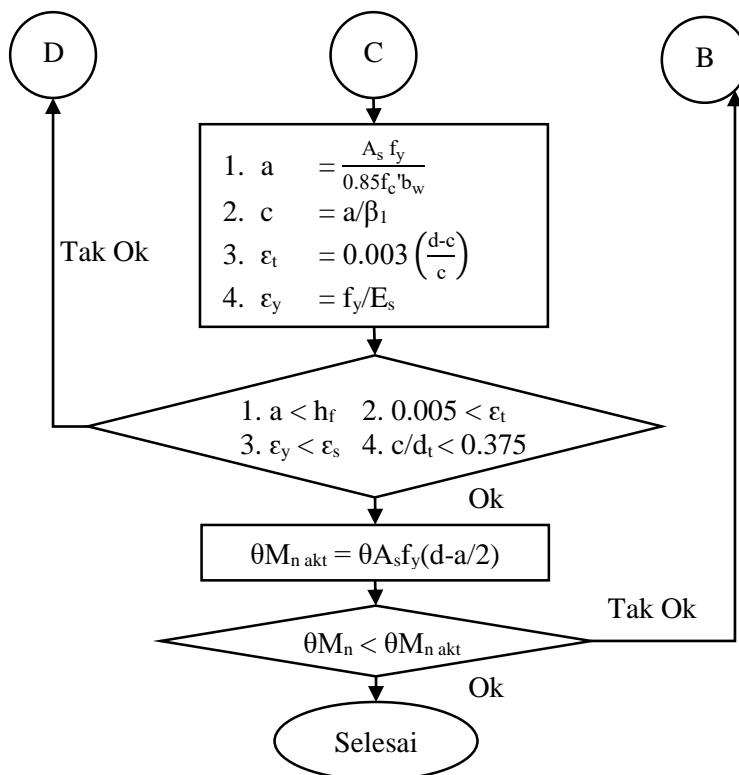
Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 2847:2013 pasal 7.12. Tulangan susut minimum dari rasio luasan tulangan dengan luasan beton adalah 0.0014.

3.9.2 Perencanaan Tulangan Balok Anak

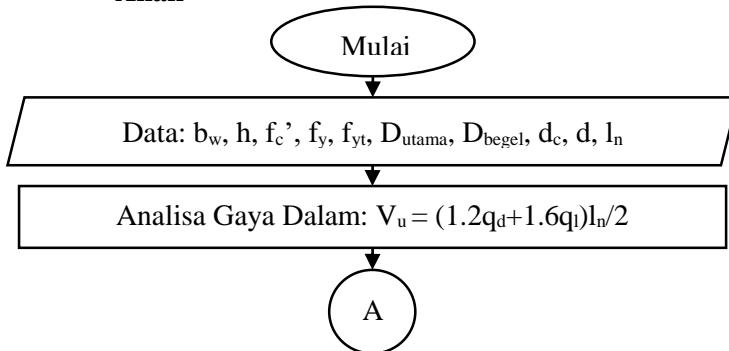
3.9.2.1 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

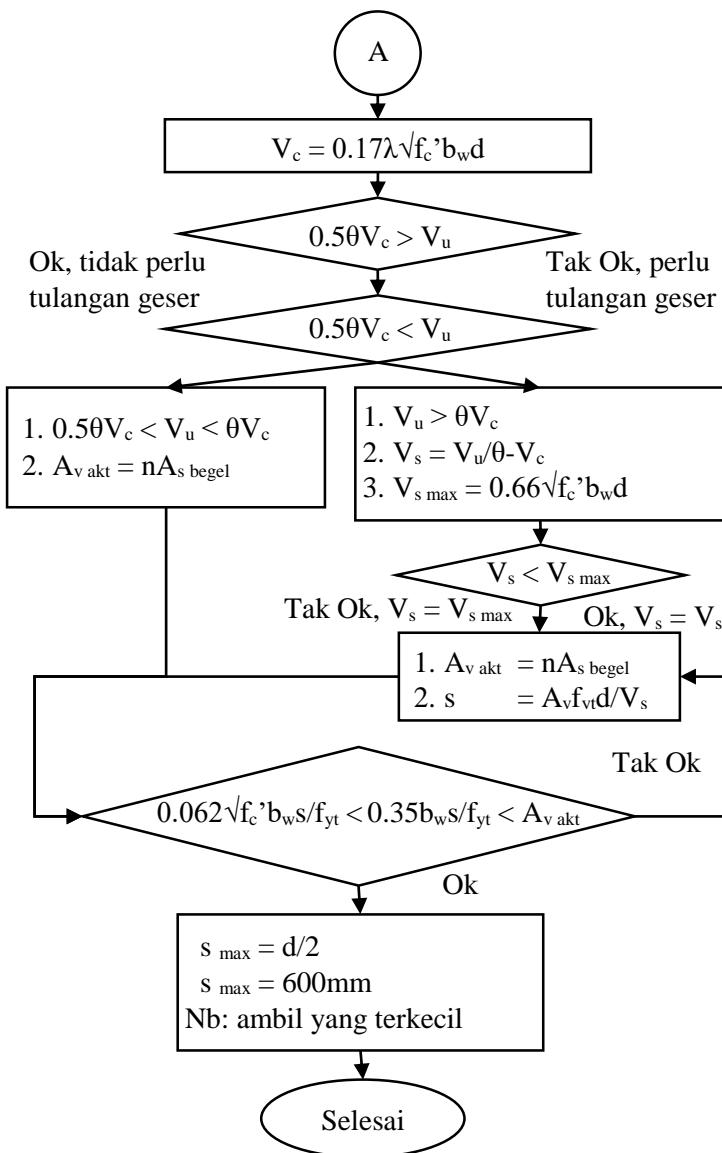






3.9.2.2 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Balok Anak





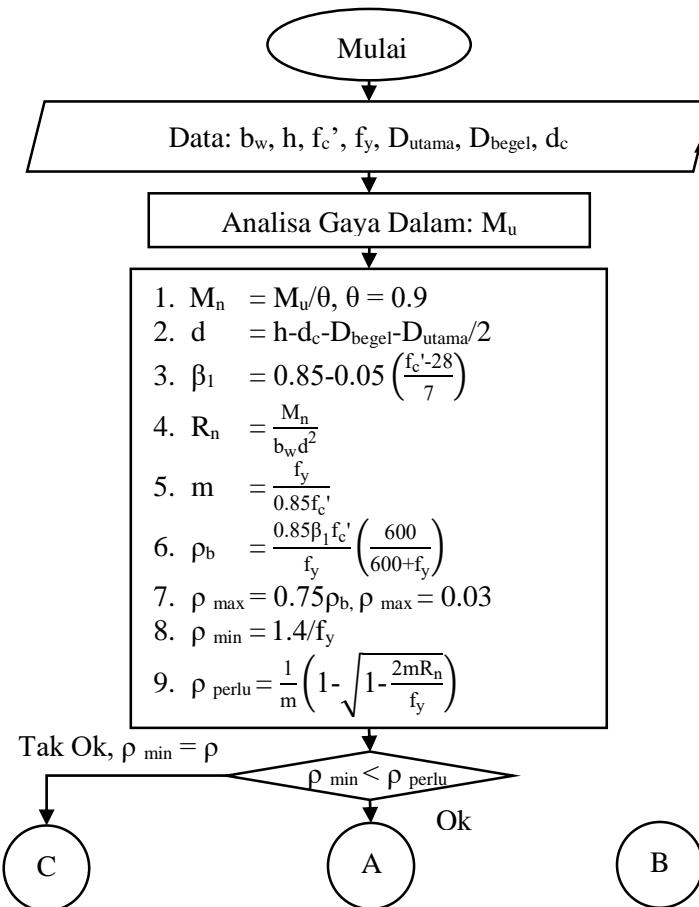
3.9.3 Perencanaan Tulangan Tangga

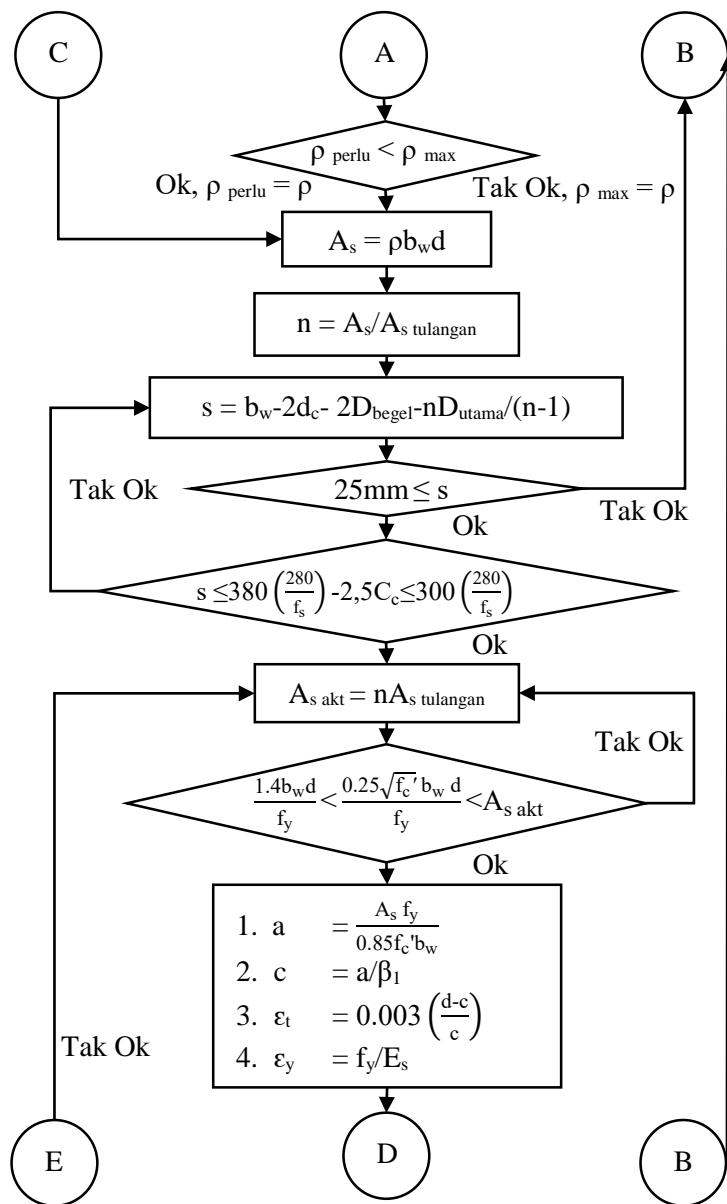
3.9.3.1 Perhitungan Tulangan Plat Anak Tangga dan Bordes

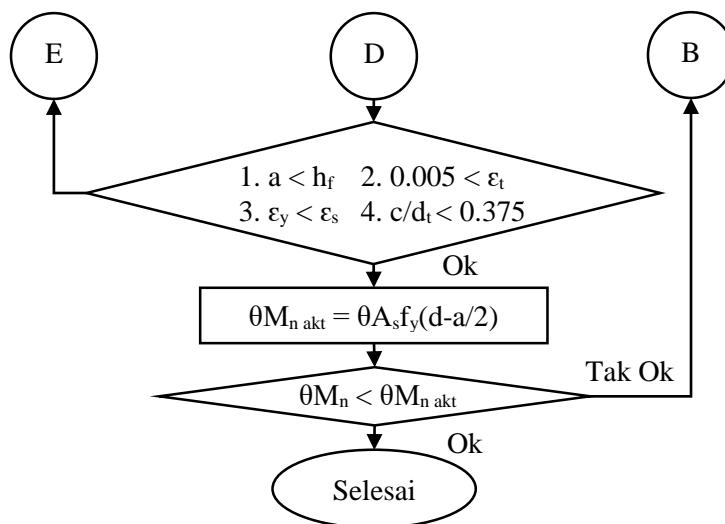
Sama dengan perhitungan plat biasa.

3.9.4 Perencanaan Tulangan Balok

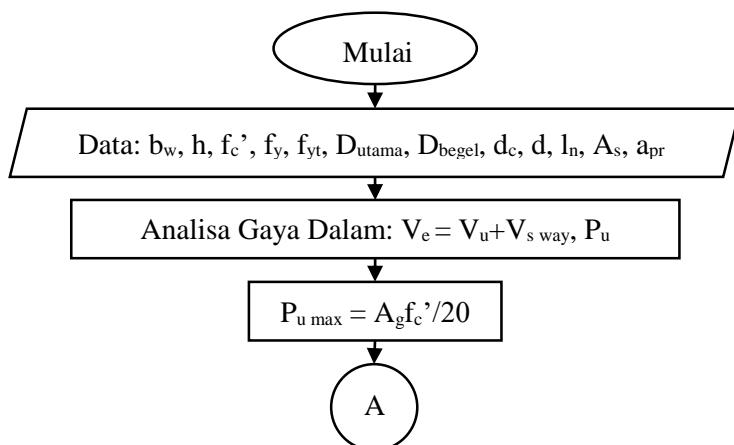
3.9.4.1 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Balok

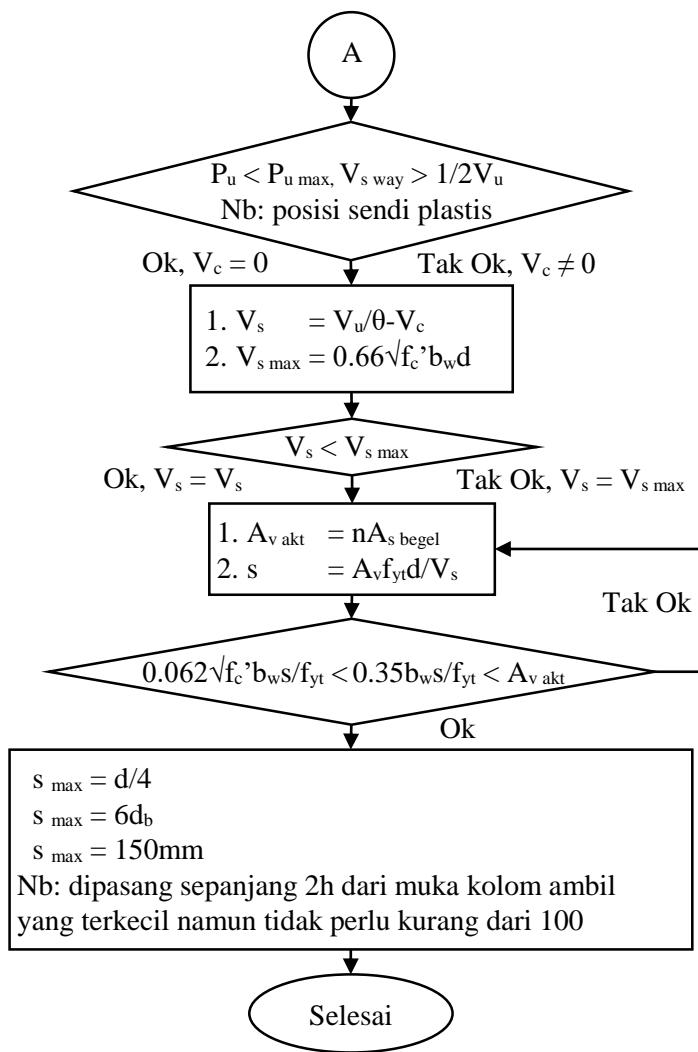




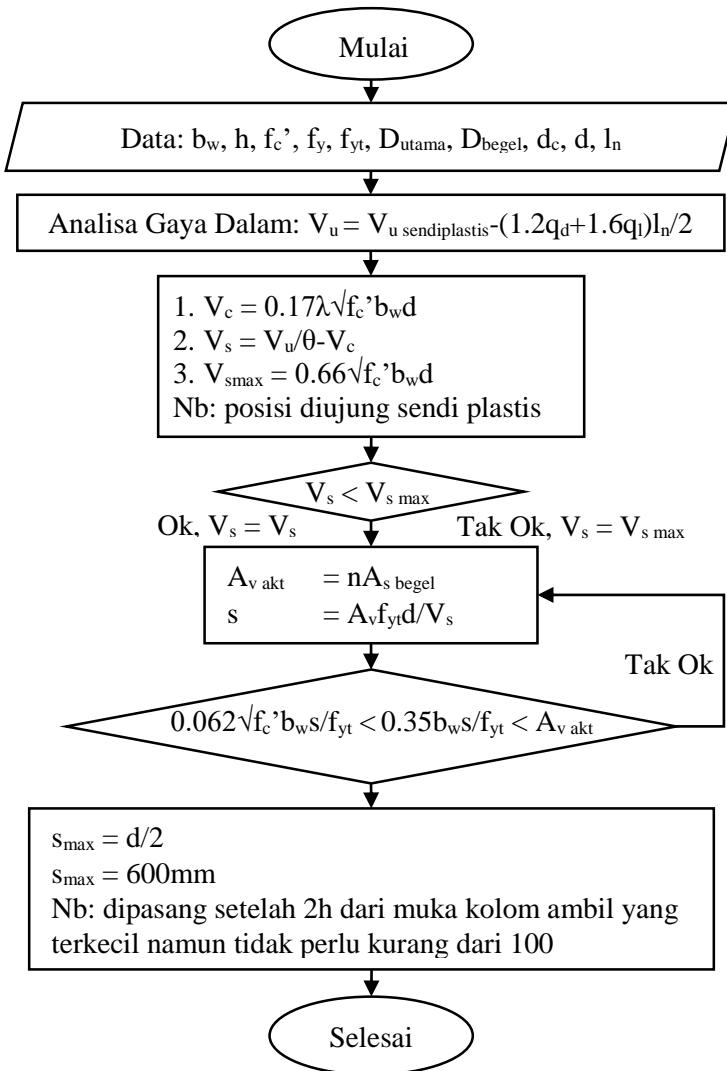


3.9.4.2 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Balok Pada Sendi Plastis

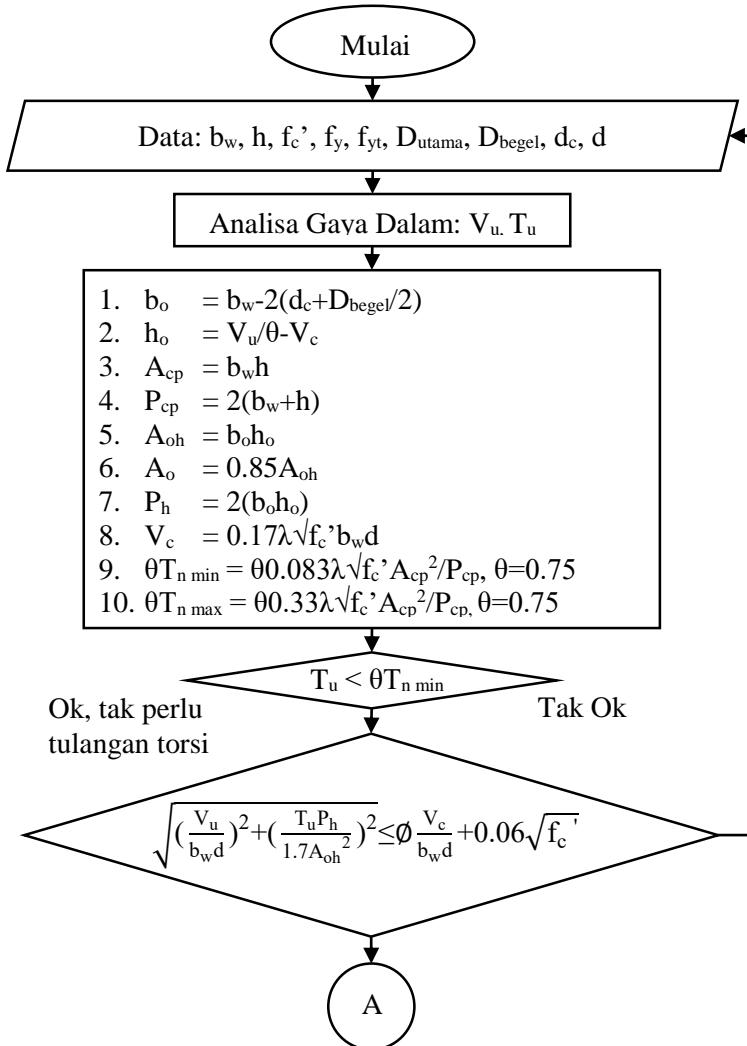


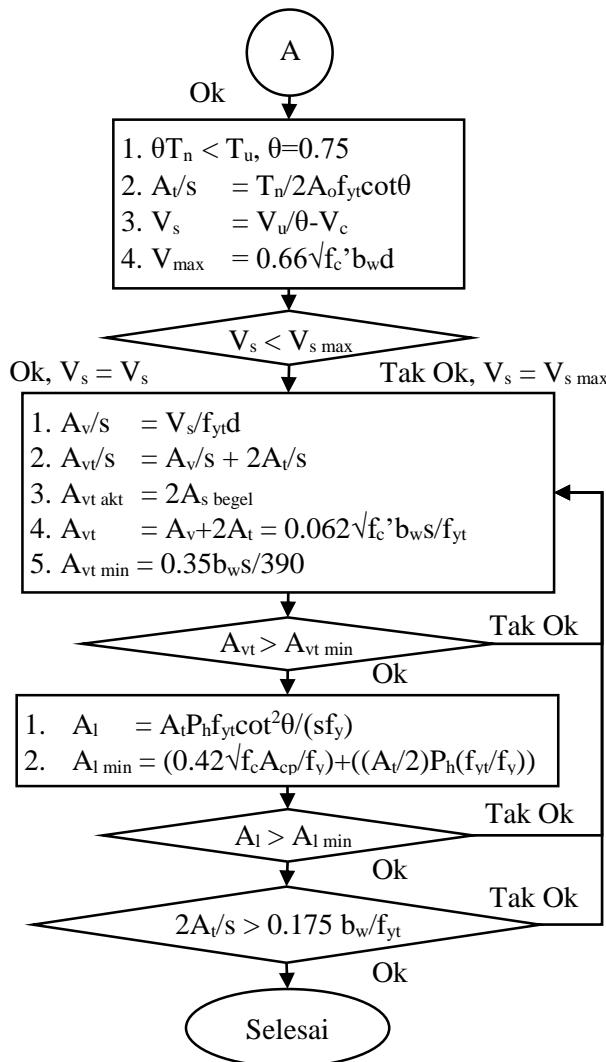


3.9.4.3 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Balok Pada Luar Sendi Plastis



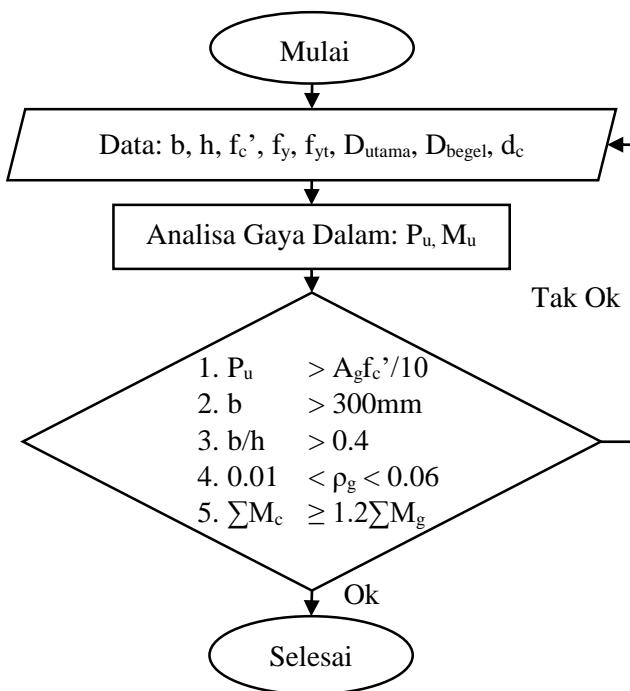
3.9.4.4 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Torsi Balok



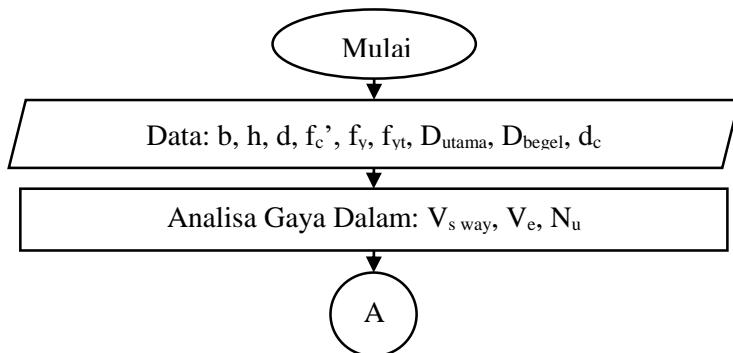


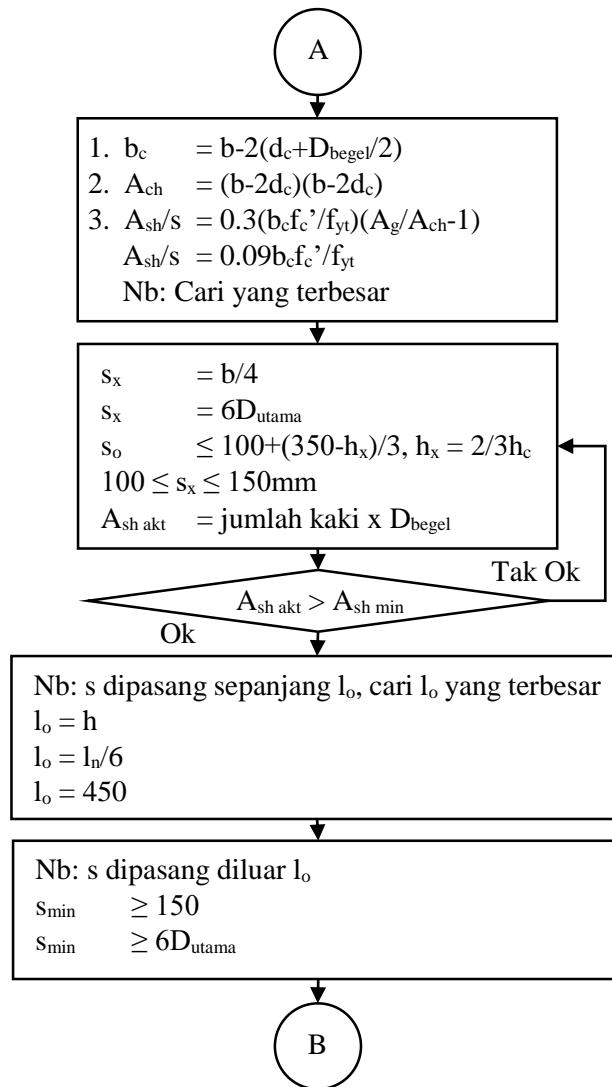
3.9.5 Perencanaan Tulangan Kolom

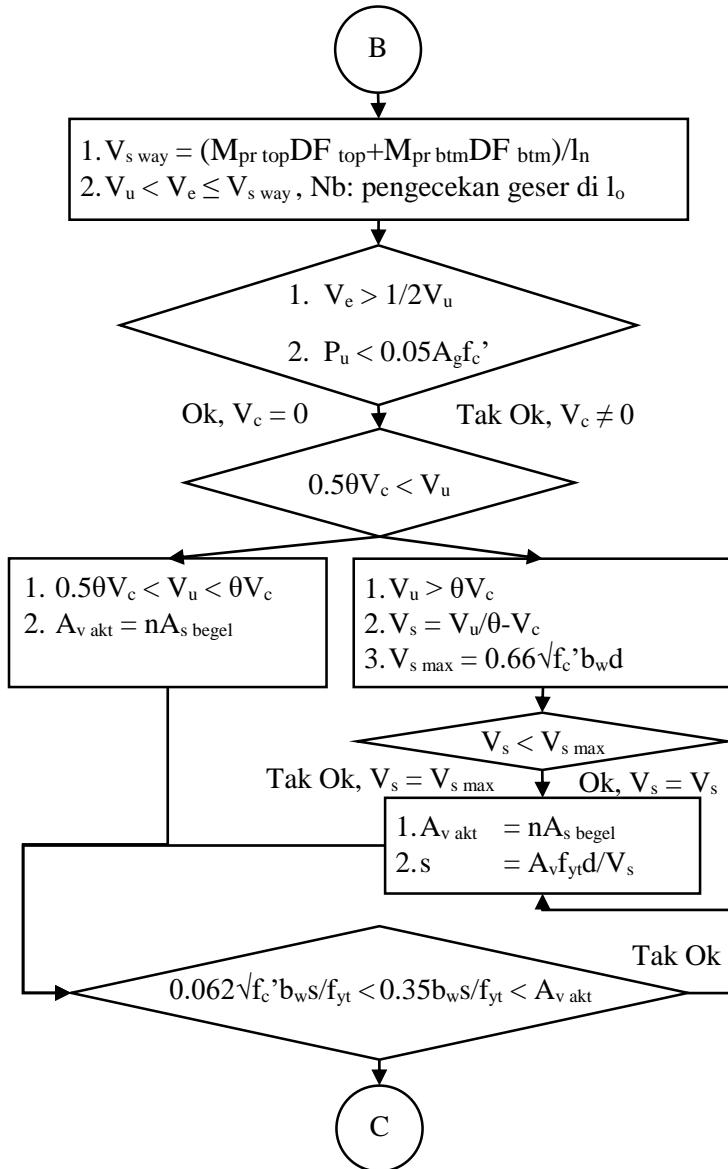
3.9.5.1 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

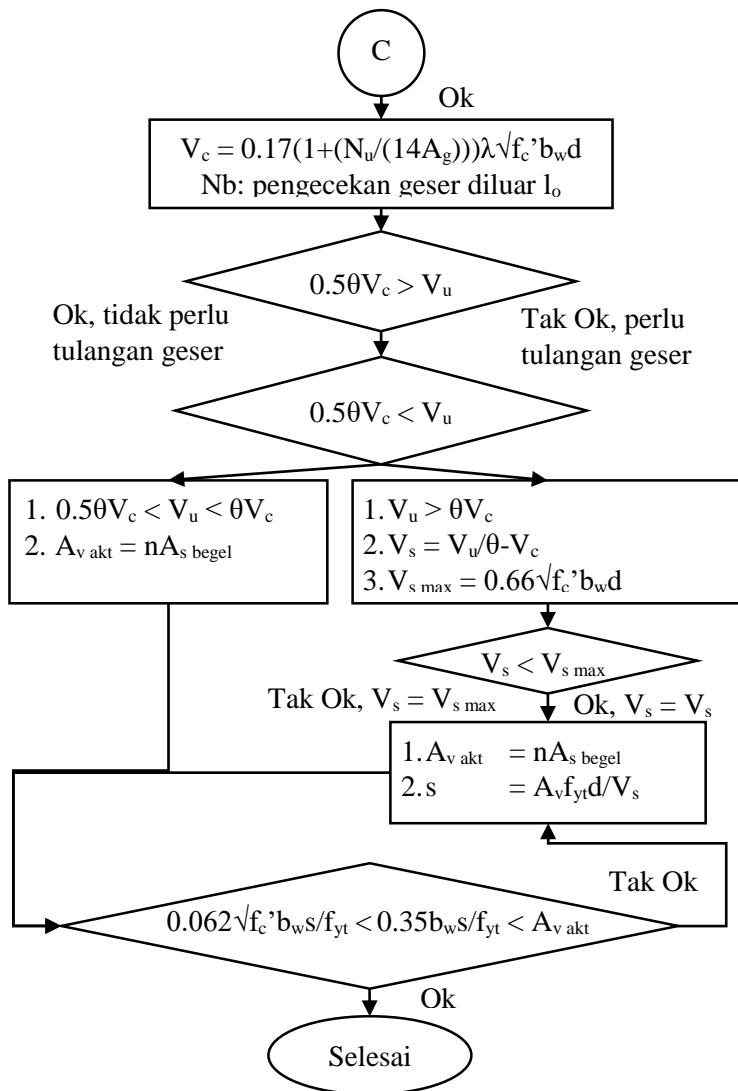


3.9.5.2 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Kolom



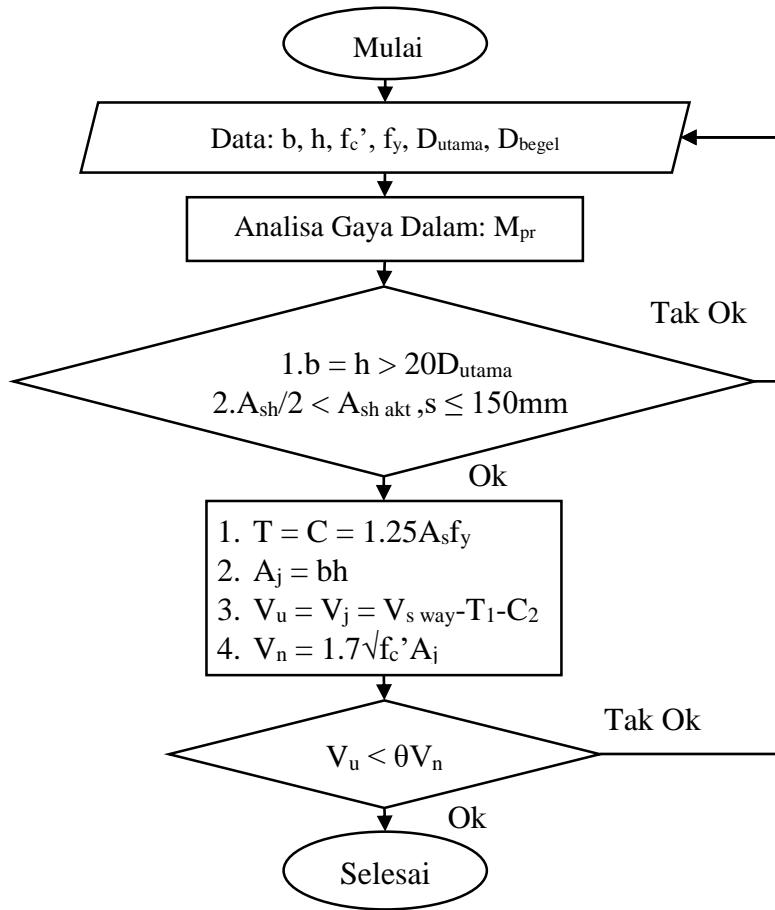






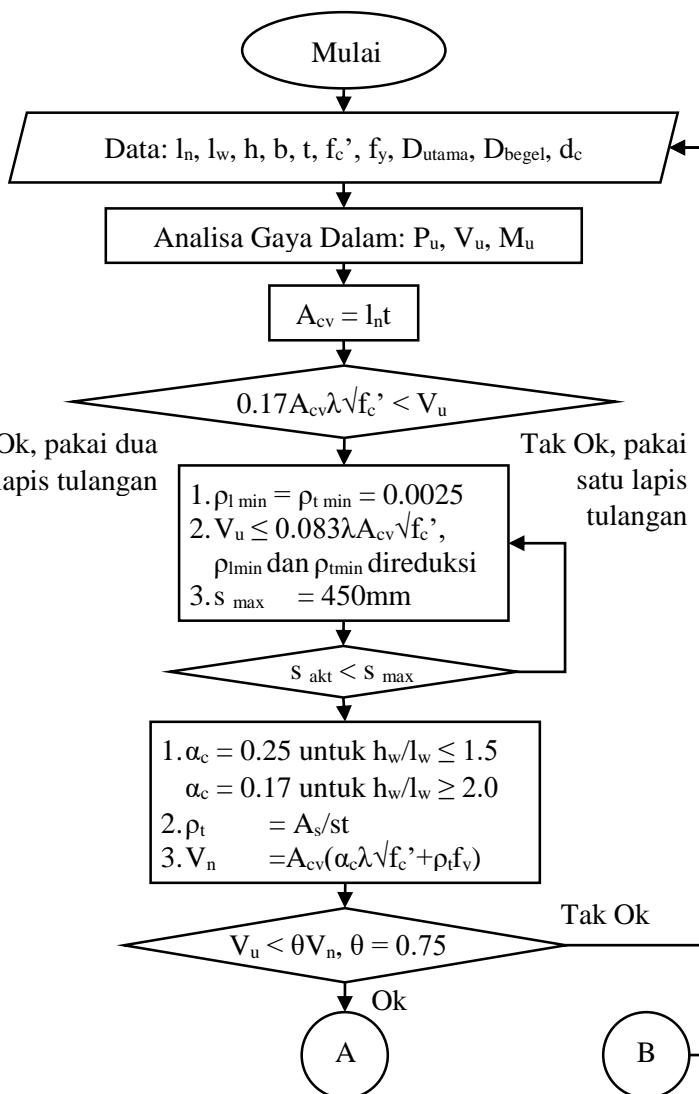
3.9.6 Perencanaan Tulangan HBK

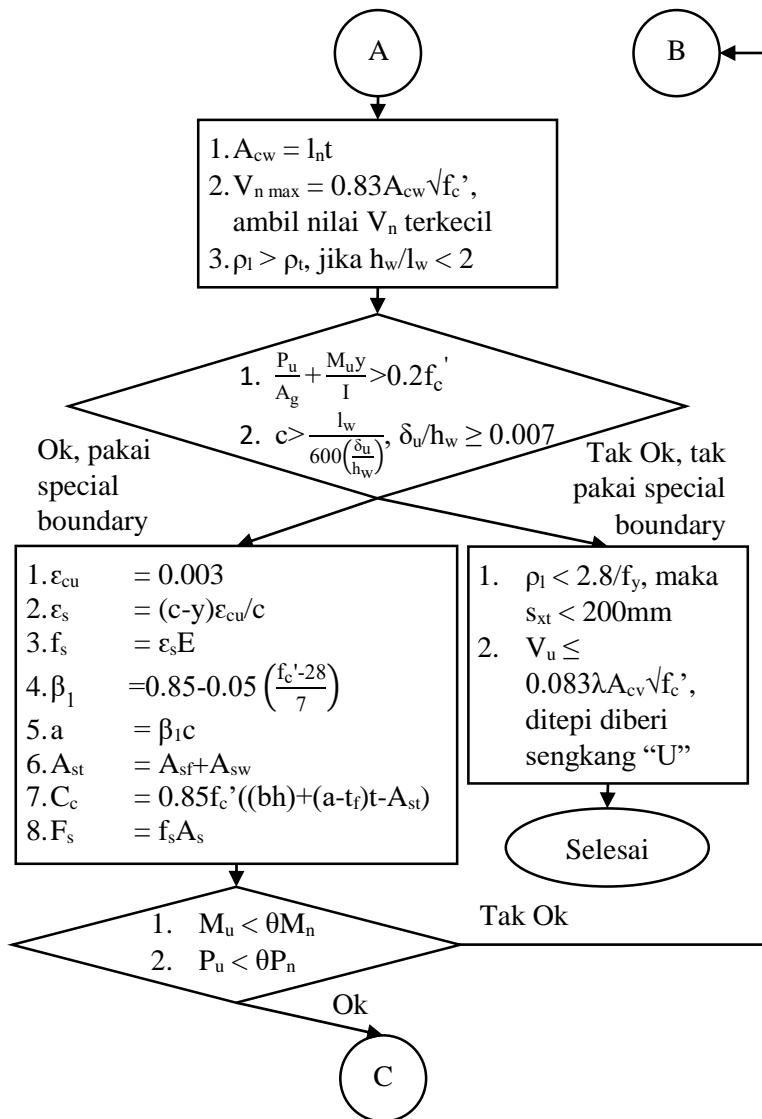
3.9.6.1 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser HBK

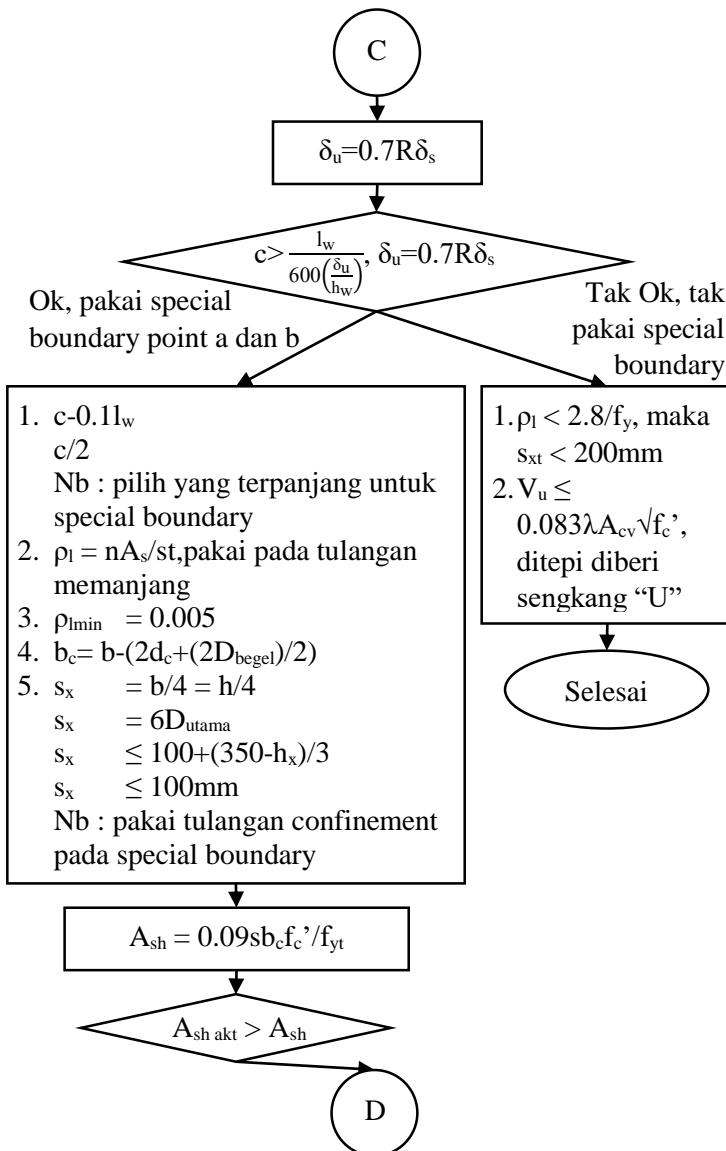


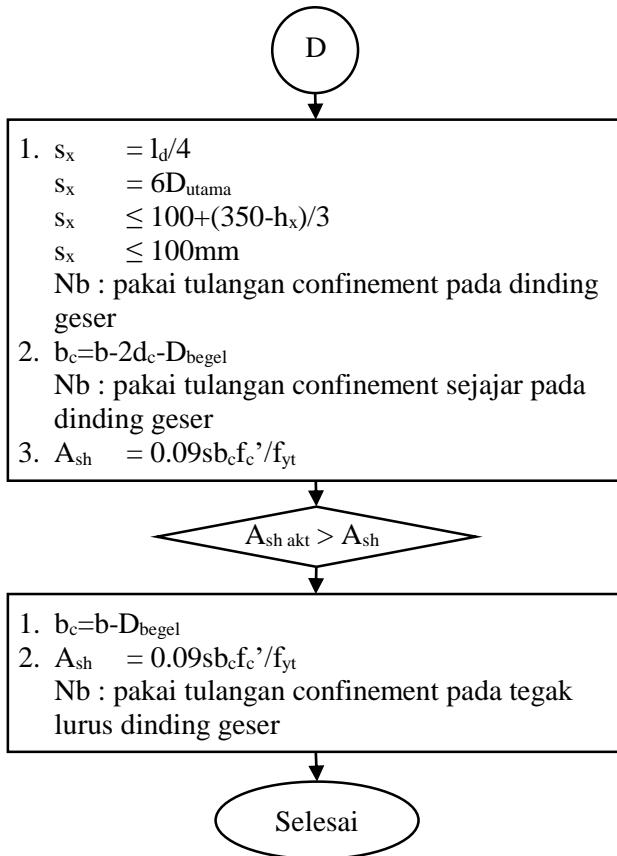
3.9.7 Perencanaan Tulangan Dinding Geser

3.9.7.1 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Dinding Geser









3.10 Gambar Teknik

Hasil dari analisa struktur diatas divisualisasikan dalam gambar teknik. Dalam penggambaran ini menggunakan program AutoCAD 2016.

3.11 Kesimpulan dan Saran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

4.1.1 Umum

Preliminary design merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan menurut peraturan yang ada. *Preliminary design* yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, pelat, dan kolom. Sebelum melakukan *preliminary* sebaiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.1.2 Data Perencanaan

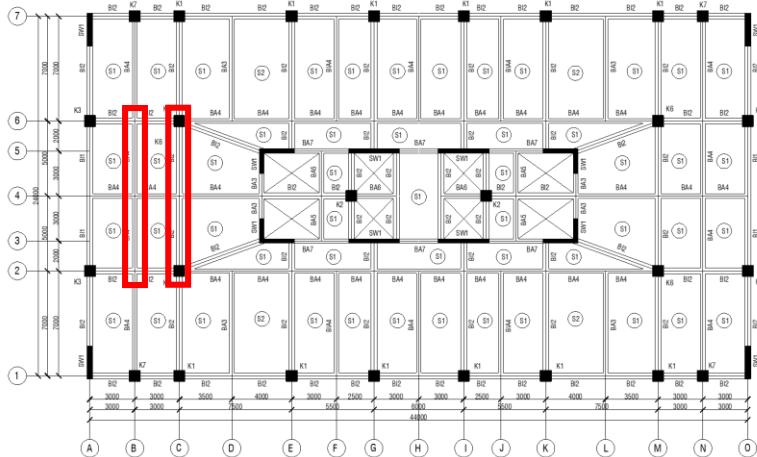
Data perencanaan gedung beton bertulang sebagai berikut :

1. Fungsi bangunan : Gedung Apartemen
2. Lokasi : JL. Abdul Wahab Siamin Kav 9-10
Surabaya
3. Jumlah lantai : 10 lantai
4. Ketinggian lantai : 3.4 m
5. Tinggi bangunan : 34 m
6. Total luas area : $\pm 1056 \text{ m}^2$
7. Mutu baja (f_y) : BJTP40 dan BJTD40

No	Parameter	Eksisting	Desain
8	Letak bangunan	Tidak dekat pantai	Dekat pantai
9	Kelas paparan	C1	C2
10	Rasio air-bahan cementisius maksimum (w/c m)	T/A	0.4
11	Mutu beton (f_c')	$f_c' 30$	$f_c' 35$
12	Selimut beton (d_c) - Plat lantai, bordes dan tangga - Dinding geser	20mm 40mm	20mm 50mm

	- Balok anak, lift, dan tangga - Balok induk - Kolom	50mm 50mm 50mm	50mm 65mm 65mm
--	--	----------------------	----------------------

4.1.3 Perencanaan Dimensi Balok



Gambar 4.1. Denah Pembalokan

4.1.3.1 Dimensi Balok Induk

Balok induk menurut SNI 2847:2013, tabel 9.5(a) adalah

$$h_{\min} = \frac{1}{16}, f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \left(0.4 + \frac{f_y}{700} \right), f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

$$b_w = \frac{2}{3} h_{\min}$$

dimana,

h = Tinggi balok

b_w = Lebar balok

l = Panjang bentang

dimana, menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.1.2

$$b_w \geq 250 \text{ mm}$$

$$b_w \geq 0.3h$$

1. Balok induk arah melintang (BI). $l = 10000\text{mm}$

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{10000}{16} (0.4 + \frac{390}{700}) \\ &= 598\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_w &= \frac{2}{3} 598 \\ &= 399\text{mm} \end{aligned}$$

$$b_w \geq 250 \text{ mm}$$

$$399 \geq 250 \text{ mm OK}$$

$$b_w \geq 0.3h$$

$$\geq 0.3 \times 598$$

$$399 \geq 179 \text{ mm OK}$$

Dimensi yang dipakai 400/700mm

2. Balok induk arah memanjang (BI). $l = 7500\text{mm}$

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{7500}{16} (0.4 + \frac{390}{700}) \\ &= 449\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_w &= \frac{2}{3} 449 \\ &= 299\text{mm} \end{aligned}$$

$$b_w \geq 250 \text{ mm}$$

$$299 \leq 250 \text{ mm TAK OK}$$

$$b_w \geq 0.3h$$

$$\geq 0.3 \times 449$$

$$299 \geq 105 \text{ mm OK}$$

Dimensi yang dipakai 400/700mm

Tabel 4.1. Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
B1A	400	700	7000
B1B	400	700	10000
B1C	400	700	5280
B1D	400	700	9000
B1E	400	700	3000
B1F	400	700	6000
B1G	400	700	7500
B1H	400	700	5500
B1I	400	700	6000

4.1.3.2 Dimensi Balok Anak

Balok anak menurut SNI 2847:2013, tabel 9.5(a) adalah

$$h_{\min} = \frac{1}{21}, f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{21} (0.4 + \frac{f_y}{700}), f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

$$b_w = \frac{2}{3} h_{\min}$$

dimana,

h = Tinggi balok

b_w = Lebar balok

l = Panjang bentang

dimana, menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.1.2.

$$b_w \geq 250 \text{ mm}$$

$$b_w \geq 0.3h$$

1. Balok anak arah melintang (BA). $l = 10000 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{10000}{21} (0.4 + \frac{390}{700}) \\ &= 456 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_w &= \frac{2}{3} 456 \\ &= 304 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} b_{w \min} & \geq 250 \text{ mm} \\ 304 & \leq 250 \text{ mm OK} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} b_{w \ min} & \geq 0.3h \\ & \geq 0.3 \times 456 \\ 304 & \geq 137 \text{ mm OK} \end{array}$$

Dimensi yang dipakai 300/700mm

2. Balok anak arah melintang (BA). l = 7500mm

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{7500}{21} (0.4 + \frac{390}{700}) \\ &= 342 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_w &= \frac{2}{3} 342 \\ &= 228 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} b_{w \ min} & \geq 250 \text{ mm} \\ 228 & \leq 250 \text{ mm OK} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} b_{w \ min} & \geq 0.3h \\ & \geq 0.3 \times 342 \\ 228 & \geq 105 \text{ mm OK} \end{array}$$

Dimensi yang dipakai 300/700mm

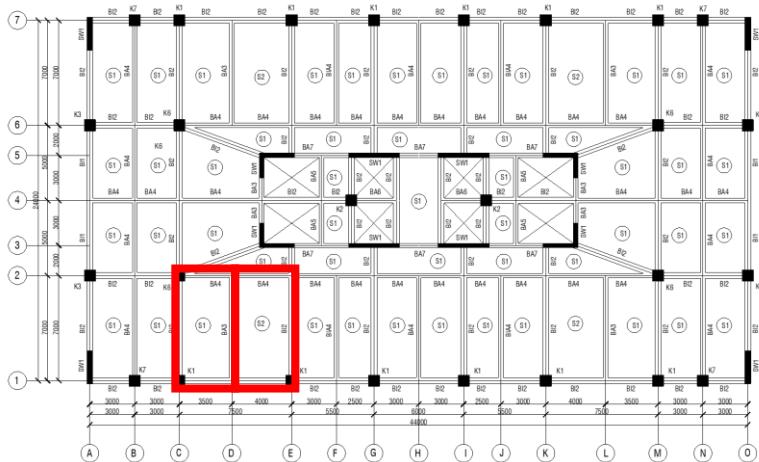
Tabel 4.2. Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
B2A	300	700	7000
B2A	300	700	7000
B2B	300	700	10000
B2C	300	700	3000
B2D	300	700	7500
B2E	300	700	5500

B2F	300	700	6000
B3A	300	400	3000
B4A	300	900	3000
B4B	300	900	4000

4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat

4.1.4.1 Peraturan Perencanaan Pelat



Gambar 4.2. Denah Pelat

Pelat bentang satu arah menurut SNI 2847:2013, tabel 9.5(a) adalah

$$h_{\min} = \frac{1}{28}, f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{28} (0.4 + \frac{f_y}{700}), f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

dimana,

1 = Panjang bentang

Pelat bentang dua arah menurut SNI 2847:2013, pasal 9.5.3.3 adalah

$$1. \alpha_{fm} \leq 0.2$$

Tebal pelat tanpa penebalan = 125mm
 Tebal pelat dengan penebalan = 100mm

2. $0.2 \leq \alpha_{fm} \leq 2.0$

$$h_{min} = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0.2)} \geq 125 \text{ mm}$$

3. $\alpha_{fm} > 2.0$

$$h_{min} = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_f}{h_w} \right) (4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^3)}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_f}{h_w} \right)}$$

$$I_b = k \left(\frac{1}{12} b_w h^3 + c^2 b h \right)$$

$$I_p = \frac{1}{12} b t^3$$

$$\beta = \frac{l_n}{s_n}$$

dimana,

h = Tebal pelat total

l_n = Panjang bentang bersih terpanjang pelat

α_f = Rasio kekuatan lentur

α_{fm} = Nilai rata-rata α_f untuk ke empat sisi pelat

β = Rasio bentang bersih terpanjang terhadap bentang bersih terpendek pelat

dimana,

$2 \leq l_n / s_n$, bentang satu arah

$2 \geq l_n / s_n$, bentang dua arah

4.1.4.2 Pelat Satu Arah

$$\begin{aligned} l_n &= 1 - \frac{b}{2} - \frac{b}{2} \\ &= 7000 - \frac{400}{2} - \frac{400}{2} \\ &= 6600 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= 1 - \frac{b}{2} - \frac{b}{2} \\ &= 3500 - \frac{400}{2} - \frac{400}{2} \\ &= 3100 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{6600}{3100} \\ &= 2.13 \geq 2, \text{ bentang satu arah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{3500}{28} (0.4 + \frac{390}{700}) \\ &= 102 \text{mm} \end{aligned}$$

Dimensi yang dipakai 120mm

4.1.4.3 Pelat Dua Arah

$$\begin{aligned} l_n &= 1 - \frac{b}{2} - \frac{b}{2} \\ &= 7000 - \frac{400}{2} - \frac{400}{2} \\ &= 6600 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= 1 - \frac{b}{2} - \frac{b}{2} \\ &= 4000 - \frac{400}{2} - \frac{400}{2} \\ &= 3600 \text{mm} \end{aligned}$$

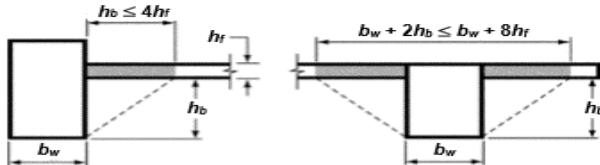
$$\begin{aligned} \beta &= \frac{6600}{3600} \\ &= 1.83 \leq 2, \text{ bentang dua arah} \end{aligned}$$

E_c , menurut SNI 2847:2013 pasal 8.5.1 adalah

$$\begin{aligned} E_{cb} &= 4700\sqrt{f_c} \\ &= 4700\sqrt{30} \end{aligned}$$

$$= 25743 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} E_{cs} &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25743 \text{ MPa} \end{aligned}$$

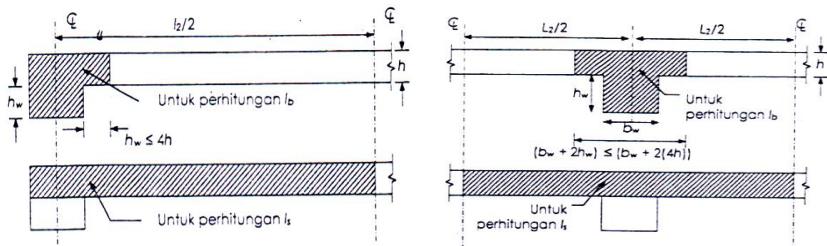


Gambar 4.3. b_{ef} , menurut SNI 2847:2013 Gambar S13.2.4

b_{ef} , menurut SNI 2847-2013 gambar S13.2.4 adalah

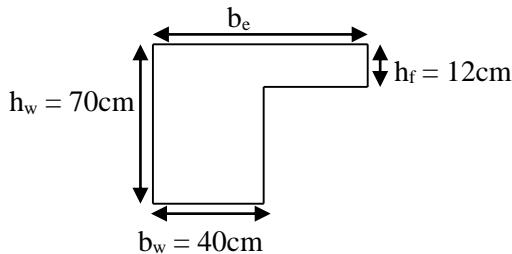
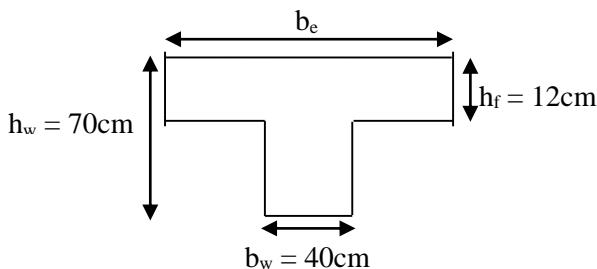
$$\begin{aligned} \text{Eksterior} &= h_b \leq h_f \\ &70 - 12 \leq 4 \times 12 \\ &58 \geq 48 \text{ cm TAK OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Interior} &= b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f \\ &70 + 2 \times 58 \leq 70 + 8 \times 12 \\ &186 \geq 166 \text{ cm TAK OK} \end{aligned}$$



Gambar 4.4. Inersia Menurut Iswandi Imran dan Fajar Hendrik, 2014

$$\begin{aligned} k, \\ \text{Eksterior} &= 1.2 \\ \text{Interior} &= 1.8 \end{aligned}$$

**Gambar 4.5.** Balok Eksterior**Gambar 4.6.** Balok Interior**Tabel 4.3.** Inersia Balok

Posisi	A_1 (cm^2)	A_2 (cm^2)	Y_A (cm)	Y_B (cm)
Eksterior	576	2320	34	36
Interior	1992	2320	25	45

Posisi	I_{x1} (cm^4)	I_{x2} (cm^4)	I_{xtotal} (cm^4)
Eksterior	459744	762801	1222545
Interior	3438117	1256893	4695011

 I_{xb} ,

$$\begin{aligned}
 \text{Eksterior} \quad &= k \left(\frac{1}{12} b_w h^3 + c^2 b h \right) \\
 &= 1.2 \times 1222545 \\
 &= 1442578.29 \text{cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Interior} &= k \left(\frac{1}{12} b_w h^3 + c^2 b h \right) \\ &= 1.8 \times 4696011 \\ &= 8347338.25 \text{cm}^4\end{aligned}$$

 $I_{xs},$

$$\begin{aligned}\text{Memanjang} &= \frac{1}{12} b t^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 660 \times 12^3 \\ &= 95040 \text{cm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Melintang} &= \frac{1}{12} b t^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 360 \times 12^3 \\ &= 51840 \text{cm}^4\end{aligned}$$

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

Tabel 4.4. Rasio Kekutan Lentur

α_f	Eksterior	Interior
Memanjang	15	88
Melintang	28	161

$$\begin{aligned}\alpha_{fm} &= (\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha_{f3} + \alpha_{f4}) / 4 \\ &= (15 + 88 + 28 + 161) / 4 \\ &= 73\end{aligned}$$

$$\alpha_{fm} > 2.0$$

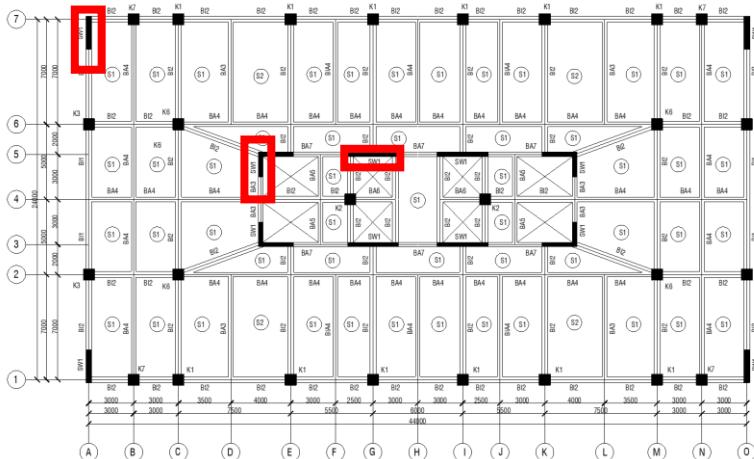
$$\begin{aligned}h_{min} &= \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm} \\ &= \frac{6600 \left(0.8 + \frac{390}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1.8} \geq 90 \text{ mm} \\ &= 136 \geq 90 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

Dimensi yang dipakai 150 mm

Tabel 4.5. Rekapitulasi Dimensi Pelat

Kode	t (mm)	l _x (mm)	l _y (mm)
S1A	120	3000	7000
S1B	120	3000	5000
S1C	120	3500	7000
S1D	120	2000	7500
S1E	120	5000	5500
S1F	120	2500	7000
S1G	120	2000	5500
S1H	120	2000	3000
S1I	120	2000	6000
S1J	120	3000	6000
S2A	150	4000	7000
S3B	150	1400	2800
S3C	150	1400	3000

4.1.5 Perencanaan Dimensi Dinding Geser

**Gambar 4.7.** Denah Dinding Geser

Dinding geser menurut SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.1 adalah

$$t \geq h/25$$

$$t \geq l/25$$

$$t \geq 100 \text{ mm}$$

dimana,

h = Tinggi antar lantai

l = Lebar antar kolom

t = Tebal dinding geser

Dimensi yang direncanakan 300mm

$$\begin{aligned} t &\geq h/25 \\ &\geq 3400/25 \end{aligned}$$

$$300\text{mm} \geq 140\text{mm}$$

$$\begin{aligned} t &\geq l/25 \\ &\geq 3000/25 \end{aligned}$$

$$300\text{mm} \geq 120\text{mm}$$

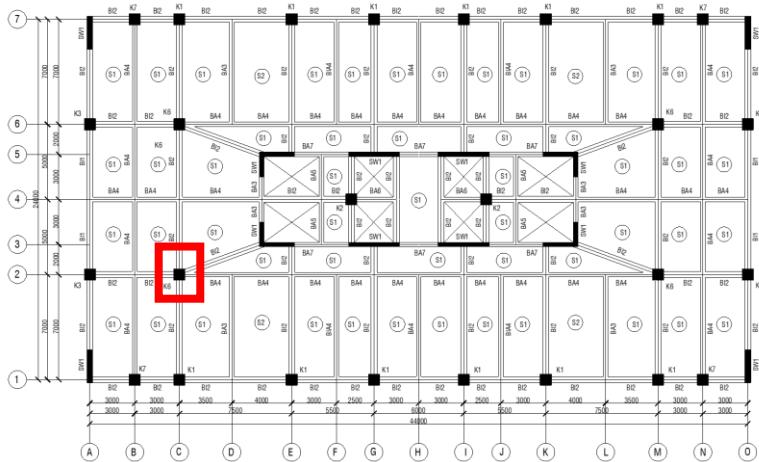
$$\begin{aligned} t &\geq 100 \text{ mm} \\ 300\text{mm} &\geq 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi yang dipakai 300mm

Tabel 4.6. Rekapitulasi Dimensi Dinding Geser

Kode	t (mm)	h_w (mm)	l_w (mm)
SW1	400	3400	2000
SW2	300	3400	1500/2000
SW3	300	3400	3000

4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom



Gambar 4.8. Denah Kolom

Kolom merupakan penyangga dari pelat lantai dan balok diatasnya. Dimensi kolom dihitung menggunakan beban tributari area yaitu beban pelat dan balok diambil setengah bentang ke arah kanan - kiri dan depan - belakang. Dipilih tributari area kolom yang memiliki luas yang paling besar.

Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300mm menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.1.1, rasio dimensi penampang tidak boleh kurang dari 0.4 menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.1.2 dan ϕP_n lebih dari $0.1 A_g f_c'$ atau dengan pendekatan

$$A_g = \frac{W}{\phi \times f_c'}$$

dimana,

Φ = 0.65 menurut SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.2

W = Beban aksial yang diterima

f_c' = Mutu beton

1. Beban lantai atap

-Beban mati	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Berat beton bertulang					
Pelat	2400	6.50	8.50	0.12	15912
Balok induk memanjang	2400	5.93	0.40	0.70	3982
Balok induk melintang	2400	8.50	0.40	0.70	5712
Balok anak memanjang	2400	6.75	0.30	0.70	3402
Balok anak melintang	2400	6.00	0.30	0.70	3024
Kolom tengah	2400	1.70	0.70	0.75	2142
MEP	19	6.50	8.50		1050
Penggantung plafon	8	6.50	8.50		442
Plafon	8.4	6.50	8.50		463
Waterproof	2.8	6.50	8.50		155
				Total	36283

-Beban hidup	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Air hujan	30.0	6.50	8.50		1658
Lantai atap	96.0	6.50	8.50		5304
				Total	6962

2. Beban lantai 2-9

-Beban mati	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Berat beton bertulang					
Pelat	2400	6.50	8.50	0.12	15912
Balok induk memanjang	2400	5.93	0.40	0.70	3982
Balok induk melintang	2400	8.50	0.40	0.70	5712
Balok anak memanjang	2400	6.75	0.30	0.70	3402
Balok anak melintang	2400	6.00	0.30	0.70	3024
Kolom tengah	2400	3.40	0.70	0.75	4284
Tembok setengah bata					
Arah memanjang	600	12.68	0.15	3.40	3879
Arah melintang	600	14.50	0.15	3.40	4437
Adukan finishing					
Arah memanjang	1850	12.68	3.40	0.02	1276
Arah melintang	1850	14.50	3.40	0.02	1459
Spesi keramik	1950	6.50	8.50	0.02	2155
Tegel	16	6.50	8.50		884
MEP	19	6.50	8.50		1050
Penggantung plafon	8	6.50	8.50		442
Plafon	8.4	6.50	8.50		463
				Total	52360

-Beban hidup	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Lantai ruangan	192	6.50	8.50		10608
				Total	10608

3. Beban lantai 1

-Beban mati	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Berat beton bertulang					
Pelat	2400	6.50	8.50	0.12	15912
Balok induk memanjang	2400	6.50	0.40	0.70	4368
Balok induk melintang	2400	8.50	0.40	0.70	5712
Balok anak memanjang	2400	8.50	0.30	0.70	4284
Balok anak melintang	2400	6.00	0.30	0.75	3024
Kolom tengah	2400	5.10	0.70	0.75	6426
Tembok setengah bata					
Arah memanjang	600	6.50	0.15	3.40	1989
Arah melintang	600	14.50	0.15	3.40	4437
Adukan finishing					
Arah memanjang	1850	6.50	3.40	0.02	654
Arah melintang	1850	14.50	3.40	0.02	1459
Spesi keramik	1950	6.50	8.50	0.02	2155
Tegel	16	6.50	8.50		884
MEP	19	6.50	8.50		1050
Penggantung plafon	8	6.50	8.50		442
Plafon	8.4	6.50	8.50		463
				Total	53259

-Beban hidup	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Lantai ruangan	192	6.50	8.50		10608
				Total	10608

$$W_d = 508421 \text{ kg}$$

$$W_l = 102434 \text{ kg}$$

$$W_u = 1.2 W_d + 1.6 W_l$$

$$= 1.2 \times 508421 + 1.6 \times 102434$$

$$= 773999 \text{ kg}$$

$$A_g = \frac{w}{\phi \times f_c'}$$

$$= \frac{773999}{0.65 \times 350}$$

$$= 3402 \text{ cm}^2$$

Dimensi yang direncanakan 700/750mm

$$\begin{aligned} A_g \text{ rencana} &= b \times h \\ &= 70 \times 75 \\ &= 5250 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &< A_g \text{ rencana} \\ 3402 &< 5250 \text{ cm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &\geq A_g f_c / 10 \\ 773999 &\geq 5250 \times 350 / 10 \\ 773999 &\geq 183750 \text{ kg OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{\min} &\geq 300 \text{ mm} \\ 700 &\geq 300 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b / h &\geq 0.4 \\ 70 / 75 &\geq 0.4 \\ 0.9 &\geq 0.4 \text{ OK} \end{aligned}$$

Tabel 4.7. Rekapitulasi Dimensi Kolom

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
K1	700	750	3400

4.2 Permodelan dan Pembebatan Struktur

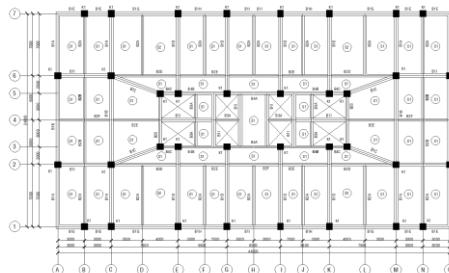
4.2.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebatan gravitasi maupun pembebatan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebatan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2013, ASCE 7-05 dan SNI 2847:2013, dan pembebatan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

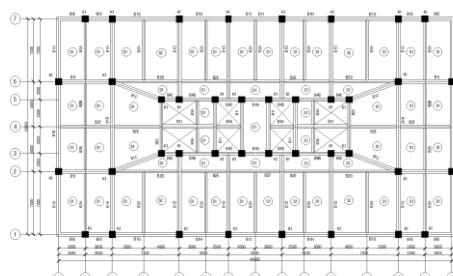
4.2.2 Permodelan Struktur

Dalam perhitungan analisis beban gempa perlu suatu pemodelan struktur. Struktur pemodelan gedung memiliki total 10 lantai dengan tinggi total gedung $\pm 34\text{m}$. Pemodelan gedung berlokasi di Surabaya.

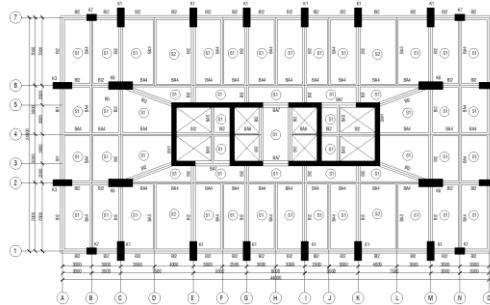
Permodelan struktur pertama didesain menggunakan SRPMK dengan memodelkan posisi dan dimensi kolom sesuai as denah yang tersedia. Kemudian dilakukan desain menggunakan sistem ganda antara SRPMK dan SDSK. Pada sistem ganda ini menggunakan beberapa permodelan penempatan posisi dinding geser sesuai as denah yang tersedia, sehingga didapatkan kondisi sesuai standart yang ditetapkan. Setelah didapatkan hasil analisa struktur antara SRPMK dan sistem ganda, maka ditentukan sistem yang paling aman, nyaman, stabil, dan ekonomis.



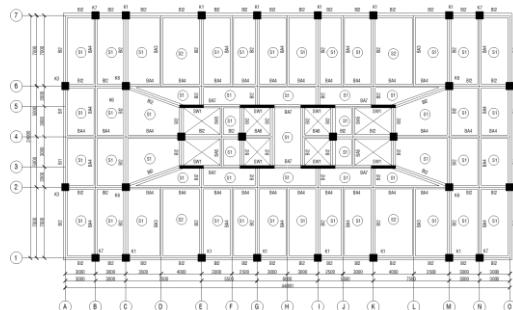
Gambar 4.9. Permodelan Struktur SRPMK Denah 1



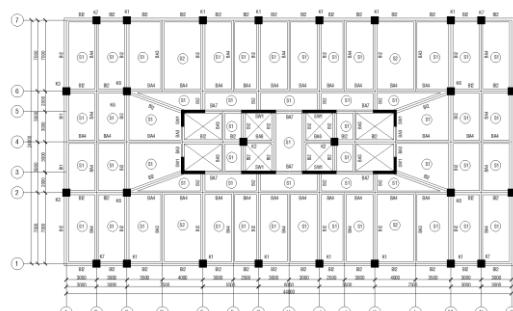
Gambar 4.10. Permodelan Struktur SRPMK Denah 2



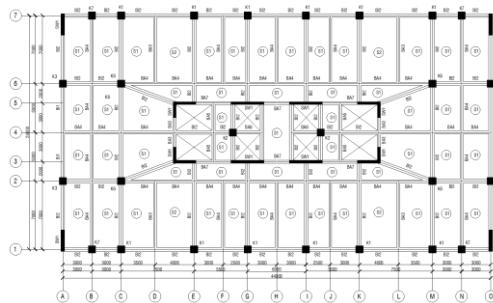
Gambar 4.11. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 1



Gambar 4.12. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 2



Gambar 4.13. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 3



Gambar 4.14. Permodelan Struktur Sistem Ganda Denah 4

4.2.3 Pembebaan Struktur

4.2.3.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727:2013 pasal 3.1.1 dan pasal 3.1.2.

Tabel 4.8. Beban Mati

Berat beton bertulang	=	2400	kg/m ³
Adukan finishing dinding (Merk MU 290,tebal 8mm)	=	1850	kg/m ³
Spesi keramik (Merk MU 440, tebal 20mm)	=	1950	kg/m ³
Tegel (Merk impresso, dimensi 83x400x400mm)	=	16	kg/m ²
Tembok setengah bata (Merk citicon, dimensi 150x200x600mm)	=	600	kg/m ³
MEP (ASCE 7-05)	=	19	kg/m ²
Penggantung plafon (Intallasi PT bora)	=	8	kg/m ²
Plafon (Merk ekaboard 6R4,dimensi 6x1220x2440mm)	=	8.4	kg/m ²
Lift (Merk hyundai luxen) (R1 = 15100kg, R2 = 8100kg)	=	23200	kg

Waterproof (Merk sika sikalastic 560, tebal 1.3mm)	=	2.8	kg/m ²
---	---	-----	-------------------

4.2.3.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013 tabel 4-1.

Tabel 4.9.Beban Hidup

Lantai atap	=	96	kg/m ²
Lantai ruangan	=	192	kg/m ²
Koridor	=	479	kg/m ²
Tangga	=	612	kg/m ²
Bordes	=	479	kg/m ²
Hujan	=	30	kg/m ²

4.2.3.3 Beban Hujan

Menurut SNI 1727:2013 pasal 8.3.

$$\begin{aligned} R &= 0.0098 (d_s + d_h) \\ &= 0.0098 (15 + 15) \\ &= 0.294 \text{ kN/m}^2 \\ &= 30 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.3.4 Beban Angin

Menurut SNI 1727:2013 pasal 26 terdapat beberapa faktor dalam perencanaan beban angin, meliputi:

- a. Kecepatan angin (V), pada

http://meteojuanda.info/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=11

$$\begin{aligned} V &= 30 \text{ km/jam} \\ &= 8.3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- b. Faktor arah angin (K_d), pada tabel 26.6.1

Tabel 4.10. Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung Sistem Penahan Beban Angin Utama Komponen dan Kladding Bangunan Gedung	0,85 0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama Segi empat Segi enam Bundar	0,90 0,95 0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85 0,85
Rangka batang menara Segi tiga, segi empat, persegi panjang Penampang lainnya	0,85 0,95

- c. Kategori eksposur B, pada pasal 26.7.2
- d. Kategori topografi (K_{zt}), pada gambar 26.8.1
 $K_{zt} = 1$
- e. Faktor efek tiupan angina (G), pada pasal 26.9.1
 $G = 0.85$
- f. Klasifikasi ketertutupan, pada pasal 26.10
 Bangunan gedung tertutup
- g. Koefisien tekan internal (GC_{pi}), pada tabel 26.11.1

Tabel 4.11. Koefisien Tekan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

- h. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h), pada tabel 27.3-1

Tabel 4.12. Koefisien Eksposure

Tinggi di atas level tanah, z ft	(m)	Eksposur		
		B	C	D
0-15	(0-4.6)	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.81	1.09	1.27
60	(18)	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.56	1.77	1.89

- i. Tekanan velositas (q_z), pada pasal 27.3.2

$$\begin{aligned} q_z &= 0.613 \times 1.02 \times 1 \times 0.85 \times 8.3^2 \\ &= 37 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

- j. Koefisien tekan eksternal (C_p), pada gambar 27.4-1

$$\begin{aligned} L / B &= 44 / 24 \\ &= 1.8 \end{aligned}$$

Tabel 4.13. Koefisien Tekan Dinding

Permukaan	Koefisien tekanan dinding, C_p		Digunakan dengan
	L/B	C_p	
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0.8	q_z
	0 - 1	-0.5	q_n
	2	-0.3	
Dinding di sisi angin pergi	≥ 4	-0.2	q_n
	Seluruh nilai	-0.7	

Tabel 4.14. Kofisien Tekan Atap

Arah angin		Koefisien tekanan atap, C_p , untuk digunakan dengan q_a									
		Di sisi angin datang Sudut, θ (derajat)						Di sisi angin pergi Sudut, θ (derajat)			
		h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10
Tegak lurus terhadap bumbungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,3	0,0* 0,4	0,4 0,4	0,016	-0,3 -0,5	-0,5 -0,5	-0,6
	0,5	-0,9 -0,18	-0,7 0,0*	-0,4 0,2	-0,3 0,2	-0,2 0,3	0,0 0,4	0,016	-0,5 -0,7	-0,5 -0,6	-0,6
	$\geq 1,0$	-1,3** -0,18	-1,0 -0,18	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,4	0,016	-0,7 -0,7	-0,6 -0,6	-0,6
		Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang		C_p							
Tegak lurus terhadap bumbungan untuk $\theta < 10^\circ$ sejajar bumbungan untuk semua θ	$\leq 0,5$	0 sampai dengan $h/2$	-0,9 -0,18								* Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.
		$h/2$ sampai dengan h	-0,9 -0,18								** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai bentuk ini.
		h sampai dengan $2h$	-0,5 -0,18								
		$> 2h$	-0,3 -0,18								
	$\geq 1,0$	0 sampai dengan $h/2$	-1,3** -0,18								Luas (ft²)
		$> h/2$	-0,7 -0,18								Faktor reduksi
											≤ 100 (9,3 m ²)
											1,0
											250 (23,2 m ²)
											0,9
											≥ 1000 (92,9 m ²)
											0,8

k. Tekanan angin desain (p), pada pasal 27.4.1

$$p = q G C_p - q_i (G C_{pi})$$

Dinding

$$\text{a. Sisi angin datang} = 25 \text{ N/m}^2$$

$$\text{b. Sisi angin pergi} = -9.4 \text{ N/m}^2$$

$$\text{c. Tepi} = -22 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Atap} = 0 \text{ N/m}^2$$

menurut pasal 27.1.5

$$p_{\min} = 77 \text{ kg/m}^2$$

4.2.3.5 Beban Gempa

Menurut SNI 1726:2012 terdapat beberapa faktor dalam perencanaan beban gempa, meliputi:

- Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung, pada tabel 1.

Tabel 4.15. Kategori Resiko Bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <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

b. Faktor keutamaan (I_e) gempa, pada tabel 2

Tabel 4.16. Faktor Keutamaan

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

c. Klasifikasi kelas situs pada tabel 3 diolah dari data tanah

Tabel 4.17. Hasil Analisa Tanah

Lapisan No.	Klasifikasi USCS ASTM 2487	Kohesifitas	Ni (blow/ m)	di (m)	di / Ni
1	Lempung berlanau	Kohesif	12	2	6.0
2	Lempung berlanau	Kohesif	16	2.5	6.4
3	Lempung berlanau	Kohesif	15	12	1.3
4	Lempung berlanau	Kohesif	24	33.5	0.7
5	Lempung berlanau	Kohesif	31	30	1.0
		Total =	80	15.4	

Tabel 4.18. Klasifikasi kelas situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{st}	$\bar{\sigma}_v$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

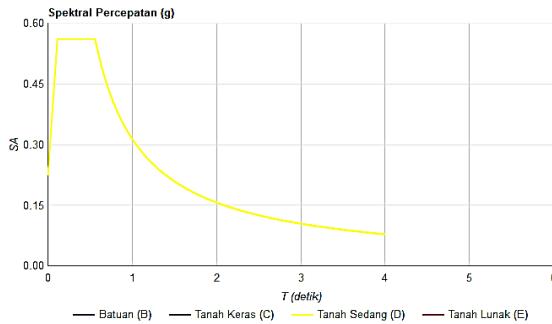
d. Parameter gempa

Diambil dari,

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

Tabel 4.19. Data Grafik Respon Spektrum Dari puskim.pu.go.id

T puskim (detik)	T (detik)	SA	T puskim (detik)	T (detik)	SA	T puskim (detik)	T (detik)	SA		
0	0.000	0.224	1.3	T _S +1.2	1.760	0.169	2.8	T _S +2.7	3.260	0.093
T ₀	0.112	0.561	1.4	T _S +1.3	1.860	0.160	2.9	T _S +2.8	3.360	0.091
T _S	0.560	0.561	1.5	T _S +1.4	1.960	0.152	3	T _S +2.9	3.460	0.088
0.1	T _S +0	0.570	1.6	T _S +1.5	2.060	0.145	3.1	T _S +3	3.560	0.086
0.2	T _S +0.1	0.660	1.7	T _S +1.6	2.160	0.139	3.2	T _S +3.1	3.660	0.084
0.3	T _S +0.2	0.760	1.8	T _S +1.7	2.260	0.133	3.3	T _S +3.2	3.760	0.081
0.4	T _S +0.3	0.860	1.9	T _S +1.8	2.360	0.128	4	T _S +3.3	3.860	0.079
0.5	T _S +0.4	0.960	2	T _S +1.9	2.460	0.123			4.560	0.078
0.6	T _S +0.5	1.060	2.1	T _S +2	2.560	0.118				
0.7	T _S +0.6	1.160	2.2	T _S +2.1	2.660	0.114				
0.8	T _S +0.7	1.260	2.3	T _S +2.2	2.760	0.110				
0.9	T _S +0.8	1.360	2.4	T _S +2.3	2.860	0.106				
1	T _S +0.9	1.460	2.5	T _S +2.4	2.960	0.103				
1.1	T _S +1	1.560	2.6	T _S +2.5	3.060	0.099				
1.2	T _S +1.1	1.660	2.7	T _S +2.6	3.160	0.096				

**Gambar 4.15.** Grafik Respon Spektrum Dari puskim.pu.go.id**Tabel 4.20.** Data Analisa Faktor Gempa Dari puskim.pu.go.id

PGA (g)	0.325
S _g (g)	0.663
S _f (g)	0.247
C _{RS}	0.991
C _{RI}	0.929
F _{PGA}	1.175
F _A	1.270
F _V	1.906
PSA (g)	0.382
S _{MS} (g)	0.842
S _{SM} (g)	0.471
S _{D5} (g)	0.561
S _{D1} (g)	0.314
T ₀ (detik)	0.112
T _S (detik)	0.560

e. Koefisien modifikasi respon (R), pada table 9

Tabel 4.21. Koefisien Modifikasi Respon (R)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respon, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^{ε}	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 pemukul 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 konsentrifis khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB

4.3 Analisa Struktur

Hasil analisa struktur SRPMK dan sistem ganda sebagai berikut:

Tabel 4.22. Data Perencanaan SRPMK dan Sistem Ganda

Data Perencanaan No	1	1_A	2	3	4
Mutu Baja	BJTP40	BJTP40	BJTP40	BJTD40	BJTD40
Mutu Beton	f _{c'} 30	f _{c'} 30	f _{c'} 30		f _{c'} 30
Selimut					
-Plat	20mm	20mm	20mm	20mm	20mm
-Balok	50mm	50mm	50mm	50mm	50mm
-Kolom	50mm	50mm	50mm	50mm	50mm
Dimensi Elemen					
-Plat (t)					
S1	120mm	120mm	120mm	120mm	120mm
S2	150mm	150mm	150mm	150mm	150mm
-Dinding Geser (t)					
SW1			300mm	300mm	
SW2			-	400mm	
-Balok (b/h)					
B1	400/700mm	400/700mm	400/700mm	400/700mm	400/700mm
B2	300/700mm	300/700mm	300/700mm	300/700mm	300/700mm
B3	300/400mm	300/400mm	300/400mm	300/400mm	300/400mm
B4	300/900mm	400/950mm	300/900mm	300/900mm	300/900mm
-Kolom (b/h)					
K1	700/750mm	1000/1000mm	700/750mm	700/750mm	700/750mm
K2	-	-	-	700/750mm	700/750mm

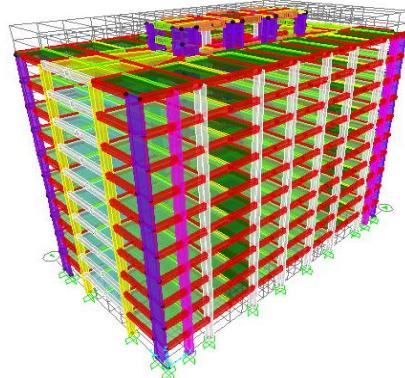
Tabel 4.23. Hasil Analisa Struktur SRPMK

No	Kode	Periode Fundamental (detik)	Arah Gerak Modal 1	Keterangan
1	Denah Lantai Tipe 1	1.42	Modal 1,Y	27 Elemen Tidak Ok
2	Denah Lantai Tipe 1_A	1.29	Modal 1,Y	5 Elemen Tidak Ok
3	Denah Lantai Tipe 2	1.37	Modal 1,Y	86 Elemen Tidak Ok

Tabel 4.24. Hasil Analisa Struktur Sistem Ganda

No	Kode	Periode Fundamental (detik)	Arah Gerak Modal 1	Gaya Pada Sistem Ganda (%)
1	Denah Lantai	0.76	Modal 1,Y	X (SRMPK = 0.12 , SDK = 0.88) Y (SRMPK = 0.10 , SDK = 0.90)
2	Denah Lantai Tipe D	1.46	Modal 1,Y	X (SRMPK = 0.63 , SDK = 0.37) Y (SRMPK = 0.11 , SDK = 0.89)
3	Denah Lantai Tipe D_D	1.43	Modal 1,Y	X (SRMPK = 0.65 , SDK = 0.35) Y (SRMPK = 0.36 , SDK = 0.64)
4	Denah Lantai Tipe D_D_C	1.35	Modal 1,Y	X (SRMPK = 0.35 , SDK = 0.65) Y (SRMPK = 0.47 , SDK = 0.53)

Dari hasil analisa tersebut, SRPMK tidak memenuhi kriteria dikarenakan hingga kolom 1000x1000mm masih terdapat elemen yang merah dalam analisa komputer(SAP2000) dan bilamana dipaksakan menggunakan dimensi kolom lebih besar lagi, maka akan mengganggu fungsi dari ruangan desain. Kemudian struktur yang dipakai adalah sistem ganda dengan denah nomer 4, dikarenakan memenuhi syarat SRPM menahan min 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja. Selanjutnya dari denah tersebut dilakukan kembali analisa antara kondisi eksisting dan kondisi desain.

**Gambar 4.16.** Permodelan SAP2000

4.3.1 Kontrol Pembebanan Gravitasi

Pembebanan Gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang bekerja pada gedung.

Dari analisa yang telah dilakukan berikut adalah rekap pembebanan gravitasi manual.

1. Beban lantai atas

-Beban mati	Berat	p (m)	l (m)	t (m)	Beban (kg)
Berat beton bertulang					
Pelat atap	2400	44.00	24.00	0.12	247680
	2400	14.00	8.00	0.15	40320
Pelat penutup	2400	21.00	6.00	0.12	36288
Balok induk memanjang	2400	147.40	0.40	0.70	99053
Balok induk melintang	2400	184.00	0.40	0.70	123648
Balok penutup memanjang	2400	12.00	0.40	0.70	8064
Balok penutup melintang	2400	24.00	0.40	0.70	16128
Balok tinggi	2400	44.00	0.30	0.90	28512
Balok pembatas lift	2400	12.00	0.30	0.40	3456
Balok bordes	2400	24.00	0.30	0.40	6912
Balok anak memanjang	2400	87.00	0.30	0.70	43848
Balok anak melintang	2400	124.00	0.30	0.70	62496
Balok lift	2400	12.00	0.40	0.70	8064
Kolom dalam	2400	10.20	0.70	0.75	12852
Kolom tengah	2400	6.80	0.70	0.75	8568
Kolom luar	2400	34.00	0.70	0.75	42840
Balok tangga	2400	9.00	0.30	0.70	4536
Pelat tangga	2400	2.80	3.00	0.15	3024
Bordes	2400	1.40	3.00	0.15	1512
Dinding pembatas memanjang	2400	88.00	1.00	0.15	31680
Dinding pembatas melintang	2400	48.00	1.00	0.15	17280
Dinding geser dalam	2400	26.00	0.30	5.10	95472
Dinding geser luar	2400	8.00	0.40	1.70	13056
Pegangan tangga D2"x5.5mm	33.04	2.80	3.00		278
Tembok setengah bata					
Arah memanjang	600	222.40	1.70	0.15	34027
Arah melintang	600	262.00	1.70	0.15	40086
Adukan finishing					
Arah memanjang	1850	222.40	1.70	0.02	11191
Arah melintang	1850	262.00	1.70	0.02	13184
Spesi keramik bordes	1950	1.40	3.00	0.02	164
Spesi keramik anak tangga	1950	2.80	3.00	0.02	328
Tegel bordes	16	1.40	3.00		67
Tegel anak tangga	16	2.80	3.00		134
MEP	19	44.00	24.00		20862

MEP	19	44.00	24.00		20862
Pengantung plafon	8	44.00	24.00		8784
Plafon	8	44.00	24.00		9207
Waterproof	3	44.00	24.00		3074
Lift	46400				46400
				Total	1143075

-Beban hidup	Berat	p (m)	l(m)	t (m)	Beban (kg)
Air hujan	30	44.00	24.00		32940
Lantai atap	96	44.00	24.00		105408
Tangga	612	2.80	3.00		5141
Bordes	479	1.40	3.00		2012
				Total	145501

2. Beban lantai 2-9

-Beban mati	Berat	p (m)	l(m)	t (m)	Beban (kg)
Berat beton bertulang					
Pelat	2400	44.00	24.00	0.12	247680
	2400	14.00	8.00	0.15	40320
Balok induk memanjang	2400	147.40	0.40	0.70	99053
Balok induk melintang	2400	184.00	0.40	0.70	123648
Balok tinggi	2400	22.00	0.30	0.90	14256
Balok pembatas lift	2400	6.00	0.30	0.40	1728
Balok bordes	2400	12.00	0.30	0.40	3456
Balok anak memanjang	2400	87.00	0.30	0.70	43848
Balok anak melintang	2400	124.00	0.30	0.70	62496
Kolom dalam	2400	6.80	0.70	0.75	8568
Kolom tengah	2400	13.60	0.70	0.75	17136
Kolom luar	2400	68.00	0.70	0.75	85680
Balok tangga	2400	6.00	0.30	0.70	3024
Pelat tangga	2400	2.80	6.00	0.15	6048
Bordes	2400	1.40	6.00	0.15	3024
Dinding geser dalam	2400	26.00	0.30	3.40	63648
Dinding geser luar	2400	8.00	0.40	3.40	26112
Pegangan tangga D2"x5.5mm	33.04	2.80	6.00		555
Tembok setengah bata					
Arah memanjang	600	218.40	3.40	0.15	66830
Arah melintang	600	262.00	3.40	0.15	80172
Adukan finishing					
Arah memanjang	1850	218.40	3.40	0.02	21980
Arah melintang	1850	262.00	3.40	0.02	26368
Spesi keramik	1950	44.00	24.00	0.02	37908
Spesi keramik bordes	1950	1.40	6.00	0.02	328
Spesi keramik anak tangga	1950	2.80	6.00	0.02	655
Tegel	16	44.00	24.00		15552
Tegel bordes	16	1.40	6.00		134

Tegel anak tangga	16	2.80	6.00		269
MEP	19	44.00	24.00		18468
Pengantung plafon	8	44.00	24.00		7776
Plafon	8	44.00	24.00		8150
				Total	1134870

-Beban hidup	Berat	p (m)	l(m)	t (m)	Beban (kg)
Lantai ruangan	192	44.00	24.00		158208
Koridor	479	32.00	2.00		50774
Tangga	612	2.80	6.00		10282
Bordes	479	1.40	6.00		4024
				Total	223287

3. Beban lantai 1

-Beban mati	Berat	p (m)	l(m)	t (m)	Beban (kg)
Berat beton bertulang					
Pelat	2400	44.00	24.00	0.12	247680
	2400	14.00	8.00	0.15	40320
Balok induk memanjang	2400	147.40	0.40	0.70	99053
Balok induk melintang	2400	184.00	0.40	0.70	123648
Balok tinggi	2400	22.00	0.30	0.90	14256
Balok pembatas lift	2400	6.00	0.30	0.40	1728
Balok bordes	2400	12.00	0.30	0.40	3456
Balok anak memanjang	2400	87.00	0.30	0.70	43848
Balok anak melintang	2400	124.00	0.30	0.70	62496
Kolom dalam	2400	10.20	0.70	0.75	12852
Kolom tengah	2400	20.40	0.70	0.75	25704
Kolom luar	2400	102.00	0.70	0.75	128520
Balok tangga	2400	9.00	0.30	0.70	4536
Pelat tangga	2400	2.80	9.00	0.15	9072
Bordes	2400	1.40	9.00	0.15	4536
Dinding geser dalam	2400	26.00	0.30	5.10	95472
Dinding geser luar	2400	8.00	0.40	5.10	39168
Pegangan tangga D2"x5.5mm	33.04	2.80	9.00		833
Tembok setengah bata					
Arah memanjang	600	211.40	3.40	0.15	64688
Arah melintang	600	262.00	3.40	0.15	80172
Adukan finishing					
Arah memanjang	1850	211.40	3.40	0.02	21275
Arah melintang	1850	262.00	3.40	0.02	26368
Spesi keramik	1950	44.00	24.00	0.02	37908
Spesi keramik bordes	1950	1.40	9.00	0.02	491
Spesi keramik anak tangga	1950	2.80	9.00	0.02	983
Tegel	16	44.00	24.00		15552
Tegel bordes	16	1.40	9.00		202
Tegel anak tangga	16	2.80	9.00		403

Tegel	16	44.00	24.00		15552
Tegel bordes	16	1.40	9.00		202
Tegel anak tangga	16	2.80	9.00		403
MEP	19	44.00	24.00		18468
Penggantung plafon	8	44.00	24.00		7776
Plafon	8	44.00	24.00		8150
				Total	1239614

-Beban hidup	Berat	p (m)	l(m)	t (m)	Beban (kg)
Lantai ruangan	192	44.00	24.00		158208
Koridor	479	32.00	2.00		50774
Tangga	612	2.80	9.00		15422
Bordes	479	1.40	9.00		6035
				Total	230440

Tabel 4.25. Rekapitulasi Pembebatan Gravitasi Manual

Lantai	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)
Total	11461647	2162238
D+L		13623885

Tabel 4.26. Rakapitulasi Pembebatan Gravitasi SAP2000

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
D+L	Combination		0	0	13888524

$$W_{\text{total manual}} < W_{\text{total SAP2000}}$$

$$13623885 < 13888524 \text{ kg OK}$$

Selisih perhitungan manual dengan SAP2000 adalah 1.9%

4.3.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Periode fundamental pendekatan menurut SNI 1726:2012, tabel 15 dan 14 adalah

$$T_a = C_t h_n^x$$

dimana,

T_a = Periode fundamental pendekatan

C_t = Koefisien pendekatan

x = Koefisien pendekatan

h_n = Ketinggian struktur

Tabel 4.27. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dilibungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488^a	0,75

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0488 \times 34^{0,75} \\ &= 0,69 \text{detik} \end{aligned}$$

$$T_{a \max} = T_a C_u$$

dimana,

C_u = Koefisien batas atas pendekatan

Tabel 4.28. Koefisien Batas Atas Pendekatan C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$\begin{aligned} T_{a \ max} &= 0,69 \times 1,4 \\ &= 0,96 \text{detik} \end{aligned}$$

Tabel 4.29. Rekapitulasi Periode SAP2000 Eksisting

TABLE: Modal Periods And Frequencies

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
			Sec	Cyc/sec
Text	Text	Unitless		
MODAL	Mode	1	1.339	0.747
MODAL	Mode	2	1.053	0.949
MODAL	Mode	3	0.409	2.444
MODAL	Mode	4	0.318	3.143
MODAL	Mode	5	0.214	4.674
MODAL	Mode	6	0.164	6.080
MODAL	Mode	7	0.134	7.440
MODAL	Mode	8	0.105	9.517
MODAL	Mode	9	0.092	10.878
MODAL	Mode	10	0.084	11.952
MODAL	Mode	11	0.054	18.537
MODAL	Mode	12	0.050	20.085

dimana, menurut SNI 1726:2012, pasal 7.8.2

$$T_a < T_{a\text{ SAP2000}} < T_{a\text{ max}}$$

$$0.69 < 1.34 > 0.96 \text{ detik OK}$$

Tabel 4.30. Rekapitulasi Periode SAP2000 Desain

TABLE: Modal Periods And Frequencies

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
			Sec	Cyc/sec
Text	Text	Unitless		
MODAL	Mode	1	1.288	0.776
MODAL	Mode	2	1.014	0.987
MODAL	Mode	3	0.394	2.540
MODAL	Mode	4	0.306	3.266
MODAL	Mode	5	0.206	4.857
MODAL	Mode	6	0.158	6.318
MODAL	Mode	7	0.129	7.732
MODAL	Mode	8	0.101	9.944
MODAL	Mode	9	0.088	11.305
MODAL	Mode	10	0.077	12.968
MODAL	Mode	11	0.052	19.267
MODAL	Mode	12	0.047	21.496

dimana, menurut SNI 1726:2012, pasal 7.8.2

$$T_a < T_{a\text{ SAP2000}} < T_{a\text{ max}}$$

$$0.69 < 1.29 > 0.96 \text{ detik OK}$$

Penggunaan batasan periode getar pada bangunan di ASCE 7-10 hanya diatur untuk penggunaan metode statik ekuivalen. Metode respon spektrum yang lebih umum digunakan oleh konsultan tidak mensyaratkan pembatasan periode getar. Terlepas

dari itu, penggunaan metode respon spektrum tetap harus di-skalakan dengan metode statik ekuivalen (dengan pembatasan periode getar) dimana minimal hasil gaya geser dasar metode respon spektrum sebesar 85 % dari analisa statik ekuivalen (ASCE 7-10 pasal 12.9.4.1).

SNI Gempa 2002 mengatur pembatasan periode getar agar struktur tidak terlalu flexibel. Oleh karenanya jika persyaratan ini tidak dipenuhi maka struktur wajib diperkuat. Untuk SNI Gempa 2012 pembatasan periode getar digunakan untuk menentukan nilai C_s pada kurva respon spektrum. Jadi bangunan boleh memiliki periode getar lebih dari batasan periode getar asal tetapi menggunakan perhitungan C_s dengan periode getar batasan dan struktur memenuhi syarat kekakuan yang diatur pada tabel 12.12-1 ASCE 7-10.

4.3.3 Kontrol Kombinasi Ragam

Ragam kombinasi menurut SNI 1726:2012, pasal 7.9.3 adalah dua macam metode penjumlahan ragam, yaitu CQC (*Complete Quadratic Combination*) untuk struktur dengan getar alami yang berdekatan (selisih 15%) dan SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*) untuk struktur dengan waktu getar alami yang berjauhan.

Tabel 4.31. Rekapitulasi Kombinasi Ragam Eksisting

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	Selisih	Ragam
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec		
MODAL	Mode	1	1.339	0.747	0.213	SRSS
MODAL	Mode	2	1.053	0.949	0.612	SRSS
MODAL	Mode	3	0.409	2.444	0.222	SRSS
MODAL	Mode	4	0.318	3.143	0.328	SRSS
MODAL	Mode	5	0.214	4.674	0.231	SRSS
MODAL	Mode	6	0.164	6.080	0.183	SRSS
MODAL	Mode	7	0.134	7.440	0.218	SRSS
MODAL	Mode	8	0.105	9.517	0.125	CQC
MODAL	Mode	9	0.092	10.878	0.090	CQC
MODAL	Mode	10	0.084	11.952	0.355	SRSS
MODAL	Mode	11	0.054	18.537	0.077	CQC
MODAL	Mode	12	0.050	20.085	1.000	SRSS

Tabel 4.32. Rekapitulasi Kombinasi Ragam Desain

TABLE: Modal Periods And Frequencies

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	Selisih	Ragam
			Sec	Cyc/sec		
Text	Text	Unitless	1	1.288	0.776	0.213
MODAL	Mode	1	1.014	0.987	0.612	SRSS
MODAL	Mode	2	0.394	2.540	0.222	SRSS
MODAL	Mode	3	0.306	3.266	0.328	SRSS
MODAL	Mode	4	0.206	4.857	0.231	SRSS
MODAL	Mode	5	0.158	6.318	0.183	SRSS
MODAL	Mode	6	0.129	7.732	0.222	SRSS
MODAL	Mode	7	0.101	9.944	0.120	CQC
MODAL	Mode	8	0.088	11.305	0.128	CQC
MODAL	Mode	9	0.077	12.968	0.327	SRSS
MODAL	Mode	10	0.052	19.267	0.104	CQC
MODAL	Mode	11	0.047	21.496	1.000	SRSS
MODAL	Mode	12				

4.3.4 Kontrol Jumlah Ragam Partisipasi Massa

Partisipasi massa menurut SNI 1726:2012, pasal 7.9.1 adalah partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Tabel 4.33. Rekapitulasi Jumlah Ragam Partisipasi Massa SAP2000 Eksisting

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumUX	SumUY
	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	OK / NOT	OK / NOT
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	OK / NOT	OK / NOT
MODAL	1	1.339	0.002	0.764	0E+00	NOT	NOT
MODAL	2	1.053	0.761	0.766	0E+00	NOT	NOT
MODAL	3	0.409	0.761	0.878	0E+00	NOT	NOT
MODAL	4	0.318	0.877	0.878	4E-18	NOT	NOT
MODAL	5	0.214	0.877	0.924	1E-15	NOT	OK
MODAL	6	0.164	0.925	0.924	1E-12	OK	OK
MODAL	7	0.134	0.925	0.95	2E-12	OK	OK
MODAL	8	0.105	0.947	0.95	2E-09	OK	OK
MODAL	9	0.092	0.948	0.97	2E-09	OK	OK
MODAL	10	0.084	0.964	0.97	2E-08	OK	OK
MODAL	11	0.054	0.964	0.995	2E-08	OK	OK
MODAL	12	0.050	0.995	0.995	3E-08	OK	OK

Tabel 4.34. Rekapitulasi Jumlah Ragam Partisipasi Massa SAP2000 Desain

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	OK / NOT	OK / NOT
MODAL	1	1.288	0.002	0.764	0	NOT	NOT
MODAL	2	1.014	0.761	0.766	0	NOT	NOT
MODAL	3	0.394	0.761	0.878	0	NOT	NOT
MODAL	4	0.306	0.877	0.878	0	NOT	NOT
MODAL	5	0.206	0.877	0.924	0	NOT	OK
MODAL	6	0.158	0.925	0.924	0	OK	OK
MODAL	7	0.129	0.925	0.950	0	OK	OK
MODAL	8	0.101	0.949	0.950	0	OK	OK
MODAL	9	0.088	0.949	0.970	0	OK	OK
MODAL	10	0.077	0.966	0.970	0	OK	OK
MODAL	11	0.052	0.966	0.995	0	OK	OK
MODAL	12	0.047	0.995	0.995	0	OK	OK

4.3.5 Kontrol Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar menurut SNI 1726:2012, pasal 7.8.1 adalah

$$V = C_s W$$

dimana,

- ✓ Kondisi Eksisting

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0.56}{\left(\frac{7}{1}\right)} \\ &= 0.08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s \max} &= \frac{S_{DI}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0.31}{0.96 \left(\frac{7}{1}\right)} \\ &= 0.047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s \min} &= 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \\ &= 0.044 \times 0.56 \times 1 \\ &= 0.025 \geq 0.01 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \text{ min} &< C_s < C_s \text{ max} \\ 0.025 &< 0.08 > 0.047 \text{ OK} \end{aligned}$$

C_s yang dipakai 0.034

$$\begin{aligned} W &= D + 0.3L \\ &= 11461647 + 0.3 \times 2162238 \\ &= 12110318\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= C_s W \\ &= 0.047 \times 12110318 \\ &= 564716\text{kg} \end{aligned}$$

Tabel 4.35. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Eksisting

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA DINAMIS X	416060	104317	0
BEBAN GEMPA DINAMIS Y	127537	336578	0

dimana, menurut SNI 1726:2012, pasal 7.9.4

$$V_t > 0.85V$$

Arah X

$$V_t > 0.85V$$

$$416060 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$$

$$416060 < 480009 \text{ kg TAK OK}$$

Arah Y

$$V_t > 0.85V$$

$$336578 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$$

$$336578 < 480009 \text{ kg TAK OK}$$

dikarenakan $V_t > 0.85V$, maka pada masing-masing arah perlu ditambahkan faktor pengali sebesar $0.85V / V_t$

Arah X

$$\begin{aligned} 0.85V / V_t &= 480009 / 416060 \\ &= 1.15 \end{aligned}$$

Arah Y
 $0.85V / V_t = 480009 / 336578$
 $= 1.43$

Tabel 4.36. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Setelah Ditambahkan Faktor Pengali Eksisting

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA DINAMIS X	480133	120382	0
BEBAN GEMPA DINAMIS Y	182378	481307	0

Arah X
 $V_t > 0.85V$
 $480133 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$
 $480133 > 480009 \text{ kg OK}$

Arah Y
 $V_t > 0.85V$
 $481307 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$
 $481307 > 480009 \text{ kg OK}$

✓ Kondisi Desain

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ = \frac{0.56}{\left(\frac{7}{1}\right)} \\ = 0.08$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ = \frac{0.31}{0.96 \left(\frac{7}{1}\right)} \\ = 0.047$$

$$C_{s \min} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \\ = 0.044 \times 0.56 \times 1 \\ = 0.025 \geq 0.01 \text{ OK}$$

$$C_s \text{ min} < C_s < C_s \text{ max}$$

$$0.025 < 0.08 > 0.047 \text{ OK}$$

C_s yang dipakai 0.035

$$W = D + 0.3L$$

$$= 11461647 + 0.3 \times 2162238$$

$$= 12110318\text{kg}$$

$$V = C_s W$$

$$= 0.047 \times 12110318$$

$$= 564716\text{kg}$$

Tabel 4.37. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Desain

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA DINAMIS X	429029	107933	0
BEBAN GEMPA DINAMIS Y	131525	348268	0

dimana, menurut SNI 1726:2012, pasal 7.9.4

$$V_t > 0.85V$$

Arah X

$$V_t > 0.85V$$

$$429029 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$$

429029 < 480009 kg TAK OK

Arah Y

$$V_t > 0.85V$$

$$348268 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$$

348268 < 480009 kg TAK OK

dikarenakan $V_t > 0.85V$, maka pada masing-masing arah perlu ditambahkan faktor pengali sebesar $0.85V / V_t$

Arah X

$$0.85V / V_t = 480009 / 429029$$

$$= 1.12$$

Arah Y
 $0.85V / V_t = 480009 / 348268$
 $= 1.38$

Tabel 4.38. Rekapitulasi Gaya Geser SAP2000 Setelah Ditambahkan Faktor Pengali Desain

TABLE: Base Reactions

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA DINAMIS X	480512	120885	0
BEBAN GEMPA DINAMIS Y	181505	480610	0

Arah X
 $V_t > 0.85V$
 $480512 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$
 $480512 > 480009 \text{ kg OK}$

Arah Y
 $V_t > 0.85V$
 $480160 > 0.85 \times 564716 \text{ kg}$
 $480160 > 480009 \text{ kg OK}$

4.3.6 Kontrol Simpangan

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencahan. Dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, membatasi peretakan beton yang berlebihan.

Simpangan menurut SNI 1726:2012, pasal 7.8.6 adalah

Tabel 4.39. Simpangan Ijin Antar Lantai

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{zx}^c$	$0,020h_{zx}$	$0,015h_{zx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ²	$0,010h_{zx}$	$0,010h_{zx}$	$0,010h_{zx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{zx}$	$0,007h_{zx}$	$0,007h_{zx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{zx}$	$0,015h_{zx}$	$0,010h_{zx}$

$$\Delta_a = 0.020 h_{sx}$$

dimana,

$$\begin{aligned}\Delta_a &= \text{Simpangan batas} \\ h_{sx} &= \text{Tinggi antar lantai}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0.020 \times 3.4 \\ &= 0.068\text{m}\end{aligned}$$

Faktor redundansi (ρ) menurut SNI 1726:2012, pasal 7.3.4 dan 7.12.1.1 adalah

$$\rho = 1.3$$

$$\begin{aligned}\Delta_a / \rho &= 0.068 / 1.3 \\ &= 0.0523\text{m}\end{aligned}$$

$$\delta_x = C_d \delta_{xe} / I_e$$

dimana,

$$\begin{aligned}\delta_x &= \text{Defleksi ditingkat } x \\ C_d &= \text{Faktor pembesaran defleksi} \\ \delta_e &= \text{Defleksi SAP2000} \\ I_e &= \text{Faktor keutamaan}\end{aligned}$$

Tabel 4.40. Rekapitulasi Simpangan SAP2000 (δ_e) Eksisting

Lantai	Joint	U1	U2	U3
1	6	0.0013	0.0005	0.0007
2	188	0.0038	0.0016	0.0012
3	273	0.0069	0.0028	0.0016
4	378	0.0100	0.0041	0.0020
5	478	0.0131	0.0053	0.0022
6	586	0.0160	0.0065	0.0025
7	694	0.0185	0.0074	0.0026
8	801	0.0206	0.0083	0.0027
9	908	0.0224	0.0089	0.0028
10	1084	0.0237	0.0095	0.0028

Tabel 4.41. Hasil Analisa Simpangan Arah x Eksisting

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δ_e (m)	δ_{xe} (m)	Δ_x (m)	Δ_a/ρ (m)	Keterangan
10	34	3.4	0.0237	0.0014	0.0075	0.0523	OK
9	30.6	3.4	0.0224	0.0017	0.0095	0.0523	OK
8	27.2	3.4	0.0206	0.0021	0.0117	0.0523	OK
7	23.8	3.4	0.0185	0.0025	0.0139	0.0523	OK
6	20.4	3.4	0.0160	0.0028	0.0157	0.0523	OK
5	17	3.4	0.0131	0.0031	0.0170	0.0523	OK
4	13.6	3.4	0.0100	0.0032	0.0175	0.0523	OK
3	10.2	3.4	0.0069	0.0030	0.0168	0.0523	OK
2	6.8	3.4	0.0038	0.0025	0.0139	0.0523	OK
1	3.4	3.4	0.0013	0.0013	0.0070	0.0523	OK

Tabel 4.42. Hasil Analisa Simpangan Arah y Eksisting

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δ_e (m)	δ_{xe} (m)	Δ_x (m)	Δ_a/ρ (m)	Keterangan
10	34	3.4	0.0095	0.0005	0.0029	0.0523	OK
9	30.6	3.4	0.0089	0.0007	0.0037	0.0523	OK
8	27.2	3.4	0.0083	0.0008	0.0046	0.0523	OK
7	23.8	3.4	0.0074	0.0010	0.0054	0.0523	OK
6	20.4	3.4	0.0065	0.0011	0.0061	0.0523	OK
5	17	3.4	0.0053	0.0012	0.0067	0.0523	OK
4	13.6	3.4	0.0041	0.0013	0.0070	0.0523	OK
3	10.2	3.4	0.0028	0.0012	0.0069	0.0523	OK
2	6.8	3.4	0.0016	0.0011	0.0058	0.0523	OK
1	3.4	3.4	0.0005	0.0005	0.0029	0.0523	OK

Tabel 4.43. Rekapitulasi Simpangan SAP2000 (δ_e) Desain

Lantai	Joint	U1	U2	U3
1	6	0.0012	0.0005	0.0006
2	188	0.0035	0.0015	0.0011
3	273	0.0064	0.0026	0.0015
4	378	0.0093	0.0038	0.0018
5	478	0.0122	0.0050	0.0021
6	586	0.0148	0.0060	0.0023
7	694	0.0172	0.0069	0.0024
8	801	0.0192	0.0077	0.0025
9	908	0.0208	0.0084	0.0026
10	1084	0.0221	0.0088	0.0026

Tabel 4.44. Hasil Analisa Simpangan Arah x Desain

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δ_e (m)	δ_{xe} (m)	Δ_x (m)	Δ_a/ρ (m)	Keterangan
10	34	3.4	0.0221	0.0013	0.0070	0.0523	OK
9	30.6	3.4	0.0208	0.0016	0.0089	0.0523	OK
8	27.2	3.4	0.0192	0.0020	0.0109	0.0523	OK
7	23.8	3.4	0.0172	0.0023	0.0129	0.0523	OK
6	20.4	3.4	0.0148	0.0026	0.0146	0.0523	OK
5	17	3.4	0.0122	0.0029	0.0158	0.0523	OK
4	13.6	3.4	0.0093	0.0030	0.0163	0.0523	OK
3	10.2	3.4	0.0064	0.0028	0.0156	0.0523	OK
2	6.8	3.4	0.0035	0.0023	0.0129	0.0523	OK
1	3.4	3.4	0.0012	0.0012	0.0065	0.0523	OK

Tabel 4.45. Hasil Analisa Simpangan Arah y Desain

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δ_e (m)	δ_{xe} (m)	Δ_x (m)	Δ_a/ρ (m)	Keterangan
10	34	3.4	0.0088	0.0005	0.0027	0.0523	OK
9	30.6	3.4	0.0084	0.0006	0.0034	0.0523	OK
8	27.2	3.4	0.0077	0.0008	0.0043	0.0523	OK
7	23.8	3.4	0.0069	0.0009	0.0051	0.0523	OK
6	20.4	3.4	0.0060	0.0010	0.0057	0.0523	OK
5	17	3.4	0.0050	0.0011	0.0063	0.0523	OK
4	13.6	3.4	0.0038	0.0012	0.0066	0.0523	OK
3	10.2	3.4	0.0026	0.0012	0.0064	0.0523	OK
2	6.8	3.4	0.0015	0.0010	0.0054	0.0523	OK
1	3.4	3.4	0.0005	0.0005	0.0027	0.0523	OK

4.3.7 Kontrol Sistem Ganda

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1, rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja

Tabel 4.46. Rekapitulasi Sistem Ganda Eksisting

TABLE: Section Cut Forces - Analysis			
SectionCut	OutputCase	F1	Persentase
Text	Text	Kgf	%
SDSK	BEBAN GEMPA X	303660	65
SRPMK	BEBAN GEMPA X	160982	35
Total	BEBAN GEMPA X	464642	100
SectionCut	OutputCase	F2	Persentase
Text	Text	Kgf	%
SDSK	BEBAN GEMPA Y	263937	57
SRPMK	BEBAN GEMPA Y	199909	43
Total	BEBAN GEMPA Y	463846	100

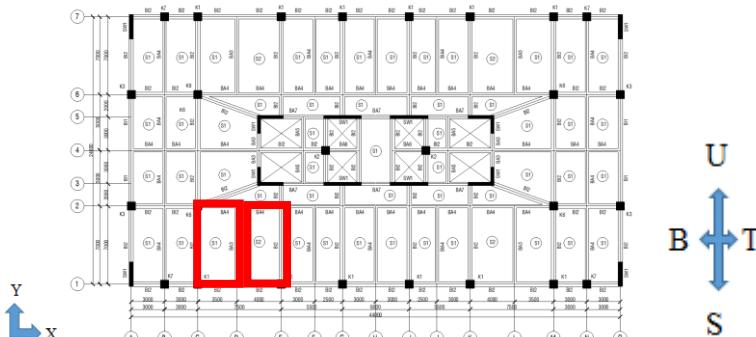
Tabel 4.47. Rekapitulasi Sistem Ganda Desain

TABLE: Section Cut Forces - Analysis			
SectionCut	OutputCase	F1	Persentase
Text	Text	Kgf	%
SDSK	BEBAN GEMPA X	303702	65
SRPMK	BEBAN GEMPA X	161237	35
Total	BEBAN GEMPA X	464939	100
SectionCut	OutputCase	F2	Persentase
Text	Text	Kgf	%
SDSK	BEBAN GEMPA Y	263396	57
SRPMK	BEBAN GEMPA Y	199736	43
Total	BEBAN GEMPA Y	463132	100

4.4 Perencanaan Struktur Sekunder

4.4.1 Perencanaan Plat

4.4.1.1 Data Perencanaan

**Gambar 4.17.** Denah Pelat

1. Dimensi elemen plat

Kode	t (mm)	l _x (mm)	l _y (mm)
S1A	120	3000	7000
S1B	120	3000	5000
S1C	120	3500	7000
S1D	120	2000	7500
S1E	120	5000	5500
S1F	120	2500	7000
S1G	120	2000	5500
S1H	120	2000	3000
S1I	120	2000	6000
S1J	120	3000	6000
S2A	150	4000	7000
S3B	150	1400	2800
S3C	150	1400	3000

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_{c'})

Mutu beton (f_{c'}) menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah >21MPa

$$- f_{c'} = 35 \text{ MPa}, E_c = 27806 \text{ MPa}$$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah <420MPa

- Longitudinal (BJTD40)

$$- f_y = 390 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$- f_u = 488 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

- Transversal (BJTD40)

$$- f_y = 390 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$- f_u = 488 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

3. Tebal selimut = 20mm

4. Dimensi tulangan

$$a. \text{ Longitudinal} = D10, A_s = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$b. \text{ Transversal} = D10, A_s = 78.5 \text{ mm}^2$$

4.4.1.2 Pembebanan

Pembebanan menurut SNI 1727:2013 dan ASCE7-05 adalah

Beban mati	Berat	p (m)	Beban (kg/m ²)
Pelat	2400	0.12	288
Spesi keramik	1950	0.02	39
Tegel	16		16
MEP	19		19
Penggantung plafon	8		8
Plafon	8.4		8.4
		Total	378

Beban hidup	Berat	p (m)	Beban (kg/m ²)
Lantai ruangan	192		192
		Total	192

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2 q_d + 1.6 q_l \\
 &= 1.2 \times 378 + 1.6 \times 192 \\
 &= 761 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.4.1.3 Perhitungan Penulangan Plat Satu Arah (S1A-J)

4.4.1.3.1 Penulangan Lentur

4.4.1.3.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif

Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

Analisa momen menurut SNI 28472013, pasal 8.3.3 adalah

a. Momen positif

$$\begin{aligned}
 M_u &= q_u l_n^2 / 16 \\
 &= 761 \times 3.15^2 / 16 \\
 &= 472 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

b. Momen negatif

$$\begin{aligned}
 M_u &= q_u l_n^2 / 11 \\
 &= 761 \times 3.15^2 / 11 \\
 &= 687 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 687 \text{kgm} \\
 \theta &= 0.9 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7}) \\
 M_n &= M_u / \theta \\
 &= 687 / 0.9 \\
 &= 763 \text{kgm} \\
 d_x &= h - selimut - D / 2 \\
 &= 0.12 - 0.02 - 0.01 / 2 \\
 &= 0.095 \text{m} \\
 \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\
 &= 0.8 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\
 &= \frac{763}{1 \times 0.095^2} \\
 &= 84542 \text{kg/m}^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13 \\
 \rho_{\max} &= 0.025 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1}) \\
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 84542}{39000000}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 0.0022$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 > 0.0022 < 0.025$ TAK OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.095 \\ &= 0.00034 \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\ &= 0.00034 / 0.000079 \\ &= 5 \end{aligned}$$

4.4.1.3.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n && (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 5 \\ &= 200 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 120 \\ &= 360 \text{mm} \end{aligned}$$

$s < s_{\max}$
 $200 < 360 \text{ mm OK}$

$$s_{\max} = 450 \text{mm}$$

$s < s_{\max}$
 $200 < 450 \text{ mm OK}$

- ✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d_x}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.095}{39000000} \end{aligned}$$

$$= 0.00036 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 1 \times 0.095}{390} < 0.00036$$

$0.00034 < 0.00036 \text{ m}^2$ OK

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00036 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \ akt} &= n A_{s \ tulangan} \\ &= 5 \times 0.000079 \\ &= 0.00039 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$0.00034 < 0.00039 \text{ m}^2$ OK

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$0.00036 > 0.00034 < 0.00039 \text{ m}^2$ OK

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_w} \\ &= \frac{0.00039 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.0051 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.0051 / 0.8 \\ &= 0.0064 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.095 - 0.0064}{0.0064} \right) \\ &= 0.041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$0.005 < \varepsilon_t$ (SNI 2847:2013 gambar S9.3.2)
 $0.005 < 0.041$ OK, $\theta = 0.9$

$\varepsilon_y < \varepsilon_s$
 $0.002 < 0.041$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$

$0.0064 / 0.095 < 0.0375$

$0.068 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.00039 \times 39000000 \times (0.095 - 0.0051 / 2)$$

$$= 1273 \text{kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$$687 < 1273 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,

Tulangan utama D10-150

4.4.1.3.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif}$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2)

$$0.5 \times 1273 \times < 472$$

$$637 > 472 \text{ kgm TAK OK}$$

$$M_u = 637 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 637 / 0.9 \\ &= 707 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= h - \text{selimut} - D / 2 \\ &= 0.12 - 0.02 - 0.01 / 2 \\ &= 0.095 \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{\dot{f}_c - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\ &= \frac{707}{1 \times 0.095^2} \\ &= 78384 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 78384}{39000000}} \right) \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 > 0.002 < 0.025$ TAK OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.095 \\ &= 0.00034 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.00034 / 0.000079 \\ = 5$$

4.4.1.3.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n && \text{(SNI 2847:2013, pasal 7.6.5)} \\ &= 1000 / 5 \\ &= 200\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 120 \\ &= 360\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< s_{\max} \\ 200 &< 360 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$s_{\max} = 450\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s &< s_{\max} \\ 200 &< 450 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.095}{39000000} \\ &= 0.00036\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1.4 b_w d_x}{f_y} &< A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.095}{390} &< 0.00036 \\ 0.00034 &< 0.00036 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00036m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 5 \times 0.000079 \\ &= 0.00039\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00034 < 0.00039 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00036 > 0.00034 < 0.00039 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ = \frac{0.00039 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ = 0.0051 \text{ m}$$

$$c = a / \beta_1 \\ = 0.0051 / 0.8 \\ = 0.0064 \text{ m}$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ = 0.003 \times \left(\frac{0.095 - 0.0064}{0.0064} \right) \\ = 0.041$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s \\ = 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.041 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\epsilon_y < \epsilon_s \\ 0.002 < 0.041 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375 \\ 0.0064 / 0.095 < 0.0375 \\ 0.068 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_{n \text{ akt}} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.00039 \times 39000000 \times (0.095 - 0.0051 / 2)$$

$$= 1273 \text{kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n \text{ akt}} \\ 637 < 1273 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama D10-150

4.4.1.3.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.25 \times 1273 < 472$$

$$318 > 472 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 318 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 318 / 0.9 \\ &= 354 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= h - selimut - D / 2 \\ &= 0.12 - 0.02 - 0.01 / 2 \\ &= 0.095 \text{m} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3})$$

$$= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.8$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\ &= \frac{354}{1 \times 0.095^2} \\ &= 39192 \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ = 13$$

$\rho_{\text{max}} = 0.025$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 39192}{39000000}} \right) \\ &= 0.001\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0.0036 &> 0.001 < 0.025 \text{ TAK OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.095 \\ &= 0.00034 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00034 / 0.000078 \\ &= 5\end{aligned}$$

4.4.1.3.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 5 \\ &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{\text{max}} &= 3h_f \\ &= 3 \times 120 \\ &= 360 \text{ mm}\end{aligned}$$

$s < s_{\max}$
 $200 < 360 \text{ mm OK}$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$s < s_{\max}$
 $200 < 450 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_s \min$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.095}{39000000} \\ &= 0.00036 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1.4 b_w d_x}{f_y} &< A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.095}{390} &< 0.00036 \\ 0.00034 &< 0.00036 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00036 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 5 \times 0.000079 \\ &= 0.00039 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_{s \text{ akt}} \\ 0.00034 &< 0.00039 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &< A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00036 &> 0.00034 < 0.00039 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ &= \frac{0.00039 \times 39000000}{0.85 \times 3000000 \times 1} \\ &= 0.0051 \text{ m} \end{aligned}$$

$$c = a / \beta_1$$

$$= 0.0051 / 0.8 \\ = 0.0064 \text{ m}$$

$$\varepsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ = 0.003 \times \left(\frac{0.095 - 0.0064}{0.0064} \right) \\ = 0.041$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s \\ = 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.041 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s \\ 0.002 < 0.041 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.0064 / 0.095 < 0.0375$$

0.068 < 0.375 OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.00039 \times 39000000 \times (0.095 - 0.0051 / 2) \\ = 1273.35 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt} \\ 316 < 1273 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama D10-150

4.4.1.3.2 Penulangan Susut

$$A_{s \text{ akt}} = 0.0018 b_w d_y \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.12.2.1}) \\ = 0.0018 \times 1 \times 0.085 \\ = 0.00017 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s \text{ tulangan}}$$

$$= 0.00017 / 0.000079 \\ = 3$$

4.4.1.3.2.1 Kontrol Penulangan Susut

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n && \text{(SNI 2847:2013, pasal 7.6.5)} \\ &= 1000 / 3 \\ &= 333\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 120 \\ &= 360\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s < s_{\max} \\ 333 < 360 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$s_{\max} = 450\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s < s_{\max} \\ 333 < 450 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan susut D10-200

4.4.1.4 Pembebanan

Pembebanan menurut SNI 1727:2013 dan ASCE7-05 adalah

Beban mati	Berat	p (m)	Beban (kg/m^2)
Pelat	2400	0.15	360
Spesi keramik	1950	0.02	39
Tegel	16		16
MEP	19		19
Penggantung plafon	8		8
Plafon	8.4		8.4
		Total	450

Beban hidup	Berat	p (m)	Beban (kg/m^2)
Lantai ruangan	192		192

	Total	192
--	-------	-----

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2 q_d + 1.6 q_l \\
 &= 1.2 \times 450 + 1.6 \times 192 \\
 &= 848 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.4.1.5 Perhitungan Penulangan Plat Dua Arah (S2A-B)

4.4.1.5.1 Penulangan Lentur

4.4.1.5.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif

Tumpuan Arah Timur Barat (Kondisi 1 dan 2)

Analisa momen menurut SNI 28472013, pasal 13.6.2 adalah

a. Momen positif

$$\begin{aligned}
 M_o &= 0.35 q_u l_2 l_n^2 / 8 \\
 &= 0.35 \times 848 \times 6.6 \times 3.65^2 / 8 \\
 &= 3261 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

b. Momen negatif

$$\begin{aligned}
 M_o &= 0.65 q_u l_2 l_n^2 / 8 \\
 &= 0.65 \times 848 \times 6.6 \times 3.65^2 / 8 \\
 &= 6051 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Pembagian momen pada lajur kolom dan tengah.

Tabel 4.48. Distribusi Momen M_o

Tepi eksterior tak-terkekang	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Slab dengan balok di antara semua tumpuan	Slab tanpa balok di antara tumpuan interior			Tepi eksterior terkekang penuh
		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		
Momen terfaktor negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Momen terfaktor positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Momen terfaktor negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

Tabel 4.49. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Interior

ℓ_3/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 \ell_3/\ell_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha_1 \ell_3/\ell_1) \geq 1,0$	90	75	45

Tabel 4.50. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Eksterior

ℓ_2/ℓ_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha \ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta = 0$	100	100	100
	$\beta \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha \ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	$\beta = 0$	100	100	100
	$\beta \geq 2,5$	90	75	45

Tabel 4.51. Lajur Kolom Momen Terfaktor Positif

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha \ell_2/\ell_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha \ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	90	75	45

$$\begin{aligned} l_2 / l_1 &= 6.6 / 3.65 \\ &= 1.8 \end{aligned}$$

$0.2 < l_2 / l_1 < 5$ (SNI 2847:2013, pasal 13.6.4.2)
 $0.2 < 1.8 < 5$ OK

$$a_f = 71$$

maka,

a. Momen negatif

Tabel 4.52. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Negatif

l_2 / l_1	$a_f l_2 / l_1$
1	0.75
1.8	0.51
2	0.45

- Momen negatif lajur kolom

$$\begin{aligned} M_u^- &= \text{Koefisien} \times M_o^- \\ &= 0.51 \times 6056 \\ &= 3074 \text{kgm} \\ &= 3074 / 6.6 \\ &= 466 \text{kgm/m} \end{aligned}$$

- Momen negatif lajur tengah

$$M_u^- = \text{Koefisien} \times M_o^-$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.49 \times 6056 \\
 &= 2982 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

b. Momen positif

Tabel 4.53. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Positif

l_2 / l_1	$a_f l_2 / l_1$
1	0.75
1.8	0.51
2	0.45

- Momen positif lajur kolom

$$\begin{aligned}
 M_u^+ &= \text{Koefisien} \times M_o^+ \\
 &= 0.51 \times 3261 \\
 &= 1655 \text{kgm} \\
 &= 1655 / 6.6 \\
 &= 251 \text{kgm/m}
 \end{aligned}$$

- Momen positif lajur tengah

$$\begin{aligned}
 M_u^+ &= \text{Koefisien} \times M_o^+ \\
 &= 0.49 \times 3261 \\
 &= 1606 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = 2982 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \theta \\
 &= 2982 / 0.9 \\
 &= 3314 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - \text{selimut} - D / 2 \\
 &= 0.15 - 0.02 - 0.01 / 2 \\
 &= 0.125 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\ &= \frac{3314}{1 \times 0.125^2} \\ &= 212075 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 212075}{39000000}} \right) \\ &= 0.0056\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 < 0.0056 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0056

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0056 \times 1 \times 0.125 \\ &= 0.00071 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.00071 / 0.000079 \\ = 9$$

4.4.1.5.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan Arah Timur Barat

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n && \text{(SNI 2847:2013, pasal 7.6.5)} \\ &= 1000 / 9 \\ &= 111\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 450\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< s_{\max} \\ 111 &< 450 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$s_{\max} = 450\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s &< s_{\max} \\ 111 &< 450 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d_x}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.125}{39000000} \\ &= 0.00047\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1.4 b_w d_x}{f_y} &< A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.125}{390} &< 0.00047 \\ 0.00045 &< 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00047m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 9 \times 0.000079 \\ &= 0.00071\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00071 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00047 < 0.00071 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ = \frac{0.00071 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ = 0.0093 \text{ m}$$

$$c = a / \beta_1 \\ = 0.0093 / 0.8 \\ = 0.012 \text{ m}$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ = 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.012}{0.012} \right) \\ = 0.029$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s \\ = 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.029 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\epsilon_y < \epsilon_s \\ 0.002 < 0.029 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.012 / 0.125 < 0.0375$$

0.093 < 0.375 OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.00071 \times 39000000 \times (0.125 - 0.0093 / 2)$$

$$= 2985 \text{kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n \text{ akt}} \\ 2982 < 2985 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama D10-100

4.4.1.5.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan Arah Timur Barat (Kondisi 3 dan 4)

$0.5 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif}$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2)

$$0.5 \times 2985 \times x < 1606$$

$$1492 > 1606 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 1606 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 1606 / 0.9 \\ &= 1784 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= h - selimut - D / 2 \\ &= 0.15 - 0.02 - 0.01 / 2 \\ &= 0.125 \text{m} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3})$$

$$= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.8$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\ &= \frac{1784}{1 \times 0.125^2} \\ &= 114194 \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ = 13$$

$\rho_{\max} = 0.025$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 114194}{39000000}} \right) \\ &= 0.003\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 > 0.003 < 0.025 \text{ OK}$$

ρ yang dipakai 0.0056

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.125 \\ &= 0.00045 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00045 / 0.000079 \\ &= 6\end{aligned}$$

4.4.1.5.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan Arah Timur Barat

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 6 \\ &= 167 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$s < s_{\max}$$

$167 < 450 \text{ mm OK}$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$167 < 450 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_s \min$

$$A_s \min = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y}$$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.125}{39000000}$$

$$= 0.00047 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_s \min$$

$$\frac{1.4 \times 1 \times 0.125}{390} < 0.00047$$

$$0.00045 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_s \min \text{ yang dipakai } 0.00047 \text{ m}^2$$

$$A_s \text{ akt} = n A_s \text{ tulangan}$$

$$= 6 \times 0.000079$$

$$= 0.00047 \text{ m}^2$$

$$A_s < A_s \text{ akt}$$

$$0.00045 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_s \min < A_s < A_s \text{ akt}$$

$$0.00047 > 0.00045 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w}$$

$$= \frac{0.00047 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1}$$

$$= 0.0062 \text{ m}$$

$$c = a / \beta_1$$

$$= 0.0062 / 0.8 \\ = 0.0077 \text{ m}$$

$$\varepsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ = 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.0077}{0.0077} \right) \\ = 0.046$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s \\ = 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.046 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s \\ 0.002 < 0.046 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375 \\ 0.0077 / 0.125 < 0.0375 \\ 0.062 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.00047 \times 39000000 \times (0.125 - 0.0062 / 2) \\ = 2015 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt} \\ 1606 < 2015 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama D10-150

4.4.1.5.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan Arah Timur Barat (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2}) \\ 0.25 \times 2985 \times < 1606 \\ 504 < 1606 \text{ kgm OK}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1606 \text{kgm} \\
 \theta &= 0.9 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7}) \\
 M_n &= M_u / \theta \\
 &= 1606 / 0.9 \\
 &= 1784 \text{kgm} \\
 d_x &= h - selimut - D / 2 \\
 &= 0.15 - 0.02 - 0.01 / 2 \\
 &= 0.125 \text{m} \\
 \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\
 &= 0.8 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\
 &= \frac{1784}{1 \times 0.125^2} \\
 &= 114194 \text{kg/m}^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13 \\
 \rho_{\max} &= 0.025 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1}) \\
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 114194}{39000000}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0036 > 0.003 < 0.025 \text{ OK}$$

ρ yang dipakai 0.0056

$$A_s = \rho b_w d_x$$

$$= 0.0036 \times 1 \times 0.125$$

$$= 0.00045 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.00045 / 0.000079$$

$$= 6$$

4.4.1.5.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan Arah Timur Barat

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$= 1000 / 6$$

$$= 167 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 3h_f$$

$$= 3 \times 150$$

$$= 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$$167 < 450 \text{ mm OK}$$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$$167 < 450 \text{ mm OK}$$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y}$$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.125}{39000000}$$

$$= 0.00047 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 1 \times 0.125}{390} < 0.00047$$

$$0.00045 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \ min}$ yang dipakai 0.00047 m^2

$$A_{s \ akt} = n A_{s \ tulangan}$$

$$= 6 \times 0.000079$$

$$= 0.00047 \text{ m}^2$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00045 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00047 > 0.00045 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w}$$

$$= \frac{0.00047 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1}$$

$$= 0.0062 \text{ m}$$

$$c = a / \beta_1$$

$$= 0.0062 / 0.8$$

$$= 0.0077 \text{ m}$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right)$$

$$= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.0077}{0.0077} \right)$$

$$= 0.046$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 390 / 200000$$

$$= 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$$0.005 < 0.046 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s$$

$$0.002 < 0.046 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.0077 / 0.125 < 0.0375$$

0.062 < 0.375 OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.00047 \times 39000000 \times (0.125 - 0.0062 / 2)$$

$$= 2015 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$$1606 < 2015 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,

Tulangan utama D10-150

4.4.1.5.1.7 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan Arah Utara Selatan (Kondisi 1 dan 2)

Analisa momen menurut SNI 28472013, pasal 13.6.2 adalah

a. Momen positif

$$M_o = 0.35 q_u l_2 l_n^2 / 8$$

$$= 0.35 \times 848 \times 3.7 \times 6.6^2 / 8$$

$$= 5896 \text{ kgm}$$

b. Momen negatif

$$M_o = 0.65 q_u l_2 l_n^2 / 8$$

$$= 0.65 \times 848 \times 3.7 \times 6.6^2 / 8$$

$$= 10950 \text{ kgm}$$

Pembagian momen pada lajur kolom dan tengah.

Tabel 4.54. Distribusi Momen M_o

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Tepi eksterior tak-terkekang	Slab dengan balok di antara tumpuan interior	Slab tanpa balok di antara tumpuan interior		Tepi eksterior terkekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Momen terfaktor negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Momen terfaktor positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Momen terfaktor negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

Tabel 4.55. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Interior

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha/\ell_2/\ell_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha/\ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	90	75	45

Tabel 4.56. Lajur Kolom Momen Terfaktor Negatif Eksterior

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0	
$(\alpha/\ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta = 0$	100	100	100
	$\beta \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha/\ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	$\beta = 0$	100	100	100
	$\beta \geq 2,5$	90	75	45

Tabel 4.57. Lajur Kolom Momen Terfaktor Positif

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha/\ell_2/\ell_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha/\ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	90	75	45

$$\frac{l_2}{l_1} / l_1 = 3.6 / 6.6 \\ = 0.55$$

$0.2 < \frac{l_2}{l_1} / l_1 < 5$ (SNI 2847:2013, pasal 13.6.4.2)

$0.2 < 0.55 < 5$ OK

$$a_f = 71$$

maka,

a. Momen negatif

Tabel 4.58. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Negatif

l_2 / l_1	$a_f l_2 / l_1$
-------------	-----------------

0.5	0.9
0.6	0.88
1	0.75

- Momen negatif lajur kolom

$$\begin{aligned}
 M_u^- &= \text{Koefisien} \times M_o^- \\
 &= 0.88 \times 10950 \\
 &= 9681 \text{kgm} \\
 &= 9681 / 3.6 \\
 &= 2652 \text{kgm/m}
 \end{aligned}$$

- Momen negatif lajur tengah

$$\begin{aligned}
 M_u^- &= \text{Koefisien} \times M_o^- \\
 &= 0.12 \times 10950 \\
 &= 1269 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

b. Momen positif

Tabel 4.59. Interpolasi Nilai Koefisien Momen Positif

l_2 / l_1	$a_f l_2 / l_1$
0.5	0.9
0.6	0.88
1	0.75

- Momen positif lajur kolom

$$\begin{aligned}
 M_u^+ &= \text{Koefisien} \times M_o^+ \\
 &= 0.88 \times 5896 \\
 &= 5213 \text{kgm} \\
 &= 5213 / 3.6 \\
 &= 1428 \text{kgm/m}
 \end{aligned}$$

- Momen negatif lajur tengah

$$\begin{aligned}
 M_u^+ &= \text{Koefisien} \times M_o^+ \\
 &= 0.12 \times 5896 \\
 &= 683 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 2652 \text{kgm} \\
 \theta &= 0.9 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7}) \\
 M_n &= M_u / \theta \\
 &= 2652 / 0.9 \\
 &= 2947 \text{kgm} \\
 d_y &= h - \text{selimut} - D - D / 2 \\
 &= 0.15 - 0.02 - 0.01 - 0.01 / 2 \\
 &= 0.115 \text{m} \\
 \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\
 &= 0.8 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d_y^2} \\
 &= \frac{2947}{1 \times 0.115^2} \\
 &= 222840 \text{kg/m}^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13 \\
 \rho_{\max} &= 0.025 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1}) \\
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 222840}{39000000}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 0.0059$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0036 < 0.0059 < 0.025 \text{ OK}$$

ρ yang dipakai 0.0059

$$A_s = \rho b_w d_y$$

$$= 0.0059 \times 1 \times 0.115$$

$$= 0.00068 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s \text{ tulangan}}$$

$$= 0.00068 / 0.000079$$

$$= 9$$

4.4.1.5.1.8 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan Arah Utara Selatan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$= 1000 / 9$$

$$= 111 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 3h_f$$

$$= 3 \times 150$$

$$= 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$$111 < 450 \text{ mm OK}$$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$$111 < 450 \text{ mm OK}$$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d_y}{f_y}$$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.115}{39000000}$$

$$= 0.00044 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_y}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 1 \times 0.115}{390} < 0.00044$$

$$0.00041 < 0.00044 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00044 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 9 \times 0.000079 \\ &= 0.00071 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00068 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \min} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00044 < 0.00068 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.00071 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.0093 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.0093 / 0.8 \\ &= 0.012 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_y - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.085 - 0.012}{0.012} \right) \\ &= 0.027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$0.005 < \varepsilon_t$ (SNI 2847:2013 gambar S9.3.2)
 $0.005 < 0.027$ OK, $\theta = 0.9$

$\varepsilon_y < \varepsilon_s$
 $0.002 < 0.027$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$
 $0.012 / 0.115 < 0.0375$
 $0.1 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual
 $\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_y - a / 2)$
 $= 0.9 \times 0.00071 \times 39000000 \times (0.115 - 0.0093 / 2)$
 $= 2737 \text{ kgm}$

$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$
 $2652 < 2737 \text{ kgm}$ OK

Dipasang,
Tulangan utama D10-100

4.4.1.5.1.9 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan Arah Utara Selatan (Kondisi 3 dan 4)

$0.5 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif}$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2)
 $0.5 \times 2737 < 1428$
 $1368 < 1428 \text{ kgm}$ OK

$M_u = 1428 \text{ kgm}$

$\theta = 0.9$ (SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7)

$M_n = M_u / \theta$
 $= 1428 / 0.9$
 $= 1587 \text{ kgm}$

$d_y = h - selimut - D - D / 2$
 $= 0.15 - 0.02 - 0.01 - 0.01 / 2$
 $= 0.115 \text{ m}$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{\dot{f}_c - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b_w d_y^2} \\ &= \frac{1587}{1 \times 0.115^2} \\ &= 119991 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 119991}{39000000}} \right) \\ &= 0.0031\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &> 0.0031 < 0.025 \text{ TAK OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_y \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.115 \\ &= 0.00041 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.00041 / 0.000079 \\ = 6$$

4.4.1.5.1.10 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan Arah Utara Selatan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n && \text{(SNI 2847:2013, pasal 7.6.5)} \\ &= 1000 / 6 \\ &= 167\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 450\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< s_{\max} \\ 167 &< 450 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$s_{\max} = 450\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s &< s_{\max} \\ 167 &< 450 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_y}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.115}{39000000} \\ &= 0.00044\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1.4 b_w d_y}{f_y} &< A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.115}{390} &< 0.00044 \\ 0.00041 &< 0.00044 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00044m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 6 \times 0.000079 \\ &= 0.00047\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00068 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00044 > 0.00041 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ = \frac{0.00047 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ = 0.0062 \text{ m}$$

$$c = a / \beta_1 \\ = 0.0062 / 0.8 \\ = 0.0077 \text{ m}$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d_y - c}{c} \right) \\ = 0.003 \times \left(\frac{0.085 - 0.0077}{0.0077} \right) \\ = 0.042$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s \\ = 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.042 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\epsilon_y < \epsilon_s \\ 0.002 < 0.042 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.0077 / 0.115 < 0.0375$$

0.067 < 0.375 OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_y - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.00047 \times 39000000 \times (0.115 - 0.0062 / 2)$$

$$= 1850 \text{kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n \text{ akt}} \\ 1428 < 1850 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama D10-150

4.4.1.5.1.11 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan Arah Utara Selatan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2}) \\ 0.25 \times 2737 < 1428 \\ 684 < 1428 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 1428 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta \\ = 1428 / 0.9 \\ = 1587 \text{kgm}$$

$$d_y = h - selimut - D - D / 2 \\ = 0.15 - 0.02 - 0.01 - 0.01 / 2 \\ = 0.115 \text{m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ = 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ = 0.8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d_y^2} \\ = \frac{1587}{1 \times 0.115^2} \\ = 119991 \text{kg/m}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ = 13$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 119991}{39000000}} \right) \\ &= 0.0031\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 > 0.0031 < 0.025 \text{ TAK OK}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_y \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.115 \\ &= 0.00041 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\ &= 0.00041 / 0.000079 \\ &= 6\end{aligned}$$

4.4.1.5.1.12 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan Arah Utara Selatan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 6 \\ &= 167 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150\end{aligned}$$

$$= 450\text{mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$167 < 450 \text{ mm OK}$

$$s_{\max} = 450\text{mm}$$

$$s < s_{\max}$$

$167 < 450 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_s \min$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d_y}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.115}{39000000} \\ &= 0.00044 \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d_y}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 1 \times 0.115}{390} < 0.00044$$

$0.00041 < 0.00044 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00044m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 6 \times 0.000079 \\ &= 0.00047 \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00068 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$$A_{s \min} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00044 > 0.00041 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.00047 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.0062 \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.0062 / 0.8 \\ &= 0.0077 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_y - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.085 - 0.0077}{0.0077} \right) \\ &= 0.042 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 < \epsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.042 \text{ OK}, \theta &= 0.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &< \epsilon_s \\ 0.002 < 0.042 \text{ OK}, \text{ tulangan tarik leleh } (f_s &= f_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c / d_t &< 0.375 \\ 0.0077 / 0.115 &< 0.0375 \\ 0.067 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh} \end{aligned}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d_y - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.00047 \times 39000000 \times (0.115 - 0.0062 / 2) \\ &= 1850 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta M_n &< \theta M_n \text{ akt} \\ 1428 &< 1850 \text{ kgm OK} \end{aligned}$$

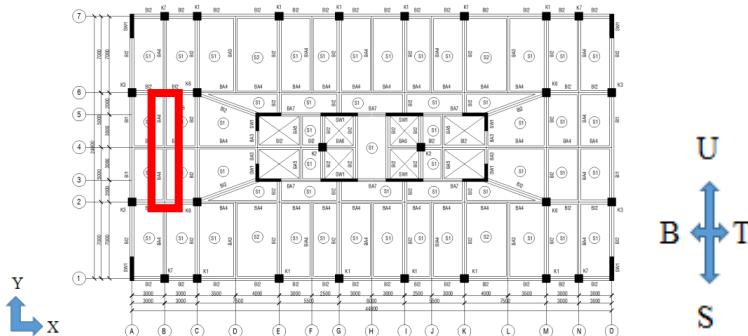
Dipasang,
Tulangan utama D10-150

Tabel 4.60 Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Plat

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang			
	I _x (mm)	I _y (mm)	t (mm)	Atas arah x	Bawah arah x	Atas arah y	Bawah arah y
S1A	3000	7000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1B	3000	5000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1C	3500	7000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1D	2000	7500	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1E	5000	5500	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1F	2500	7000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1G	2000	5500	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
SIH	2000	3000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
SII	2000	6000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
SIJ	3000	6000	120	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S2A	4000	7000	150	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 150

4.4.2 Perencanaan Balok Anak

4.4.2.1 Data Perencanaan

**Gambar 4.18.** Denah Balok Anak

1. Dimensi elemen balok anak

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
B2A	300	700	7000
B2A	300	700	7000
B2B	300	700	10000
B2C	300	700	3000
B2D	300	700	7500
B2E	300	700	5500
B2F	300	700	6000
B3A	300	400	3000

B4A	300	900	3000
B4B	300	900	4000

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c')

Mutu beton (f_c') menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah $>21\text{ MPa}$

- $f_c' = 35\text{ MPa}$, $E_c = 27806\text{ MPa}$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah $<420\text{ MPa}$

- Longitudinal (BJTD40)

- $f_y = 390\text{ MPa}$, $E_s = 200000\text{ MPa}$

- $f_u = 488\text{ MPa}$, $E_s = 200000\text{ MPa}$

- Transversal (BJTP40)

- $f_y = 390\text{ MPa}$, $E_s = 200000\text{ MPa}$

- $f_u = 488\text{ MPa}$, $E_s = 200000\text{ MPa}$

3. Tebal selimut = 50mm

4. Dimensi tulangan

a. Longitudinal = D25, $A_s = 491\text{ mm}^2$

b. Transversal = D13, $A_s = 133\text{ mm}^2$

4.4.2.2 Pembebatan dan Gaya Dalam

Hasil analisa program bantu SAP2000 adalah

Kombinasi	M_u^+ (kgm)	M_u^- (kgm)	$V_u(\text{kg})$	$T_u(\text{kgm})$
B2A-F				
1.2D+1.6L	11965	16872	10526	163
1.32D+1.3EX+L	12181	16697	10636	26
1.32D+1.3EY+L	12521	16800	11309	85
B3A				
1.2D+1.6L	1515	5628	5744	457
1.32D+1.3EX+L	1792	5930	5714	1647
1.32D+1.3EY+L	3739	6569	6606	895
B4A-B				

1.2D+1.6L	6665	1585	2503	5659
1.32D+1.3EX+L	8653	6455	769	5556
1.32D+1.3EY+L	17080	5764	4497	5852

4.4.2.3 Perhitungan Penulangan Balok Anak B2A-F

4.4.2.3.1 Penulangan Lentur

4.4.2.3.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

$$M_u = 16872 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 16872 / 0.9 \\ &= 18746 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.62 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{18746}{0.3 \times 0.62^2} \\ &= 160223 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 160223}{39000000}} \right) \\ &= 0.0042\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &< 0.0042 < 0.025 \text{ OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0042

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0042 \times 0.3 \times 0.62 \\ &= 0.00079 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\ &= 0.00079 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.2.3.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$$25 < s$$

$$25 < 124 \text{ mm OK}$$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.625}{39000000}\end{aligned}$$

$$= 0.00071 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.62}{390} < 0.00071$$

$$0.00067 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \ min}$ yang dipakai 0.00071 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \ akt} &= n A_{s \ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00073 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00071 < 0.00073 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.043 < 0.12 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.032 \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.032 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s \\ 0.002 < 0.032 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375 \\ 0.054 / 0.62 < 0.375 \\ 0.09 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.62 - 0.043 / 2) \\ = 20771 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt} \\ 16872 < 20771 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.3.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2}) \\ 0.5 \times 20771 < 12521 \\ 10385 < 12521 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 12521 \text{ kgm} \\ \theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta \\ = 12521 / 0.9 \\ = 13912 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - selimut - begel - D / 2 \\
 &= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\
 &= 0.62 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\
 &= \frac{13912}{0.3 \times 0.62^2} \\
 &= 118905 \text{kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 118905}{39000000}} \right) \\
 &= 0.0031
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0.0036 &> 0.0031 < 0.025 \text{ TAK OK}
 \end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$A_s = \rho b_w d$$

$$= 0.0036 \times 0.3 \times 0.62 \\ = 0.00067 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ = 0.00067 / 0.00049 \\ = 2$$

4.4.2.3.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ = 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (1 - 1) \times 1000 \\ = 124 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$25 < s$$

$$25 < 124 \text{ mm OK}$$

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.625}{39000000} \\ = 0.00071 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.62}{390} < 0.00071$$

$$0.00067 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} \text{ yang dipakai } 0.00071 \text{ m}^2$$

$$A_{s \text{ akt}} = n A_{s \text{ tulangan}} \\ = 2 \times 0.00049 \\ = 0.001 \text{ m}^2$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00067 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00071 > 0.00067 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.043 < 0.12 \text{ m OK, bukan balok T}$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.032 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$$0.005 < 0.032 \text{ OK, } \theta = 0.9$$

$$\epsilon_y < \epsilon_s$$

$0.002 < 0.032 \text{ OK, tulangan tarik leleh (f}_s = f_y)$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.54 / 0.62 < 0.0375$$

$0.09 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \theta M_{n \text{ akt}} &= \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.62 - 0.043 / 2) \\ &= 20771 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n \text{ akt}} \\ 12521 < 20771 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.3.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_{n \text{ negatif}} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2}) \\ 0.25 \times 20771 < 12521 \\ 5193 < 12521 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 12521 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta \\ = 12521 / 0.9 \\ = 13912 \text{ kgm}$$

$$d = h - selimut - begel - D / 2 \\ = 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ = 0.62 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ = 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ = 0.8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d^2} \\ = \frac{13912}{0.3 \times 0.62^2} \\ = 118905 \text{ kg/m}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ = \frac{390}{0.85 \times 35} \\ = 13$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 118905}{39000000}} \right) \\ &= 0.0031\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &> 0.0031 < 0.025 \text{ TAK OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.62 \\ &= 0.00067 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00067 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.2.3.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (1 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$$25 < s$$

$25 < 124 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y}$$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.625}{39000000}$$

$$= 0.00071 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.62}{390} < 0.00071$$

$0.00067 < 0.00071 \text{ m}^2$ OK

$A_{s \ min}$ yang dipakai 0.00071 m^2

$$A_{s \ akt} = n A_{s \ tulangan}$$

$$= 2 \times 0.00049$$

$$= 0.001 \text{ m}^2$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$0.00067 < 0.001 \text{ m}^2$ OK

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$0.00071 > 0.00067 < 0.001 \text{ m}^2$ OK

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w}$$

$$= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3}$$

$$= 0.043 \text{ m}$$

$$a < h_f$$

$0.043 < 0.12 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$c = a / \beta_1$$

$$= 0.043 / 0.8$$

$$= 0.054 \text{ m}$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.054}{0.054} \right)$$

$$= 0.032$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.005 < \varepsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.032 \text{ OK}, \theta &= 0.9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &< \varepsilon_s \\ 0.002 &< 0.032 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c / d_t &< 0.375 \\ 0.54 / 0.62 &< 0.0375 \\ 0.09 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}\end{aligned}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned}\theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.62 - 0.043 / 2) \\ &= 20771 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta M_n &< \theta M_n \text{ akt} \\ 12521 &< 20771 \text{ kgm OK}\end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.3.2 Penulangan Geser

4.4.2.3.2.1 Kontrol Penulangan Geser

$$V_u = 11309 \text{ kg}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned}V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 624.5 / 10 \\ &= 18842 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.5 \theta V_c &< V_u < \theta V_c \\ 0.5 \times 0.75 \times 18842 &< 11309 < 0.75 \times 18842 \\ 7066 &< 11309 < 14131 \text{ kg OK, pakai tulangan geser minimum}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &\text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah} \\ d/2 &= 625 / 2 \\ &= 312 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v\min} &\text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3 adalah} \\ &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w s / f_y \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 \times 312 / 390 \\ &= 88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v\min} &= 0.35 b_w s / f_y \\ &= 0.35 \times 300 \times 312 / 390 \\ &= 84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v\min} &< A_v \\ 88 &< 265 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

4.4.2.3.2.2 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis

s diujung sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 2 \\ &= 625 / 2 \\ &= 312 \text{ mm} \\ s_{\max} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-175

4.4.2.3.2.3 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis

s pada sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.3.2 adalah sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$ dengan pemasangan sengkang tertutup pertama maksimal 50mm dari ujung kolom

$$s_{\max} = d / 4$$

$$\begin{aligned} &= 625 / 4 \\ &= 156 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 6 d_b \\ &= 6 \times 25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 150 \text{mm} \\ s_{\max} &= 150 \text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{\min} \leq 100 \text{mm}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-100

4.4.2.3.3 Penulangan Torsi

$$T_u = 163 \text{kNm}$$

$$V_u = 113096 \text{kg}$$

$$\begin{aligned} b_o &= b - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 300 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 187 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_o &= h - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 700 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 587 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b h && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \\ &= 300 \times 700 \\ &= 210000 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2(b + h) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 2 \times (300 + 700) \\ &= 2000 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= b_o h_o && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 187 \times 587 \\ &= 109769 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0.85 A_{oh} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\ &= 0.85 \times 109769 \\ &= 93304 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (b_o + h_o) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 2 \times (187 + 587) \\
 &= 1548 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 625 / 10 \\
 &= 18842 \text{kg}
 \end{aligned}$$

4.4.2.3.3.1 Kontrol Penulangan Torsi

✓ Kontrol kebutuhan tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 \theta T_{n \min} &= \theta \cdot 0.083 \lambda \sqrt{f_c} A_{cp}^2 / P_{cp} \\
 &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times 44100000000 / 2000 \times 10^{-4} \\
 &= 812 \text{kgm} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1})
 \end{aligned}$$

$$T_u < \theta T_{n \min}$$

$163 < 812 \text{ kgm}$ OK, tak pakai tulangan torsi

✓ Kontrol kecukupan penampang

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} &\leq \phi \frac{V_c}{b_w d} + 0.06 \sqrt{f_c} \\
 \sqrt{\left(\frac{113090}{300 \times 625}\right)^2 + \left(\frac{1634400 \times 1548}{1.7 \times 12049233361}\right)^2} &\leq 0.75 \times \frac{188424}{300 \times 625} + 0.66 \sqrt{35}
 \end{aligned}$$

$0.62 < 3.68$ OK, tak pakai tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2)

4.4.2.3.3.2 Penulangan Torsi Melintang Posisi Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\
 2 A_t / s &= 2179200 / (93304 \times 390 \times 1) \\
 &= 0.06 \text{mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v / s &= 88 / 312 \\
 &= 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s$$

$$= 0.28 + 0.06 \\ = 0.34 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt \min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \ min} / s \\ 0.34 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad \text{OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{ mm}^2$$

$$s = A_{v \ akt} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 0.34 \\ = 776 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 776 > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{max} = P_h / 8 \\ = 1548 / 8 \\ = 194 \text{ mm}$$

$$s_{akt} = 100 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 194 > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-100

4.4.2.3.3.3 Penulangan Torsi Melintang Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$2 A_t / s = 2179200 / (93304 \times 390 \times 1) \\ = 0.06 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_v / s = 88 / 312 \\ = 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s \\ = 0.28 + 0.06 \\ = 0.34 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt \min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \min} / s \\ 0.34 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{mm}^2$$

$$s = A_{v \text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 0.34$$

$$= 776\text{mm}$$

$$\begin{array}{lcl} s & > s_{akt} \\ 776 & > 175 \text{ mm OK} \end{array}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1})$$

$$\begin{aligned} s_{max} &= P_h / 8 \\ &= 1548 / 8 \\ &= 194\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 100\text{mm}$$

$$\begin{array}{lcl} s & > s_{akt} \\ 194 & > 100 \text{ mm OK} \end{array}$$

Dipasang,

Tulangan geser torsi D13-175

4.4.2.3.3.4 Penulangan Torsi Memanjang Posisi Sendi Plastis dan Diujung Sendi Plastis

$$A_t / s > 0.175 b_w / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$0.06 / 2 > 0.175 \times 300 \times 390$$

$$0.03 < 0.13 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}, A_t / s = 0.175 b_w / f_{yt}$$

$$\begin{aligned} A_l &= A_t P_h f_{yt} \cot^2 \theta / (s f_y) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7}) \\ &= 0.13 \times 1548 \times 390 \times \cot^2 45 / 390 \\ &= 208\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l\min} &= (0.42 \sqrt{f_c A_{cp}} / f_y) + ((A_t / s) P_h (f_{yt} / f_y)) \\ &= (0.42 \times \sqrt{35} \times 210000 / 390) + \\ &\quad (0.13 \times 1548 \times 390 / 390) \\ &= 1130\text{mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3}) \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} A_l & > A_{l\min} \\ 208 & < 1130 \text{ mm}^2 \text{ OK, pakai } A_{l\min} \end{array}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2, A_l didistribusikan keseluruhan sudut di dalam sengkang pada muka vertical penampang dengan rincian,

Sisi atas

$$\begin{aligned} 0.25 A_l &= 0.25 \times 1130 \\ &= 282 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ akt} = 981 \text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} 0.25 A_l + A_s \text{ akt} &= 282 + 981 \\ &= 1264 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D13, $A_s = 531 \text{mm}^2$

$$\begin{aligned} A_l \text{ akt} &= A_s \text{ akt} + A_s \\ &= 981 + 531 \\ &= 1512 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ akt} &> 0.25 A_l + A_s \text{ akt} \\ 1512 &> 1264 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol jarak antar tulangan torsii memanjang

$s_{\max} = 300$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2)

$$\begin{aligned} s_{\text{akt}} &= h_o / (n / 2 + 1) \\ &= 587 / (4 / 2 + 1) \\ &= 196 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 300 &> 196 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsii 4D13

4.4.2.4 Perhitungan Penulangan Balok Anak B3A

4.4.2.4.1 Penulangan Lentur

4.4.2.4.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

$$M_u = 6569 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 6569 / 0.9 \\ &= 7299 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.4 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.32 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{7299}{0.3 \times 0.32^2} \\ &= 231064 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 231064}{39000000}} \right) \\ &= 0.0062\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$
 $0.0036 < 0.0062 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0062

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0062 \times 0.3 \times 0.32 \\ &= 0.0006 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.0006 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.2.4.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 124$ mm OK

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000}}{39000000} \times 0.3 \times 0.32 \\ &= 0.00037 m^2\end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.32}{390} < 0.00037$$

$$0.00035 < 0.00037 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_s \text{ min}$ yang dipakai 0.00037 m^2

$$\begin{aligned} A_s \text{ akt} &= n A_s \text{ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_s \text{ akt} \\ 0.0006 &< 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &< A_s < A_s \text{ akt} \\ 0.00037 &< 0.0006 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &< h_f \\ 0.043 &< 0.12 \text{ m OK, bukan balok T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.32 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.015 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$0.005 < 0.015$ OK, $\theta = 0.9$

$\varepsilon_y < \varepsilon_s$

$0.002 < 0.015$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$

$0.054 / 0.32 < 0.0375$

$0.17 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.32 - 0.043 / 2)$$

$$= 10438 \text{ kgm}$$

$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$

$6569 < 10438 \text{ kgm}$ OK

Dipasang,

Tulangan utama 2D25

4.4.2.4.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif

Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif}$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2)

$0.5 \times 10438 < 3739$

$5219 > 3739 \text{ kgm}$ OK

$$M_u = 5219 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 5219 / 0.9$$

$$= 5799 \text{ kgm}$$

$$d = h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2$$

$$= 0.4 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2$$

$$= 0.32 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{\dot{f}_c - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{5799}{0.3 \times 0.32^2} \\ &= 183567 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 183567}{39000000}} \right) \\ &= 0.0049\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &< 0.0049 < 0.025 \text{ OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0049

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0049 \times 0.3 \times 0.32 \\ &= 0.0005 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.0005 / 0.00049 \\ = 2$$

4.4.2.4.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ = 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (1 - 1) \times 1000 \\ = 124\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$25 < s$$

$25 < 124\text{ mm}$ OK

✓ Kontrol $A_s \text{ min}$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.32}{39000000} \\ = 0.00037\text{m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.32}{390} < 0.00037$$

$0.00035 < 0.00037 \text{ m}^2$ OK

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00037m^2

$$A_{s \text{ akt}} = n A_{s \text{ tulangan}} \\ = 2 \times 0.00049 \\ = 0.001\text{m}^2$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00047 < 0.001 \text{ m}^2$ OK

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00037 < 0.00047 < 0.001 \text{ m}^2$ OK

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\
 &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\
 &= 0.043 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$a < h_f$
 $0.043 < 0.12 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 0.043 / 0.8 \\
 &= 0.054 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\
 &= 0.003 \times \left(\frac{0.32 - 0.054}{0.054} \right) \\
 &= 0.015
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 390 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$0.005 < \epsilon_t$ (SNI 2847:2013 gambar S9.3.2)
 $0.005 < 0.015$ OK, $\theta = 0.9$

$\epsilon_y < \epsilon_s$
 $0.002 < 0.015$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$
 $0.54 / 0.32 < 0.0375$
 $0.17 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual
 $\theta M_{n,akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$
 $= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.32 - 0.043 / 2)$
 $= 10438 \text{ kgm}$

$\theta M_n < \theta M_{n,akt}$
 $5219 < 10438 \text{ kgm}$ OK

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.4.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif

Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.25 \times 10438 < 3739$$

$$2609 < 3739 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 3739 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 3739 / 0.9 \\ &= 4155 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.4 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.32 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{\frac{f'_c}{7} - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{4155}{0.3 \times 0.32^2} \\ &= 131523 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 131523}{39000000}} \right) \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 > 0.0035 < 0.025$ TAK OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.32 \\ &= 0.0003 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\ &= 0.0003 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.2.4.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (1 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 124 \text{ mm}$ OK

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.32}{39000000}\end{aligned}$$

$$= 0.00037 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.32}{390} < 0.00037$$

$$0.00035 < 0.00037 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_s \min$ yang dipakai 0.00037 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \ akt} &= n A_{s \ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00035 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00037 > 0.00035 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.043 < 0.12 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.32 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.015 \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.015 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s \\ 0.002 < 0.015 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375 \\ 0.54 / 0.32 < 0.0375 \\ 0.17 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.32 - 0.043 / 2) \\ = 10438 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt} \\ 3739 < 10438 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.4.2 Penulangan Geser

4.4.2.4.2.1 Kontrol Penulangan Geser

$$V_u = 6606 \text{ kg}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ = 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 325 / 10 \\ = 9791 \text{ kg}$$

$$0.5 \theta V_c < V_u < \theta V_c \\ 0.5 \times 0.75 \times 9791 < 10526 < 0.75 \times 9791 \\ 3672 < 6606 < 7343 \text{ kg OK, pakai tulangan geser minimum}$$

s_{\max} menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} d / 2 &= 325 / 2 \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \min} &\text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3 adalah} \\ A_{v \ min} &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w s / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 \times 162 / 390 \\ &= 46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.35 b_w s / f_{yt} \\ &= 0.35 \times 300 \times 162 / 390 \\ &= 44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &< A_v \\ 46 &< 265 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

4.4.2.4.2.2 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis
s diujung sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 2 \\ &= 325 / 2 \\ &= 162 \text{ mm} \\ s_{\max} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-100

4.4.2.4.2.3 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis
s pada sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.3.2 adalah sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$ dengan pemasangan sengkang tertutup pertama maksimal 50mm dari ujung kolom

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 4 \\ &= 325 / 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 81\text{mm} \\
 S_{\max} &= 6 d_b \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150\text{mm} \\
 S_{\max} &= 150\text{mm} \\
 S_{\min} &\leq 100\text{mm}
 \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-80

4.4.2.4.3 Penulangan Torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= 1647\text{kNm} \\
 V_u &= 6606\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_o &= b - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\
 &= 300 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\
 &= 187\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_o &= h - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\
 &= 400 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\
 &= 287\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b h && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \\
 &= 300 \times 400 \\
 &= 120000\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 (b + h) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 2 \times (300 + 400) \\
 &= 1400\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= b_o h_o && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 187 \times 287 \\
 &= 53669\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0.85 A_{oh} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\
 &= 0.85 \times 53669 \\
 &= 45619\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (b_o + h_o) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 2 \times (187 + 287) \\
 &= 948 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 325 / 10 \\
 &= 9791 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.4.2.4.3.1 Kontrol Penulangan Torsi

✓ Kontrol kebutuhan tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 \theta T_{n \min} &= \theta \cdot 0.083 \lambda \sqrt{f_c} A_{cp}^2 / P_{cp} \\
 &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times 44100000000 / 1400 \times 10^{-4} \\
 &= 379 \text{ kgm} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1})
 \end{aligned}$$

$$T_u < \theta T_{n \min}$$

$1647 > 379 \text{ kgm}$ TAK OK, pakai tulangan torsi

✓ Kontrol kecukupan penampang

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} &\leq \phi \frac{V_c}{b_w d} + 0.06 \sqrt{f_c} \\
 \sqrt{\left(\frac{66063}{300 \times 325}\right)^2 + \left(\frac{16470800 \times 948}{1.7 \times 2880361561}\right)^2} &\leq 0.75 \times \frac{97908}{300 \times 325} + 0.66 \sqrt{35}
 \end{aligned}$$

$3.26 < 3.68$ OK, tak pakai tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2)

4.4.2.4.3.2 Penulangan Torsi Melintang Posisi Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\
 2 A_t / s &= 21961067 / (45619 \times 390 \times 1) \\
 &= 1.234 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v / s &= 46 / 162 \\
 &= 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s$$

$$= 0.28 + 1.23 \\ = 1.52 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2)}$$

$$A_{vt\ min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2)}$$

$$A_{vt} / s > A_{vt\ min} / s \\ 1.52 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{ mm}^2$$

$$s = A_{v\ akt} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 1.52 \\ = 175 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 175 > 80 \text{ mm OK}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{max} = P_h / 8 \\ = 948 / 8 \\ = 119 \text{ mm}$$

$$s_{akt} = 80 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 119 > 80 \text{ mm OK}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-80

4.4.2.4.3.3 Penulangan Torsi Melintang Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$2 A_t / s = 21961067 / (45619 \times 390 \times 1) \\ = 1.234 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_v / s = 46 / 162 \\ = 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s \\ = 0.28 + 1.23 \\ = 1.52 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt \min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \min} / s \\ 1.52 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{ mm}^2$$

$$s = A_{v \text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 1.52$$

= 175mm

$$\begin{array}{ll} s & > s_{akt} \\ 175 & > 100 \text{ mm OK} \end{array}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1})$$

$$\begin{aligned} s_{max} &= P_h / 8 \\ &= 948 / 8 \\ &= 119\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 100\text{mm}$$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{akt} \\ 119 & > 100 \text{ mm OK} \end{array}$$

Dipasang,

Tulangan geser torsi D13-100

4.4.2.4.3.4 Penulangan Torsi Memanjang Posisi Sendi Plastis dan Diujung Sendi Plastis

$$A_t / s > 0.175 b_w / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$1.23 / 2 > 0.175 \times 300 \times 390$$

$$0.62 > 0.13 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}$$

$$\begin{aligned} A_l &= A_t P_h f_{yt} \cot^2 \theta / (s f_y) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7}) \\ &= 0.62 \times 948 \times 390 \times \cot^2 45 / 390 \\ &= 585\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l min} &= (0.42 \sqrt{f_c A_{cp}} / f_y) + ((A_t / s) P_h (f_{yt} / f_y)) \\ &= (0.42 \times \sqrt{35} \times 210000 / 390) + \\ &\quad (0.62 \times 948 \times 390 / 390) \\ &= 179\text{mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3}) \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} A_l & > A_{l min} \\ 585 & > 179 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{array}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2, A_l didistribusikan keseluruhan sudut di dalam sengkang pada muka vertical penampang dengan rincian,

Sisi atas

$$\begin{aligned} 0.25 A_l &= 0.25 \times 585 \\ &= 146 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ akt} = 981 \text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} 0.25 A_l + A_s \text{ akt} &= 146 + 981 \\ &= 1128 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D13, $A_s = 265 \text{mm}^2$

$$\begin{aligned} A_l \text{ akt} &= A_s \text{ akt} + A_s \\ &= 981 + 265 \\ &= 1247 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ akt} &> 0.25 A_l + A_s \text{ akt} \\ 1247 &> 1128 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol jarak antar tulangan torsi memanjang

$s_{\max} = 300$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2)

$$\begin{aligned} s_{\text{akt}} &= h_o / (n / 2 + 1) \\ &= 287 / (2 / 2 + 1) \\ &= 144 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 300 &> 144 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi 2D13

4.4.2.5 Perhitungan Penulangan Balok Anak B4A-B

4.4.2.5.1 Penulangan Lentur

4.4.2.5.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

$$M_u = 6455 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 6455 / 0.9 \\ &= 7173 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.9 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.82 \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{7173}{0.3 \times 0.82^2} \\ &= 35170 \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 35170}{39000000}} \right) \\ &= 0.0009\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$
 $0.0036 > 0.0009 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.82 \\ &= 0.0009 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.0009 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.2.5.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 124$ mm OK

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000}}{39000000} \times 0.3 \times 0.82 \\ &= 0.00094 m^2\end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.82}{390} < 0.00094$$

$$0.00089 < 0.00094 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_s \text{ min}$ yang dipakai 0.00094 m^2

$$\begin{aligned} A_s \text{ akt} &= n A_s \text{ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_s \text{ akt} \\ 0.00089 &< 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &< A_s < A_s \text{ akt} \\ 0.00094 &> 0.00089 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &< h_f \\ 0.043 &< 0.12 \text{ m OK, bukan balok T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.82 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.043 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$0.005 < 0.043$ OK, $\theta = 0.9$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s$$

$0.002 < 0.043$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.054 / 0.82 < 0.0375$$

$0.07 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.82 - 0.043 / 2)$$

$$= 27659 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$$6455 < 27659 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,

Tulangan utama 2D25

4.4.2.5.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif

Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.5 \times 27659 < 17080$$

$$13829 < 17080 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 17080 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 17080 / 0.9$$

$$= 18977 \text{ kgm}$$

$$d = h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2$$

$$= 0.9 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2$$

$$= 0.82 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{18977}{0.3 \times 0.82^2} \\ &= 93054 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 93054}{39000000}} \right) \\ &= 0.0024\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &> 0.0024 < 0.025 \text{ OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.82 \\ &= 0.0009 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.0009 / 0.00049 \\ = 2$$

4.4.2.5.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ = 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (1 - 1) \times 1000 \\ = 124\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$25 < s$$

25 < 124 mm OK

- ✓ Kontrol $A_s \text{ min}$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.82}{39000000} \\ = 0.00094\text{m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.82}{390} < 0.00094$$

0.00089 < 0.00094 m^2 OK

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00094m^2

$$A_{s \text{ akt}} = n A_{s \text{ tulangan}} \\ = 2 \times 0.00049 \\ = 0.001\text{m}^2$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

0.00089 < 0.001 m^2 OK

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00094 > 0.00089 < 0.001 \text{ m}^2$ OK

- ✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\
 &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\
 &= 0.043 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$a < h_f$
 $0.043 < 0.12 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 0.043 / 0.8 \\
 &= 0.054 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\
 &= 0.003 \times \left(\frac{0.82 - 0.054}{0.054} \right) \\
 &= 0.043
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 390 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$0.005 < \varepsilon_t$ (SNI 2847:2013 gambar S9.3.2)
 $0.005 < 0.043$ OK, $\theta = 0.9$

$\varepsilon_y < \varepsilon_s$
 $0.002 < 0.043$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$
 $0.54 / 0.82 < 0.0375$
 $0.07 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual
 $\theta M_{n\text{ akt}} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$
 $= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.82 - 0.043 / 2)$
 $= 27659 \text{ kgm}$

$$\begin{aligned}
 \theta M_n &< \theta M_{n\text{ akt}} \\
 17080 &< 27659 \text{ kgm OK}
 \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.5.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif

Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.25 \times 27659 < 17080$$

$$6915 < 17080 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 17080 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 17080 / 0.9 \\ &= 18977 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.9 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.82 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{\frac{f'_c}{7} - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{18977}{0.3 \times 0.82^2} \\ &= 93054 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 93054}{39000000}} \right) \\ &= 0.0024\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 > 0.0024 < 0.025$ TAK OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.82 \\ &= 0.0009 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\ &= 0.0009 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.2.5.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (1 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 124 \text{ mm}$ OK

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.32}{39000000}\end{aligned}$$

$$= 0.00094 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.82}{390} < 0.00094$$

$$0.00089 < 0.00094 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \ min}$ yang dipakai 0.00094 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \ akt} &= n A_{s \ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00089 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00094 > 0.00089 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.043 < 0.12 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.82 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.043 \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 390 / 200000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.043 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s \\ 0.002 < 0.043 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375 \\ 0.54 / 0.82 < 0.0375 \\ 0.07 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.82 - 0.043 / 2) \\ = 27659 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt} \\ 17080 < 27659 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.2.5.2 Penulangan Geser

4.4.2.5.2.1 Kontrol Penulangan Geser

$$V_u = 4497 \text{ kg}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ = 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 825 / 10 \\ = 24877 \text{ kg}$$

$$0.5 \theta V_c < V_u < \theta V_c \\ 0.5 \times 0.75 \times 24877 < 4497 < 0.75 \times 24877 \\ 9329 < 4497 < 18658 \text{ kg OK, pakai tulangan geser minimum}$$

s_{\max} menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} d / 2 &= 825 / 2 \\ &= 412 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \min} &\text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3 adalah} \\ A_{v \ min} &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w s / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 \times 412 / 390 \\ &= 116 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.35 b_w s / f_{yt} \\ &= 0.35 \times 300 \times 412 / 390 \\ &= 111 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &< A_v \\ 116 &< 265 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

4.4.2.5.2.2 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis
s diujung sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 2 \\ &= 825 / 2 \\ &= 412 \text{ mm} \\ s_{\max} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-140

4.4.2.5.2.3 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis
s pada sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.3.2 adalah sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$ dengan pemasangan sengkang tertutup pertama maksimal 50mm dari ujung kolom

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 4 \\ &= 825 / 4 \end{aligned}$$

$$= 206\text{mm}$$

$$S_{\max} = 6 d_b$$

$$= 6 \times 25$$

$$= 150\text{mm}$$

$$S_{\max} = 150\text{mm}$$

$$S_{\min} \leq 100\text{mm}$$

Dipasang,

Tulangan geser D13-100

4.4.2.5.3 Penulangan Torsi

$$T_u = 5852\text{kgrm}$$

$$V_u = 4497\text{kg}$$

$$\begin{aligned} b_o &= b - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 300 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 187\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_o &= h - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 900 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 787\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b h && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \\ &= 300 \times 900 \\ &= 270000\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 (b + h) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 2 \times (300 + 900) \\ &= 2400\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= b_o h_o && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 187 \times 787 \\ &= 147169\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0.85 A_{oh} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\ &= 0.85 \times 147169 \\ &= 125094\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2(b_o + h_o) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 2 \times (187 + 787) \\
 &= 1948 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 825 / 10 \\
 &= 24877 \text{kg}
 \end{aligned}$$

4.4.2.5.3.1 Kontrol Penulangan Torsi

✓ Kontrol kebutuhan tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 \theta T_{n \min} &= \theta \cdot 0.083 \lambda \sqrt{f_c} A_{cp}^2 / P_{cp} \\
 &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times 72900000000 / 2400 \times 10^{-4} \\
 &= 1119 \text{kNm} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1})
 \end{aligned}$$

$$T_u < \theta T_{n \min}$$

$5852 > 1119 \text{ kNm}$ TAK OK, pakai tulangan torsi

✓ Kontrol kecukupan penampang

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} &\leq \phi \frac{V_c}{b_w d} + 0.06 \sqrt{f_c} \\
 \sqrt{\left(\frac{44972}{300 \times 825}\right)^2 + \left(\frac{58517700 \times 1948}{1.7 \times 21658714561}\right)^2} &\leq 0.75 \times \frac{248768}{300 \times 825} + 0.66 \sqrt{35}
 \end{aligned}$$

$3.10 < 3.68$ OK, tak pakai tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2)

4.4.2.5.3.2 Penulangan Torsi Melintang Posisi Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\
 2 A_t / s &= 78023600 / (125094 \times 390 \times 1) \\
 &= 1.6 \text{mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v / s &= 116 / 412 \\
 &= 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s$$

$$= 0.28 + 1.6 \\ = 1.88 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt \min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \ min} / s \\ 1.88 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad \text{OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{ mm}^2$$

$$s = A_{v \ akt} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 1.88 \\ = 141 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 141 > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{max} = P_h / 8 \\ = 1948 / 8 \\ = 243 \text{ mm}$$

$$s_{akt} = 100 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 243 > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-100

4.4.2.5.3.3 Penulangan Torsi Melintang Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$\begin{aligned} 2 A_t / s &= 78023600 / (125094 \times 390 \times 1) \\ &= 1.6 \text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s &= 116 / 412 \\ &= 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &= A_v / s + 2 A_t / s \\ &= 0.28 + 1.6 \\ &= 1.88 \text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$\begin{aligned} (A_v + 2A_t) / s &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ &= 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \min} / s &= 0.35 b_w / 390 \\ &= 0.35 \times 300 / 390 \\ &= 0.27 \text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &> A_{vt \min} / s \\ 1.88 &> 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= A_{v \text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ &= 265 / 1.88 \end{aligned}$$

$$= 141 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{akt} \\ 141 & > 140 \text{ mm OK} \end{array}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1})$$

$$\begin{aligned} s_{max} &= P_h / 8 \\ &= 1948 / 8 \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 140 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{akt} \\ 243 & > 140 \text{ mm OK} \end{array}$$

4.4.2.5.3.4 Penulangan Torsi Memanjang Posisi Sendi Plastis dan Diujung Sendi Plastis

$$A_t / s > 0.175 b_w / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$1.6 / 2 > 0.175 \times 300 \times 390$$

$$0.8 > 0.13 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}$$

$$A_l = A_t P_h f_{yt} \cot^2 \theta / (s f_y) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7})$$

$$= 0.8 \times 1948 \times 390 \times \cot^2 45 / 390$$

$$= 1558 \text{ mm}^2$$

$$A_{lmin} = (0.42 \sqrt{f_c A_{cp}} / f_y) + ((A_t / s) P_h (f_{yt} / f_y))$$

$$= (0.42 \times \sqrt{35} \times 210000 / 390) +$$

$$(0.8 \times 1948 \times 390 / 390)$$

$$= 162 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$A_l > A_{lmin}$$

$$1558 > 162 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2, A_l didistribusikan keseluruhan sudut di dalam sengkang pada muka vertical penampang dengan rincian,

Sisi atas

$$\begin{aligned}0.25 A_l &= 0.25 \times 1558 \\&= 389 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_s \text{ akt} = 981 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}0.25 A_l + A_s \text{ akt} &= 389 + 981 \\&= 1371 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D13, $A_s = 531 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}A_l \text{ akt} &= A_s \text{ akt} + A_s \\&= 981 + 531 \\&= 1512 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_l \text{ akt} &> 0.25 A_l + A_s \text{ akt} \\1512 &> 1371 \text{ mm}^2 \text{ OK}\end{aligned}$$

✓ Kontrol jarak antar tulangan torsi memanjang
 $s_{\max} = 300$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2)

$$\begin{aligned}s \text{ akt} &= h_o / (n / 2 + 1) \\&= 787 / (4 / 2 + 1) \\&= 262 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &> s \text{ akt} \\300 &> 262 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

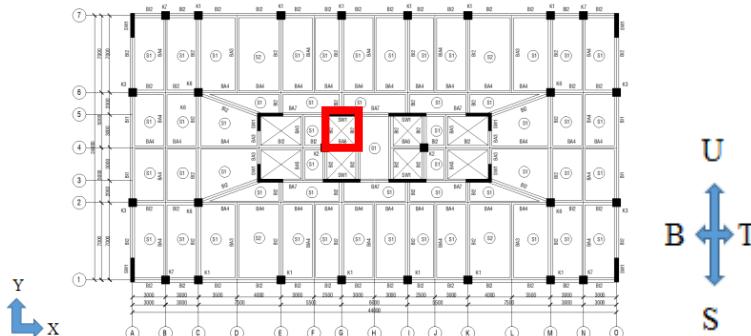
Dipasang,
Tulangan geser torsi 4D13

Tabel 4.61. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Anak

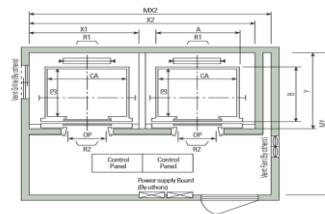
Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan			Lapangan				
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping	Bawah	Sengkang
B2A	300	700	7000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2B	300	700	10000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2D	300	700	7500	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2E	300	700	5500	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2F	300	700	6000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B3A	300	400	3000	2D25	2D13	2D25	D13-80	2D25	2D13	2D25	D13-100
B4A	300	900	3000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-140
B4B	300	900	4000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-140

4.4.3 Perencanaan Balok Lift

4.4.3.1 Data Perencanaan



Gambar 4.19. Denah Balok Lift



Gambar 4.20. Posisi Lift

Tabel 4.62. Spesifikasi Lift

Speed (m/sec)	Capacity Persons kg	Opening Type	Clear Opening OP	Car Internal A x B External A x B	Hoistway Size 1Car 2Cars Depth	Machine Room Size 1Car 2Cars Depth	M/C Room Reaction (kg)				Pit Reaction (kg) R3 R4			
							X1	X2	Y	MX1	MX2	MY		
1.0	6	2 Panel Center Open	800	1400 x 850 14.00 x 1005	14.60 x 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200	3400	2000 56.00 4500	
	8		800	14.00 x 1030	14.60 x 1185	1800	3700	1450	2000	4000	3400	4050	2250 60.00 4900	
	9		800	1400 x 1130	14.60 x 1285	1800	3700	1750	2000	4000	3500	4100	2450 63.00 5100	
	10		800	14.00 x 1250	14.60 x 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3400	4200	2700 68.00 5400	
	11		800	14.00 x 1355	14.60 x 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800 71.00 5600	
	12		900	1400 x 1355	14.60 x 1505	2050	4200	1950	2300	4400	3750	5100	3750 81.00 6300	
1.5	15		900	1400 x 1500	14.60 x 1655	2050	4200	2100	2300	4400	3850	5450	4300 86.00 6600	
	16		900	1800 x 1500	19.00 x 1670	2350	4800	2200	2600	4900	3900	6600	5100 11000 8700	
	17		1150	2000 x 1350	2100 x 1520	2550	5200	2050	2800	5250	3800	6600	5100 11000 8700	
	20		1350	1800 x 1700	19.00 x 1870	2350	4800	2400	2600	4900	4200	7800	6000 12200 9500	
	24		1600	2000 x 1500	2100 x 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000	8500	6800 13600 10400	
	13		900	2150 x 1400	2250 x 1770	2700	5500	2300	3000	5650	4200	8500	6800 13600 10400	
1.75	15		1000	1600 x 1500	1700 x 1670	2250	4400	2100	2550	4600	4250	12030	6650 9000 7500	
	16		1000	1600 x 1500	1700 x 1670	2250	4400	2250	2550	4600	4250	12800	6950 9400 8000	
	17		1150	1800 x 1500	1900 x 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450	13080	7150 11000 9200	
	20		1350	1000	1800 x 1700	1900 x 1870	2450	5000	2450	2750	5000	4450	14350	7650 112200 9500
2.0	24		1600	2000 x 1750	2100 x 1920	2450	5400	2500	2950	5400	4450	15100	8100 13400 10400	
	17		1150	1000	1800 x 1500	1900 x 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450	13080	7150 11000 9200
	20		1350	1000	1800 x 1700	1900 x 1870	2450	5000	2450	2750	5000	4450	14350	7650 112200 9500
2.5	24		1600	1100	2000 x 1500	2100 x 1670	2450	5400	2500	2950	5400	4450	15100	8100 13400 10400

1. Dimensi elemen balok lift

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
B1E	400	700	3000

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c')

Mutu beton (f_c') menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah $>21\text{ MPa}$.

- f_c' (28hari) = 35 MPa , E_c = 27806 MPa

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah $<420\text{ MPa}$

- Longitudinal (BJTD40)

- f_y = 390 MPa , E_s = 200000 MPa
 - f_u = 488 MPa , E_s = 200000 MPa

- Transversal (BJTP40)

- f_y = 390 MPa , E_s = 200000 MPa
 - f_u = 488 MPa , E_s = 200000 MPa

3. Tebal selimut = 50 mm

4. Dimensi tulangan

a. Longitudinal = D25, A_s = 491 mm^2

b. Transversal = D13, A_s = 133 mm^2

5. Merk lift = HYUNDAY ELEVATOR

6. Tipe lift = LUXEN (Gearless Elevator)

7. Kapasitas = 1600 kg

8. Kecepatan = 2.5 m/s

9. Lebar pintu = 1200 mm

10. Dimensi sangkar

a. Car wide (CW) = 2200 mm

b. Car depth (CD) = 1857 mm

11. Dimensi ruang luncur

a. Hoistway width (HW) = 5600 mm

b. Hoistway depth (HD) = 4500 mm

12. Beban reaksi ruang mesin

a. R_1 = 15100 kg

b. R_2 = 8100 kg

4.4.3.2 Pembebanan dan Gaya Dalam

Hasil analisa program bantu SAP2000 adalah

Kombinasi	M_u^+ (kgm)	M_u^- (kgm)	V_u (kg)	T_u (kgm)
B1F				
1.2D+1.6L	9118	13118	7177	1568
1.32D+1.3EX+L	9064	18406	12139	3095
1.32D+1.3EY+L	8441	24855	13400	2502

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Balok Lift

4.4.3.3.1 Penulangan Lentur

4.4.3.3.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

$$M_u = 24855 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 24855 / 0.9 \\ &= 27616 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.62 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{27616}{0.4 \times 0.62^2} \\ &= 177026 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ = 13$$

ρ_{\max} = 0.025 (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 177026}{39000000}} \right) \\ &= 0.0047\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &< 0.0047 < 0.025 \text{ OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0047

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0047 \times 0.4 \times 0.62 \\ &= 0.0012 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.0012 / 0.00049 \\ &= 3\end{aligned}$$

4.4.3.3.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.4 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 3 \times 0.025 / (3 - 1) \times 1000 \\ &= 100 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 100 \text{ mm}$ OK

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.4 \times 0.625}{39000000} \\ &= 0.00095 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.4 \times 0.625}{390} < 0.00095$$

$$0.0009 < 0.00095 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00095 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 3 \times 0.00049 \\ &= 0.0015 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$A_s < A_{s \text{ akt}}$

$$0.0012 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$

$$0.00095 < 0.0012 < 0.0015 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ &= \frac{0.0015 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.4} \\ &= 0.048 \text{ m} \end{aligned}$$

$a < h_f$

$0.048 < 0.12 \text{ m OK, bukan balok T}$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.048 / 0.8 \\ &= 0.06 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_t = 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.06}{0.06} \right)$$

$$= 0.028$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 390 / 200000$$

$$= 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$$0.005 < 0.028 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s$$

$$0.002 < 0.028 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.06 / 0.62 < 0.0375$$

$$0.10 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.0015 \times 39000000 \times (0.62 - 0.048 / 2)$$

$$= 31017 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$$24855 < 31017 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama 3D25

4.4.3.3.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.5 \times 31017 < 9118$$

$$15509 > 9118 \text{ kgm TAK OK}$$

$$M_u = 15509 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 15509 / 0.9$$

$$= 17232 \text{kgm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.62 \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{17232}{0.4 \times 0.62^2} \\ &= 110461 \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 110461}{39000000}} \right) \\ &= 0.0029 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0036 > 0.0029 < 0.025 \text{ OK}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.4 \times 0.62 \\ &= 0.0009 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.0009 / 0.00049 \\ &= 2 \end{aligned}$$

4.4.3.3.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.4 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 224 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \end{aligned}$$

$$25 < s$$

$25 < 224 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.4 \times 0.625}{39000000} \\ &= 0.00095 m^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.4 \times 0.62}{390} < 0.00095$$

$0.0009 < 0.00095 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_{s \min}$ yang dipakai $0.00095 m^2$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 m^2 \end{aligned}$$

$A_s < A_{s \text{ akt}}$

$$0.0009 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_s \text{ min} < A_s < A_s \text{ akt}$$

$$0.00095 > 0.0009 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.4} \\ &= 0.032 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

0.032 < 0.12 m OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.032 / 0.8 \\ &= 0.04 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.04}{0.04} \right) \\ &= 0.044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$$0.005 < 0.044 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\epsilon_y < \epsilon_s$$

0.002 < 0.044 OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.04 / 0.62 < 0.0375$$

0.06 < 0.375 OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.62 - 0.032 / 2) \\ = 20955 \text{kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n \text{ akt}} \\ 15509 < 20955 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.3.3.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2}) \\ 0.25 \times 31017 < 9118 \\ 7754 < 9118 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 9118 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta \\ = 9662 / 0.9 \\ = 10735 \text{kgm}$$

$$d = h - selimut - begel - D / 2 \\ = 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ = 0.62 \text{m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ = 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ = 0.8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d^2} \\ = \frac{9118}{0.4 \times 0.62^2} \\ = 64943 \text{kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 64943}{39000000}} \right) \\ &= 0.0017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &> 0.0017 < 0.025 \text{ OK} \end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.4 \times 0.62 \\ &= 0.0009 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.0009 / 0.00049 \\ &= 2 \end{aligned}$$

4.4.3.3.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.4 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 224 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \end{aligned}$$

$$25 < s$$

$25 < 224 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.4 \times 0.625}{39000000} \\ &= 0.00095 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.4 \times 0.625}{390} < 0.00095$$

$0.0009 < 0.00095 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00095 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \ akt} &= n A_{s \ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.001 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$A_s < A_{s \ akt}$

$0.0009 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$

$0.00095 > 0.0009 < 0.001 \text{ m}^2 \text{ OK}$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.4} \\ &= 0.032 \text{ m} \end{aligned}$$

$a < h_f$

$0.032 < 0.12 \text{ m OK, bukan balok T}$

$$c = a / \beta_1$$

$$= 0.032 / 0.8$$

$$= 0.04 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.04}{0.04} \right) \\ &= 0.044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$0.005 < \varepsilon_t$ (SNI 2847:2013 gambar S9.3.2)
 $0.005 < 0.044$ OK, $\theta = 0.9$

$\varepsilon_y < \varepsilon_s$
 $0.002 < 0.044$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$
 $0.04 / 0.62 < 0.0375$
 $0.06 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual
 $\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$
 $= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.62 - 0.032 / 2)$
 $= 20955 \text{kgm}$

$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$
 $9118 < 20955 \text{kgm}$ OK

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.3.3.2 Penulangan Geser

$$V_u = 13400 \text{kg}$$

$\theta = 0.75$ (SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7)

$$\begin{aligned}V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 625 / 10 \\ &= 25123 \text{kg}\end{aligned}$$

4.4.3.3.2.1 Kontrol Penulangan Geser

$$0.5 \theta V_c < V_u < \theta V_c$$

$$0.5 \times 0.75 \times 25123 < 13400 < 0.75 \times 25123$$

$9421 < 13400 < 18842$ kg TAK OK, pakai tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} s_{\max} \text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah} \\ d/2 &= 625/2 \\ &= 312\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v\min} \text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3 adalah} \\ A_{v\min} &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w s / f_y \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 \times 312 / 390 \\ &= 88\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v\min} &= 0.35 b_w s / f_y \\ &= 0.35 \times 300 \times 312 / 390 \\ &= 84\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133\text{m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{v\min} < A_v$$

$$88 < 265 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

4.4.3.3.2.2 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis

s diujung sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d/2 \\ &= 625/2 \\ &= 312\text{mm} \\ s_{\max} &= 600\text{mm} \end{aligned}$$

Dipasang,

Tulangan geser D13-200

4.4.3.3.2.3 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis

s pada sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.3.2 adalah sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400\text{mm}$ dengan pemasangan sengkang tertutup pertama maksimal 50mm dari ujung kolom

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 4 \\ &= 625 / 4 \\ &= 156\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 6 d_b \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{\max} = 150\text{mm}$$

$$s_{\min} \leq 100\text{mm}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-100

4.4.3.3.3 Penulangan Torsi

$$\begin{aligned} T_u &= 3095\text{kgm} \\ V_u &= 13400\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_o &= b - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 400 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 287\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_o &= h - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 700 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 587\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b h && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \\ &= 400 \times 700 \\ &= 280000\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 (b + h) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 2 \times (400 + 700) \\ &= 2200\text{mm} \end{aligned}$$

$$A_{oh} = b_o h_o \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1})$$

$$= 287 \times 587 \\ = 168469 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0.85 A_{oh} \\ = 0.85 \times 168469 \\ = 143199 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 (b_o + h_o) \\ = 2 \times (287 + 587) \\ = 1748 \text{ mm}$$

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \\ = 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 625 / 10 \\ = 25123 \text{ kg}$$

4.4.3.3.3.1 Kontrol Penulangan Torsi

✓ Kontrol kebutuhan tulangan torsi

$$\theta T_{n \min} = \theta 0.083 \lambda \sqrt{f_c} A_{cp}^2 / P_{cp} \\ = 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times 78400000000 / 2200 \times 10^{-4} \\ = 1312 \text{ kgm}$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.1)

$$T_u < \theta T_{n \min}$$

3095 > 1321 kgm TAK OK

✓ Kontrol kecukupan penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \frac{V_c}{b_w d} + 0.06 \sqrt{f_c} \\ \sqrt{\left(\frac{133997}{400 \times 625}\right)^2 + \left(\frac{30954900 \times 1748}{1.7 \times 28381803961}\right)^2} \leq 0.75 \times \frac{251232}{400 \times 625} + 0.06 \sqrt{35}$$

1.24 < 3.68 OK, tak pakai tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2)

4.4.3.3.3.2 Penulangan Torsi Melintang Posisi Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$2 A_t / s = 41273200 / (143199 \times 390 \times 1) \\ = 0.74 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\begin{aligned} A_v / s &= 117 / 312 \\ &= 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &= A_v / s + 2 A_t / s \\ &= 0.38 + 0.74 \\ &= 1.12 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$\begin{aligned} (A_v + 2A_t) / s &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 400 / 390 \\ &= 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \min} / s &= 0.35 b_w / 390 \\ &= 0.35 \times 400 / 390 \\ &= 0.36 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &> A_{vt \min} / s \\ 1.12 &> 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= A_{v \text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ &= 265 / 1.12 \\ &= 238 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 238 &> 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 300 \text{ mm} & (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{\max} &= P_h / 8 \\ &= 1748 / 8 \\ &= 218 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 100\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{akt} \\ 218 &> 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-100

4.4.3.3.3 Penulangan Torsi Melintang Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$\begin{aligned} 2 A_t / s &= 41273200 / (143199 \times 390 \times 1) \\ &= 0.74\text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s &= 117 / 312 \\ &= 0.38\text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &= A_v / s + 2 A_t / s \\ &= 0.38 + 0.74 \\ &= 1.12\text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$\begin{aligned} (A_v + 2A_t) / s &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 400 / 390 \\ &= 0.38\text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \min} / s &= 0.35 b_w / 390 \\ &= 0.35 \times 400 / 390 \\ &= 0.36\text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &> A_{vt \min} / s \\ 1.12 &> 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm OK} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133\text{m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$= 2 \times 133 \\ = 265 \text{ mm}^2$$

$$s = A_{vt} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 1.12 \\ = 238 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 238 > 200 \text{ mm OK}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang
 $s_{max} = 300 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1)

$$s_{max} = P_h / 8 \\ = 1748 / 8 \\ = 218 \text{ mm}$$

$$s_{akt} = 200 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 218 > 200 \text{ mm OK}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-200

4.4.3.3.4 Penulangan Torsi Memanjang Posisi Sendi Plastis dan Diujung Sendi Plastis

$A_t / s > 0.175 b_w / f_y$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3)

$$0.74 / 2 > 0.175 \times 400 \times 390$$

$$0.37 > 0.18 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}$$

$$A_l = A_t P_h f_y \cot^2 \theta / (s f_y) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7}) \\ = 0.37 \times 1748 \times 390 \times \cot^2 45 / 390 \\ = 646 \text{ mm}^2$$

$$A_{l\min} = (0.42 \sqrt{f_c A_{cp}} / f_y) + ((A_t / s) P_h (f_y / f_y)) \\ = (0.42 \times \sqrt{35} \times 210000 / 390) + \\ (0.37 \times 1748 \times 390 / 390) \\ = 1138 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$\begin{array}{ll} A_l & > A_{l \min} \\ 646 & < 1138 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{array}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2, A_l didistribusikan keseluruhan sudut di dalam sengkang pada muka vertical penampang dengan rincian,

Sisi atas

$$\begin{array}{ll} 0.25 A_l & = 0.25 \times 1138 \\ & = 285 \text{ mm}^2 \end{array}$$

$$A_s \text{ akt} = 1471 \text{ mm}^2$$

$$\begin{array}{ll} 0.25 A_l + A_s \text{ akt} & = 285 + 1471 \\ & = 1756 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Digunakan tulangan 4D13, $A_s = 531 \text{ mm}^2$

$$\begin{array}{ll} A_l \text{ akt} & = A_s \text{ akt} + A_s \\ & = 981 + 1471 \\ & = 2003 \text{ mm}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} A_l \text{ akt} & > 0.25 A_l + A_s \text{ akt} \\ 2003 & > 1756 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{array}$$

✓ Kontrol jarak antar tulangan torsi memanjang
 $s_{\max} = 300$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2)

$$\begin{array}{ll} s \text{ akt} & = h_o / (n / 2 + 1) \\ & = 587 / (4 / 2 + 1) \\ & = 196 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} s & > s \text{ akt} \\ 300 & > 196 \text{ mm OK} \end{array}$$

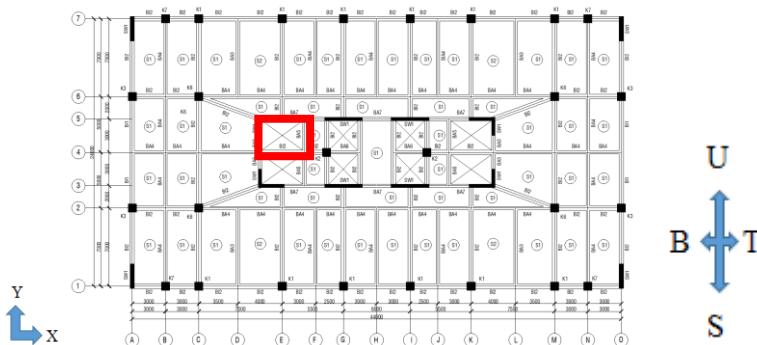
Dipasang,
Tulangan geser torsi 4D13

Tabel 4.63. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Lift

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan				Lapangan			
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping	Bawah	Sengkang
B1F	400	700	3000	3D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-200

4.4.4 Perencanaan Tangga

4.4.4.1 Data Perencanaan



Gambar 4.21. Denah Tangga

1. Dimensi elemen tangga

- Tinggi tangga = 3.4m
- Tinggi bordes = 1.7m
- Lebar tangga = 1.3m
- Panjang bordes = 2.65m
- Panjang tangga datar = 3.7m
- Lebar injakan (i) = 30cm
- Tebal plat tangga (t_p) = 15cm
- Tebal plat bordes = 15cm
- Balok bordes (b/h) = 300/700mm

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c')

Mutu beton (f_c') menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah >21MPa.

$$- f_c' (28\text{hari}) = 35\text{MPa}, E_c = 27806\text{MPa}$$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah $<420\text{ MPa}$.

- Longitudinal (BJTD40)

$$\begin{array}{lll} - f_y & = 390\text{ MPa}, E_s & = 200000\text{ MPa} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} - f_u & = 488\text{ MPa}, E_s & = 200000\text{ MPa} \end{array}$$

- Transversal (BJTD40)

$$\begin{array}{lll} - f_y & = 390\text{ MPa}, E_s & = 200000\text{ MPa} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} - f_u & = 488\text{ MPa}, E_s & = 200000\text{ MPa} \end{array}$$

3. Tebal selimut

$$\begin{array}{ll} a. \text{ Plat} & = 20\text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} b. \text{ Balok} & = 50\text{ mm} \end{array}$$

4. Dimensi tulangan

a. Plat

$$\begin{array}{lll} - \text{Longitudinal} & = D13, A_s & = 132.7\text{ mm}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} - \text{Transversal} & = D13, A_s & = 132.7\text{ mm}^2 \end{array}$$

b. Balok

$$\begin{array}{lll} - \text{Longitudinal} & = D25, A_s & = 490.6\text{ mm}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} - \text{Transversal} & = D13, A_s & = 132.7\text{ mm}^2 \end{array}$$

4.4.4.2 Persyaratan

$$\begin{array}{ll} \text{Tinggi tanjakan (t)} & = (65 - 30) / 2 \\ & = 17.5\text{ cm} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Jumlah tanjakan (n}_t\text{)} & = \text{Tinggi bordes} / \text{Tinggi tanjakan (t)} \\ & = 170 / 17.5 \\ & = 9\text{ buah} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Jumlah injakan (n}_i\text{)} & = \text{Jumlah tanjakan} - 1 \\ & = 9 - 1 \\ & = 8\text{ buah} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Lebar bordes} & = \text{Panjang tangga datar} - n_i \times i \\ & = 3.7 - 8 \times 0.3 \\ & = 1.3\text{ m} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Kemiringan tangga} & = \text{arc tan} (\text{Tinggi bordes} / (n_i \times i)) \\ & = \text{arc tan} (1.7 / (8 \times 0.3)) \\ & = 35^\circ \end{array}$$

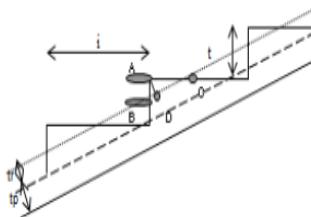
$$60 < (2t + i) < 65 \text{ cm}$$

$$60 < (2 \times 17.5 + 30) < 65$$

$60 < 65 < 65 \text{ cm OK}$

$$25^\circ < \theta < 40^\circ$$

$25^\circ < 35^\circ < 40^\circ \text{ OK}$



Gambar 4.22. Detail Tangga

$$\begin{aligned} \text{Tebal plat rata-rata anak tangga } (t_r) &= i / 2 \times \sin\theta \\ &= 30 / 2 \times \sin 35^\circ \\ &= 8.67 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal plat rata-rata} &= t_p + t_r \\ &= 15 + 8.67 \\ &= 23.67 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.4.4.3 Pembebatan dan Gaya Dalam

Pembebatan menurut SNI 1727:2013 dan ASCE7-05 adalah

1. Pelat anak tangga

Beban mati	Berat	p (m)	l (m)	Beban (kg/m ²)
Pelat	2400	0.24		696
Spesi keramik	1950	0.02	1	39
Tegel	16			16
Sandaran	7.46	2	1.33	164
			Total	915

Beban hidup	Berat	p (m)	l (m)	Beban (kg/m ²)
Tangga	479			479
Terpusat	133			133
			Total	612

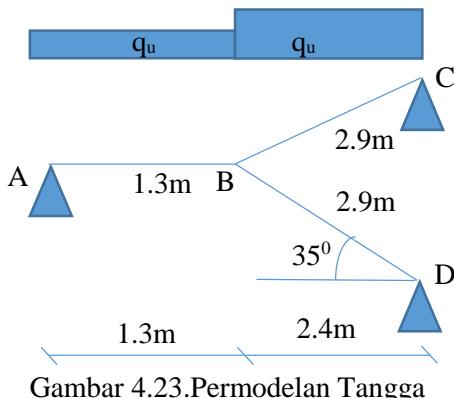
$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2 q_d + 1.6 q_l \\
 &= 1.2 \times 915 + 1.6 \times 612 \\
 &= 2077 \text{ kg/m}^2 \times 1.33 \\
 &= 2752 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Plat bordes

Beban mati	Berat	p (m)	l (m)	Beban (kg/m ²)
Pelat	2400	0.15		360
Spesi keramik	1950	0.02		39
Tegel	16			16
			Total	415

Beban hidup	Berat	p (m)	l (m)	Beban (kg/m ²)
Bordes	479			479
			Total	479

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2 q_d + 1.6 q_l \\
 &= 1.2 \times 415 + 1.6 \times 479 \\
 &= 1264 \text{ kg/m}^2 \times 2.65 \\
 &= 3351 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.23. Permodelan Tangga

Angka kekakuan (K)

$$\begin{array}{lll} \text{Perl letakan} & : \text{Jepit - Jepit} & = 4EI/L \\ & : \text{Jepit - Sendi / Rol} & = 3EI/L \end{array}$$

Faktor distribusi (μ)

$$\begin{aligned} \mu_{BA} : \mu_{BC} : \mu_{BD} &= K_{BA} : K_{BC} : K_{BD} \\ &= 3EI/L : 3EI/L : 3EI/L \\ &= 2.31EI : 1.02EI : 1.02EI \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{BA} &= 2.31EI / (2.31EI + 1.02EI + 1.02EI) \\ &= 0.531 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{BC} &= 1.02EI / (2.31EI + 1.02EI + 1.02EI) \\ &= 0.235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{BD} &= 1.02EI / (2.31EI + 1.02EI + 1.02EI) \\ &= 0.235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BD} &= 0.531 + 0.235 + 0.235 \\ &= 1 \text{ OK} \end{aligned}$$

Momen primer (MF)

$$\text{Jepit - Sendi} = +q l_n^2 / 8$$

$$\begin{aligned} MF_{BA} &= -3351 \times 1.3^2 / 8 \\ &= -708 \text{kgm} \end{aligned}$$

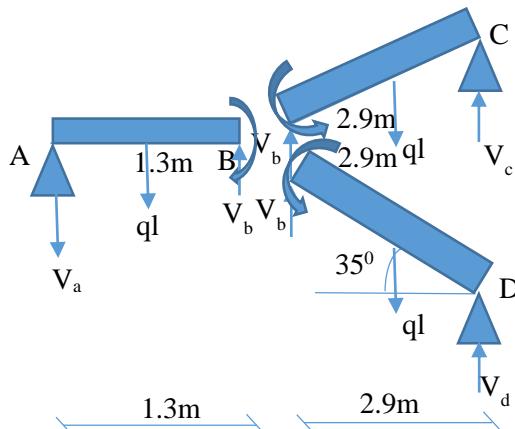
$$MF_{BC} = +2752 \times 2.9^2 / 8$$

$$\begin{aligned}
 &= + 2976 \text{kgm} \\
 \text{MF BD} &= + 2752 \times 2.9^2 / 8 \\
 &= + 2976 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

Titik	B		
Batang	BA	BC	BD
FD	-0.531	-0.235	-0.235
MF	-708	2976	2976
MD	-2783	-1230	-1230
M Akhir	-3491	1746	1746
Gambar			

Tabel 4.64. Hasil Analisa Metode Cross

$$\begin{aligned}
 \text{MBA} + \text{MBC} + \text{MBD} &= -3491 + 1746 + 1746 \\
 &= 0 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

**Gambar 4.24.** Diagram Free Body

Gaya dalam

- Batang BA

$$\begin{aligned}
 \Sigma MB &= 0, \text{ dimisalkan } V_a \downarrow \\
 &= -V_a l_n - q_u l_n^2 + \text{MBA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_a &= (-3351 \times 1.3^2 / 2 + 3491) / 1.3 \\
 &= 508 \text{kg} \downarrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_b &= q_u l_n + V_a \\
 &= 3351 \times 1.3 + 508 \\
 &= 4863 \text{ kg} \uparrow
 \end{aligned}$$

$$\text{Bidang N} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang DA} &= -V_a \\
 &= -508 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang DB} &= -V_b \\
 &= -4863 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Bidang MA} = 0$$

$$\text{Bidang MB} = -3491 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 V_a - q_u x &= 0 \\
 x &= 508 / 3351 \\
 &= 0.2 \text{ m} \\
 \text{Bidang M}_{\max} &= V_a x - q_u x^2 / 2 \\
 &= 508 \times 0.2 - 3351 \times 0.2^2 / 2 \\
 &= 38 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Batang BC

$$\begin{aligned}
 \Sigma MB &= 0, \text{ dimisalkan } V_c \uparrow \\
 &= V_c l_n - q_u l_n^2 - MBC
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= (-2752 \times 2.9^2 / 2 - 1746) / -2.9 \\
 &= 4641 \text{ kg} \uparrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_b &= q_u l_n - V_c \\
 &= 2752 \times 2.9 - 4641 \\
 &= 3554 \text{ kg} \uparrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang NBC} &= +V_c \cos \theta - q_u x \cos \theta \\
 &= +4641 \times \cos 35 - 2752 \times 2.9 \times \cos 35 \\
 &= -1996 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang DC} &= -V_c \\
 &= -4641 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang DB} &= V_b \\
 &= 3454 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang MC} &= 0 \\
 \text{Bidang MB} &= 1746 \text{kgm} \\
 V_c - q_u x &= 0 \\
 x &= 4641 / 2752 \\
 &= 1.7 \text{m} \\
 \text{Bidang } M_{\max} &= V_c x - q_u x^2 / 2 \\
 &= 4641 \times 1.7 - 2752 \times 1.7^2 / 2 \\
 &= 3913 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

- Batang BD

$$\begin{aligned}
 \Sigma MB &= 0, \text{ dimisalkan } V_d \uparrow \\
 &= V_d l_n - q_u l_n^2 - MBD \\
 V_d &= (-2752 \times 2.9^2 / 2 - 1746) / -2.9 \\
 &= 4641 \text{kg} \uparrow
 \end{aligned}$$

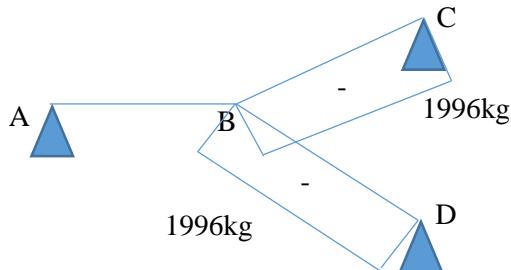
$$\begin{aligned}
 V_b &= q_u l_n - V_d \\
 &= 2752 \times 2.9 - 4641 \\
 &= 3454 \text{kg} \uparrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang NBD} &= +V_d \cos \theta - q_u x \cos \theta \\
 &= +4641 \times \cos 35 - 2752 \times 2.9 \times \cos 35 \\
 &= -1996 \text{kg}
 \end{aligned}$$

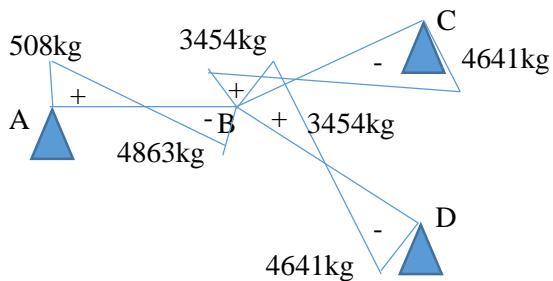
$$\begin{aligned}
 \text{Bidang DD} &= -V_d \\
 &= -4641 \text{kg} \\
 \text{Bidang DB} &= V_b \\
 &= 3454 \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang MD} &= 0 \\
 \text{Bidang MB} &= 1746 \text{kgm} \\
 V_d - q_u x &= 0 \\
 x &= 4641 / 2752 \\
 &= 1.7 \text{m} \\
 \text{Bidang } M_{\max} &= V_d x - q_u x^2 / 2 \\
 &= 4641 \times 1.7 - 2752 \times 1.7^2 / 2 \\
 &= 3913 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

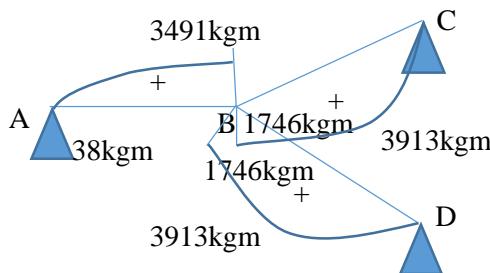
$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= 0 \\
 &= V_a + ql + V_b + V_c + ql + V_b + V_d + ql + V_b \\
 &= -508 + (-4356) + 4863 + 4641 + (-8095) + 3454 \\
 &\quad + 3454 + (-8095) + 4641 \\
 0 &= 0 \text{ OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.25. Bidang N Tangga



Gambar 4.26. Bidang D Tangga

**Gambar 4.27.** Bidang M Tangga

3. Balok Bordes

Hasil analisa program bantu SAP2000 adalah

Kombinasi	M_u^+ (kgm)	M_u^- (kgm)	V_u (kg)	T_u (kgm)
B2C				
1.2D+1.6L	819	2040	1437	45
1.32D+1.3EX+L	262	2650	2491	994
1.32D+1.3EY+L	1274	3685	1711	713

4.4.4.4 Perhitungan Penulangan Plat Tangga

4.4.4.4.1 Penulangan Lentur

4.4.4.4.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

Analisa momen menurut SNI 28472013, pasal 8.3.3 adalah

$$M_u = 3913 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 3913 / 0.9 \\ &= 4347 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= h - selimut - D / 2 \\ &= 0.15 - 0.02 - 0.013 / 2 \\ &= 0.124 \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\ &= \frac{4347}{1 \times 0.124^2} \\ &= 285030 \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 285030}{39000000}} \right) \\ &= 0.0037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &< 0.0037 < 0.025 \text{ OK} \end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0037

$$A_s = \rho b_w d_x$$

$$= 0.0037 \times 1 \times 0.124 \\ = 0.00095 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ = 0.00095 / 0.00013 \\ = 8$$

4.4.4.4.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w / n \quad (\text{SNI } 2847:2013, \text{ pasal 7.6.5}) \\ = 1000 / 8 \\ = 125 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 3h_f \\ = 3 \times 150 \\ = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max} \\ 125 < 450 \text{ mm OK}$$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max} \\ 125 < 450 \text{ mm OK}$$

- ✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.124}{39000000} \\ = 0.00047 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.124}{390} < 0.00047 \\ 0.00044 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00047 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 9 \times 0.00013 \\ &= 0.001 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_{s \text{ akt}} \\ 0.00095 &< 0.001 m^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &< A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00047 &< 0.00095 < 0.001 m^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.001 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.014 m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.014 / 0.8 \\ &= 0.017 m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.017}{0.017} \right) \\ &= 0.018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 &< \epsilon_t & (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 &< 0.018 \text{ OK}, \theta = 0.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &< \epsilon_s \\ 0.002 &< 0.018 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c / d_t &< 0.375 \\ 0.017 / 0.124 &< 0.0375 \\ 0.14 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh} \end{aligned}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.124 - 0.014 / 2)$$

$$= 4342 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$$3913 < 4342 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,

Tulangan utama D13-125

4.4.4.4.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$$0.5 \theta M_n \text{ negatif} = M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.5 \times 4342 = 2171 \text{ kgm}$$

$$M_u = 2171 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 2171 / 0.9$$

$$= 2412 \text{ kgm}$$

$$d_x = h - selimut - D / 2$$

$$= 0.15 - 0.02 - 0.013 / 2$$

$$= 0.124 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3})$$

$$= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d_x^2}$$

$$= \frac{2412}{1 \times 0.124^2}$$

$$= 158138 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 158138}{39000000}} \right) \\ &= 0.0042 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 &< 0.0042 < 0.025 \text{ OK} \end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0042

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0042 \times 1 \times 0.124 \\ &= 0.00051 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\ &= 0.00051 / 0.00013 \\ &= 4 \end{aligned}$$

4.4.4.4.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 4 \\ &= 250 \text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{\max} = 3h_f$$

$$= 3 \times 150 \\ = 450\text{mm}$$

$s < s_{\max}$
 $250 < 450 \text{ mm OK}$

$$s_{\max} = 450\text{mm}$$

$s < s_{\max}$
 $250 < 450 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_s \min$

$$A_s \min = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.124}{39000000} \\ = 0.00047\text{m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_s \min \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.124}{390} < 0.00047 \\ 0.00044 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_s \min$ yang dipakai 0.00047m^2

$$A_s \text{ akt} = n A_s \text{ tulangan} \\ = 4 \times 0.00013 \\ = 0.00053\text{m}^2$$

$A_s < A_s \text{ akt}$
 $0.00051 < 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_s \min < A_s < A_s \text{ akt}$
 $0.00047 < 0.00051 < 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK}$

✓ Kontrol penampang tarik

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_w} \\ = \frac{0.00053 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1}$$

$$= 0.007\text{m}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.007 / 0.8 \\ &= 0.0087\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.0087}{0.0087} \right) \\ &= 0.04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$$0.005 < 0.04 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &< \epsilon_s \\ 0.002 &< 0.04 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c / d_t &< 0.375 \\ 0.0087 / 0.124 &< 0.0375 \\ 0.07 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh} \end{aligned}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.0053 \times 39000000 \times (0.124 - 0.007 / 2) \\ &= 2236\text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta M_n &< \theta M_n \text{ akt} \\ 2171 &< 2236 \text{ kgm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama D13-125

4.4.4.4.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 \theta M_{n \text{ negatif}} = M_{u \text{ positif}} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.25 \times 4342 = 1085 \text{ kgm}$$

$$M_u = 1085 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 1085 / 0.9$$

$$= 1206 \text{ kgm}$$

$$d_x = h - selimut - D / 2$$

$$= 0.15 - 0.02 - 0.013 / 2$$

$$= 0.124 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3})$$

$$= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d_x^2}$$

$$= \frac{1206}{1 \times 0.124^2}$$

$$= 79069 \text{ kg/m}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 35}$$

$$= 13$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\rho_{\min} = 1.4 / f_y$$

$$= 1.4 / 390$$

$$= 0.0036$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 79069}{39000000}} \right) \\ &= 0.0021\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$
 $0.0036 > 0.0021 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0037

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0036 \times 1 \times 0.124 \\ &= 0.00044 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00044 / 0.00013 \\ &= 4\end{aligned}$$

4.4.4.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w / n && (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 4 \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{\text{max}} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 360 \text{ mm}\end{aligned}$$

$s < s_{\text{max}}$
 $250 < 360$ mm OK

$$s_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

$s < s_{\text{max}}$
 $250 < 450$ mm OK

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\
 &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.124}{39000000} \\
 &= 0.00047 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1.4 b_w d_x}{f_y} &< A_{s \text{ min}} \\
 \frac{1.4 \times 1 \times 0.124}{390} &< 0.00047 \\
 0.00044 &< 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00047 m^2

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\
 &= 4 \times 0.00013 \\
 &= 0.00053 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &< A_{s \text{ akt}} \\
 0.00044 &< 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &< A_s < A_{s \text{ akt}} \\
 0.00047 &> 0.00044 < 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\
 &= \frac{0.00053 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\
 &= 0.007 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 0.007 / 0.8 \\
 &= 0.0087 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\
 &= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.0087}{0.0087} \right) \\
 &= 0.04
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.005 < \varepsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.04 &\text{ OK, } \theta = 0.9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &< \varepsilon_s \\ 0.002 &< 0.04 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c / d_t &< 0.375 \\ 0.0087 / 0.124 &< 0.0375 \\ 0.07 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\checkmark &\text{ Kontrol momen nominal aktual} \\ \theta M_{n\text{ akt}} &= \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.00053 \times 39000000 \times (0.124 - 0.007 / 2) \\ &= 2236 \text{kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta M_n &< \theta M_{n\text{ akt}} \\ 1085 &< 2236 \text{ kgm OK}\end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama D13-125

4.4.4.4.2 Penulangan Susut

$$\begin{aligned}A_{s\text{ akt}} &= 0.0018 b_w d_y \\ &= 0.0018 \times 1 \times 0.12 \\ &= 0.00022 \text{m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s\text{ tulangan}} \\ &= 0.00022 / 0.00013 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.4.4.2.1 Kontrol Penulangan Susut

$$\begin{aligned}\checkmark &\text{ Kontrol jarak antar tulangan} \\ s &= b_w / n && (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 2 \\ &= 500 \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$s < s_{\max}$
 $500 > 450 \text{ mm TAK OK}$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$s < s_{\max}$
 $500 > 450 \text{ mm TAK OK}$

Dipasang,
Tulangan susut D13-200

4.4.4.5 Perhitungan Penulangan Plat Bordes

4.4.4.5.1 Penulangan Lentur

4.4.4.5.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

Analisa momen menurut SNI 2847:2013, pasal 8.3.3 adalah

$$M_u = 3491 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 3491 / 0.9 \\ &= 3879 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= h - selimut - D / 2 \\ &= 0.15 - 0.02 - 0.013 / 2 \\ &= 0.124 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\
 &= \frac{3879}{1 \times 0.124^2} \\
 &= 254326 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 254326}{39000000}} \right) \\
 &= 0.0068
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0.0036 &< 0.0068 < 0.025 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0068

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho b_w d_x \\
 &= 0.0068 \times 1 \times 0.124 \\
 &= 0.00084 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\
 &= 0.00084 / 0.00013 \\
 &= 7
 \end{aligned}$$

4.4.4.5.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= b_w / n \\ &= 1000 / 7 \\ &= 143 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$s < s_{\max}$
 $143 < 450 \text{ mm OK}$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$s < s_{\max}$
 $143 < 450 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.124}{39000000} \\ &= 0.00047 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1.4 b_w d_x}{f_y} &< A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.124}{390} &< 0.00047 \\ 0.00044 &< 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00047 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 7 \times 0.00013 \\ &= 0.00093 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$A_s < A_{s \text{ akt}}$
 $0.00084 < 0.00093 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_{s \min} < A_s < A_{s \text{ akt}}$
 $0.00047 < 0.00084 < 0.00093 \text{ m}^2 \text{ OK}$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_s b_w} \\ &= \frac{0.0093 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.012m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.012 / 0.8 \\ &= 0.015m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.015}{0.015} \right) \\ &= 0.021 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 < \varepsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.021 \text{ OK}, \theta &= 0.9 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s$$

$0.002 < 0.021$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.015 / 0.124 < 0.0375$$

$0.12 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.00093 \times 39000000 \times (0.124 - 0.012 / 2) \\ &= 3827 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$3491 < 43827$ kgm OK

Dipasang,

Tulangan utama D13-125

4.4.4.5.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$$0.5 \theta M_{n \text{ negatif}} = M_{u \text{ positif}} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.5 \times 3827 = 1914 \text{ kgm}$$

$$M_u = 1914 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 1914 / 0.9$$

$$= 2126 \text{ kgm}$$

$$d_x = h - \text{selimut} - D / 2$$

$$= 0.15 - 0.02 - 0.013 / 2$$

$$= 0.124 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3})$$

$$= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d_x^2}$$

$$= \frac{2126}{1 \times 0.124^2}$$

$$= 139403 \text{ kg/m}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 35}$$

$$= 13$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\rho_{\min} = 1.4 / f_y$$

$$= 1.4 / 390$$

$$= 0.0036$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 139403}{39000000}} \right) \\ &= 0.0037\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0.0036 &< 0.0037 < 0.025 \text{ OK}\end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0037

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d_x \\ &= 0.0037 \times 1 \times 0.124 \\ &= 0.00045 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00045 / 0.00013 \\ &= 4\end{aligned}$$

4.4.4.5.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w / n && (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5}) \\ &= 1000 / 4 \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{\text{max}} &= 3h_f \\ &= 3 \times 150 \\ &= 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &< s_{\text{max}} \\ 250 &< 450 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

$$s_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}s &< s_{\text{max}} \\ 250 &< 450 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.124}{39000000} \\ &= 0.00047 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 1 \times 0.124}{390} < 0.00047$$

$$0.00044 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00047 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 4 \times 0.00013 \\ &= 0.00053 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00045 < 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00047 < 0.00045 < 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ &= \frac{0.00053 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.007 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.007 / 0.8 \\ &= 0.0087 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.0087}{0.0087} \right) \\ &= 0.04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.005 < \varepsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.04 &\text{ OK, } \theta = 0.9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &< \varepsilon_s \\ 0.002 &< 0.04 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c / d_t &< 0.375 \\ 0.0087 / 0.124 &< 0.0375 \\ 0.07 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}\end{aligned}$$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned}\theta M_{n \text{ akt}} &= \theta A_s f_y (d_x - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.0053 \times 39000000 \times (0.124 - 0.007 / 2) \\ &= 2236 \text{kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta M_n &< \theta M_{n \text{ akt}} \\ 1914 &< 2236 \text{ kgm OK}\end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama D13-125

4.4.4.5.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$\begin{aligned}0.25 \theta M_{n \text{ negatif}} &= M_u \text{ positif} && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2}) \\ 0.25 \times 3828 &= 957 \text{kgm}\end{aligned}$$

$$M_u = 957 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned}M_n &= M_u / \theta \\ &= 957 / 0.9 \\ &= 1063 \text{kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - selimut - D / 2 \\
 &= 0.15 - 0.02 - 0.013 / 2 \\
 &= 0.124 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d_x^2} \\
 &= \frac{1063}{1 \times 0.124^2} \\
 &= 69701 \text{kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 69701}{39000000}} \right) \\
 &= 0.0018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0.0036 &> 0.0018 < 0.025 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

ρ yang dipakai 0.0036

$$A_s = \rho b_w d_x$$

$$= 0.0036 \times 1 \times 0.124 \\ = 0.00044 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ = 0.00044 / 0.00013 \\ = 4$$

4.4.4.5.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w / n \quad (\text{SNI } 2847:2013, \text{ pasal 7.6.5}) \\ = 1000 / 4 \\ = 250 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 3h_f \\ = 3 \times 150 \\ = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max} \\ 250 < 450 \text{ mm OK}$$

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\max} \\ 250 < 450 \text{ mm OK}$$

- ✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d_x}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 1 \times 0.124}{39000000} \\ = 0.00047 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d_x}{f_y} < A_{s \min} \\ \frac{1.4 \times 1 \times 0.124}{390} < 0.00047 \\ 0.00044 < 0.00047 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \min}$ yang dipakai 0.00047 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 4 \times 0.00013 \\ &= 0.00053 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_{s \text{ akt}} \\ 0.00044 &< 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &< A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00047 &> 0.00044 < 0.00053 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.00053 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 1} \\ &= 0.007 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.007 / 0.8 \\ &= 0.0087 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d_x - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.125 - 0.0087}{0.0087} \right) \\ &= 0.04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 &< \epsilon_t & (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 &< 0.04 \text{ OK}, \theta = 0.9 \end{aligned}$$

$\epsilon_y < \epsilon_s$
 $0.002 < 0.04 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y)$

$c / d_t < 0.375$
 $0.0087 / 0.124 < 0.0375$
 $0.07 < 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh}$

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_{n\text{ akt}} = \theta A_s f_y (d_x - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.00053 \times 39000000 \times (0.124 - 0.007 / 2)$$

$$= 2236 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n\text{ akt}}$$

$$957 < 2236 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,
Tulangan utama D13-125

4.4.4.5.2 Penulangan Susut

$$A_{s\text{ akt}} = 0.0018 b_w d_y$$

$$= 0.0018 \times 1 \times 0.12$$

$$= 0.00022 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s\text{ tulangan}}$$

$$= 0.00022 / 0.00013$$

$$= 2$$

4.4.4.5.2.1 Kontrol Penulangan Susut

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w / n \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$= 1000 / 2$$

$$= 500 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max}} = 3h_f$$

$$= 3 \times 150$$

$$= 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\text{max}}$$

$$500 > 450 \text{ mm TAK OK}$$

$$s_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{\text{max}}$$

$$500 > 450 \text{ mm TAK OK}$$

Dipasang,

Tulangan susut D13-200

4.4.4.6 Perhitungan Penulangan Balok Bordes

4.4.4.6.1 Penulangan Lentur

4.4.4.6.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

$$M_u = 3685 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 3685 / 0.9 \\ &= 4094 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.62 \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{4094}{0.3 \times 0.62^2} \\ &= 34993 \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 34993}{39000000}} \right) \\ &= 0.0009\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$
 $0.0036 > 0.0009 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.62 \\ &= 0.00067 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00067 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.4.6.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 124$ mm OK

✓ Kontrol $A_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000}}{39000000} \times 0.3 \times 0.625 \\ &= 0.00071 m^2\end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.62}{390} < 0.00071$$

$$0.00067 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_s \text{ min}$ yang dipakai 0.00071 m^2

$$\begin{aligned} A_s \text{ akt} &= n A_s \text{ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.0098 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_s \text{ akt} \\ 0.0009 &< 0.0098 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &< A_s < A_s \text{ akt} \\ 0.00071 &> 0.00067 < 0.00098 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_w} \\ &= \frac{0.0098 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &< h_f \\ 0.064 &< 0.15 \text{ m OK, bukan balok T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.032 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$0.005 < \epsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2})$$

$0.005 < 0.032$ OK, $\theta = 0.9$

$\varepsilon_y < \varepsilon_s$

$0.002 < 0.032$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$c / d_t < 0.375$

$0.054 / 0.62 < 0.375$

$0.09 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2)$$

$$= 0.9 \times 0.00098 \times 39000000 \times (0.62 - 0.043 / 2)$$

$$= 20771 \text{ kgm}$$

$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$

$3685 < 20771 \text{ kgm}$ OK

Dipasang,

Tulangan utama 2D25

4.4.4.6.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif}$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2)

$0.5 \times 20771 < 1274$

$10385 > 1274 \text{ kgm}$ TAK OK

$M_u = 10385 \text{ kgm}$

$\theta = 0.9$ (SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7)

$M_n = M_u / \theta$

$$= 10385 / 0.9$$

$$= 11539 \text{ kgm}$$

$d = h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2$

$$= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2$$

$$= 0.62 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) && (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{11539}{0.3 \times 0.62^2} \\ &= 98626 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 98626}{39000000}} \right) \\ &= 0.0026\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 > 0.0026 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.62 \\ &= 0.00067 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.00067 / 0.00049 \\ = 2$$

4.4.4.6.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ = 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ = 124\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$$25 < s$$

25 < 124 mm OK

- ✓ Kontrol $A_s \text{ min}$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ = \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.625}{39000000} \\ = 0.00071\text{m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.62}{390} < 0.00071$$

0.00067 < 0.00071 m^2 OK

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00071m^2

$$A_{s \text{ akt}} = n A_{s \text{ tulangan}} \\ = 2 \times 0.00049 \\ = 0.0098\text{m}^2$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

0.00067 < 0.0098 m^2 OK

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00071 > 0.00067 < 0.00098 \text{ m}^2$ OK

- ✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\
 &= \frac{0.00098 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\
 &= 0.043 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.064 < 0.15 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 0.043 / 0.8 \\
 &= 0.054 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\
 &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.054}{0.054} \right) \\
 &= 0.032
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 390 / 200000 \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0.005 &< \varepsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\
 0.005 &< 0.032 \text{ OK}, \theta = 0.9
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s$$

$0.002 < 0.032$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.054 / 0.62 < 0.0375$$

$0.09 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned}
 \theta M_{n\text{ akt}} &= \theta A_s f_y (d - a / 2) \\
 &= 0.9 \times 0.00098 \times 39000000 \times (0.62 - 0.043 / 2) \\
 &= 20771 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\theta M_n < \theta M_{n\text{ akt}}$$

$10385 < 20771$ kgm OK

Dipasang,
Tulangan utama 2D25

4.4.4.6.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif}$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2)

$0.25 \times 20771 < 1274$

$5193 > 1274 \text{ kgm TAK OK}$

$$M_u = 5193 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 5193 / 0.9 \\ &= 5770 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - selimut - begel - D / 2 \\ &= 0.7 - 0.05 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.62 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{5770}{0.3 \times 0.62^2} \\ &= 49313 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 49313}{39000000}} \right) \\ &= 0.0013\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 > 0.0013 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0036

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b_w d \\ &= 0.0036 \times 0.3 \times 0.62 \\ &= 0.00067 m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 0.00067 / 0.00049 \\ &= 2\end{aligned}$$

4.4.4.6.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\ &= 0.3 - 2 \times 0.05 - 2 \times 0.013 - 2 \times 0.025 / (2 - 1) \times 1000 \\ &= 124 \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})\end{aligned}$$

$25 < s$

$25 < 124 \text{ mm}$ OK

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'} b_w d}{f_y} \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.3 \times 0.625}{39000000}\end{aligned}$$

$$= 0.00071 \text{ m}^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.3 \times 0.62}{390} < 0.00071$$

$$0.00067 < 0.00071 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \ min}$ yang dipakai 0.00071 m^2

$$\begin{aligned} A_{s \ akt} &= n A_{s \ tulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.0098 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00067 < 0.0098 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \ min} < A_s < A_{s \ akt}$$

$$0.00071 > 0.00067 < 0.00098 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.0098 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.3} \\ &= 0.043 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.064 < 0.15 \text{ m}$ OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.043 / 0.8 \\ &= 0.054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.62 - 0.054}{0.054} \right) \\ &= 0.032 \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 390 / 2000000 \\ = 0.002$$

$$0.005 < \varepsilon_t \quad (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 < 0.032 \text{ OK}, \theta = 0.9$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_s$$

$0.002 < 0.032$ OK, tulangan tarik leleh ($f_s = f_y$)

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.054 / 0.62 < 0.0375$$

$0.09 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\theta M_n \text{ akt} = \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ = 0.9 \times 0.00098 \times 39000000 \times (0.62 - 0.043 / 2) \\ = 20771 \text{ kgm}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$$5193 < 20771 \text{ kgm OK}$$

Dipasang,

Tulangan utama 2D25

4.4.4.6.2 Penulangan Geser

$$V_u = 2491 \text{ kg}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ = 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 625 / 10 \\ = 18842 \text{ kg}$$

4.4.4.6.2.1 Kontrol Penulangan Geser

$$0.5 \theta V_c < V_u < \theta V_c$$

$$0.5 \times 0.75 \times 18842 < 2491 < 0.75 \times 18842$$

$7066 > 2491 < 14132 \text{ kg OK, pakai tulangan geser minimum}$

s_{\max} menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} d / 2 &= 625 / 2 \\ &= 312 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \min} &\text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3 adalah} \\ A_{v \ min} &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w s / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 \times 312 / 390 \\ &= 88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.35 b_w s / f_{yt} \\ &= 0.35 \times 300 \times 312 / 390 \\ &= 84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &< A_v \\ 88 &< 265 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

4.4.4.6.2.2 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis
s diujung sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 2 \\ &= 625 / 2 \\ &= 312 \text{ mm} \\ s_{\max} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-175

4.4.4.6.2.3 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis
s pada sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.3.2 adalah sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$ dengan pemasangan sengkang tertutup pertama maksimal 50mm dari ujung kolom

$$\begin{aligned} s_{\max} &= d / 4 \\ &= 625 / 4 \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 156\text{mm}$$

$$S_{\max} = 6 d_b$$

$$= 6 \times 25$$

$$= 150\text{mm}$$

$$S_{\max} = 150\text{mm}$$

$$S_{\min} \leq 100\text{mm}$$

Dipasang,

Tulangan geser D13-100

4.4.4.6.3 Penulangan Torsi

$$T_u = 994\text{kNm}$$

$$V_u = 2491\text{kg}$$

$$\begin{aligned} b_o &= b - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 300 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 187\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_o &= h - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\ &= 700 - 2 \times (50 + 13 / 2) \\ &= 587\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b h && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \\ &= 300 \times 700 \\ &= 210000\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 (b + h) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 2 \times (300 + 700) \\ &= 2000\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= b_o h_o && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 187 \times 587 \\ &= 109769\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0.85 A_{oh} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\ &= 0.85 \times 109769 \\ &= 93304\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 (b_o + h_o) && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\ &= 2 \times (187 + 587) \\ &= 1548 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 625 / 10 \\ &= 18842 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.4.4.6.3.1 Kontrol Penulangan Torsi

✓ Kontrol kebutuhan tulangan torsi

$$\begin{aligned} \theta T_{n \min} &= \theta 0.083 \lambda \sqrt{f_c} A_{cp}^2 / P_{cp} \\ &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times 44100000000 / 2000 \times 10^{-4} \\ &= 812 \text{ kgm} && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \end{aligned}$$

$$T_u < \theta T_{n \min}$$

994 > 812 kgm TAK OK

✓ Kontrol kecukupan penampang

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} &\leq \emptyset \frac{V_c}{b_w d} + 0.06 \sqrt{f_c} \\ \sqrt{\left(\frac{24908}{300 \times 625}\right)^2 + \left(\frac{9944600 \times 1548}{1.7 \times 12049233361}\right)^2} &\leq 0.75 \times \frac{188424}{300 \times 625} + 0.66 \sqrt{35} \end{aligned}$$

0.76 < 3.68 OK, tak pakai tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2)

4.4.4.6.3.2 Penulangan Torsi Melintang Posisi Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$\begin{aligned} T_n &= 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s && (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\ 2 A_t / s &= 13259467 / (93304 \times 390 \times 1) \\ &= 0.36 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s &= 88 / 312 \\ &= 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s$$

$$= 0.28 + 0.36 \\ = 0.65 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt \min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \ min} / s \\ 0.65 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad \text{OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{ mm}^2$$

$$s = A_{v \ akt} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 0.65 \\ = 410 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 410 > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{max} = P_h / 8 \\ = 1548 / 8 \\ = 194 \text{ mm}$$

$$s_{akt} = 100 \text{ mm}$$

$$s > s_{akt} \\ 194 > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-100

4.4.4.6.3.3 Penulangan Torsi Melintang Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$2 A_t / s = 13259467 / (93304 \times 390 \times 1) \\ = 0.36 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_v / s = 88 / 312 \\ = 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$A_{vt} / s = A_v / s + 2 A_t / s \\ = 0.28 + 0.36 \\ = 0.65 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$(A_v + 2A_t) / s = 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_{yt} \\ = 0.062 \times \sqrt{35} \times 300 / 390 \\ = 0.28 \text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt \min} / s = 0.35 b_w / 390 \\ = 0.35 \times 300 / 390 \\ = 0.27 \text{mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2})$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \min} / s \\ 0.65 > 0.28 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{m}^2$

$$A_v = 2 \times A_s \\ = 2 \times 133 \\ = 265 \text{mm}^2$$

$$s = A_{v \text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ = 265 / 0.65$$

$$= 410\text{mm}$$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{akt} \\ 410 & > 175 \text{ mm OK} \end{array}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$s_{max} = 300\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1})$$

$$\begin{aligned} s_{max} &= P_h / 8 \\ &= 1548 / 8 \\ &= 194\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 175\text{mm}$$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{akt} \\ 194 & > 175 \text{ mm OK} \end{array}$$

Dipasang,

Tulangan geser torsi D13-175

4.4.4.6.3.4 Penulangan Torsi Memanjang Posisi Sendi Plastis dan Diujung Sendi Plastis

$$A_t / s > 0.175 b_w / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$0.36 / 2 > 0.175 \times 300 \times 390$$

$$0.18 > 0.13 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}$$

$$\begin{aligned} A_l &= A_t P_h f_{yt} \cot^2 \theta / (s f_y) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7}) \\ &= 0.18 \times 1548 \times 390 \times \cot^2 45 / 390 \\ &= 282\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l min} &= (0.42 \sqrt{f_c A_{cp}} / f_y) + ((A_t / s) P_h (f_{yt} / f_y)) \\ &= (0.42 \times \sqrt{35} \times 210000 / 390) + \\ &\quad (0.18 \times 1548 \times 390 / 390) \\ &= 1056\text{mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3}) \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} A_l & > A_{l min} \\ 282 & < 1056 \text{ mm}^2 \text{ OK, pakai } A_{l min} \end{array}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2, A_l didistribusikan keseluruhan sudut di dalam sengkang pada muka vertical penampang dengan rincian,

Sisi atas

$$\begin{aligned} 0.25 A_l &= 0.25 \times 1056 \\ &= 264 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ akt} = 981 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} 0.25 A_l + A_s \text{ akt} &= 264 + 981 \\ &= 1245 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D13, $A_s = 531 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_l \text{ akt} &= A_s \text{ akt} + A_s \\ &= 981 + 531 \\ &= 1512 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ akt} &> 0.25 A_l + A_s \text{ akt} \\ 1512 &> 1245 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol jarak antar tulangan torsi memanjang

$s_{\max} = 300$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2)

$$\begin{aligned} s_{\text{akt}} &= h_o / (n / 2 + 1) \\ &= 587 / (4 / 2 + 1) \\ &= 196 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 300 &> 196 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,

Tulangan geser torsi 4D13

Tabel 4.65. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Terpasang Desain Plat Tangga dan Bordes

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang			
	I_x (mm)	I_y (mm)	t (mm)	Atas arah x	Bawah arah x	Atas arah y	Bawah arah y
S2B	1300	2650	150	D13-125	D13-125	D13-200	D13-200
S2C	1500	2900	150	D13-125	D13-125	D13-200	D13-200

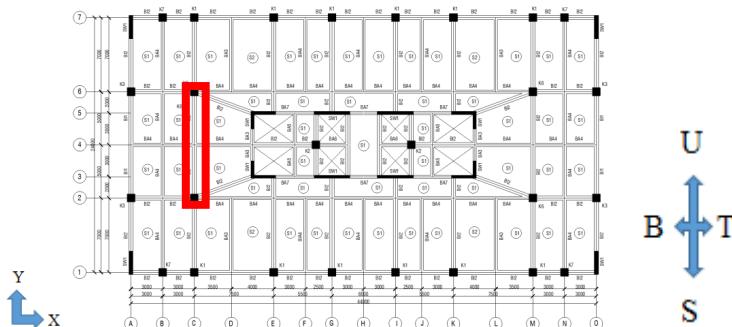
Tabel 4.66. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Bordes

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan				Lapangan			
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping	Bawah	Sengkang
B2C	300	700	3000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175

4.5 Perencanaan Struktur Primer

4.5.1 Perencanaan Balok Induk

4.5.1.1 Data Perencanaan



Gambar 4.28. Denah Balok Induk

1. Dimensi elemen balok induk

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
B1A	400	700	7000
B1B	400	700	10000
B1C	400	700	5280
B1D	400	700	9000
B1E	400	700	3000
B1F	400	700	6000
B1G	400	700	7500
B1H	400	700	5500
B1I	400	700	6000

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c')

Mutu beton (f_c') menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah $>21\text{ MPa}$

$$f_c' = 35\text{ MPa}, E_c = 27806\text{ MPa}$$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah $<420\text{ MPa}$

- Longitudinal (BJTD40)

$$\begin{aligned} - f_y &= 390\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \\ - f_u &= 488\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \end{aligned}$$

- Transversal (BJTP40)

$$\begin{aligned} - f_y &= 390\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \\ - f_u &= 488\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Tebal selimut = 65mm

4. Dimensi tulangan

a. Longitudinal = D25, As = 491 mm^2

b. Transversal = D13, As = 133 mm^2

4.5.1.2 Pembebanan dan Gaya Dalam

Pembebanan menurut SNI 1727:2013 dan ASCE7-05 adalah

Beban Mati	Berat	p (m)	l (m)	Beban (kg/m)
Pelat	2400	0.12	3.3	936
Balok	2400	0.4	0.7	672
Finishing kinding	1850	3.4	0.02	101
Spesi keramik	1950	0.02	3.3	127
Tegel	16		3.3	52
Tembok setengah bata	600	0.15	3.4	306
MEP	19		3.3	62
Penggantung Plafon	8		3.3	26
Plafon	8.4		3.3	27
Total				2308

Beban Hidup	Berat	p (m)	l (m)	Beban (kg/m)
Lantai ruang	192		3.3	624

	Total	624
--	-------	-----

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2 q_d + 1.6 q_l \\
 &= 1.2 \times 2308 + 1.6 \times 624 \\
 &= 3768 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Hasil analisa program bantu SAP2000 adalah

Kombinasi	M_u^+ (kgm)	M_u^- (kgm)	V_u (kg)	P_u (kgm)	T_u (kgm)
B1A-I					
1.2D+1.6L	24056	35519	18356	0.0	1835
1.3D+1.3EX+L	24506	39509	19295	0.0	3458
1.3D+1.3EY+L	24611	52258	22158	0.0	2548

4.5.1.3 Perhitungan Penulangan Balok Induk

4.5.1.3.1 Penulangan Lentur

4.5.1.3.1.1 Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan (Kondisi 1 dan 2)

$$M_u = 52258 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \theta \\
 &= 52258 / 0.9 \\
 &= 58064 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\
 &= 0.7 - 0.65 - 0.013 - 0.025 / 2 \\
 &= 0.61 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w d^2}$$

$$= \frac{58064}{0.4 \times 0.61^2} \\ = 390750 \text{ kg/m}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ = \frac{390}{0.85 \times 35} \\ = 13$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\rho_{\min} = 1.4 / f_y \\ = 1.4 / 390 \\ = 0.0036$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 390750}{39000000}} \right) \\ = 0.0108$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0036 < 0.0108 < 0.025 \text{ OK}$$

ρ yang dipakai 0.0108

$$A_s = \rho b_w d \\ = 0.0108 \times 0.4 \times 0.61 \\ = 0.0026 \text{ m}^2$$

$$n = A_s / A_{s \text{ tulangan}} \\ = 0.0026 / 0.00049 \\ = 5$$

4.5.1.3.1.2 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Negatif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

Dipakai 2 lapis tulangan, lapis pertama 4D25, lapis kedua 2D25

$$\begin{aligned}
 s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\
 &= 0.4 - 2 \times 0.65 - 2 \times 0.013 - 4 \times 0.025 / (4 - 1) \times 1000 \\
 &= 48\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})
 \end{aligned}$$

$$25 < s$$

$25 < 48 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_s \text{ min}$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\
 &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.4 \times 0.61}{39000000} \\
 &= 0.00092 \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.4 \times 0.61}{390} < 0.00092$$

$$0.00088 < 0.00092 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00092m^2

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\
 &= 6 \times 0.00049 \\
 &= 0.0029 \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.0009 < 0.002 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$$0.00092 < 0.0026 < 0.0029 \text{ m}^2 \text{ OK}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\
 &= \frac{0.0029 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.4} \\
 &= 0.096 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.096 < 0.12$ m OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.096 / 0.8 \\ &= 0.12\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.61 - 0.12}{0.12} \right) \\ &= 0.012 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 &< \epsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 &< 0.012 \text{ OK}, \theta = 0.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &< \epsilon_s \\ 0.002 &< 0.012 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c / d_t &< 0.375 \\ 0.12 / 0.61 &< 0.0375 \\ 0.2 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh} \end{aligned}$$

- ✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.0029 \times 39000000 \times (0.61 - 0.096 / 2) \\ &= 57993\text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta M_n &< \theta M_n \text{ akt} \\ 52258 &< 57993 \text{ kgm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama 6D25

4.5.1.3.1.3 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan (Kondisi 3 dan 4)

$$0.5 \theta M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$\begin{array}{ll} 0.5 \times 57993 & < 24611 \\ 28996 & > 24611 \text{ kgm TAK OK} \end{array}$$

$$M_u = 28996 \text{ kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \theta \\ &= 28996 / 0.9 \\ &= 32218 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2 \\ &= 0.7 - 0.65 - 0.013 - 0.025 / 2 \\ &= 0.61 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3}) \\ &= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\ &= \frac{32218}{0.4 \times 0.61^2} \\ &= 216817 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\ &= 1.4 / 390 \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 216817}{39000000}} \right)$$

$$= 0.0058$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 < 0.0058 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0058

$$A_s = \rho b_w d$$

$$= 0.0058 \times 0.4 \times 0.61$$

$$= 0.0014 m^2$$

$$n = A_s / A_s \text{ tulangan}$$

$$= 0.0014 / 0.00049$$

$$= 3$$

4.5.1.3.1.4 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$s = b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1)$$

$$= 0.4 - 2 \times 0.65 - 2 \times 0.013 - 3 \times 0.025 / (3 - 1) \times 1000$$

$$= 85 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})$$

$25 < s$

$25 < 85 \text{ mm}$ OK

✓ Kontrol $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y}$$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.4 \times 0.61}{39000000}$$

$$= 0.00092 m^2$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \min}$$

$$\frac{1.4 \times 0.4 \times 0.61}{390} < 0.00092$$

$0.00088 < 0.00092 \text{ m}^2$ OK

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai $0.00092m^2$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\ &= 3 \times 0.00049 \\ &= 0.0015m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &< A_{s \text{ akt}} \\ 0.0014 &< 0.0015 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &< A_s < A_{s \text{ akt}} \\ 0.00092 &< 0.0014 < 0.0015 \text{ m}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\ &= \frac{0.0015 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.4} \\ &= 0.048m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &< h_f \\ 0.048 &< 0.12 \text{ m OK, bukan balok T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.048 / 0.8 \\ &= 0.06m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.61 - 0.06}{0.06} \right) \\ &= 0.027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 &< \epsilon_t & (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 &< 0.027 \text{ OK, } \theta = 0.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &< \epsilon_s \\ 0.002 &< 0.027 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y) \end{aligned}$$

$$c / d_t < 0.375$$

$$0.06 / 0.61 < 0.0375$$

$0.1 < 0.375$ OK, dalam kondisi tarik dan leleh

✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned}\theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.0015 \times 39000000 \times (0.61 - 0.048 / 2) \\ &= 30242 \text{kgm}\end{aligned}$$

$$\theta M_n < \theta M_n \text{ akt}$$

$28996 < 30242$ kgm OK

Dipasang,

Tulangan utama 3D25

4.5.1.3.1.5 Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Lapangan dan Negatif Lapangan (Kondisi 5 dan 6)

$$0.25 M_n \text{ negatif} < M_u \text{ positif} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.2})$$

$$0.25 \times 57993 < 24611$$

$$14498 < 24611 \text{ kgm OK}$$

$$M_u = 24611 \text{kgm}$$

$$\theta = 0.9 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$M_n = M_u / \theta$$

$$= 24611 / 0.9$$

$$= 27346 \text{kgm}$$

$$d = h - \text{selimut} - \text{begel} - D / 2$$

$$= 0.7 - 0.65 - 0.013 - 0.025 / 2$$

$$= 0.61 \text{m}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 10.2.7.3})$$

$$= 0.85 - 0.05 \left(\frac{35 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.8$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b_w d^2} \\
 &= \frac{27346}{0.4 \times 0.61^2} \\
 &= 184027 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c'} \\
 &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\
 &= 13
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} = 0.025$ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 390 \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13 \times 184027}{39000000}} \right) \\
 &= 0.0049
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0036 < 0.0049 < 0.025$ OK

ρ yang dipakai 0.0049

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho b_w d \\
 &= 0.0049 \times 0.4 \times 0.61 \\
 &= 0.0012 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_s / A_s \text{ tulangan} \\
 &= 0.0012 / 0.00049 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

4.5.1.3.1.6 Kontrol Penulangan Lentur Akibat Momen Positif Tumpuan

- ✓ Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 s &= b_w - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{begel} - n \times D / (n - 1) \\
 &= 0.4 - 2 \times 0.65 - 2 \times 0.013 - 3 \times 0.025 / (3 - 1) \times 1000 \\
 &= 85\text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 7.6.5})
 \end{aligned}$$

$$25 < s$$

$25 < 85 \text{ mm OK}$

✓ Kontrol $A_s \text{ min}$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c} b_w d}{f_y} \\
 &= \frac{0.25 \times \sqrt{3500000} \times 0.4 \times 0.61}{39000000} \\
 &= 0.00092 \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{1.4 b_w d}{f_y} < A_{s \text{ min}}$$

$$\frac{1.4 \times 0.4 \times 0.61}{390} < 0.00092$$

$0.00088 < 0.00092 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$A_{s \text{ min}}$ yang dipakai 0.00092m^2

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ akt}} &= n A_{s \text{ tulangan}} \\
 &= 3 \times 0.00049 \\
 &= 0.0015 \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.0012 < 0.0015 \text{ m}^2 \text{ OK}$

$$A_{s \text{ min}} < A_s < A_{s \text{ akt}}$$

$0.00092 < 0.0012 < 0.0015 \text{ m}^2 \text{ OK}$

✓ Kontrol penampang tarik

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_w} \\
 &= \frac{0.0015 \times 39000000}{0.85 \times 3500000 \times 0.4} \\
 &= 0.048\text{m}
 \end{aligned}$$

$$a < h_f$$

$0.048 < 0.12$ m OK, bukan balok T

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 0.048 / 0.8 \\ &= 0.06\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{0.61 - 0.06}{0.06} \right) \\ &= 0.027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 390 / 200000 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.005 &< \epsilon_t && (\text{SNI 2847:2013 gambar S9.3.2}) \\ 0.005 &< 0.027 \text{ OK}, \theta = 0.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &< \epsilon_s \\ 0.002 &< 0.027 \text{ OK, tulangan tarik leleh } (f_s = f_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c / d_t &< 0.375 \\ 0.06 / 0.61 &< 0.0375 \\ 0.1 &< 0.375 \text{ OK, dalam kondisi tarik dan leleh} \end{aligned}$$

- ✓ Kontrol momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \theta M_n \text{ akt} &= \theta A_s f_y (d - a / 2) \\ &= 0.9 \times 0.0015 \times 39000000 \times (0.61 - 0.048 / 2) \\ &= 30242\text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta M_n &< \theta M_n \text{ akt} \\ 24611 &< 30242 \text{ kgm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan utama 3D25

4.5.1.3.2 Penulangan Geser

$a_{pr\ 1} = a_{pr\ 2}$, karena pendetailan kedua penampang identik

$$\begin{aligned}
 a_{pr\ 1} &= (1.25 A_s f_y) / (0.85 f_c' b) \\
 &= (1.25 \times 0.0029 \times 39000000) / (0.85 \times 3500000 \times 0.4) \\
 &= 0.12m \\
 M_{pr\ 1} &= 1.25 A_s f_y (d - a_{pr\ 1} / 2) \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2)} \\
 &= 1.25 \times 0.0029 \times 39000000 \times (0.61 - 0.12 / 2) \\
 &= 78815\text{kgm} \\
 a_{pr\ 3} &= a_{pr\ 4}, \text{ karena pendetailan kedua penampang identik} \\
 a_{pr\ 3} &= (1.25 A_s f_y) / (0.85 f_c' b) \\
 &= (1.25 \times 0.0015 \times 39000000) / (0.85 \times 3500000 \times 0.4) \\
 &= 0.06m \\
 M_{pr\ 3} &= 1.25 A_s f_y (d - a_{pr\ 1} / 2) \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2)} \\
 &= 1.25 \times 0.0015 \times 39000000 \times (0.61 - 0.06 / 2) \\
 &= 41571\text{kgm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.67. Rekapitulasi Kuat Lentur Mungkin Maksimum Balok Induk

Kode	Lokasi	Arah gempa	M _u	Tulangan	A _s	θM _n	M _{pr}
B1A-I	Interior ka (-)	Kanan	52258	6 D 25	0.0029	57993	78815 cw
	Interior ki (-)	Kiri	52258	6 D 25	0.0029	57993	78815 ccw
	Interior ka (+)	Kiri	14498	3 D 25	0.0015	30242	41571 ccw
	Interior ki (+)	Kanan	14498	3 D 25	0.0015	30242	41571 cw

$$\begin{aligned}
 V_u &= (1.2 q_d + 1.6 q_l) \times l_n / 2 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 8.3.3)} \\
 &= (1.2 \times 2971 + 1.6 \times 960) \times 9.3 / 2 \\
 &= 23718\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sway\ kanan} &= (M_{pr\ 1} + M_{pr\ 2}) / l_n \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2)} \\
 &= (78815 + 41571) / 9.3 \\
 &= 12945\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sway\ kiri} &= (M_{pr\ 3} + M_{pr\ 4}) / l_n \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2)} \\
 &= (78815 + 41571) / 9.3 \\
 &= 12945\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$V_e\ kanan = V_u + V_{sway\ kanan}$$

$$\begin{aligned}
 &= 23718 + 12945 \\
 &= 36663\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e \text{ kanan} &= V_u - V_{\text{sway kanan}} \\
 &= 23718 - 12945 \\
 &= 10773\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e \text{ kiri} &= V_u + V_{\text{sway kiri}} \\
 &= 23718 + 12945 \\
 &= 36663\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e \text{ kiri} &= V_u - V_{\text{sway kiri}} \\
 &= 23718 - 12945 \\
 &= 10773\text{kg}
 \end{aligned}$$

4.5.1.3.2.1 Kontrol Penulangan Geser

Tabel 4.68. Rekapitulasi Geser Muka Kolom Balok

Kode	Arah gerak gempa	V _{sway}	Muka kolom kiri		Muka kolom kanan		Ket
			V _u	0.5V _u	V _u	0.5V _u	
B1A-I	Kanan	12945	10773	5387	36663	18331	Vc = 0
	Kiri	12945	36663	18331	10773	5387	Vc = 0

$$\begin{aligned}
 P_{u \max} &= A_g f_c' / 20 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.4.2}) \\
 &= 0.28 \times 3500000 / 20 \\
 &= 49000\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$P_u = 0\text{kg}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &< P_{u \max} \\
 0 &< 49000\text{kg} \text{ OK, } V_c = 0
 \end{aligned}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

4.5.1.3.2.2 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_u / \theta - V_c && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.4.2}) \\
 &= 36663 / 0.75 - 0 \\
 &= 48884\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s \max} &= 0.66 \sqrt{f_c'} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.9}) \\
 &= 0.66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 610
 \end{aligned}$$

$$= 95194\text{kg}$$

$V_s < V_{s \max}$
 $48884 < 95194 \text{ kg OK, pakai } V_s$

Digunakan tulangan D13 tiga kaki, $A_s = 133\text{m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 3 \times A_s \\ &= 3 \times 133 \\ &= 398\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= A_v f_y d / V_s && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.2}) \\ &= 398 \times 390 \times 610 / 488838 \\ &= 194\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 125\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{akt} \\ 194 &> 124 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s akt} &= A_v f_y d / s && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.2}) \\ &= 398 \times 390 \times 610 / 125 / 10 \\ &= 75684\text{kg} \end{aligned}$$

$V_s < V_{s akt}$
 $48884 < 75684 \text{ kg OK}$

s pada sendi plastis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.3.2 adalah sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400\text{mm}$ dengan pemasangan sengkang tertutup pertama maksimal 50mm dari ujung kolom

$$\begin{aligned} s_{max} &= d / 4 \\ &= 610 / 4 \\ &= 151\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{max} &= 6 d_b \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150\text{mm} \\ s_{max} &= 150\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{\min} \leq 100\text{mm}$$

Dipasang,
Tulangan geser 3D13-100

4.5.1.3.2.3 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\begin{aligned} V_u &= (1.2 q_d + 1.6 q_l) \times l_n / 2 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 8.3.3}) \\ &= (1.2 \times 2971 + 1.6 \times 960) \times 1.4 / 2 \\ &= 3570\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= V_u \text{ sendiplastis} - V_u \\ &= 36663 - 3570 \\ &= 33092\text{kg} \end{aligned}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7})$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 610 / 10 \\ &= 24520\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_u / \theta - V_c \\ &= 33092 / 0.75 - 24520 \\ &= 19603\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \max} &= 0.66 \sqrt{f_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.9}) \\ &= 0.66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 610 / 10 \\ &= 95194\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &< V_{s \max} \\ 19603 &< 95195 \text{ kg OK, pakai } V_s \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133\text{m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= A_v f_y t d / V_s \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.2}) \\ &= 265 \times 390 \times 610 / 19603 \\ &= 322\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{akt} = 200\text{mm}$$

$$\begin{aligned}s &> s_{akt} \\ 322 &> 200 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{s\ akt} &= A_v f_y d / s && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.2}) \\ &= 265 \times 390 \times 610 \times 200 / 10 \\ &= 31535\text{kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &< V_{s\ akt} \\ 19603 &< 31535 \text{ kg OK}\end{aligned}$$

s diujung sendi plasti menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5.1 adalah

$$\begin{aligned}s_{max} &= d / 2 \\ &= 610 / 2 \\ &= 305\text{mm} \\ s_{max} &= 600\text{mm}\end{aligned}$$

Dipasang,
Tulangan geser D13-200

4.5.1.3.3 Pemutusan Tulangan

Posisi perpotongan ditinjau dari momen negatif dengan batas pada daerah perpotongan antara tulangan atas pada tumpuan terhadap tulangan atas lapangan.

Minimal ada dua tulangan terpasang menerus sepanjang balok dengan lokasi tertentu.

$$\begin{aligned}A_s &= n A_{stulangan} \\ &= 2 \times 0.00049 \\ &= 0.00098\text{m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= A_s f_y / (0.85 f_c' b) \\ &= 0.00098 \times 39000000 / (0.85 \times 3500000 \times 0.4) \\ &= 0.032\text{m}\end{aligned}$$

$$\theta M_n = \theta A_s f_y (d - a / 2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.9 \times 0.001 \times 39000000 \times (0.61 - 0.032 / 2) \\
 &= 20439 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_a &= 0 \\
 &= q_u x^2 / 2 - V_u x + (M_{pr} - \theta M_n) \\
 &= 2550 x^2 - 36663 x + (78815 - 20439) \\
 &= 2550 x^2 - 36663 x + 58376
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{36663 \pm \sqrt{36663^2 - 4 \times 2550 \times 58376}}{2 \times 2550}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 12.55 \text{m} \\
 x_2 &= 1.82 \text{m}
 \end{aligned}$$

$x + l_{s \min}$ menurut SNI 2847:2013, pasal 12.12.1 adalah

$$\begin{aligned}
 l_{s \min} &= d \\
 &= 610 \text{mm} \\
 l_{s \min} &= 12d_b \\
 &= 12 \times 25 \\
 &= 300 \text{mm} \\
 l_{s \min} &= l_n / 16 \\
 &= 9300 / 16 \\
 &= 518 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x + l_{s \min} &= 1.82 + 0.61 \\
 &= 2.43 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2h &< x + l_{s \min} \\
 1.4 &< 2.43 \text{ m OK}
 \end{aligned}$$

l_a menurut SNI 2847:2013, pasal 12.11.1 harus diteruskan kedalam tumpuan minimal 150mm

4.5.1.3.4 Penulangan Torsi

$$\begin{aligned}
 T_u &= 3458 \text{kgm} \\
 V_u &= 36663 \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_o &= b - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\
 &= 400 - 2 \times (65 + 13 / 2) \\
 &= 257\text{mm} \\
 h_o &= h - 2(\text{selimut} + \text{begel} / 2) \\
 &= 700 - 2 \times (65 + 13 / 2) \\
 &= 557\text{mm} \\
 A_{cp} &= b \cdot h \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1}) \\
 &= 400 \times 700 \\
 &= 280000\text{mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2(b + h) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 2 \times (400 + 700) \\
 &= 2200\text{mm} \\
 A_{oh} &= b_o \cdot h_o \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 257 \times 557 \\
 &= 143149\text{mm}^2 \\
 A_o &= 0.85 A_{oh} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}) \\
 &= 0.85 \times 143149 \\
 &= 121677\text{mm}^2 \\
 P_h &= 2(b_o + h_o) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1}) \\
 &= 2 \times (257 + 557) \\
 &= 1628\text{mm} \\
 V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 610 \\
 &= 24520\text{kg}
 \end{aligned}$$

4.5.1.3.4.1 Kontrol Penulangan Torsi

✓ Kontrol kebutuhan tulangn torsi

$$\begin{aligned}
 \theta T_{n \min} &= \theta 0.083 \lambda \sqrt{f_c} \cdot A_{cp}^2 / P_{cp} \\
 &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times 78400000000 / 2200 \times 10^{-4} \\
 &= 1312\text{kgm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1})
 \end{aligned}$$

$$T_u < \theta T_{n \min}$$

$3458 > 1321 \text{ kg TAK OK}$

✓ Kontrol kecukupan penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \frac{V_c}{b_w d} + 0.06 \sqrt{f'_c}$$

$$\sqrt{\left(\frac{366628}{400 \times 610}\right)^2 + \left(\frac{34584200 \times 1628}{1.7 \times 20491636201}\right)^2} \leq 0.75 \times \frac{245198}{400 \times 610} + 0.06 \sqrt{35}$$

$2.21 < 3.68 \text{ OK, tak pakai tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2)}$

4.5.1.3.4.2 Penulangan Torsi Melintang Posisi Sendi Plastis $\theta T_n < T_u$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$\begin{aligned} 2 A_t / s &= 46112267 / (121677 \times 390 \times 1) \\ &= 0.97 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s &= V_s / (f_{yt} d) \\ &= 488838 / (390 \times 609.5) \\ &= 2.06 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &= A_v / s + 2 A_t / s \\ &= 2.06 + 0.97 \\ &= 3.03 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$\begin{aligned} (A_v + 2A_t) / s &= 0.062 \sqrt{f'_c} b_w / f_{yt} \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 400 / 390 \\ &= 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \min} / s &= 0.35 b_w / 390 \\ &= 0.35 \times 400 / 390 \\ &= 0.36 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \min} / s$$

$3.03 > 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}$

Digunakan tulangan D13 tiga kaki, $A_s = 133\text{m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 3 \times A_s \\ &= 3 \times 133 \\ &= 398\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= A_{v\text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ &= 398 / 3.03 \\ &= 131\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 131 &> 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$\begin{aligned} s_{\text{max}} &= 300\text{mm} & (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{\text{max}} &= P_h / 8 \\ &= 1628 / 8 \\ &= 203\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{\text{akt}} = 100\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 203 &> 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Dipasang,

Tulangan geser torsi 3D13-100

4.5.1.3.4.3 Penulangan Torsi Melintang Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\theta T_n < T_u$$

$$T_n = 2 A_o A_t f_{yt} \cot \theta / s \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$\begin{aligned} 2 A_t / s &= 23056133 / (121677 \times 390 \times 1) \\ &= 0.49\text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s &= V_s / (f_{yt} d) \\ &= 196034 / (390 \times 609.5) \\ &= 0.82\text{mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Kombinasi sengkang geser dan torsi

$$\begin{aligned} A_{vt} / s &= A_v / s + 2 A_t / s \\ &= 0.82 + 0.49 \\ &= 1.31 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

✓ Kontrol tulangan torsi melintang minimum

$$\begin{aligned} (A_v + 2A_t) / s &= 0.062 \sqrt{f_c} b_w / f_y \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 400 / 390 \\ &= 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \min} / s &= 0.35 b_w / 390 \\ &= 0.35 \times 400 / 390 \\ &= 0.36 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2}) \end{aligned}$$

$$A_{vt} / s > A_{vt \min} / s$$

$$1.31 > 0.38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad \text{OK}$$

Digunakan tulangan D13 dua kaki, $A_s = 133 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 133 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= A_{v \text{ akt}} / (A_{vt} / s) \\ &= 265 / 1.31 \\ &= 202 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &> s_{\text{akt}} \\ 202 &> 200 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

✓ Kontrol spasi tulangan torsi melintang

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 300 \text{ mm} & (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1}) \\ s_{\max} &= P_h / 8 \\ &= 1628 / 8 \\ &= 203 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s_{\text{akt}} = 200 \text{ mm}$$

$$s > s_{\text{akt}}$$

203 > 200 mm OK

Dipasang,
Tulangan geser torsi D13-200

4.5.1.3.4.4 Penulangan Torsi Memanjang Posisi Sendi Plastis dan Diujung Sendi Plastis

$$A_t / s > 0.175 b_w / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3})$$

$$0.97 / 2 > 0.175 \times 400 \times 390$$

$$0.49 > 0.18 \text{ mm}^2 / \text{mm OK}$$

$$\begin{aligned} A_l &= A_t P_h f_{yt} \cot^2 \theta / (s f_y) \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7}) \\ &= 0.49 \times 1628 \times 390 \times \cot^2 45 / 390 \\ &= 791 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l \min} &= (0.42 \sqrt{f_c A_{cp}} / f_y) + ((A_t / s) P_h (f_{yt} / f_y)) \\ &= (0.42 \times \sqrt{35} \times 210000 / 390) + \\ &\quad (0.48 \times 1628 \times 390 / 390) \\ &= 993 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l &> A_{l \ min} \\ 791 &< 993 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2, A_l didistribusikan keseluruhan sudut di dalam sengkang pada muka vertical penampang dengan rincian,

Sisi atas

$$\begin{aligned} 0.25 A_l &= 0.25 \times 993 \\ &= 248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ akt} = 2944 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} 0.25 A_l + A_s \text{ akt} &= 248 + 2944 \\ &= 3192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D13, $A_s = 531 \text{ mm}^2$

$$A_l \text{ akt} = A_s \text{ akt} + A_s$$

$$\begin{aligned}
 &= 2944 + 531 \\
 &= 3474 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{l \text{ akt}} &> 0.25 A_l + A_{s \text{ akt}} \\
 3474 &> 3192 \text{ mm}^2 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

✓ Kontrol jarak antar tulangan torsi memanjang
 $s_{\max} = 300$ (SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.2)

$$\begin{aligned}
 s_{\text{akt}} &= h_o / (n / 2 + 1) \\
 &= 557 / (4 / 2 + 1) \\
 &= 186 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &> s_{\text{akt}} \\
 300 &> 186 \text{ mm OK}
 \end{aligned}$$

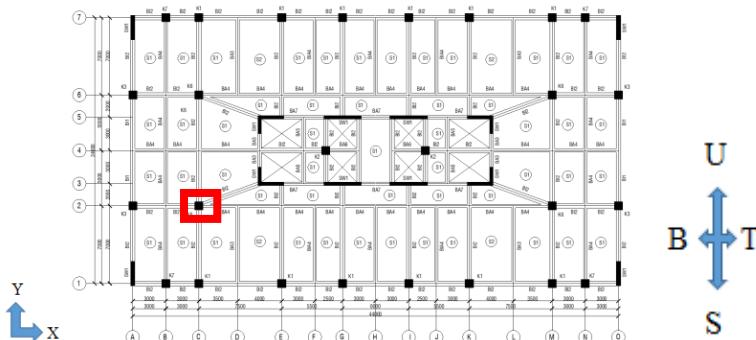
Dipasang,
Tulangan geser torsi 4D13

Tabel 4.69. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Balok Induk

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan				Lapangan			
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping	Bawah	Sengkang
B1A	400	700	7000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1B	400	700	10000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1C	400	700	5280	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1D	400	700	9000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1E	400	700	3000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1G	400	700	7500	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1H	400	700	5500	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1I	400	700	6000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200

4.5.2 Perencanaan Kolom

4.5.2.1 Data Perencanaan



Gambar 4.29. Denah Kolom

1. Dimensi elemen kolom

Kode	b (mm)	h (mm)	l (mm)
K1A	700	750	3400
K1B	700	750	3400
K1C	700	750	3400

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c')

Mutu beton (f_c') menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah $>21\text{ MPa}$

$$f_c' = 35\text{ MPa}, E_c = 27806\text{ MPa}$$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah $<420\text{ MPa}$

- Longitudinal (BJTD40)

$$\begin{aligned} - f_y &= 390\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \\ - f_u &= 488\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \end{aligned}$$

- Transversal (BJTP40)

$$\begin{aligned} - f_y &= 390\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \\ - f_u &= 488\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Tebal selimut = 65mm

4. Dimensi tulangan

- a. Longitudinal = D25, $A_s = 491 \text{ mm}^2$
 b. Transversal = D13, $A_s = 133 \text{ mm}^2$

4.5.2.2 Pembebatan dan Gaya Dalam

Pembebatan menurut SNI 1727:2013 dan ASCE7-05 adalah

Hasil analisa program bantu SAP2000 adalah

Kombinasi	M_u (kgm)	V_u (kg)	P_u (kgm)	T_u (kgm)
K1A-C				
1.3D+1.3EY+L _{abv}	30528	16902	558769	24
1.3D+1.3EY+L _{blw}	26774	10480	714404	12
1.3D+1.3EY+L _{dsn}	32370	15874	635757	20

4.5.2.3 Perhitungan Penulangan Kolom

4.5.2.3.1 Penulangan Lentur

- ✓ Kontrol gaya axial

$$\begin{aligned} A_g &= b h \\ &= 700 \times 750 \\ &= 525000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_g f_c' / 10 < P_u \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.1})$$

$$525000 \times 35 / 10 < 714404$$

$$183750 < 714404 \text{ kg OK}$$

- ✓ Kontrol sisi penampang terpendek

$$\begin{aligned} b &> 300 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.1.1}) \\ 700 &> 300 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

- ✓ Kontrol konfigurasi penulangan

Digunakan tulangan 24 D25, $A_{st} = 24 \times 490.63 = 11775 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \rho_g &= A_{st} / A_g \\ &= 11775 / 525000 \\ &= 0.022 \end{aligned}$$

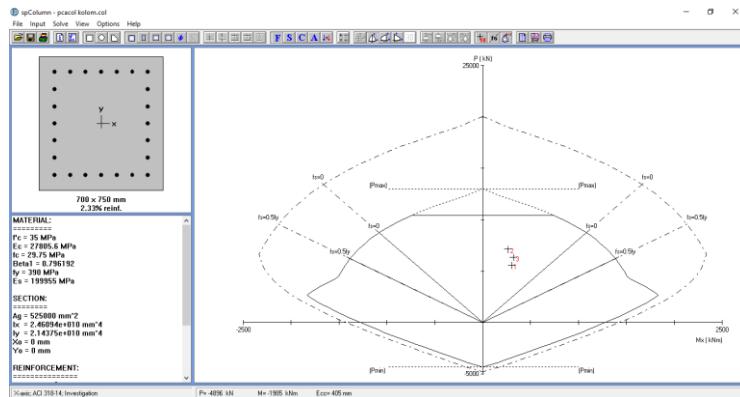
$$0.01 < \rho_g < 0.06 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.3.1})$$

$$0.01 < 0.022 < 0.06 \text{ OK}$$

✓ Kontrol kekuatan kolom

$$\Sigma M_c \geq 1.2 \Sigma M_g$$

(SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2)



Gambar 4.30. Hasil Analisa Kolom Menggunakan Program Bantu SPColumn

Tabel 4.70. Hasil Rekapitulasi Analisa Menggunakan Program Bantu SPColumn

No	P _u kN	M _{ux} kNm	ΦM _{nx} kNm	ΦM _n /M _u
1	5588.00	305.00	1436.18	4.709
2	7144.00	268.00	1296.19	4.837
3	6358.00	324.00	1373.71	4.240

$$\begin{aligned} 1.2 \Sigma M_g &= 1.2 (\theta M_n \text{ negatif balok} + \theta M_n \text{ positif balok}) \\ &= 1.2 \times (57993 + 30242) \\ &= 105882 \text{kgm} \end{aligned}$$

Kolom lantai atas

$$\begin{aligned} \Sigma M_c &= \theta M_n \text{ kolom atas} + \theta M_n \text{ kolom desain} \\ &= 143618 + 137371 \\ &= 280989 \text{kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_c &\geq 1.2 \Sigma M_g \\ 280989 &\geq 105882 \text{ kgm OK} \end{aligned}$$

Kolom lantai bawah

$$\begin{aligned}\Sigma M_c &= \theta M_n \text{ kolom bawah} + \theta M_n \text{ kolom desain} \\ &= 129619 + 137371 \\ &= 266990 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_c &\geq 1.2 \Sigma M_g \\ 266990 &\geq 105882 \text{ kgm OK}\end{aligned}$$

4.5.2.3.2 Penulangan Confinement

4.5.2.3.2.1 Penulangan Confinement Posisi Sendi Plastis

$$\begin{aligned}b_c &= b_w - 2 \text{ selimut} - \text{begel} \\ &= 700 - 2 \times 65 - 13 \\ &= 554 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{ch} &= (b_w - 2 \text{ selimut}) \times (b_w - 2 \text{ selimut}) \\ &= (700 - 2 \times 66) \times (750 - 2 \times 65) \\ &= 353400 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh} / s &= 0.3 (b_c f_c' / f_y) (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 0.3 \times (554 \times 35 / 390) \times (525000 / 353400 - 1) \\ &= 7.24 \text{ mm}^2 / \text{mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh} / s &= 0.09 b_c f_c' / f_y \\ &= 0.09 \times 554 \times 35 / 390 \\ &= 4.47 \text{ mm}^2 / \text{mm}\end{aligned}$$

Spasi tulangan hoop di daerah sendi plastis l_o dari ujung-ujung kolom menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.3 adalah

$$\begin{aligned}s_{max} &= b / 4 \\ &= 700 / 4 \\ &= 175 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{max} &= 6d_b \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_x &= 2 h_c / 3 \\ &= 2 \times 554 / 3 \\ &= 369 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_x &= (b_c / (n / 4 - 1)) - d_b / 2 \\
 &= (554 / (24 / 4 - 1)) - 25 / 2 \\
 &= 79.8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_o &= 100 + (350 - h_x) / 3 \\
 &= 100 + (350 - 79.8) / 3 \\
 &= 190 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s_{\min} \geq 100 \text{ mm}$$

$$s_{\max} < 150 \text{ mm}$$

$$s_{akt} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 s &> s_{akt} \\
 150 &> 100 \text{ mm OK}
 \end{aligned}$$

Dipasang, $s = 100 \text{ mm}$

Digunakan tulangan D13 enam kaki, $A_{sh} = 796 \text{ mm}^2$

$$A_{sh} < A_{sh \text{ akt}}$$

$$724 < 796 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang } l_o \text{ menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.1 adalah} \\
 l_o &= h \\
 &= 750 \text{ mm} \\
 l_o &= l_n / 6 \\
 &= 2700 / 6 \\
 &= 450 \text{ mm} \\
 l_o &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan, $l_o = 750 \text{ mm}$

4.5.2.3.2.2 Penulangan Confinement Posisi Diujung Sendi Plastis

Spasi tulangan hoop di luar daerah sendi plastis l_o menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.5 adalah

$$\begin{aligned}
 s_{\max} &= 6 d_b \\
 &= 6 \times 25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= 150 \text{mm} \\ s_{\max} &= 150 \text{mm} \end{aligned}$$

Digunakan, $s = 100 \text{mm}$

4.5.2.3.3 Penulangan Geser

Tabel 4.71. Rekapitulasi Kuat Lentur Mungkin Maksimum Balok

Kode	Lokasi	Arah gempa	M_u	Tulangan		A_s	θM_n	M_{pr}
B1A-I	Eksterior ka (-)	Kanan	52258	6	D	25	0.0029	57993
	Interior ki (-)	Kiri	52258	6	D	25	0.0029	57993
	Eksterior ka (+)	Kiri	14498	3	D	25	0.0015	30242
	Interior ki (+)	Kanan	14498	3	D	25	0.0015	30242
								41571
								cw
								ccw

4.5.2.3.3.1 Penulangan Geser Posisi Sendi Plastis

$DF_{top} = DF_{btm} = 0.5$ (Karena kekakuan kolom atas dan bawah memiliki kekakuan yang sama)

$$\begin{aligned} V_{sway} &= (M_{pr\ top} DF_{top} + M_{pr\ btm} DF_{btm}) / l_n \\ &= ((78815 + 41571) \times 0.5 + (78815 + 41571) \times 0.5) / 2.7 \\ &= 44587 \text{kg} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2}) \end{aligned}$$

$$V_{e\ SAP} = 16902 \text{kg}$$

$$\begin{aligned} V_{sway} &> V_{e\ SAP} \\ 44587 &> 16902 \text{ kg OK} \end{aligned}$$

$$V_e = 44587 \text{kg} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.5.1})$$

$$V_{u\ SAP} = 2339 \text{kg}$$

$$\begin{aligned} 0.5V_u &< V_e \\ 2339 / 2 &< 44587 \text{ kg } V_c = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u\ max} &= A_g f_c' / 20 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.5.4.2}) \\ &= 525000 \times 35 / 20 \\ &= 918750 \text{kg} \end{aligned}$$

$$P_u = 714404 \text{kg}$$

$$\begin{aligned} P_u &< P_{u\ max} \\ 714404 &< 918750 \text{ kg OK, } V_c = 0 \end{aligned}$$

Spasi tulangan hoop di daerah sendi plastis l_o dari ujung-ujung kolom menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.3 adalah
 $\theta = 0.75$ (SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.7)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1}) \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 700 \times 606 / 10 \\ &= 42698 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= 0.33 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.9}) \\ &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 700 \times 606 / 10 \\ &= 83772 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.5 \theta V_c < V_u < \theta V_c + V_{s \min} \\ 0.5 \times 0.75 \times 42698 < 44587 < 0.75 \times 42698 + 83772 \\ 16012 < 44587 < 115746 \text{ kg, OK, pakai tulangan geser minimum} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 enam kaki, $A_{sh \ akt} = 796 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.062 \times \sqrt{f_c} b_w s / f_{yt} && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3}) \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 700 \times 100 / 390 \\ &= 66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.35 \times b_w s / f_{yt} && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3}) \\ &= 0.062 \times 700 \times 100 / 390 \\ &= 63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &< A_{sh \ akt} \\ 66 &< 796 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

4.5.2.3.3.2 Penulangan Geser Posisi Diujung Sendi Plastis

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 (1 + (N_u / (14 A_g))) \lambda \sqrt{f_c} b_w d \\ &= 0.17 \times (1 + (7144043 / (14 \times 525000))) \\ &\quad \times 1 \times \sqrt{35} \times 700 \times 607 / 10 \\ &= 84200 \text{ kg} && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \ min} &= 0.33 \lambda \sqrt{f_c} b_w d && (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.7.9}) \\ &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 700 \times 606 / 10 \end{aligned}$$

$$= 83772 \text{ kg}$$

$$0.5 \theta V_c < V_u < \theta V_c + V_{s \min}$$

$$0.5 \times 0.75 \times 84200 < 44587 < 0.75 \times 84200 + 83772$$

$31575 < 44587 < 63150 \text{ kg}$, OK, pakai tulangan geser minimum

Digunakan tulangan D13 enam kaki, $A_{sh \ akt} = 796 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.062 \times \sqrt{f_c} \cdot b_w s / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3}) \\ &= 0.062 \times \sqrt{35} \times 700 \times 100 / 390 \\ &= 66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v \ min} &= 0.35 \times b_w s / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 11.4.6.3}) \\ &= 0.062 \times 700 \times 100 / 390 \\ &= 63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{v \ min} < A_{sh \ akt}$$

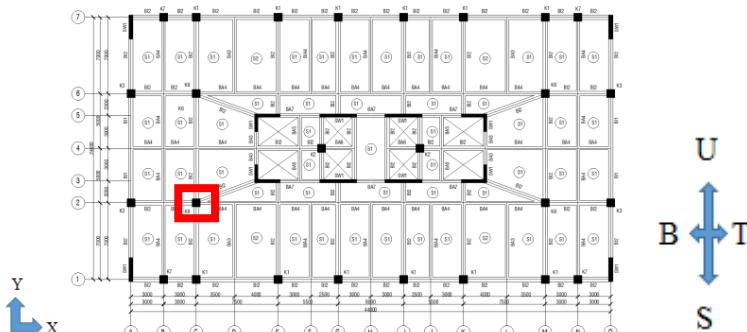
$66 < 796 \text{ mm}^2$ OK

Tabel 4.72. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Kolom

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang			
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan		Lapangan	
K1A	700	750	3400	24D25	6D13-100	24D25	6D13-100
K1B	700	750	3400	24D25	6D13-100	24D25	6D13-100
K1C	700	750	3400	24D25	6D13-100	24D25	6D13-100

4.5.3 Perencanaan HBK

4.5.3.1 Data Perencanaan



Gambar 4.31. Denah HBK

1. Dimensi elemen HBK

Kode	b (mm)	h (mm)
HBK1	700	750

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c')

Mutu beton (f_c') menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah $>21\text{ MPa}$

$$f_c' = 35\text{ MPa}, E_c = 27806\text{ MPa}$$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah $<420\text{ MPa}$

- Longitudinal (BJTD40)

$$- f_y = 390\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa}$$

$$- f_u = 488\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa}$$

- Transversal (BJTP40)

$$- f_y = 390\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa}$$

$$- f_u = 488\text{ MPa}, E_s = 200000\text{ MPa}$$

3. Tebal selimut

$$= 65\text{ mm}$$

4. Dimensi tulangan

$$\text{a. Longitudinal} = D25, A_s = 491\text{ mm}^2$$

$$\text{b. Transversal} = D13, A_s = 133\text{ mm}^2$$

4.5.3.2 Kontrol Persyaratan

- ✓ Kontrol dimensi joint

$$\begin{aligned} A_j &= b \cdot h \\ &= 700 \times 750 \\ &= 525000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{\min} &= 20 \text{ db} && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.2.3}) \\ &= 20 \times 25 \\ &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{akt} &> b_{\min} \\ 700 &> 500 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

- ✓ Kontrol tulangan transversal untuk confinement

Spasi vertikal tulangan hoop menurut SNI 2847:2013, pasal 21.7.3.2 adalah

$$s_{\max} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} b_c &= b_w - 2 \text{ selimut - begel} \\ &= 700 - 2 \times 65 - 13 \\ &= 554 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0.3 (s b_c f_c' / f_{yt}) (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 0.3 \times (100 \times 554 \times 35 / 390) \times (525000 / 353400 - 1) \\ &= 724 \text{ mm}^2 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4}) \end{aligned}$$

$$0.5 A_{sh} = 0.5 \times 724 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.3.2}) \\ &= 362 \text{ mm}^2 \end{math>$$

Digunakan tulangan D13 tiga kaki, $A_{sh} = 398 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{sh} &< A_{sh \text{ akt}} \\ 362 &< 398 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

- ✓ Kontrol kuat geser

Kekakuan kolom atas dan bawah sama, maka $DF = 0.5$

$$\begin{aligned} M_e &= DF (M_{pr+} + M_{pr-}) \\ &= 0.5 \times (78815 + 41571) \\ &= 60193 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway}} &= (M_e + M_e) / l_u \\
 &= (60193 + 60193) / 2.7 \\
 &= 44587 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ balok lapis atas} = 6D25 = 2944 \text{ mm}^2$$

Gaya tarik dan tekan yang bekerja pada balok arah ke kanan dan ke kiri adalah

$$\begin{aligned}
 T_1 = C_1 = T_2 = C_2 &= 1.25 A_s f_y \\
 &= 1.25 \times 2944 \times 390 \\
 &= 143508 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u = V_j &= V_{\text{sway}} - T_1 - C_2 \\
 &= 44587 - 143508 - 143508 \\
 &= -242428 \text{ kg, arah ke kiri}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1.7 \sqrt{f_c} A_j \\
 &= 1.7 \times \sqrt{35} \times 525000 \\
 &= 528010 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

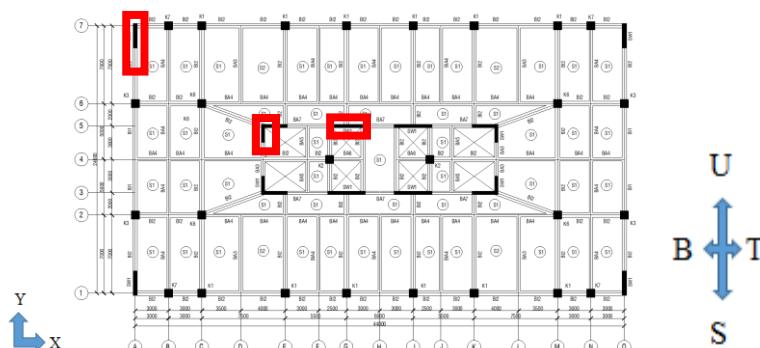
$$V_u < \theta V_n$$

$$242428 < 0.75 \times 528010$$

$$242428 < 396008 \text{ kg OK}$$

4.5.4 Perencanaan Dinding Geser

4.5.4.1 Data Perencanaan



Gambar 4.32. Denah Dinding Geser

1. Dimensi elemen kolom

Kode	t (mm)	h _w (mm)	l _w (mm)
SW1	400	3400	2200
SW2	300	3400	1650/2350
SW3	300	3400	3400

2. Mutu material

a. Mutu beton (f_c)

Mutu beton (f_c) menurut SNI 2847:2013, pasal 21.1.4.2 adalah >21MPa

$$f_c' = 35 \text{ MPa}, E_c = 27806 \text{ MPa}$$

b. Mutu tulangan

Mutu tulangan (f_y) menurut SNI 2847:2013, pasal 3.5 adalah <420MPa

- Longitudinal (BJTD40)

$$- f_y = 390 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$- f_u = 488 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

- Transversal (BJTP40)

$$- f_y = 390 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$- f_u = 488 \text{ MPa}, E_s = 200000 \text{ MPa}$$

3. Tebal selimut = 50mm

4. Dimensi tulangan

$$\text{a. Longitudinal} = D16, A_s = 201 \text{ mm}^2$$

$$\text{b. Transversal} = D16, A_s = 201 \text{ mm}^2$$

4.5.4.2 Pembebatan dan Gaya Dalam

Pembebatan menurut SNI 1727:2013 dan ASCE7-05 adalah

Hasil analisa program bantu SAP2000 adalah

Kode	Kombinasi	M _u (kgm)	V _u (kg)	P _u (kg)
SW1	1.3D+1.3EY+L	311867	50424	285474
SW2	1.3D+1.3EX+L	406704	34923	852247
SW3	1.3D+1.3EY+L	421083	60394	750685

4.5.4.3 Perhitungan Penulangan Dinding Geser Luar (SW1)

4.5.4.3.1 Penulangan Vertikal dan Horizontal

✓ Kontrol kebutuhan dua lapis tulangan

$$\begin{aligned} A_{cv} &= l_w t \\ &= 2200 \times 400 \\ &= 880000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 8.6.1})$$

$$\begin{aligned} V_{u\ min} &= 0.17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}, \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2}) \\ &= 0.17 \times 880000 \times 1 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 88505 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{u\ min} < V_u$$

88505 > 50424 kg OK, 1 lapis, namun didesain pakai 2 lapis
sesuai pasal 14

$$\begin{aligned} V_{u\ max} &= 0.083 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}, \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2}) \\ &= 0.083 \times 880000 \times 1 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 43211 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{u\ max} > V_u$$

43211 > 50424 kg OK, $\rho_{l\ min} = 0.0025$ dan $\rho_{t\ min} = 0.0015$

✓ Kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal

$$\rho_{l\ min} > 0.0025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.1})$$

$$\rho_{t\ min} > 0.0015 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 14.3.2})$$

$$s_{\ max} < 450 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.1})$$

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \rho_l l_w t \\ &= 0.0025 \times 1000 \times 400 \\ &= 1000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua lapis, $A_s = 402 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_{sl} / A_s \\ &= 1000 / 402 \end{aligned}$$

$$= 3$$

$$\begin{aligned}s &= 1000 / n \\ &= 1000 / 3 \\ &= 333\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &< s_{\max} \\ 333 &< 450 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

Dipakai, $s_{\text{akt}} = 200\text{mm}$

$$\begin{aligned}s &> s_{\text{akt}} \\ 333 &> 200 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{st} &= \rho_t l_w t \\ &= 0.0015 \times 1000 \times 400 \\ &= 600\text{mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua lapis, $A_s = 402\text{mm}^2$

$$\begin{aligned}n &= A_{st} / A_s \\ &= 600 / 402 \\ &= 2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &= 1000 / n \\ &= 1000 / 2 \\ &= 500\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &< s_{\max} \\ 500 &> 450 \text{ m TAK OK}\end{aligned}$$

Dipakai, $s_{\text{akt}} = 200\text{mm}$

$$\begin{aligned}s &> s_{\text{akt}} \\ 450 &> 200 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

✓ Kebutuhan penulangan geser

$$\begin{aligned}\alpha_c &= 0.25 \text{ untuk } h_w / l_w \leq 1.5 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.9.4.1)} \\ &= 0.17 \text{ untuk } h_w / l_w \geq 2.0\end{aligned}$$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{34}{2.2} = 15$$

$$\alpha_c = 0.17$$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{(s t)} = \frac{402}{(200 \times 400)} = 0.005$$

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f_c} + \rho_t f_y) \\ = 880000 (0.17 \times 1 \times \sqrt{35} + 0.005 \times 390) / 10 \\ = 260928 \text{ kg}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.3})$$

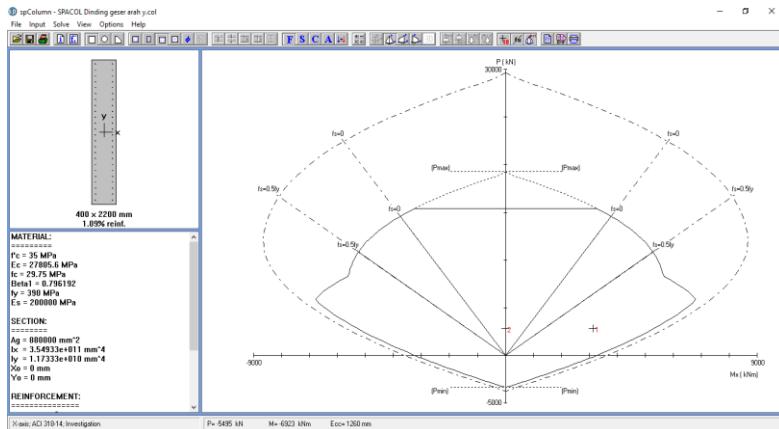
$$\theta V_n = 0.75 \times 260928 \\ = 195696 \text{ kg}$$

$$V_u < \theta V_n \\ 50424 < 195696 \text{ kg OK}$$

$$V_{n \max} = 0.83 A_{cw} \sqrt{f_c} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.4.5}) \\ = 0.83 \times 880000 \times \sqrt{35} / 10 \\ = 432110 \text{ kg}$$

$$V_n < V_{n \max} \\ 260928 < 432110 \text{ kg OK, pakai } V_{n \max}$$

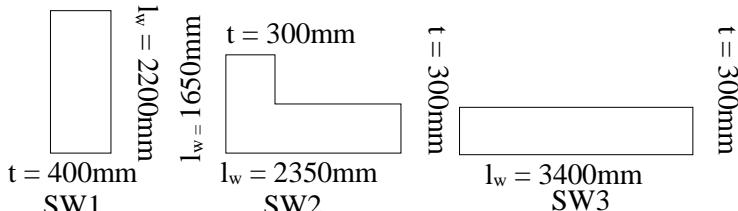
4.5.4.3.2 Kontrol Permodelan SPColumn



Gambar 4.33. Hasil Analisa Dinding Geser SW1 Menggunakan Program Bantu SPColumn

4.5.4.3.3 Special Boundary Element (Komponen Batas Khusus)

- ✓ Berdasarkan pendekatan tegangan



Gambar 4.34. Dinding Geser

Tabel 4.73. Inersia Dinding Geser

Posisi	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)	Y _A (m)	Y _B (m)	I _{x1} (m ⁴)	I _{x2} (m ⁴)	I _{xtotal} (m ⁴)
SW1	0.88		1.1	1.1	0.35		0.35
SW2	0.71	0.41	0.8	1.55	0.17	0.42	0.6
SW3	1.02		1.7	1.7	0.01		0.01

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u y}{I} > 0.2 f_c' \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.3})$$

$$\frac{285474}{0.88} + \frac{311867 \times 1.1}{0.35} > 0.2 \times 3500000$$

1290932 > 700000 kg/m² OK, pakai KBS

✓ Berdasarkan pendekatan perpindahan

$$\delta_u = 0.7 R \delta_u$$

$$= 0.7 \times 7 \times 33$$

$$= 162\text{mm}$$

$$\delta_u / h_w \geq 0.007 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(a)})$$

$$162 / 34000 \geq 0.007$$

0.005 < 0.007 TAK OK, pakai 0.007

c dari permodelan SPColumn = 545mm

$$c > \frac{l_w}{600 \frac{\delta_u}{h_w}} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(a)})$$

$$545 > \frac{2200}{600 \times 0.007}$$

545 > 524 mm OK, pakai KBS

$$c - 0.1 l_w = 545 - 0.1 \times 2200 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.4(a)}) \\ = 325\text{mm}$$

$$c / 2 = 545 / 2 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.4(a)}) \\ = 273\text{mm}$$

Pakai panjang KBS = 350mm

4.5.4.3.4 Penulangan Longitudinal dan Transversal di Special Boundary Element

✓ Tulangan longitudinal

$$\rho_t = 2 A_b / (s t) \\ = 2 \times 201 / (200 \times 400) \\ = 0.005$$

$$\rho_t > 0.005$$

0.005 > 0.005 OK

✓ Tulangan confinement

Spasi tulangan confinement menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.3 adalah

Digunakan tulangan D16

$$s_{\max} = \text{Panjang sisi terpendek} / 4$$

$$= 350 / 4$$

$$= 88\text{mm}$$

$$s_{\max} = 6d_b$$

$$= 6 \times 16$$

$$= 96\text{mm}$$

$$h_x = 200\text{mm}$$

$$s_o = 100 + (350 - h_x) / 3$$

$$= 100 + (350 - 200) / 3$$

$$= 150\text{mm}$$

$$s_{\min} \geq 100\text{mm}$$

$$s_{\max} < 150\text{mm}$$

Dipasang, $s = 100\text{mm}$

$$s > s_{t \text{ akt}}$$

$$100 \geq 100 \text{ mm OK}$$

➤ Sejajar badan dinding

Digunakan tulangan D16

$$b_c = b_w - 2 \text{ selimut - begel}$$

$$= 400 - 2 \times 50 - 16$$

$$= 284\text{mm}$$

$$A_{sh} = 0.09 s b_c f_c' / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4})$$

$$= 0.09 \times 100 \times 284 \times 35 / 390$$

$$= 229\text{mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 dua kaki, $A_{sh} = 402\text{mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{sh} &< A_{sh \text{ akt}} \\ 229 &< 402 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

➤ Tegak badan dinding

Digunakan tulangan D16

$$\begin{aligned} b_c &= (b_w - 2 \text{ selimut} - \text{begel}) / 2 \\ &= (2200 - 2 \times 50 - 16) / 2 \\ &= 1042\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0.09 s b_c f_c' / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4}) \\ &= 0.09 \times 100 \times 1042 \times 35 / 390 \\ &= 842\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 lima kaki, $A_{sh} = 1005\text{mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{sh} &< A_{sh \text{ akt}} \\ 842 &< 1005 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Panjang penulangan di daerah KBS secara vertikal dari daerah kritis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(b) adalah

$$\begin{aligned} l_w &> M_u / 4 V_u \\ 2200 &> 311867 / (4 \times 50424) \\ 2200 &> 1546 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dipakai, } l_d &= l_n \text{ kolom} / 2 + h_{balok} \\ &= 3400 / 2 + 700 \\ &= 2400\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_w &< l_d \\ 2200 &< 2400 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

4.5.4.4 Perhitungan Penulangan Dinding Geser Luar (SW2)

4.5.4.4.1 Kebutuhan tulangan vertikal dan horizontal

✓ Kontrol kebutuhan dua lapis tulangan

$$\begin{aligned} A_{cv} &= l_w t \\ &= 2350 \times 300 \end{aligned}$$

$$= 705000 \text{ mm}^2$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 8.6.1})$$

$$\begin{aligned} V_{u \min} &= 0.17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}, & (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2}) \\ &= 0.17 \times 705000 \times 1 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 70904 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u \min} &< V_u \\ 70904 &> 34923 \text{ kg OK, 1 lapis, namun didesain pakai 2 lapis} \\ &\text{sesuai pasal 14} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u \max} &= 0.083 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}, & (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2}) \\ &= 0.083 \times 705000 \times 1 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 34618 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u \max} &> V_u \\ 34618 &< 34923 \text{ kg OK, } \rho_l \min = 0.0025 \text{ dan } \rho_t \min = 0.0015 \end{aligned}$$

✓ Kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal

$$\rho_l \min > 0.0025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.1})$$

$$\rho_t \min > 0.0015 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 14.3.2})$$

$$s_{\max} < 450 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.1})$$

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \rho_l l_w t \\ &= 0.0025 \times 1000 \times 300 \\ &= 750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua lapis, $A_s = 402 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_{sl} / A_s \\ &= 750 / 402 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= 1000 / n \\ &= 1000 / 2 \\ &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} s & < s_{\max} \\ 500 & > 450 \text{m TAK OK} \end{array}$$

Dipakai, $s_{t \text{ akt}} = 200 \text{mm}$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{t \text{ akt}} \\ 333 & > 200 \text{ mm OK} \end{array}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= \rho_t l_w t \\ &= 0.0015 \times 1000 \times 300 \\ &= 450 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua lapis, $A_s = 402 \text{mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_{st} / A_s \\ &= 450 / 402 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= 1000 / n \\ &= 1000 / 2 \\ &= 500 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} s & < s_{\max} \\ 500 & > 450 \text{m TAK OK} \end{array}$$

Dipakai, $s_{t \text{ akt}} = 200 \text{mm}$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{t \text{ akt}} \\ 450 & > 200 \text{ mm OK} \end{array}$$

✓ Kebutuhan penulangan geser

$$\begin{aligned} \alpha_c &= 0.25 \text{ untuk } h_w / l_w \leq 1.5 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.9.4.1)} \\ &= 0.17 \text{ untuk } h_w / l_w \geq 2.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_w / l_w &= 37.4 / 2.35 \\ &= 16 \end{aligned}$$

$$\alpha_c = 0.17$$

$$\rho_t = A_{st} / (s t)$$

$$= 402 / (200 \times 300)$$

$$= 0.0067$$

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f_c} + \rho_t f_y)$$

$$= 705000 (0.17 \times 1 \times \sqrt{35} + 0.0067 \times 390) / 10$$

$$= 255084 \text{ kg}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.3})$$

$$\theta V_n = 0.75 \times 255084$$

$$= 191313 \text{ kg}$$

$$V_u < \theta V_n$$

$$34923 < 191313 \text{ kg OK}$$

$$V_{n \max} = 0.83 A_{ew} \sqrt{f_c} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.4.5})$$

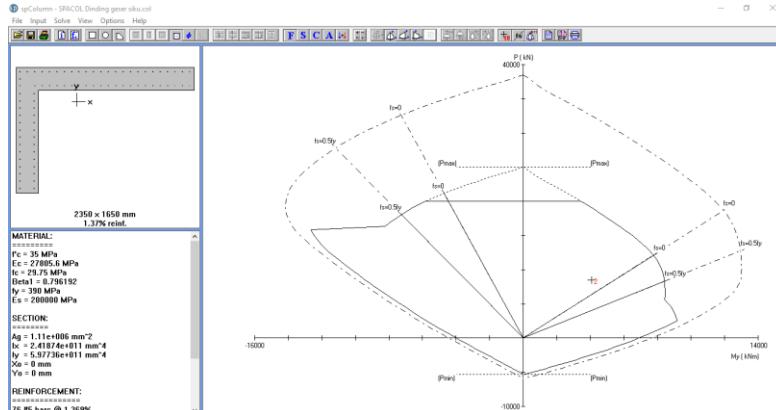
$$= 0.83 \times 705000 \times \sqrt{35} / 10$$

$$= 346179 \text{ kg}$$

$$V_n < V_{n \max}$$

$$255084 < 346179 \text{ kg OK, Pakai } V_{n \max}$$

4.5.4.4.2 Kontrol Permodelan SPColumn



Gambar 4.35. Hasil Analisa Dinding Geser SW2 Menggunakan Program Bantu SPColumn

4.5.4.4.3 Special Boundary Element (Komponen Batas Khusus)

- ✓ Berdasarkan pendekatan tegangan

$$\frac{P_u + \frac{M_u y}{I}}{A_g} > 0.2 f_c' \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.3})$$

$$\frac{852247}{1.11} + \frac{406704 \times 1.55}{0.6} > 0.2 \times 3500000$$

$$1821733 > 700000 \text{ kg/m}^2 \text{ OK, pakai KBS}$$

- ✓ Berdasarkan pendekatan perpindahan

$$\begin{aligned}\delta_u &= 0.7 R \delta_u \\ &= 0.7 \times 7 \times 35 \\ &= 172 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_u / h_w &\geq 0.007 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(a)}) \\ 172 / 37400 &\geq 0.007 \\ 0.005 &< 0.007 \text{ TAK OK, pakai 0.007}\end{aligned}$$

c dari permodelan SPColumn = 1757mm

$$\begin{aligned}c &> \frac{l_w}{\frac{600 \delta_u}{h_w}} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(a)}) \\ 1757 &> \frac{2350}{600 \times 0.007} \\ 1757 &> 560 \text{ mm OK, pakai KBS}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c - 0.1 l_w &= 1757 - 0.1 \times 2350 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.4(a)}) \\ &= 1522 \text{ mm} \\ c / 2 &= 1757 / 2 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.4(a)}) \\ &= 879 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pakai panjang KBS = 1550mm

4.5.4.4.4 Penulangan Longitudinal dan Transversal di Special Boundary Element

- ✓ Tulangan longitudinal

$$\begin{aligned}\rho_t &= 2 A_b / (s t) \\ &= 2 \times 201 / (200 \times 300) \\ &= 0.007\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} \rho_t & > 0.005 \\ 0.007 & > 0.005 \text{ OK} \end{array}$$

✓ Tulangan confinement

Spasi tulangan confinement menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.3 adalah

Digunakan tulangan D16

$$\begin{aligned} s_{\max} &= \text{Panjang sisi terpendek} / 4 \\ &= 1350 / 4 \\ &= 338\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 6d_b \\ &= 6 \times 16 \\ &= 96\text{mm} \end{aligned}$$

$$h_x = 200\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s_o &= 100 + (350 - h_x) / 3 \\ &= 100 + (350 - 200) / 3 \\ &= 150\text{mm} \end{aligned}$$

$$s_{\min} > 100\text{mm}$$

$$s_{\max} < 150\text{mm}$$

Dipasang, $s = 100\text{mm}$

$$\begin{array}{ll} s & > s_{t \text{ akt}} \\ 100 & \geq 100 \text{ mm OK} \end{array}$$

➤ Sejajar badan dinding

Digunakan tulangan D16

$$\begin{aligned} b_c &= b_w - 2 \text{ selimut} - \text{begel} \\ &= 300 - 2 \times 50 - 16 \\ &= 184\text{mm} \end{aligned}$$

$$A_{sh} = 0.09 s b_c f_c' / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4})$$

$$= 0.09 \times 100 \times 184 \times 35 / 390 \\ = 149 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 dua kaki, $A_{sh} = 402 \text{ mm}^2$

$$A_{sh} < A_{sh \text{ akt}} \\ 149 < 402 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

➤ Tegak badan dinding

Digunakan tulangan D16

$$b_c = (b_w - 2 \text{ selimut} - \text{begel}) / 2 \\ = (2350 - 2 \times 50 - 16) / 2 \\ = 1117 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09 s b_c f_c' / f_y \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4}) \\ = 0.09 \times 100 \times 1117 \times 35 / 390 \\ = 902 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 lima kaki, $A_{sh} = 1005 \text{ mm}^2$

$$A_{sh} < A_{sh \text{ akt}} \\ 902 < 1005 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Panjang penulangan di daerah KBS secara vertikal dari daerah kritis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(b) adalah

$$l_w > M_u / 4 V_u \\ 2350 > 406704 / (4 \times 34923) \\ 2350 > 2911 \text{ mm OK}$$

$$\text{Dipakai, } l_d = l_n \text{ kolom} / 2 + h_{balok} \\ = 3400 / 2 + 700 \\ = 2400 \text{ mm}$$

$$l_w < l_d \\ 2350 < 2400 \text{ mm OK}$$

4.5.4.5 Perhitungan Penulangan Dinding Geser Luar (SW3)

4.5.4.5.1 Kebutuhan tulangan vertikal dan horizontal

✓ Kontrol kebutuhan dua lapis tulangan

$$\begin{aligned} A_{cv} &= l_w t \\ &= 3400 \times 300 \\ &= 1020000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 8.6.1})$$

$$\begin{aligned} V_{u\ min} &= 0.17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}, \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2}) \\ &= 0.17 \times 1020000 \times 1 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 102585 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{u\ min} < V_u$$

$102585 > 60394 \text{ kg OK, 1 lapis, namun didesain pakai 2 lapis}$
sesuai pasal 14

$$\begin{aligned} V_{u\ max} &= 0.083 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}, \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2}) \\ &= 0.083 \times 1020000 \times 1 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 50086 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{u\ max} > V_u$$

$50086 < 60394 \text{ kg OK, } \rho_{l\ min} = 0.0025 \text{ dan } \rho_{t\ min} = 0.0025$

✓ Kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal

$$\rho_{l\ min} > 0.0025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.1})$$

$$\rho_{t\ min} > 0.0025 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 14.3.2})$$

$$s_{\ max} < 450 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.1})$$

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \rho_l l_w t \\ &= 0.0025 \times 1000 \times 300 \\ &= 750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua lapis, $A_s = 402 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_{sl} / A_s \\ &= 750 / 402 \end{aligned}$$

$$= 2$$

$$\begin{aligned}s &= 1000 / n \\ &= 1000 / 2 \\ &= 500 \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &< s_{\max} \\ 500 &> 450 \text{m TAK OK}\end{aligned}$$

Dipakai, $s_{\text{akt}} = 200 \text{mm}$

$$\begin{aligned}s &> s_{\text{akt}} \\ 450 &> 200 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{st} &= \rho_t l_w t \\ &= 0.0025 \times 1000 \times 300 \\ &= 750 \text{mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua lapis, $A_s = 402 \text{mm}^2$

$$\begin{aligned}n &= A_{st} / A_s \\ &= 750 / 402 \\ &= 2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &= 1000 / n \\ &= 1000 / 2 \\ &= 500 \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &< s_{\max} \\ 500 &> 450 \text{m TAK OK}\end{aligned}$$

Dipakai, $s_{\text{akt}} = 200 \text{mm}$

$$\begin{aligned}s &> s_{\text{akt}} \\ 450 &> 200 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

✓ Kebutuhan penulangan geser

$$\begin{aligned}\alpha_c &= 0.25 \text{ untuk } h_w / l_w \leq 1.5 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.9.4.1)} \\ &= 0.17 \text{ untuk } h_w / l_w \geq 2.0\end{aligned}$$

$$h_w / l_w = 37.4 / 3.4$$

$$= 11$$

$$\alpha_c = 0.17$$

$$\begin{aligned}\rho_t &= A_{st} / (s t) \\ &= 402 / (200 \times 300) \\ &= 0.0067\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_n &= A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f_c} + \rho_t f_y) \\ &= 1020000 (0.17 \times 1 \times \sqrt{35} + 0.0067 \times 390) / 10 \\ &= 369058 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\theta = 0.75 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 9.3.2.3})$$

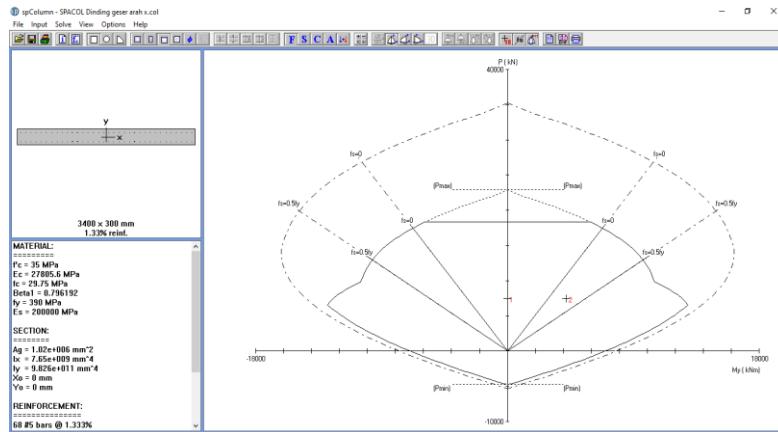
$$\begin{aligned}\theta V_n &= 0.75 \times 369058 \\ &= 276793 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &< \theta V_n \\ 60394 &< 276793 \text{ kg OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{n \max} &= 0.83 A_{cw} \sqrt{f_c} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.4.5}) \\ &= 0.83 \times 1020000 \times \sqrt{35} / 10 \\ &= 500855 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_n &< V_{n \max} \\ 369058 &< 500855 \text{ kg OK, Pakai } V_{n \max}\end{aligned}$$

4.5.4.5.2 Kontrol Permodelan SPColumn



Gambar 4.36. Hasil Analisa Dinding Geser SW3 Menggunakan Program Bantu SPColumn

4.5.4.5.3 Special Boundary Element (Komponen Batas Khusus)

✓ Berdasarkan pendekatan tegangan

$$\frac{P_u + \frac{M_u y}{I}}{A_g} > 0.2 f_c' \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.3})$$

$$\frac{750685}{1.02} + \frac{421083 \times 1.7}{0.01} > 0.2 \times 3500000$$

94309991 > 700000 kg/m² OK, pakai KBS

✓ Berdasarkan pendekatan perpindahan

$$\begin{aligned} \delta_u &= 0.7 R \delta_u \\ &= 0.7 \times 7 \times 34 \\ &= 167 \text{mm} \end{aligned}$$

$$\delta_u / h_w \geq 0.007 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(a)})$$

$$167 / 37400 \geq 0.007$$

$$0.004 < 0.007 \text{ TAK OK, pakai 0.007}$$

c dari permodelan SPColumn = 1431mm

$$c > \frac{l_w}{600 \frac{\delta_u}{h_w}} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(a)})$$

$$1431 > \frac{3400}{600 \times 0.007}$$

1431 > 810 mm OK, pakai KBS

$$c - 0.1 l_w = 1431 - 0.1 \times 3400 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.4(a)}) \\ = 1091 \text{mm}$$

$$c / 2 = 1431 / 2 \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.4(a)}) \\ = 716 \text{mm}$$

Pakai panjang KBS = 1100mm

4.5.4.5.4 Penulangan Longitudinal dan Transversal di Special Boundary Element

✓ Tulangan longitudinal

$$\rho_t = 2 A_b / (s t) \\ = 2 \times 201 / (200 \times 300) \\ = 0.007$$

$$\rho_t > 0.005$$

0.007 > 0.005 OK

✓ Tulangan confinement

Spasi tulangan confinement menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.3 adalah

Digunakan tulangan D16

$$s_{\max} = \text{Panjang sisi terpendek} / 4 \\ = 1050 / 4 \\ = 263 \text{mm}$$

$$s_{\max} = 6d_b \\ = 6 \times 16 \\ = 96 \text{mm}$$

$$h_x = 200 \text{mm}$$

$$s_o = 100 + (350 - h_x) / 3 \\ = 100 + (350 - 200) / 3 \\ = 150 \text{mm}$$

$s_{\min} > 100\text{mm}$

$s_{\max} < 150\text{mm}$

Dipasang, $s = 100\text{mm}$

$s > s_t \text{ akt}$
 $100 \geq 100 \text{ mm OK}$

➤ Sejajar badan dinding

Digunakan tulangan D16

$$\begin{aligned} b_c &= b_w - 2 \text{ selimut} - \text{begel} \\ &= 300 - 2 \times 50 - 16 \\ &= 184\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0.09 s b_c f_c' / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4}) \\ &= 0.09 \times 100 \times 184 \times 35 / 390 \\ &= 149\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 dua kaki, $A_{sh} = 402\text{mm}^2$

$A_{sh} < A_{sh \text{ akt}}$
 $149 < 402 \text{ mm}^2 \text{ OK}$

➤ Tegak badan dinding

Digunakan tulangan D16

$$\begin{aligned} b_c &= (b_w - 2 \text{ selimut} - \text{begel}) / 2 \\ &= (3400 - 2 \times 50 - 16) / 2 \\ &= 1642\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0.09 s b_c f_c' / f_{yt} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4}) \\ &= 0.09 \times 100 \times 1642 \times 35 / 390 \\ &= 1326\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 tujuh kaki, $A_{sh} = 1407\text{mm}^2$

$A_{sh} < A_{sh \text{ akt}}$

$$1326 < 1407 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Panjang penulangan di daerah KBS secara vertikal dari daerah kritis menurut SNI 2847:2013, pasal 21.9.6.2(b) adalah

l_w	$> M_u / 4 V_u$
3400	$> 421083 / (4 \times 60394)$
3400	$> 1743\text{mm}$

$$\begin{aligned}\text{Dipakai, } l_d &= l_{n \text{ kolom}} / 2 + h_{\text{balok}} \\ &= 3400 / 2 + 700 \\ &= 2400\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_w &< l_d \\ 3400 &> 2400 \text{ mm OK}\end{aligned}$$

Tabel 4.74. Rekapitulasi Penulangan Terpasang Desain Dinding Geser

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang					
	hw (mm)	lw (mm)	t (mm)	Longitudinal		Transversal		Confinement	
				Lapis 1	Lapis 2	Lapis 1	Lapis 2	Serah	Tegak Lurus
SW1	3400	2200	400	D16-200	D16-200	D16-200	D16-200	2D16-100	5D16-100
SW2	3400	1650/2350	300	D16-200	D16-200	D16-200	D16-200	2D16-100	5D16-100
SW3	3400	3400	300	D16-200	D16-200	D16-200	D16-200	2D16-100	7D16-100

4.6 Perencanaan Sambungan

4.6.1 Perencanaan Sambungan Plat dan Plat

4.6.1.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.2.2 adalah

$$l_{d \min} = 300\text{mm}$$

$$\begin{aligned}l_d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{2.1 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 10 \\ &= 408\text{mm}\end{aligned}$$

l_d yang dipakai 450mm

4.6.1.2 Perencanaan Tulangan Tekan

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan menurut SNI 2847:2013, pasal 12.3.2 adalah

$$l_{dc\ min} = 200\text{mm}$$

$$\begin{aligned} l_{dc} &= \left(\frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{0.24 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 10 \\ &= 158\text{mm} \end{aligned}$$

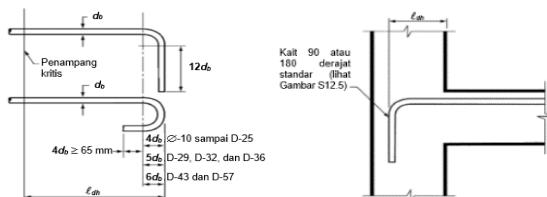
$$\begin{aligned} l_{dc} &= 0.043 f_y d_b \\ &= 0.043 \times 390 \times 10 \\ &= 168\text{mm} \end{aligned}$$

l_{dc} yang dipakai 200mm

4.6.2 Perencanaan Sambungan Plat dan Balok

4.6.2.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik adalah



Gambar 4.37. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik

Panjang tekukan 90° (SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)

$$4d_b = 4 \times 10$$

$$= 40\text{mm}$$

$$12d_b = 12 \times 10$$

$$= 120\text{mm}$$

$l_{dh\ min} = 8 \times 10$ (SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1)

$$= 80\text{mm}$$

$$l_{dh\ min} = 150\text{mm}$$

$$l_{dh \min} = \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f_c}} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1})$$

$$= \frac{390 \times 10}{5.4 \times \sqrt{35}}$$

$$= 122\text{mm}$$

$$l_{dh \min} = \left(\frac{0.24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 12.5.1})$$

$$= \left(\frac{0.24 \times 1 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 10$$

$$= 158\text{mm}$$

l_{dh} yang dipakai 200mm

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.2.2 adalah

$$l_d \min = 300\text{mm}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b$$

$$= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{2.1 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 10$$

$$= 408\text{mm}$$

l_d yang dipakai 450mm

4.6.2.2 Perencanaan Tulangan Tekan

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan menurut SNI 2847:2013, pasal 12.3.2 adalah

$$l_{dc \ min} = 200\text{mm}$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b$$

$$= \left(\frac{0.24 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 10$$

$$= 158\text{mm}$$

$$l_{dc} = 0.043 f_y d_b$$

$$= 0.043 \times 390 \times 10$$

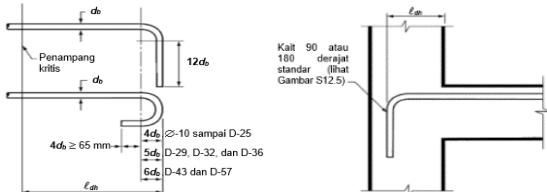
$$= 168\text{mm}$$

l_{dc} yang dipakai 200mm

4.6.3 Perencanaan Sambungan Balok dan Balok

4.6.3.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik adalah



Gambar 4.38. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik

Panjang tekukan 90° (SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned} 4d_b &= 4 \times 25 \\ &= 100\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 12d_b &= 12 \times 25 \\ &= 300\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{dh \min} &= 8 \times 25 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1}) \\ &= 200\text{mm} \end{aligned}$$

$$l_{dh \min} = 150\text{mm}$$

$$\begin{aligned} l_{dh \min} &= \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f_c}} && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1}) \\ &= \frac{390 \times 25}{5.4 \times \sqrt{35}} \\ &= 305\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{dh \min} &= \left(\frac{0.24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b && (\text{SNI 2847:2013, pasal 12.5.1}) \\ &= \left(\frac{0.24 \times 1 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\ &= 396\text{mm} \end{aligned}$$

l_{dh} yang dipakai 450mm

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.2.2 adalah

$$l_{d \min} = 300\text{mm}$$

$$\begin{aligned} l_d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{1.7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\ &= 1260\text{mm} \end{aligned}$$

l_d yang dipakai 1300mm

4.6.3.2 Perencanaan Tulangan Tekan

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan menurut SNI 2847:2013, pasal 12.3.2 adalah

$$l_{dc \ min} = 200\text{mm}$$

$$\begin{aligned} l_{dc} &= \left(\frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{0.24 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\ &= 396\text{mm} \end{aligned}$$

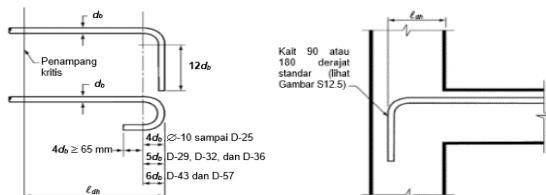
$$\begin{aligned} l_{dc} &= 0.043 f_y d_b \\ &= 0.043 \times 390 \times 25 \\ &= 419\text{mm} \end{aligned}$$

l_{dc} yang dipakai 425mm

4.6.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

4.6.4.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik adalah



Gambar 4.39. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik

Panjang tekukan 90°

(SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned}
 4d_b &= 4 \times 25 \\
 &= 100\text{mm} \\
 12d_b &= 12 \times 25 \\
 &= 300\text{mm} \\
 l_{dh \min} &= 8 \times 25 && (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1}) \\
 &= 200\text{mm} \\
 l_{dh \min} &= 150\text{mm} \\
 l_{dh \min} &= \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f_c'}} \\
 &= \frac{390 \times 25}{5.4 \times \sqrt{35}} \\
 &= 305\text{mm} \\
 l_{dh \min} &= \left(\frac{0.24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b && (\text{SNI 2847:2013, pasal 12.5.1}) \\
 &= \left(\frac{0.24 \times 1 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 396\text{mm}
 \end{aligned}$$

l_{dh} yang dipakai 450mm

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.2.2 adalah

$$l_{d \min} = 300\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{1.7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 1260\text{mm}
 \end{aligned}$$

l_d yang dipakai 1300mm

4.6.4.2 Perencanaan Tulangan Tekan

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan menurut SNI 2847:2013, pasal 12.3.2 adalah

$$l_{dc \ min} = 200\text{mm}$$

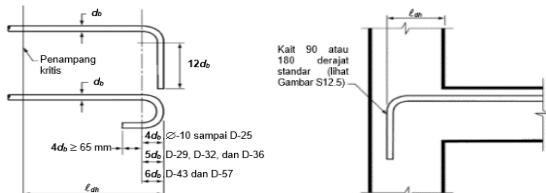
$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= \left(\frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{0.24 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 396 \text{mm} \\
 l_{dc} &= 0.043 f_y d_b \\
 &= 0.043 \times 390 \times 25 \\
 &= 419 \text{mm}
 \end{aligned}$$

l_{dc} yang dipakai 425mm

4.6.5 Perencanaan Sambungan Balok dan Dinding Geser

4.6.5.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik adalah



Gambar 4.40. Penyaluran Kait Standart Dalam Kondisi Tarik

Panjang tekukan 90° (SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)

$$\begin{aligned}
 4d_b &= 4 \times 25 \\
 &= 100 \text{mm} \\
 12d_b &= 12 \times 25 \\
 &= 300 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$l_{dh \min} = 8 \times 25$ (SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1)
 $= 200 \text{mm}$

$$l_{dh \min} = 150 \text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 l_{dh \min} &= \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f_c}} \\
 &= \frac{390 \times 25}{5.4 \times \sqrt{35}} \\
 &= 305 \text{mm}
 \end{aligned} \quad (\text{SNI 2847:2013, pasal 21.7.5.1})$$

$$\begin{aligned}
 l_{dh\ min} &= \left(\frac{0.24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b && (\text{SNI 2847:2013, pasal 12.5.1}) \\
 &= \left(\frac{0.24 \times 1 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 396\text{mm}
 \end{aligned}$$

l_{dh} yang dipakai 450mm

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.2.2 adalah

$$l_{d\ min} = 300\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{1.7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 1260\text{mm}
 \end{aligned}$$

l_d yang dipakai 1300mm

4.6.5.2 Perencanaan Tulangan Tekan

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan menurut SNI 2847:2013, pasal 12.3.2 adalah

$$l_{dc\ min} = 200\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= \left(\frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{0.24 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 396\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= 0.043 f_y d_b \\
 &= 0.043 \times 390 \times 25 \\
 &= 419\text{mm}
 \end{aligned}$$

l_{dc} yang dipakai 425mm

4.6.6 Perencanaan Sambungan Kolom dan Kolom

4.6.6.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.17.2.2 adalah

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{1.7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 \\
 &= 1260 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_{d \min} &= 300 \text{mm} \\
 l_{d \ min} &= 48 d_b \\
 &= 48 \times 25 \\
 &= 1200 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_{d \ min} &= 1.3 l_d \\
 &= 1.3 \times 1260 \\
 &= 1638 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v \text{ efektif}} &= 0.0015 h s \\
 &= 0.0015 \times 700 \times 100 \\
 &= 105 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v \text{ efektif}} &< A_{v \text{ hoops}} \\
 105 &< 796 \text{ mm}^2 \text{ OK, direduksi } 0.83
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_d \times 0.83 &= 1638 \times 0.83 \\
 &= 1360 \text{mm}
 \end{aligned}$$

l_d yang dipakai 1400mm

4.6.7 Perencanaan Sambungan Dinding Geser dan Dinding Geser

4.6.7.1 Perencanaan Tulangan Tarik

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013, pasal 12.17.2.2 adalah

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{390 \times 1.3 \times 1}{2.1 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 16 \\
 &= 653 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$l_{d \ min} = 300 \text{mm}$$

$$\begin{aligned}l_{d \min} &= 48 d_b \\&= 48 \times 16 \\&= 768 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_{d \ min} &= 1.3 l_d \\&= 1.3 \times 768 \\&= 998 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{v \text{ efektif}} &= 0.0015 h s \\&= 0.0015 \times 3000 \times 100 \\&= 450 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{v \text{ efektif}} &< A_{v \text{ hoops}} \\450 &< 201 \text{ mm}^2 \text{ TAK OK}\end{aligned}$$

l_d yang dipakai 1000mm

4.7 Metode Pelaksanaan

4.7.1 Diagaram Alir Pelaksanaan



4.7.2 Lingkup Pekerjaan

Pelaksanaan pekerjaan meliputi,

1. Perencanaan dan persiapan mutu beton.
2. Perencanaan dan persiapan mutu baja tulangan.
3. Perencanaan dan persiapan bekisting (*formwork*).
4. Perencanaan dan persiapan penulangan.
5. Perencanaan dan persiapan pengecoran beton.
6. Perawatan dan pengujian beton

4.7.3 Daftar Bahan dan Alat

4.7.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah

1. Material cementisius.
2. Agregat.
3. Air.
4. Baja tulangan.
5. Bekisting.
6. Dll.

4.7.3.2 Alat

1. Alat persiapan mutu beton
 - a. Timbangan.
 - b. Ayakan agregat.
 - c. Mesin tes tekan beton.
 - d. Kerucut abarms
 - e. Dll.
2. Alat persiapan mutu tulangan
 - a. Meteran.
 - b. Mesin tes tarik tulangan.
3. Alat pemasangan bekisting:
 - a. Bekisting set.
 - b. Theodolite.
 - c. Meteran.
 - d. Waterpass.
 - e. Dll.
4. Alat pabrikasi tulangan:
 - a. *Bar bender*.
 - b. *Bar cutter*.
 - c. Meteran.
 - d. Dll.
5. Alat pendukung pengecoran:
 - a. Meteran.
 - b. Waterpass.
 - c. Sipatan.
 - d. Lot.

- e. Bak ukur.
 - f. Auto level.
 - g. Theodolite.
 - h. Pompa *dewatering*.
 - i. Lampu penerangan.
 - j. Dll.
6. Alat saat pengecoran:
- a. Jidar aluminium.
 - b. Pipa hitam $\frac{3}{4}$ ".
 - c. *Trowel machine*.
 - d. Travo las.
 - e. *Concrete pump*.
 - f. Selang tremi.
 - g. Bucket cor.
 - h. Vibrator.
 - i. Dll.
7. Alat pelindung pengecoran:
- a. Payung pelindung surveyor.
 - b. Tenda.
 - c. Terpal.
 - d. Dll.
8. Alat perawatan:
- a. Kain goni.
 - b. Plastik.
 - c. Dll.

4.7.4 Perencanaan

Data perencanaan sebagai berikut:

- | | | |
|----------------------|---|---|
| 1. Fungsi bangunan | : | Gedung Apartemen |
| 2. Lokasi | : | JL. Abdul Wahab Siamin Kav 9-10
Surabaya |
| 3. Jumlah lantai | : | 10 lantai |
| 4. Ketinggian lantai | : | 3.4 m |
| 5. Tinggi bangunan | : | 34 m |
| 6. Total luas area | : | $\pm 1056 \text{ m}^2$ |
| 7. Kategori Desain | : | |

- Seismik (KDS) : D
 8. Sistem struktur : Sistem Ganda (SRPMK dan SDSK)
 9. Mutu baja (f_y) : BJTP40 dan BJTD40
 10. Letak bangunan : Dekat pantai
 11. Kelas paparan : C2
 12. Rasio air-bahan sementisius maksimum (w/c m) : 0.4
 13. Mutu beton (f_c') : $f_c'35$
 14. Selimut beton dinding geser (d_c) : 50mm
 Hasil perencanaan terlampir pada sub bab 4.4 dan 4.5.

4.7.5 Pelaksanaan Pekerjaan

4.7.5.1 Perencanaan dan Persiapan Mutu Beton

4.7.5.1.1 Persiapan Mix Desain

Mengajukan mix design sesuai dengan mutu beton yang sudah ditentukan dalam spesifikasi pekerjaan struktur, dengan memperhitungkan hal-hal sebagai berikut sesuai SNI 2847:2013,

1. Material sementisius.
2. Agregat.
3. Air.
4. Slump.
5. Proporsi campuran.

Dalam proyek ini menggunakan mutu beton $f_c'35$ dan rasio air-bahan sementisius maksimum (w/c m) 0.4.

4.7.5.1.2 Pelaksanaan Trial mix

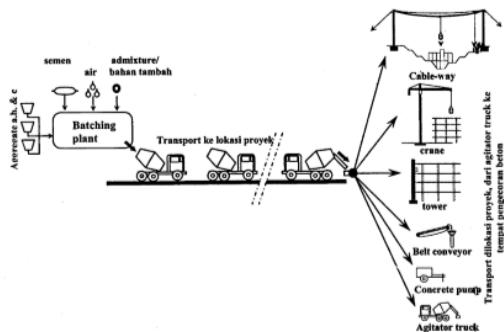
Melaksanakan trial mix di *batching plan* sesuai dengan mix desain yang telah dibuat oleh pihak konsultan perencana.

Dari pelaksanaan trial mix dapat diketahui sebagai berikut:

1. Kesesuaian komposisi material sewaktu trial mix dengan mix desain.
2. Kuat tekan beton hasil pengujian sampel beton yang diambil sewaktu trial mix.

Yang harus diperhatikan dalam trial mix adalah

1. Proporsi campuran diukur tersendiri dengan timbangan dan alat yang sesuai corong dan mekanisme penimbangan harus disediakan.
2. Mekanisme penimbangan harus diukur sampai setengah dari satu persen pada kondisi operasional dan skala-skala harus dapat dibaca dengan mudah oleh operator.
3. Air harus ditambah ke dalam campuran dari reservoir terpisah dan dikontrol kelembaban agregatnya.



Gambar 4.41. Proses Pelaksanaan Perkerjaan Beton Pada Suatu Proyek

4.7.5.2 Perencanaan dan Persiapan Mutu Baja Tulangan

Secara umum, pekerjaan pemberian merupakan bagian dari pekerjaan struktur. Pekerjaan ini memegang peranan penting dari aspek kualitas pelaksanaan mengingat fungsi besi tulangan penting dalam kekuatan struktur gedung. Berikut adalah metode pelaksanaan pekerjaan pemberian mulai dari tahap penyimpanan hingga pemasangan tulangan.

4.7.5.2.1 Pengadaan Material Baja Tulangan

Material yang digunakan untuk pekerjaan pemberian gedung pada umumnya adalah baja tulangan ulir. Material berasal dari supplier dan diangkut ke lokasi proyek menggunakan truk. Material yang telah sampai ke lokasi proyek akan diuji terlebih

dahulu untuk memeriksa mutu dan kualitas seperti yang sudah ditetapkan.

Pengujian yang dilakukan pada umumnya adalah tes tarik, tes tekuk, dan tes tekan. Sampel diambil secara acak untuk setiap beberapa ton baja untuk masing-masing diameter dengan panjang masing-masing 1 meter.



Gambar 4.42. Sampel Baja Tulangan

Apabila mutunya sesuai dengan spesifikasi, maka material baja tulangan akan disimpan. Jika tidak sesuai, maka material akan dikembalikan ke supplier.

4.7.5.2.2 Penyimpanan Besi Beton

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam tahap penyimpanan besi beton antara lain:

- a. Tumpukan besi jangan sampai bersentuhan dengan tanah. Oleh karena itu besi harus diganjal dengan balok beton atau balok kayu yang dijadikan sebagai dasar dan alas.
- b. Besi harus berjarak minimal 5 cm dari logam yang lain.
- c. Besi harus terlindung dari kotoran, karat, benturan, dan minyak.



Gambar 4.43. Penyimpanan Baja Tulangan

Berikut merupakan beberapa cara pelaksanaan dalam tahap penyimpanan:

1. Setiap bendel besi harus terdiri dari satu jenis besi (bentuk dan diameter).
2. Maksimum berat setiap bendel disesuaikan dengan kapasitas crane.
3. Jarak antar ikatan adalah sekitar 2 m.
4. Di dalam label ditulis panjang, tipe, nomer referensi, dan kode besi.

4.7.5.3 Perencangan dan Persiapan Bekisting

Bekisting atau formwork adalah salah satu faktor penting yang harus direncanakan secara matang dalam suatu pekerjaan konstruksi beton.

Menurut Stephens (1985), bekisting atau formwork adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

Bentuk tersebut dapat berupa kolom, balok, pelat, slab, D-wall, shear wall, dan retaining wall.

Bekisting dapat dibuat dari kayu, waterproof-plywood, baja atau material lain sesuai dengan kebutuhan, kemudahan pekerjaan dan efisiensi biaya. Bekisting sebagai cetakan beton, harus mempunyai kekuatan dankekakuan yang cukup untuk memikul tekanan dan getaran yang timbul pada saat pengecoran sehingga masih dapat memenuhi toleransi yang disyaratkan.

Untuk mendukung kekuatan dankekakuan bekisting maka diperlukan hollow, tierod, support, dan sistem perancah sedemikian sehingga setiap kemungkinan pergerakan lateral maupun vertikal tidak terjadi selama proses pengecoran.

Selain itu, bekisting juga harus kedap untuk mencegah hilang atau lolosnya adukan beton. Semua permukaan bekisting dan material yang tertanam harus bersih dari akumulasi mortar atau grout bekas pengecoran sebelumnya dan dari material asing lainnya sebelum beton dicor agar kualitas beton yang dihasilkan baik.

Setelah beton selesai dicor, maka bekisting harus segera dilepas sesudah beton dianggap cukup keras sehingga tidak rusak pada saat pembongkarannya.

Menurut Blake (1975), ada beberapa aspek yang harus diperhatikan pada pemakaian bekisting dalam suatu pekerjaan konstruksi beton.

1. Kualitas bekisting yang akan digunakan harus tepat dan layak serta sesuai dengan bentuk pekerjaan struktur yang akan dikerjakan. Permukaan bekisting yang akan digunakan harus rata sehingga hasil permukaan beton baik.
2. Keamanan bagi pekerja konstruksi tersebut, maka bekisting harus cukup kuat menahan beton agar beton tidak runtuh dan mendaangkan bahaya bagi pekerja sekitarnya.
3. Biaya pemakaian bekisting yang harus direncanakan seekonomis mungkin.

Dari sisi bahan dan cara pengjerjaannya , ada beberapa persyaratan bekisting agar pengecoran beton bertulang dapat berjalan dengan baik, diantaranya:

1. Bahan yang digunakan harus keras dan kuat menahan beban kesamping dan beban dari atas.
2. Bahan yang digunakan harus seefisien mungkin sesuai dengan anggaran yang tersedia.

3. Bahan yang digunakan aman bagi pekerja (tukang) dan mudah dalam pengerajaannya.
4. Bahan yang digunakan diperlukan waktu yang tidak terlalu lama sehingga dapat menghemat biaya tenaga kerja.
5. Khusus bekisting konvensional, gunakan bahan yang baru akan lebih baik hasilnya.
6. Sistem pengerajaannya harus menggunakan tenaga ahli profesional agar menghasilkan jenis pekerjaan yang berkualitas baik.
7. Mudah dibuka dan tidak lengket.
8. Kedap air dan tidak mudah bocor.
9. Bahan yang digunakan untuk pembuatan bekisting harus presisi.

Dan berikut ini adalah syarat khusus dalam pembuatan bekisting:

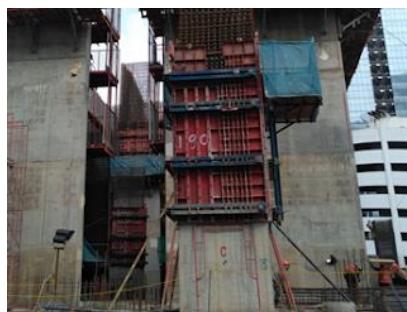
1. Kualitas: Bentuk dan ukuran sesuai dengan rencana yang di buat dan diinginkan, posisi dan bentuk acuan sesuai dengan rencana, hasil akhir permukaan beton rata/ tidak kropos.
2. Keamanan: Harus stabil pada posisinya, kokoh yaitu harus mampu menahan beban-beban khususnya vertikal/vertical, kekakuan yaitu harus mampu menahan beban horizontal sehingga tidak bergeser dari posisi seberanya.
3. Ekonomis: Mudah di kerjakan, tidak membutuhkan banyak tenaga kerja, mudah dipasang sehingga menghemat waktu, mudah dibongkar agar bahan bisa digunakan kembali, mudah disimpan.

4.7.5.3.1 Bekisting Kolom

Pada elemen kolom, umumnya bekisting yang digunakan adalah bekisting baja yang dapat dipergunakan berulang kali. Bekisting tipe ini mudah dalam pemasangan karena berupa rakitan sehingga dapat dipasang pada dimensi kolom yang bervariasi dengan rentang setiap 10 cm dan disambung dengan menggunakan baut.

Karena terbuat dari baja, maka elemen-elemen bekisting lebih mudah dipindahkan dengan menggunakan tower crane. Bekisting dipindahkan ke lokasi kolom yang akan di cor, lalu bekisting akan dipasang sesuai dengan dimensinya beserta dengan supportnya untuk meminimalisir terjadinya pergerakkan.

Bagian dalam bekisting tersebut dilumuri dengan *mould oil*, yang bersifat sebagai *release agent* untuk memudahkan dalam pelepasan bekisting setelah kolom selesai di cor.



Gambar 4.44. Bekisting Kolom

4.7.5.3.2 Bekisting Pelat

Pada pelat, bekisting yang digunakan biasanya adalah bekisting konvensional. Pemasangan bekisting untuk pelat diawali dengan memasang perancah lalu disusul dengan pemasangan multiplex.

Perancah ini berfungsi sebagai penopang agar bekisting kuat dan kaku sehingga tidak terjadi pergerakkan selama proses pengecoran. Setelah multiplex dipasang, maka tim surveyor kemudian akan melakukan pengukuran menggunakan theodolit untuk memastikan pelat rata sesuai dengan elevasi yang direncanakan.

Jika elevasi belum sesuai, maka *U-Head* pada bagian atas perancah akan diatur ulang sedemikian rupa sampai elevasinya sesuai.



Gambar 4.45. Bekisting Pelat

4.7.5.3.3 Bekisting Balok

Material bekisting balok sama dengan bekisting pelat, yaitu dengan menggunakan multiplex namun disesuaikan dengan ukuran balok yang telah direncanakan. Bekisting pada balok sebenarnya menyatu dengan pelat, hanya saja dimensinya berbeda.



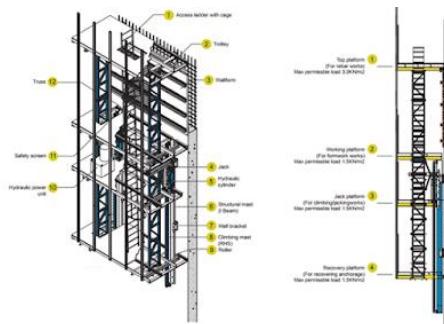
Gambar 4.46. Bekisting Balok

4.7.5.3.4 Bekisting Dinding Geser (*Self Climber*)

Bekisting pada dinding geser juga menggunakan bekisting baja berupa *self climber*. Self Climber ini merupakan bekisting khusus untuk struktur vertikal. Walaupun harganya cukup mahal, namun sistem ini dapat menjadi solusi efektif untuk konstruksi berulang.

Pada *self climber* tidak hanya terdapat bekisting itu sendiri, namun juga menyediakan ruang kerja untuk pada pekerja dalam pengoperasiannya.

Keunggulan dari *self climber* ini adalah dapat melakukan pengecoran dinding geser pada elevasi yang ditinjau kemudian beripindah pada elevasi berikutnya secara *continuous*. Berikut adalah komponen-komponen *self climber*:



Gambar 4.47. Komponen *Self Climber*

Berikut adalah penjelasan komponen-komponen lantai kerja dari *self climber*:

1. Top Platform

Berfungsi sebagai lantai kerja untuk pemasangan dinding geser. Beban maksimum yang diizinkan adalah 3 kN/m^2 .

2. Working Platform

Berfungsi sebagai lantai kerja untuk mengatur bekisting (*wallform*). Terdapat trolley untuk mendorong atau menarik *wallform* dari dinding geser. Ditempatkan sejajar dengan dinding geser yang akan di cor. Beban maksimum yang diizinkan adalah 1.5 kN/m^2 .

3. Jack Platform

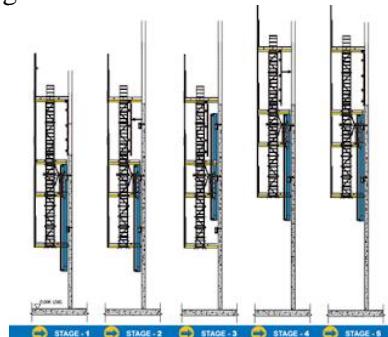
Berfungsi untuk menaikkan elevasi sistem *self climber* menggunakan sistem hidrolik. Beban maksimum yang diizinkan adalah 1.5 kN/m^2 .

4. Recovery Platform

Berfungsi sebagai tempat melepas angkur yang ditanam pada dinding. Angkur diperkokoh dengan menggunakan *wall bracket*. Angkur dan *wall bracket* ini berfungsi sebagai tumpuan dari sistem *self climber*. Beban maksimum yang diizinkan adalah 1.5 kN/m².

Berikut adalah langkah-langkah menggunakan *self climber*,

1. Pastikan *self climber* berada di kedua sisi dinding geser yang akan di cor. Posisikan *working platform* pada *self climber* agar sejajar dengan shear wall yang siap untuk di cor, kemudian lakukan pengecoran.
2. Setelah beton mengeras, lakukan pekerjaan pembesian untuk dinding geser di elevasi berikutnya. Sementara itu, lepas *wall form* dengan menggunakan trolley kemudian pasang *wall bracket* pada dinding geser yang telah mengeras.
3. Naikkan elevasi dari *climbing mast*, lalu lepas angkur dan *wall bracket* pada *recovery platform*.
4. Naikkan elevasi sistem sampai ketinggian berikutnya. Kemudian pasang *wallform* dengan menggunakan trolley.
5. Lakukan pengecoran kembali.



Gambar 4.48. Langkah-Langkah Menggunakan *Self Climber*

Walaupun harganya relatif mahal, namun metoda ini dapat lebih cepat dan efektif karena dapat menghemat waktu dalam pemasangan dan pelepasan bekisting serta keefektifan dalam penyediaan lantai kerja.



Gambar 4.49. Pemasangan *Self Climbing*

4.7.5.4 Perencanaan dan Persiapan Penulangan

4.7.5.4.1 Pemotongan dan Pembengkokan Besi Beton

Tahapan ini juga biasa disebut dengan fabrikasi. Pada proses fabrikasi ini akan dilakukan pembengkokan dan pemotongan pada baja tulangan untuk kemudian dirakit sesuai desain dan spesifikasi yang dibutuhkan. Untuk pemotongan digunakan mesin *bar cutter*, sedangkan untuk pembengkokan digunakan mesin *bar bender*.

Dengan cara ini, maka akan dibuat berbagai jenis tulangan, seperti sengkang, cakar ayam, rangkaian tulangan kolom, balok, pelat, dan dinding geser.



Gambar 4.50. Bar Bender dan Bar Cutter

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemotongan dan pembengkokan besi tulangan adalah sebagai berikut,

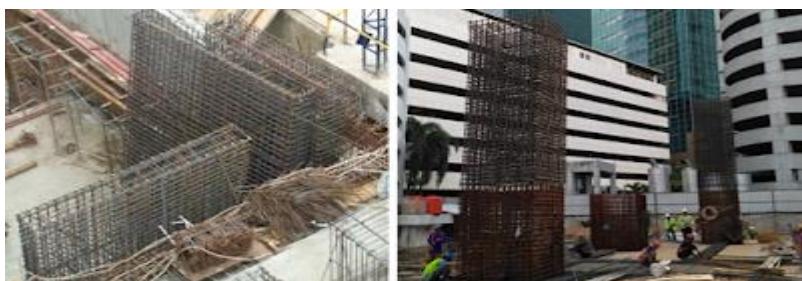
1. Gunakanlah meja yang kuat dan rata.

2. Siapkanlah gambar acuan.
3. Cek diameter besi.
4. Cek kembali besi-besi yang telah dibengkokkan.
5. Cek ukuran mandrel agar benar-benar pas. Ukuran mandrel harus dalam radius $>2D$ untuk besi kekuatan rendah dan $>3D$ untuk besi kekuatan tinggi.
6. Jika ada besi yang susah dibengkokkan, maka boleh dipanaskan dengan persetujuan engineer.
7. Ikuti perubahan jadwal pembesian dan dapatkan dokumen terbaru.

4.7.5.4.2 Pemasangan Besi Beton

Material yang telah difabrikasi akan dirakit oleh para pekerja sehingga membentuk komponen struktur seperti kolom, balok, pelat, atau dinding geser. Kemudian, material yang telah dirakit akan dipindahkan dengan menggunakan *tower crane* dari lokasi perakitan ke lokasi pemasangan.

Pemasangan komponen tulangan dilakukan dengan menggunakan *tower crane* serta koordinasi dengan para pekerja yang bertugas melakukan pemasangan tulangan. Pemasangan dilakukan dengan hati-hati agar akurat dan tidak terjadi dislokasi.



Gambar 4.51. Pemasangan Tulangan

Pada komponen tulangan pelat dapat dipasang beton decking. Tujuannya adalah untuk menopang tulangan pelat agar tidak melendut dan mengurangi tebal selimut beton. Selain itu, dipasang juga cakar ayam, yaitu tulangan ulir yang dibengkokkan

dan dipasang diantara tulangan atas dan bawah yang berfungsi menjaga ketebalan pelat lantai agar sesuai rencana.

Dalam pemasangan besi beton terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut,

1. Besi harus bersih dari kotoran dan minyak.
2. Perletakan tulangan pembesian harus diatur sehingga ada ruang tersedia untuk proses pemasangan beton.
3. Jika ada besi yang perlu disambung, maka harus ada overlapping yang sesuai perhitungan atau spesifikasi teknis.
4. Suatu ketika mungkin perlu merakit tulangan dahulu di luar bekisting, baru kemudian rangkaian besi diletakkan sesuai posisinya.
5. Alur proses penyimpanan hingga pemasangan harus direncanakan agar efektif dan efisien.

Proses pelaksanaan pekerjaan besi tulangan pada balok dan pelat lantai pada dasarnya sama. Berikut merupakan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan besi tulangan pada pelat lantai:

1. Pembesian pada pelat lantai harus berada di atas dudukan berupa beton (biasanya disebut beton tahu).
2. Ketinggian bantalan pembesian pelat lantai tergantung dari ketebalan selimut beton yang direncanakan. Ketinggian bantalan pembesian pelat lantai menggunakan *space bar* berupa cakar ayam atau dudukan tulangan dengan jarak 1m.



Gambar 4.52. Pemasangan Beton Tahu dan *Spacer Bar* Pelat



Gambar 4.53. Space Bar Balok

Cara pelaksanaan pekerjaan besi tulangan pada kolom dan dinding pada dasarnya juga sama, yaitu sebagai berikut,

1. Pembesian kolom dirakit dengan cetakan yang telah dibuat.
2. Sejumlah ikatan dilakukan pada besi kolom sesuai tipe ikatan, supaya susunan pembesian tersebut kuat untuk diangkat.
3. Setelah kolom dirakit dan kuat, maka kolom siap diangkat.
4. Rakitan pembesian kolom yang telah dipasang harus diikat ke bekisting supaya kuat. Jarak antar ikatan kira-kira setiap 0.5 m.
5. Pemasangan pembesian pada dinding sama dengan pemasangan besi pada kolom.
6. Besi yang horizontal diikat pada besi yang vertikal.



Gambar 4.54. Pemasangan Beton Tahu dan *Space Bar* Kolom dan Dinding Geser

Dalam proyek ini selimut beton yang digunakan pelat 20mm, balok induk dan kolom 65mm, serta balok anak dan dinding geser 50mm. Jarak beton tahu dipasang setiap 0.5m.

4.7.5.4.3 Pengecekan Tulangan

Setelah seluruh tulangan terpasang, maka perlu dilakukan pengecekan tulangan oleh tim *quality control* apakah jumlah dan posisi tulangan sudah terpasang dengan benar sesuai dengan gambar rencana.



Gambar 4.55. Pengecekan Tulangan

4.7.5.5 Perencanaan dan Persiapan Pengecoran

4.7.5.5.1 Sebelum Pengecoran

4.7.5.5.1.1 Persiapan Peralatan

Persiapan peralatan sebelum pelaksanaan pengecoran sebagai berikut:

1. Semua alat kerja diperiksa kelayakan pakai baik secara rutin ataupun sebelum pengecoran.
2. Peralatan survei yang sudah dikalibrasi harus disiapkan.
3. Untuk kondisi pengecoran pada malam hari, penerangan harus sudah disiapkan di lokasi cor.
4. Vibrator engine atau elektrik harus sudah dicek kesiapannya, jumlah vibrator sudah termasuk cadangan (1 unit) bila terjadi kerusakan, dan sebaiknya juga disiapkan cadangan bila listrik padam atau engine rusak sesuai kondisi lapangan.
5. Untuk mengantisipasi turunnya hujan tenda harus sudah dipasang sebelum pengecoran dengan mengarahkan jatuhnya air hujan di luar area yang dicor agar tidak merusak beton.
6. Apabila dikehendaki finishing lantai dengan trowel machine, maka jumlah trowel yang disiapkan harus disesuaikan dengan

luas area pengecoran dan setting time (waktu pengerasan) beton.

7. *Concrete pump* ditempatkan pada posisi sedekat mungkin dengan area pengecoran tetapi masih dapat dijangkau mobil mixer, untuk mengurangi jumlah sambungan pipa.
8. Pemasangan pipa cor diusahakan dengan seminimal mungkin ada sambungan siku (90 derajat) dan pipa cor ditempatkan pada posisi agar penuangan beton berurutan/ tidak acak untuk menghindari *cold joint*.

4.7.5.5.1.2 Persiapan Lahan Cor

Persiapan lahan cor sebelum pelaksanaan pengecoran sebagai berikut,

1. Area yang akan di cor harus sudah mendapat persetujuan dari pemberi tugas.
2. Memeriksa kesiapan pekerjaan pembesian antara lain jumlah, dimensi dan posisinya.
3. Memeriksa kebersihan lahan cor, tidak boleh ada serbuk kayu, (terutama pada pertemuan balok dan kolom), potongan-potongan kaso, multiplex, kawat besi beton, puntung rokok dan lain-lain.
4. Memeriksa kesiapan pekerjaan bekisting antara lain dimensi, as dan apabila dikehendaki menambah perkuatan pada titik-titik tertentu, dan apabila pada lahan pengecoran masih terdapat lubang-lubang, tutup lubang-lubang tersebut dengan busa atau lakban untuk menghindari keropos karena keluarnya air semen.
5. Stop cor harus dicek kesiapan dan elevasinya (untuk pengecoran kolom dan dinding beton).
6. Pada construction joint harus sudah disiapkan antara lain pemberian bonding agent pada permukaannya dan pemasangan waterstop apabila pada area tersebut dikehendaki kedap air
7. Periksa apakah pada area yang dicor terdapat hubungan dengan pekerjaan M/E, bila ada sparing, sleeve atau blokout haruslah dikoordinasikan terlebih dahulu untuk menghindari pekerjaan

- ulang (pembobokan, dsb).
8. Pemasangan barikade pada area yang akan dicor agar tidak terganggu oleh kegiatan pekerjaan lain.
 9. Untuk keselamatan kerja, pada pengecoran di ketinggian dengan area yang terbuka, pada bagian sisi luar dipasang pagar yang dapat terbuat dari besi ataupun kayu.
 10. Perlu disiapkan area pembuangan kelebihan beton, sebaiknya kelebihan tersebut dapat dimanfaatkan.

4.7.5.1.3 Pemesanan Beton

Untuk pemesanan beton harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Sebelum pemesanan beton, terlebih dahulu dihitung volume beton yang dibutuhkan sesuai gambar shop drawing dengan kelebihan beton diperkirakan 3% dari total volume, pemesanan beton idealnya sudah dilakukan 1 hari sebelum waktu pengecoran agar persediaan beton terjamin.
2. Volume beton ditinjau kembali pada saat pemesanan 2 mobil mixer terakhir, dengan mengukur kondisi lapangan, agar dapat memastikan kebutuhan beton pada mobil mixer terakhir dan ditambah 0,5 m³ untuk menghindari kekurangan beton, untuk pengecoran kolom yang dapat lebih terukur penambahan kelebihan pemesanan diusahakan seminimal mungkin (kurang dari 0,5 m³).
3. Pemesanan beton disesuaikan dengan mutu beton pada area yang akan dicor.

4.7.5.1.4 Pemeriksaan Beton

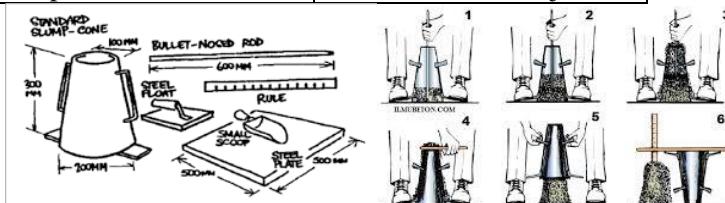
Setiap beton (mobil mixer) yang datang harus diperiksa surat jalannya sesuai dengan pemesanan (mutu beton, volume, slump, jam keberangkatan, pemakaian bahan additive), diukur dan dicatat slumphnya dengan alat slump test.

Bila tidak sesuai dengan spesifikasi teknis yang ada, maka beton tersebut harus dipulangkan dan diganti dengan yang baru sesuai dengan spesifikasi yang telah diajukan pada saat pemesanan.

Untuk memeriksa mutu beton, diambil sampel beton sesuai spesifikasi sebagai berikut,

Tabel 4.75. Pengambilan Sampel Beton

Jumlah Mixer	Jumlah Sample Silinder
1	1 x 4 benda uji
2-5	1 x 4 benda uji
6-9	2 x 4 benda uji
setiap tambahan 10 mixer	1 x 4 benda uji



Gambar 4.56. Alat Uji Slump (Kerucut Abrams)

4.7.5.5.2 Pengecoran

Untuk menghindari terjadinya *cold joint* sewaktu pengecoran harus perhatikan hal-hal waktu sebagai berikut:

1. Balok dan pelat menggunakan concrete pump dengan waktu penuangan beton 1 mobil mixer 15-30 menit dan didalam *concrete pump* harus selalu tersedia beton, sehingga waktu pendatangan mobil mixer dapat lebih cepat dan harus kontinyu, biasanya sekali pengiriman 3 mobil mixer, pemesanan berikutnya pada penuangan 2 mixer terakhir.
2. Kolom/dinding beton/core wall menggunakan tower crane dengan waktu penuangan beton 1 mobil mixer 1-1,5 jam, sehingga pendatangan mobil mixer hanya satu-satu, disesuaikan dengan pelaksanaan pengecoran, namun harus kontinyu.
3. Kepadatan lalu lintas sangat mempengaruhi *suply* beton dan slump dan harus diperhatikan juga waktu tempuh dari batching plan ke proyek sehingga dapat diprediksi berapa lama lagi beton akan setting.

Dalam pelaksanakan pengecoran harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Ketebalan/level horisontal baik untuk pelat, balok, kolom, dinding harus sesuai dengan gambar yang disetujui, untuk pengecoran lantai dan balok atas agar diperhitungkan lendutan yang terjadi selama proses pengecoran dan dikoordinasikan dengan pengerjaan bekisting, guna mendapatkan level yang sesuai dan menghindari terjadinya kelebihan volume beton.
2. Selama proses pengecoran dilarang menambahkan air ke dalam beton baik pada mobil mixer, *concrete pump*, ataupun pada beton di area pengecoran karena akan mengurangi kuat tekan beton.
3. Jumlah vibrator haruslah memadai dengan jumlah volume
4. Karena jumlah volume pengecoran yang besar haruslah desesuaikan jumlah *concrete pump* dan *suply* beton yang seimbang.

4.7.5.5.2.1 Pengecoraan Kolom dan Dinding Geser

Pengecoran yang dilaksanakan haruslah memperhatikan:

1. Panjang selang tremi yang dipakai diatur sesuai tinggi kolom, jatuhnya beton dari ujung selang tremi tidak boleh lebih dari 1,5 m, untuk menghindari segregasi.
2. Penggunaan vibrator sangat menentukan kualitas beton kolom, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dapat juga ditambah dengan pemukulan bekisting dengan palu karet.
3. Selama proses pengecoran kelurusian dan lot bekisting harus diperhatikan/diperiksa.

4.7.5.5.2.2 Pengecoran Pelat dan Balok

Pengecoran yang dilaksanakan haruslah memperhatikan:

- a. Pengecoran harus memperhatikan level slab yang akan dibuat terutama pada daerah kamar mandi dan harus ditentukan level slab untuk material finishing yang berbeda.
- b. Untuk penuangan dan kerataan permukaan beton sama dengan point 4.7.5.5.2

4.7.5.6 Perawanatan dan Pengujian Beton

4.7.5.6.1 Perawatan Beton

Curing secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses finishing beton selesai dan waktu total setting tercapai.

Tujuan pelaksanaan *curing*/ perawatan beton adalah memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti supaya dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai, dan menjaga supaya tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau tidak seragam, sehingga dapat menyebabkan retak.

Pelaksanaan *curing*/ perawatan beton dilakukan segera setelah beton mengalami atau memasuki fase hardening (untuk permukaan beton yang terbuka) atau setelah pembukaan cetakan/ acuan/ bekisting, selama durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton.

Waktu yang tepat untuk melakukan pembukaan/ bongkaran bekisting tentunya tergantung pada bagian struktur beton dan kelas beton yang digunakan serta metode bongkar yang digunakan. Contohnya bongkar pada kolom beton bisa dilakukan 8-12 jam setelah pengecoran, kemudian pada lantai dengan sistem balok, bekisting pelat beton boleh lebih dulu di bongkar pada umur beton minimal 6-7 hari dengan syarat langsung di shoring atau ditumpu oleh pipa support pada jarak tertentu (support per meter), sementara baloknya di bongkar pada umur 10 hari.

Perawatan (*curing*) beton dilakukan setelah pengecoran, dengan memperhatikan:

1. Untuk balok dan lantai, karena area yang dicor cukup luas, dan permukaan yang terbuka, setelah didapat area yang cukup luas

dan beton sudah mengeras (*setting time* terpenuhi) curing sudah harus dilakukan dengan menyemprotkan dengan alat penyemprot air langsung kepermukaan beton.

2. Untuk kolom atau dinding, karena area yang akan dicuring tertutup bekisting, untuk curing awal dapat menyiram/menggenangi bagian atas kolom atau dinding tersebut.
3. Setelah bekisting kolom dan dinding dibongkar maka curing dapat dilakukan dengan menguaskan *curing compound* (bahan kimia) ke permukaan kolom atau dinding dengan kuas roll.

4.7.5.6.1.1 Waktu dan Durasi Pelaksanaan Curing

Metoda dan lama pelaksanaan *curing* tergantung dari:

1. Jenis atau tipe semen dan beton yang digunakan, termasuk bahan tambahan atau pengganti yang dipakai.
2. Jenis/tipe dan luasan elemen struktur yang dilaksanakan.
3. Kondisi cuaca, suhu dan kelembaban di area atau lokasi pekerjaan.
4. Penetapan nilai dan waktu yang digunakan untuk kuat tekan karakteristik beton (28 hari atau selain 28 hari, tergantung dari spesifikasi yang ditentukan oleh konsultan perencana/desain)

Kualitas dan durasi/lama pelaksanaan *curing*/ perawatan beton berpengaruh pada:

1. Mutu/ kekuatan beton (*strength*)
2. Keawetan struktur beton (*durability*)
3. Kekedapannya air beton (*water-tightness*)
4. Ketahanan permukaan beton, misal terhadap keausan (*wear resistance*)
5. Kestabilan volume, yang berhubungan dengan susut atau pengembangan (*volume stability : shrinkage and expansion*)

Beberapa peraturan menetapkan acuan pelaksanaan *curing*/ perawatan beton, yang sama-sama bertujuan untuk menjaga dan menjamin mutu pelaksanaan pembetonan.

1. SNI 03.2847:2002 mensyaratkan curing selama:
 - a. 7 (tujuh) hari untuk beton normal.

- b. 3 (tiga) hari untuk beton dengan kuat tekan awal tinggi.
2. ACI 318 mensyaratkan curing dilakukan:
sampai tercapai min 70% kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c)
 3. ASTM C-150 mensyaratkan:
 - a. Semen tipe I, waktu minimum curing 7 hari.
 - b. Semen tipe II, waktu minimum curing 10 hari.
 - c. Semen tipe III, waktu minimum curing 3 hari.
 - d. Semen tipe IV atau V minimum curing 14 hari.

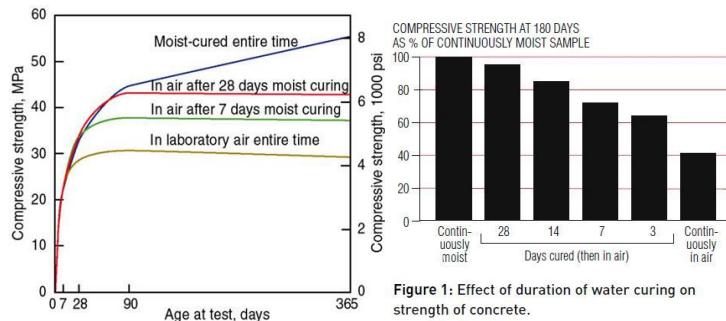
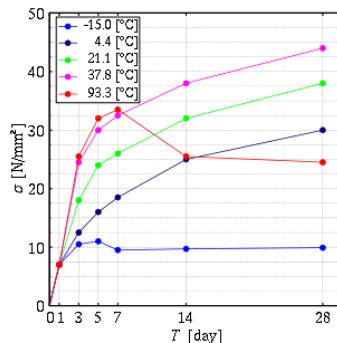


Figure 1: Effect of duration of water curing on strength of concrete.

Gambar 4.57. Diagram Waktu Perawatan Dan Mutu Beton



Gambar 4.58. Diagram Suhu Perawatan Dan Mutu Beton

-  Pelaksanaan curing/perawatan yang tidak tepat justru akan merugikan dan mengurangi mutu beton yang dirawat – misalnya : pembasahan yang tidak kontinyu, mengakibatkan terjadi proses basah-kering yang meningkatkan potensi retak dan penurunan kuat tekan
-  Jagalah suhu beton di suhu normal selama curing, yaitu pada kisaran :
 - minimal : 10°C atau 50°F
 - maksimal : 28°C atau 80°F
-  Jagalah suhu dan kelembaban beton selama proses curing/perawatan, karena reaksi hidrasi dan lanjutannya hanya dapat berlangsung dengan baik pada kelembaban yang cukup dan suhu normal

Gambar 4.59. Catatan Perawatan Beton

Dari ketiga peraturan di atas, direkomendasikan untuk mengikuti aturan yang paling umum dan dapat digunakan untuk berbagai kondisi dan jenis beton yang diaplikasikan, yaitu memastikan proses curing dilakukan sampai tercapainya minimal 70% kuat tekan beton yang disyaratkan oleh konsultan perencana/desain (= f_c' atau kuat tekan karakteristik yang harus dicapai).

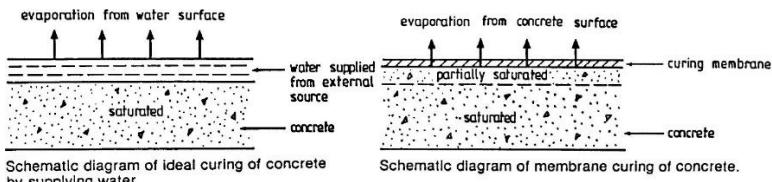
4.7.5.6.1.2 Metoda Perawatan Beton

Beberapa metoda yang mudah digunakan untuk *curing*/perawatan beton di lapangan, antara lain:

1. Membasahi permukaan beton secara berkala dengan air supaya selalu lembab selama perawatan (bisa dengan sistem sprinkler supaya praktis).
2. Merendam beton dengan air (dengan penggenangan permukaan beton).
3. Membungkus beton dengan bahan yang dapat menahan penguapan air (misal plastik, dsb).
4. Menutup permukaan beton dengan bahan yang dapat mengurangi penguapan air dan dibasahi secara berkala (misal dengan plastik berpori atau *non woven geotekstile* dan disiram secara berkala selama perawatan).
5. Menggunakan material khusus untuk perawatan beton (*curing compound*)



Gambar 4.60. Metode Perawatan Beton



Gambar 4.61. Ilustrasi Perawatan Beton

4.7.5.6.2 Pengujian Beton

Pengujian beton dapat dilakukan bila ada kemungkinan mutu beton dinyatakan rendah. maka perlu diadakan test pengujian beton sebagai berikut,

Pengambilan sample untuk kolom, corewall dan dinding geser:

1. Setelah 3 hari 1 (satu) silinder harus diuji untuk mengetahui kuat tekan beton.
2. Setelah 14 hari 1 (satu) silinder harus diuji kuat tekannya.
3. Setelah 28 hari 1 (dua) silinder harus diuji kuat tekannya dan diambil rata-rata kuat tekan sebagai hasilnya.
4. Cadangan 2 (dua) silinder yang dapat digunakan untuk

pengetesan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari apabila pengetesan kuat tekan beton pada umur 3 hari tidak memenuhi syarat.

Pengambilan sample untuk pelat dan balok:

1. Setelah 7 hari 1 (satu) silinder harus diuji untuk mengetahui kuat tekan beton.
2. Setelah 14 hari 1 (satu) silinder harus diuji kuat tekannya dan diambil rata-rata kuat tekan sebagai hasilnya.
3. Setelah 28 hari 1 (satu) silinder harus diuji kuat tekannya.
4. Cadangan 1 (satu) silinder.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan tugas akhir terapan dengan judul “Desain Struktur Apartemen 10 Lantai Dengan Sistem Ganda Terletak di Tepi Pantai”, ada beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Dasar perencanaan struktur secara umum mengacu kepada SNI 2847:2013 “Persyaratan Beton Struktural Pada Bangunan Gedung”, SNI 1727:2013 “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain” dan SNI 1726:2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”. Adapun hasil desain elemen struktur sebagai berikut:

No.	Parameter	Eksisting	Desain
1	Lokasi	Surabaya, tidak dekat pantai	Surabaya, dekat pantai
2	Kategori Desain Sismik	KDS D	KDS D
3	Kelas Paparan	C1	C2
4	Rasio Air-Bahan Sementisius Maksimum (w/c m)	T/A	0.4
5	Mutu Baja	BJTP40 BJTD40	BJTP40 BJTD40
6	Mutu Beton	f _{c'} 30	f _{c'} 35
7	Selmut		
	-Plat Lantai, Tangga, Bordes	20mm	20mm
	-Dinding Geser	40mm	50mm
	-Balok Induk	50mm	65mm
	-Balok Anak, Lift, Tangga	50mm	50mm
	-Kolom	50mm	65mm
8	Dimensi Elemen		
	-Plat Lantai	120mm 150mm	120mm 150mm
	-Plat Tangga, Bordes	150mm	150mm
	-Dinding Geser	300mm 400mm	300mm 400mm
	-Balok Induk, Lift	400/700mm	400/700mm
	-Balok Anak	300/900mm 300/700mm	300/900mm 300/700mm
	-Balok Bordes	300/700mm	300/700mm
	-Kolom	700/750mm	700/750mm
9	Kontrol Permodelan		
	-Berat	SAP2000	SAP2000
	-Wd	Manual 8670178 > 8660472 kg 0.001	Manual 8670178 > 8660472 kg 0.001
	-Wt	Prosentase 13888524 > 13623885 kg 0.019	Prosentase 13888524 > 13623885 kg 0.019
	-Periode Fundamental	$T_a < T_{a \text{ SAP2000}} < T_{a \text{ max}}$ 0.69 < 1.34 > 0.96 detik	$T_a < T_{a \text{ SAP2000}} < T_{a \text{ max}}$ 0.69 < 1.29 > 0.96 detik

-Kontrol Kombinasi Ragam -Kontrol Partisipasi Masio Massa -Kontrol Geser Dasar -Kontrol Simpangan Antar Lantai -Kontrol Sistem Ganda	SRSS			SRSS		
	Modal 6 UX=0.926 dan UY=0.926			Modal 6 UX=0.926 dan UY=0.926		
	V _t > 0.85V Arah X 480133 > 480009 kg			V _t > 0.85V Arah X 480512 > 480009 kg		
	V _t > 0.85V Arah Y 481307 > 480009 kg			V _t > 0.85V Arah Y 480610 > 480009 kg		
	Lantai Δ _x (m) < Δ _x / ρ (m) 10 0.0075 < 0.052 9 0.0095 < 0.052 8 0.0117 < 0.052 7 0.0139 < 0.052 6 0.0157 < 0.052 5 0.0170 < 0.052 4 0.0175 < 0.052 3 0.0168 < 0.052 2 0.0139 < 0.052 1 0.0070 < 0.052			Lantai Δ _x (m) < Δ _x / ρ (m) 10 0.0070 < 0.052 9 0.0089 < 0.052 8 0.0109 < 0.052 7 0.0129 < 0.052 6 0.0146 < 0.052 5 0.0158 < 0.052 4 0.0163 < 0.052 3 0.0156 < 0.052 2 0.0129 < 0.052 1 0.0065 < 0.052		
	Lantai Δ _y (m) < Δ _y / ρ (m) 10 0.0029 < 0.052 9 0.0037 < 0.052 8 0.0046 < 0.052 7 0.0054 < 0.052 6 0.0061 < 0.052 5 0.0067 < 0.052 4 0.0070 < 0.052 3 0.0069 < 0.052 2 0.0058 < 0.052 1 0.0029 < 0.052			Lantai Δ _y (m) < Δ _y / ρ (m) 10 0.0027 < 0.052 9 0.0034 < 0.052 8 0.0043 < 0.052 7 0.0051 < 0.052 6 0.0057 < 0.052 5 0.0063 < 0.052 4 0.0066 < 0.052 3 0.0064 < 0.052 2 0.0054 < 0.052 1 0.0027 < 0.052		
	Gempa X F1 Prosentase SDK 303660 65 SRPMK 160982 35 Total 464642 100			Gempa X F1 Prosentase SDK 303702 65 SRPMK 161237 35 Total 464939 100		
	Gempa Y F2 Prosentase SDK 263937 57 SRPMK 199909 43 Total 463846 100			Gempa Y F2 Prosentase SDK 263396 57 SRPMK 199736 43 Total 463132 100		

Perbedaan hasil analisa desain sistem ganda di tepi pantai dengan eksisting dipengaruhi oleh perubahan mutu beton dari f_c' 30MPa menjadi f_c' 35MPa yang mengakibatkan bangunan semakin kaku, yang berimbas mereduksinya periode fundamental dan simpangan antar lantai.

Kemudian selimut beton yang dipertebal dari dinding geser 40mm menjadi 50mm, balok induk dan kolom 50mm menjadi 65mm mengakibatkan luasan inti beton terkekang semakin mengecil, yang berimbas gaya geser dasar dan sistem gandanya menjadi membesar.

2. Hasil penulangan elemen sebagai berikut:

✓ Rekapitulasi Penulangan Plat Lantai

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang			
	lx (mm)	ly (mm)	t (mm)	Atas arah x	Bawah arah x	Atas arah y	Bawah arah y
S1A	3000	7000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1B	3000	5000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1C	3500	7000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1D	2000	7500	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1E	5000	5500	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1F	2500	7000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1G	2000	5500	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1H	2000	3000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1I	2000	6000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S1J	3000	6000	120	D10 -150	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 200
S2A	4000	7000	150	D10 -100	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 150

✓ Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan			Lapangan				
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping		
B2A	300	700	7000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2B	300	700	10000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2D	300	700	7500	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2E	300	700	5500	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B2F	300	700	6000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175
B3A	300	400	3000	2D25	4D13	2D25	D13-80	2D25	4D13	2D25	D13-100
B4A	300	900	3000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-140
B4B	300	900	4000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-140

✓ Rekapitulasi Penulangan Balok Lift

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan			Lapangan				
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping		
B1F	400	700	3000	3D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-200

✓ Rekapitulasi Penulangan Plat tangga dan Bordes

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang			
	lx (mm)	ly (mm)	t (mm)	Atas arah x	Bawah arah x	Atas arah y	Bawah arah y
S2B	1300	2650	150	D13-125	D13-125	D13-200	D13-200
S2C	1500	2900	150	D13-125	D13-125	D13-200	D13-200

✓ Rekapitulasi Penulangan Balok Tangga

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan			Lapangan				
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping		
B2C	300	700	3000	2D25	4D13	2D25	D13-100	2D25	4D13	2D25	D13-175

✓ Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang							
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan				Lapangan			
				Atas	Samping	Bawah	Sengkang	Atas	Samping	Bawah	Sengkang
B1A	400	700	7000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1B	400	700	10000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1C	400	700	5280	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1D	400	700	9000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1E	400	700	3000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1G	400	700	7500	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1H	400	700	5500	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200
B1I	400	700	6000	6D25	4D13	3D25	3D13-100	3D25	4D13	3D25	D13-200

✓ Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang			
	b (mm)	h (mm)	l (mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Utama	Sengkang	Utama	Sengkang
K1A	700	750	3400	24D25	6D13-100	24D25	6D13-100
K1B	700	750	3400	24D25	6D13-100	24D25	6D13-100
K1C	700	750	3400	24D25	6D13-100	24D25	6D13-100

✓ Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser

Kode	Dimensi			Tulangan Terpasang					
	hw (mm)	lw (mm)	t (mm)	Longitudinal		Transversal		Confinement	
				Lapis 1	Lapis 2	Lapis 1	Lapis 2	Serah	Tegak Lurus
SW1	3400	2200	400	D16-200	D16-200	D16-200	D16-200	2D16-100	5D16-100
SW2	3400	1650/2350	300	D16-200	D16-200	D16-200	D16-200	2D16-100	5D16-100
SW3	3400	3400	300	D16-200	D16-200	D16-200	D16-200	2D16-100	7D16-100

3. Untuk menjamin supaya durabilitas bangunan tepi pantai tercapai perlu perencanaan, pengawasan serta pelaksanaan yang ketat dari proses,
- Perencanaan dan persiapan mutu beton untuk menjamin mutu beton $f_c'35$ dan rasio air-bahan cementisius maksimum ($w/c m$) 0.4.
 - Perencanaan dan persiapan mutu baja tulangan.
 - Perencanaan dan persiapan bekisting (*formwork*).
 - Perencanaan dan persiapan penulangan dengan memerhatikan selimut beton yang digunakan pelat 20mm, balok induk dan kolom 65mm, serta balok anak dan dinding geser 50mm. Jarak beton tahu dipasang setiap 0.5m. *Spacer bar* pelat lantai dan dinding geser dipasang setiap 1m.
 - Perencanaan dan persiapan pengecoran beton

- f. Perawatan dan pengujian beton. Perawatan dilakukan setelah bekisting dilepas. Pada kolom beton bisa dilakukan 8-12 jam setelah pengecoran, kemudian pada lantai dengan sistem balok, bekisting pelat beton boleh lebih dulu dibongkar pada umur beton minimal 6-7 hari dengan syarat langsung di shoring atau ditumpu oleh pipa support pada jarak tertentu (support per meter), sementara baloknya dibongkar pada umur 10 hari. Perawatan dilakukan selama 7 hari dan mencapai 70% dari mutu yang direncanakan. Dan pengujian sampel beton dilakukan pada hari ke 3, 7, 14 dan 28 dari waktu pengecoran.

5.2 Saran

Dari hasil analisa selama proses pengerjaan tugas akhir terapan ini, ada beberapa saran yang dapat disampaikan antara lain:

1. Perlu pendetailan lebih lanjut untuk persyaratan gempa terbaru, supaya bangunan lebih aman dan nyaman.
2. Perlu penelitian lebih lanjut perihal perilaku bangunan gedung tepi pantai.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. 2008. *Building Code Requirement For Structural Concrete And Commentary*-ACI 318-08. USA.
- Amien Sajekti. 2009. Metode Kerja Bangunan Sipil. Yogyakarta:Graha Ilmu
- ASCE. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structure*-ASCE 7-10. USA.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan (SNI 2847 : 2013).
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726 : 2012).
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727 : 2013).
- Darkspecialistd.blogspot.com (2019, 20 Agustus). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Tulangan Struktur. Diakses pada 22 Juni 2020, dari <http://darkspecialistd.blogspot.com/2019/08/metode-pelaksanaan-pekerjaan-tulangan.html>
- Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung:ITB.
- Lauwtjunnji.weebly.com. *Curing/ Perawatan Beton*. Diakses pada 22 Juni 2020, dari <https://lauwtjunnji.weebly.com/curing-beton.html>
- Metodebangunansipil.blogspot.com (2015, Oktober). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pengecoran. Diakses pada 22 Juni 2020, dari <http://metodebangunansipil.blogspot.com/2015/10/metode-pelaksanaan-pekerjaan-pengecoran.html>
- Nawy, Edward G. 2010. Beton Bertulang. Penerjemah: Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc:PT Revika Aditama
- PBI. 1971. Peraturan Beton Bertulang:Direktorat Penyedia Masalah Bangunan.

- Projectmedias.blogspot.com (2013, Desember). Tahapan Pembongkaran Bekisting. Diakses pada 22 Juni 2020, <http://projectmedias.blogspot.com/2013/12/tahap-pembongkaran-bekisting.html>
- Purbolaras Nawangala dkk. 2011. Belajar SAP2000 Analisa Gempa:Yogyakarta:Zamil
- Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya:ITS Press.
- Ryanrakhmats.wordpress.com (2014, 30 Agustus). Getar Oh Periode Getar. Diakses pada 22 Juni 2020, <https://ryanrakhmats.wordpress.com/2014/08/30/periode-getar-oh-periode-getar/>
- Tekniksipildopp.blogspot.com (2018, 29 November). Metode Pemasangan Bekisting. Diakses pada 22 Juni 2020, dari <https://tekniksipildopp.blogspot.com/2018/11/metode-pemasangan-bekisting.html>
- Wiryanto Dewabroto. 2013. Komputer Rekayasa Struktur Dengan SAP2000:Lumina Press

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Haidar Abdul Syakur, lahir di Surabaya 1 September 1995 merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Bhina Karya, SDN 262 Surabaya, SMPN 30 Surabaya, SMAN 17 Surabaya. Setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan di Program Teknologi Sepuluh Nopember) Surabaya dan terdaftar dengan nomer mahasiswa 10111310000091. Selama menempuh program studi D4 Teknik

Infrastruktur Sipil, penulis selalu aktif dalam kegiatan jurusan maupun institute yang diselenggarakan di ITS. Penulis dapat dihubungi melalui : haidar.abdul.syakur@gmail.com



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN – VC181819

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANTAI DENGAN SISTEM GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

Mahasiswa
Haidar Abdul Syakur
NRP 10111310000091

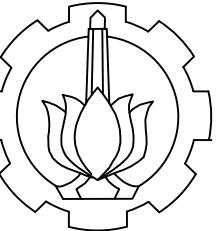
Dosen Pembimbing
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPERMBER
SURABAYA 2020

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	SKALA	NOMOR
COVER	-	-
DAFTAR ISI	-	-
DENAH		
-KOLOM DAN DINDING GESER LT 1-9	1:150	1
-KOLOM DAN DINDING GESER ATAP	1:150	2
-BALOK LT 1-9	1:150	3
-BALOK ATAP	1:150	4
-PLAT LT 1-9	1:150	5
-PLAT ATAP	1:150	6
-ARSITEKTUR	1:150	7
TAMPAK	1:150	
-ARAH X	1:150	8
-ARAH Y	1:150	9
DETAIL PLAT		
-PLAT S1A	1:35	10
-PLAT S1B	1:35	11
-PLAT S1C	1:35	12
-PLAT S1D	1:35	13
-PLAT S1E	1:35	14
-PLAT S1F	1:35	15
-PLAT S1G	1:35	16
-PLAT S1H	1:35	17
-PLAT S1I	1:35	18
-PLAT S1J	1:35	19
-PLAT S2A	1:35	20
DETAIL BALOK		
-BALOK B1A	1:40	23
-BALOK B1B	1:40	24

DAFTAR ISI	SKALA	NOMOR
-BALOK B1C	1:40	24
-BALOK B1D	1:40	25
-BALOK B1E	1:40	25
-BALOK B1F	1:40	27
-BALOK B1G	1:40	27
-BALOK B1H	1:40	28
-BALOK B1I	1:40	28
-BALOK B2A	1:40	29
-BALOK B2B	1:40	29
-BALOK B2C	1:40	30
-BALOK B2D	1:40	30
-BALOK B2E	1:40	31
-BALOK B2F	1:40	31
-BALOK B3A	1:40	32
-BALOK B4A	1:40	33
-BALOK B4B	1:40	33
DETAIL KOLOM		
-ARAH X	1:35	34
-ARAH Y	1:35	35
DETAIL DINDING GESER		
-DINDING GESER SW1	1:35	37
-DINDING GESER SW2 DAN SW3	1:35	38
DETAIL TANGGA		
-TANGGA	1:50	39
DETAIL PORTAL		
-ARAH X	1:150	40
-ARAH Y	1:150	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

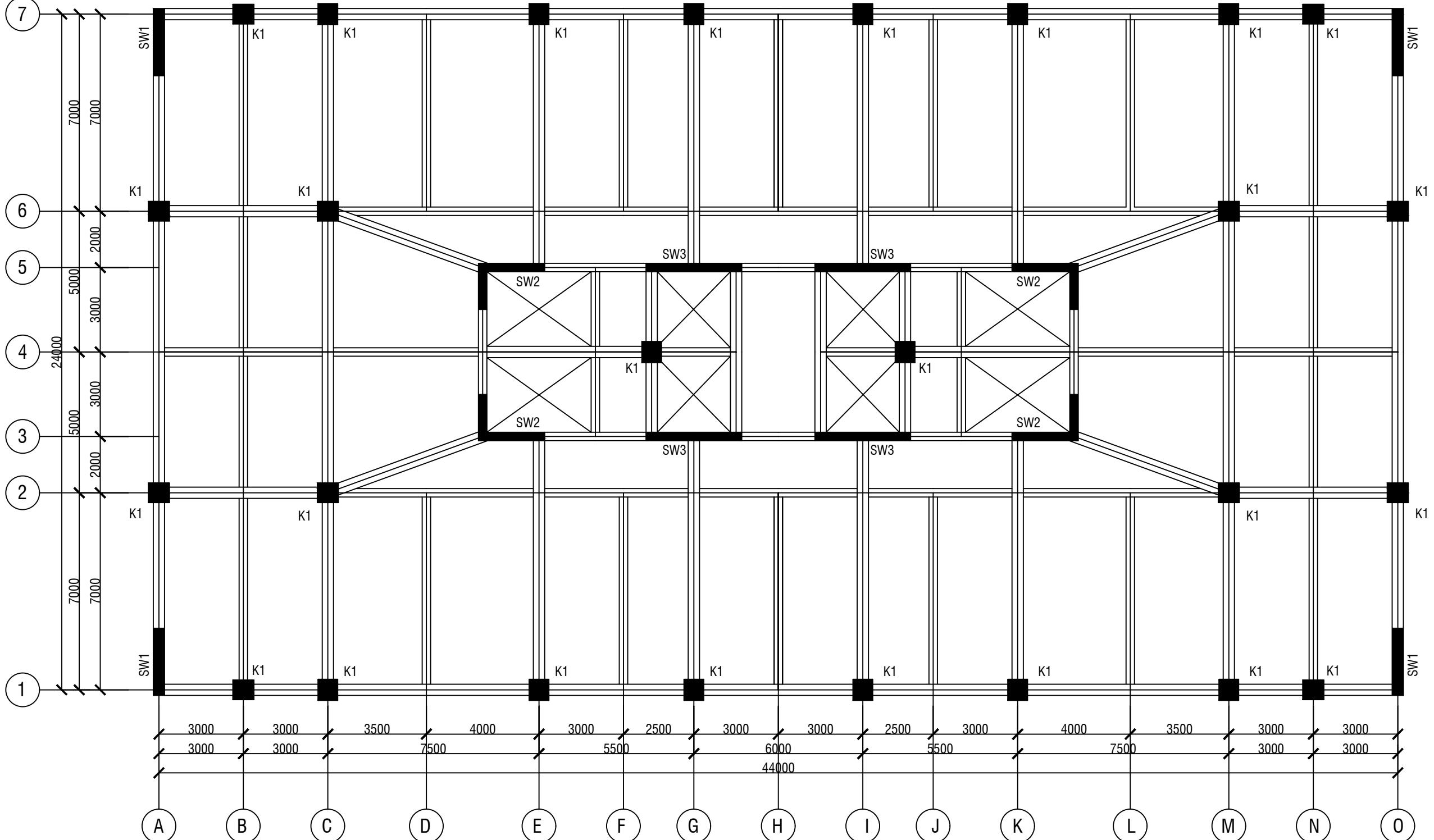
JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM DAN
DINDING GESET LANTAI 1-9

SKALA

1 : 150

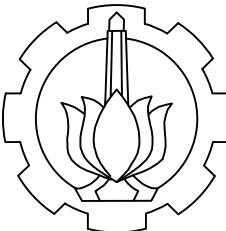
DENAH KOLOM DAN DINDING GESET LANTAI 1-9
SKALA 1 : 150



KOLOM	DIMENSI
SW1	400
SW2	300
K1	700 X 750

DINDING GESET	DIMENSI
SW1	400
SW2	300
SW3	300

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
1	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

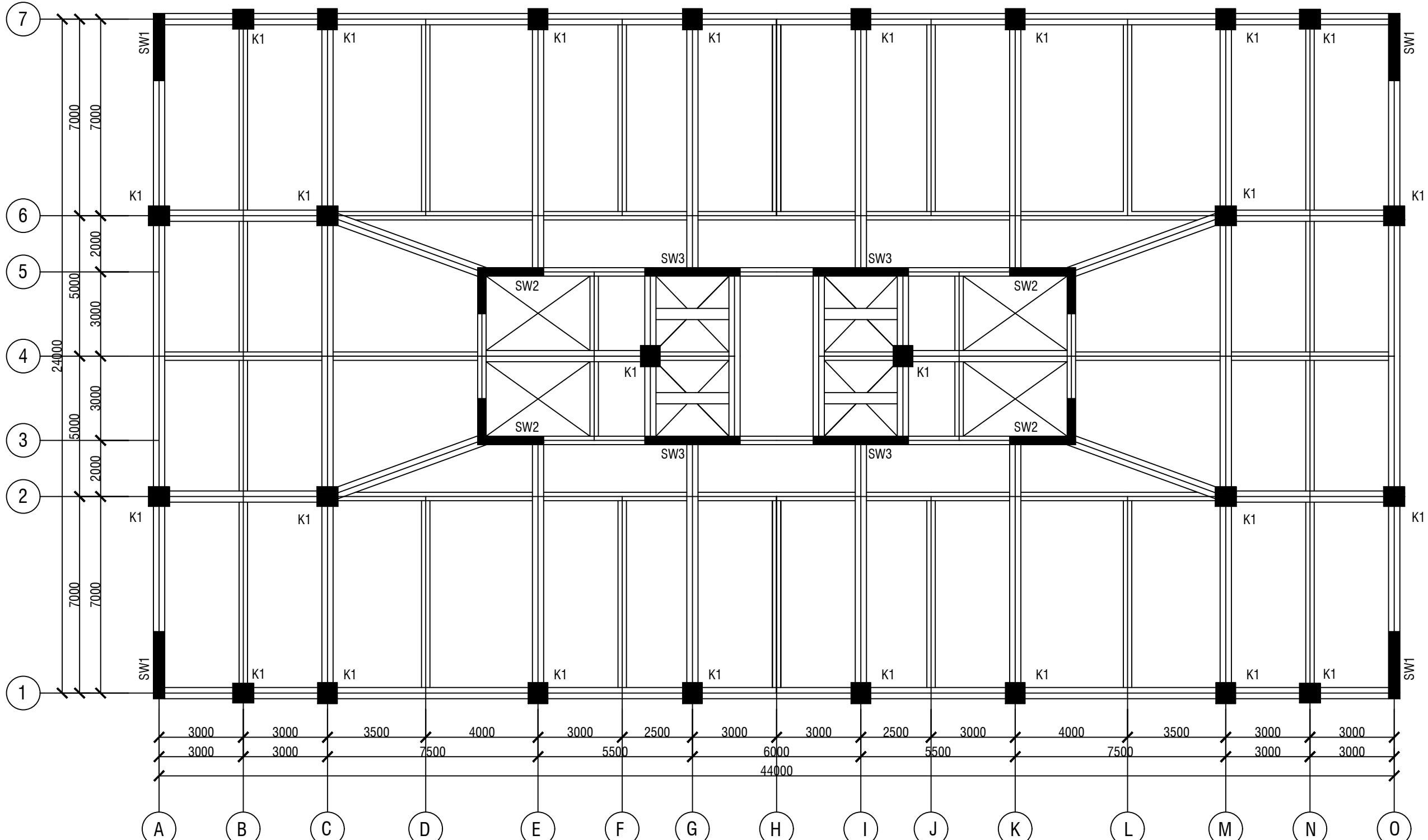
JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM DAN
DINDING GESER LANTAI 10

SKALA

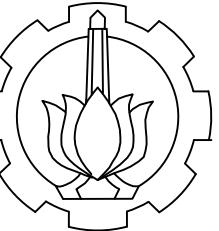
1 : 150

DENAH KOLOM DAN DINDING GESER LANTAI 10
SKALA 1 : 150



KOLOM	DIMENSI	DINDING GESER	DIMENSI
SW1	400	SW1	700
SW2	300	SW2	300
K1	700 X 750	SW3	300

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
2	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 1-9

BALOK	DIMENSI
B1A	400 X 700
B1B	400 X 700
B1C	400 X 700
B1D	400 X 700
B1E	400 X 700
B1F	400 X 700
B1G	400 X 700
B1H	400 X 700
B1I	400 X 700

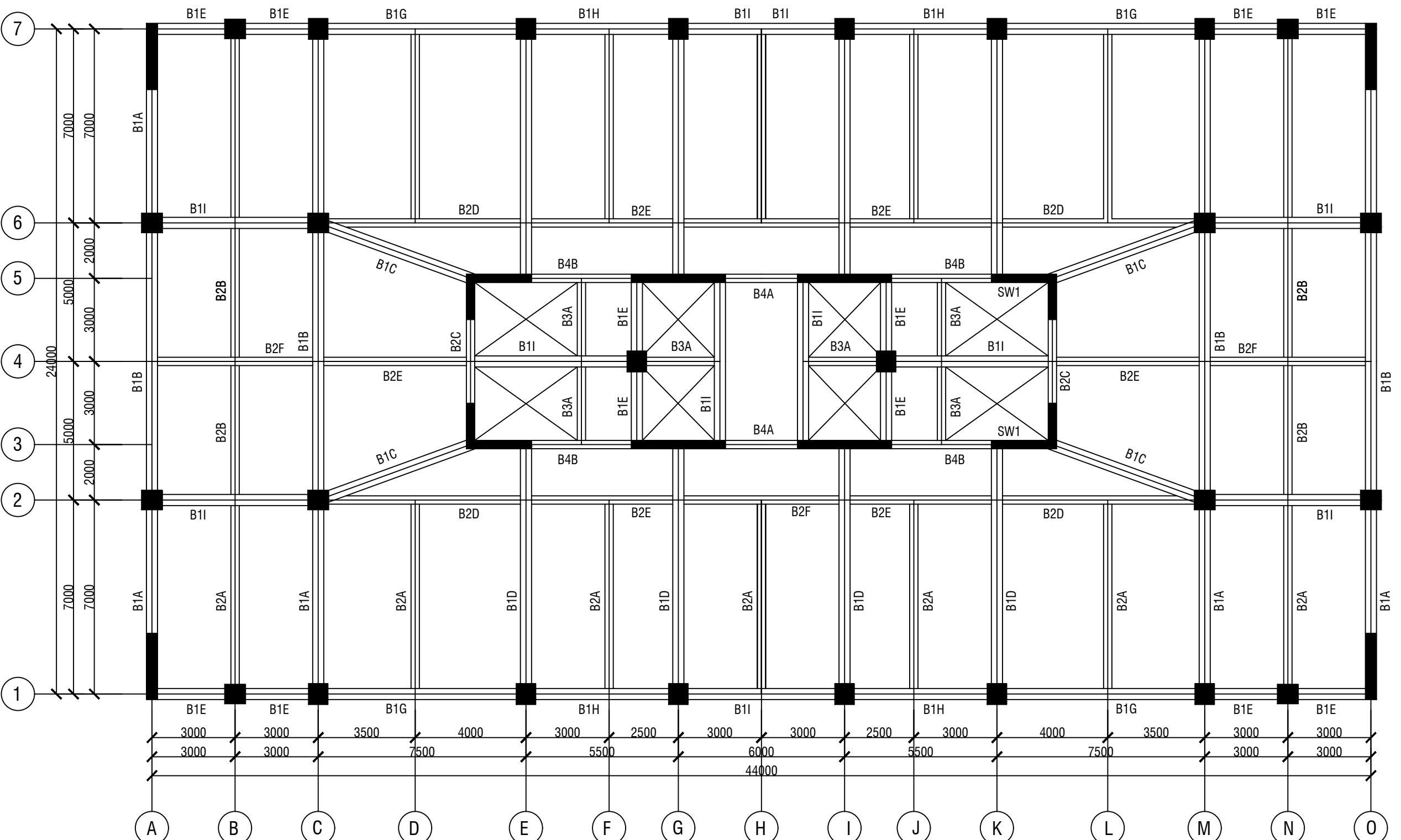
BALOK	DIMENSI
B2A	300 X 700
B2B	300 X 700
B2C	300 X 700
B2D	300 X 700
B2E	300 X 700
B2F	300 X 700
B3A	300 X 400
B4A	300 X 900
B4B	300 X 900

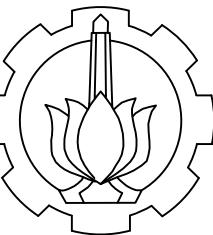
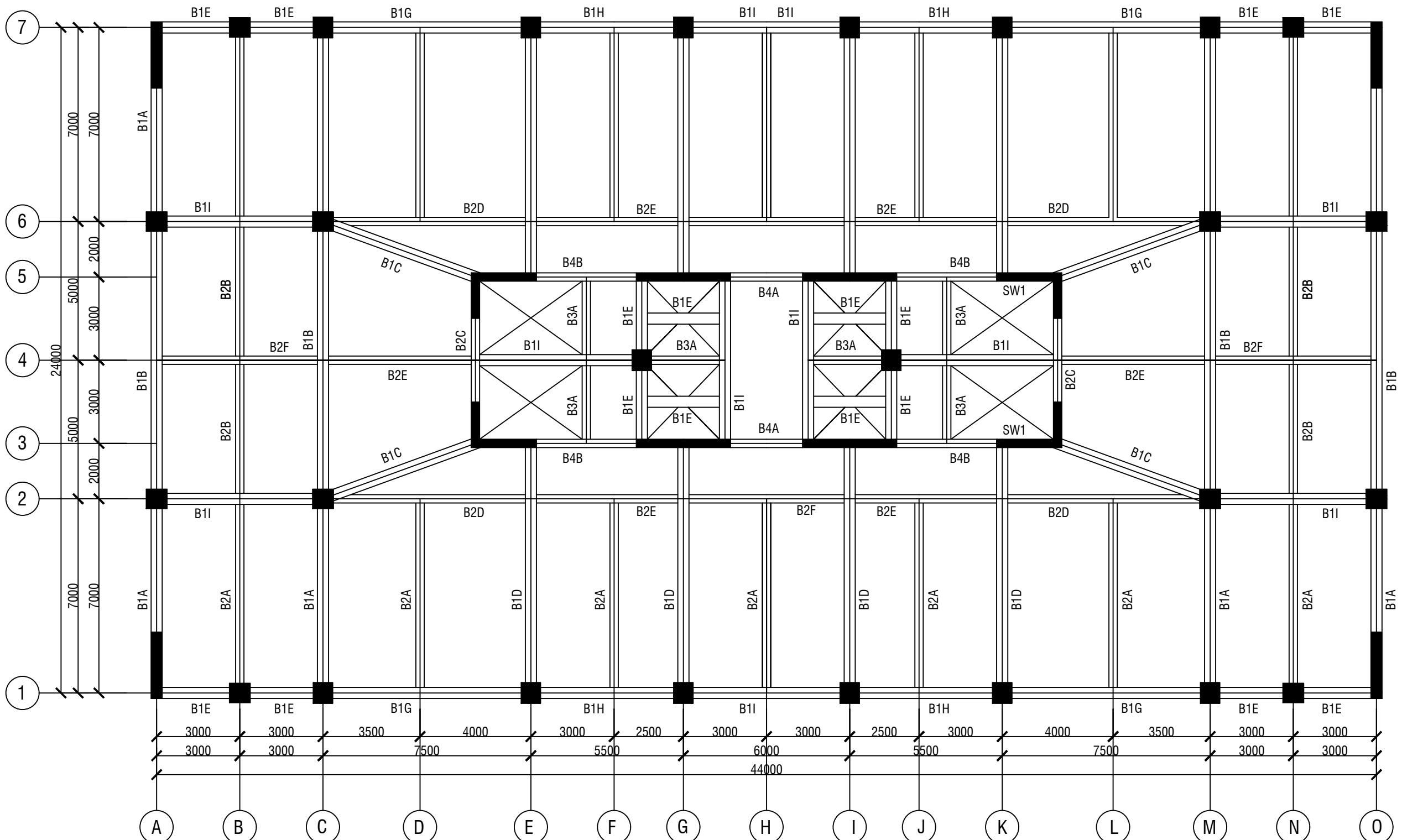
SKALA

1 : 150

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
3	41

DENAH BALOK LANTAI 1-9
SKALA 1 : 150





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANTAI DENGAN SISTEM GANDA TFR DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 10

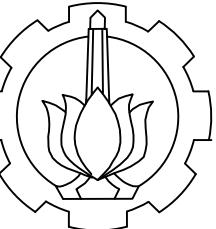
BALOK	DIMENSI
B1A	400 X 700
B1B	400 X 700
B1C	400 X 700
B1D	400 X 700
B1E	400 X 700
B1F	400 X 700
B1G	400 X 700
B1H	400 X 700
B1I	400 X 700

BALOK	DIMENSI
B2A	300 X 700
B2B	300 X 700
B2C	300 X 700
B2D	300 X 700
B2E	300 X 700
B2F	300 X 700
B3A	300 X 400
B4A	300 X 900
B4B	300 X 900

SKALA

1 : 150

 DENAH BALOK LANTAI 10
SKALA 1 : 150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DENAHA PLAT LANTAI 1-9

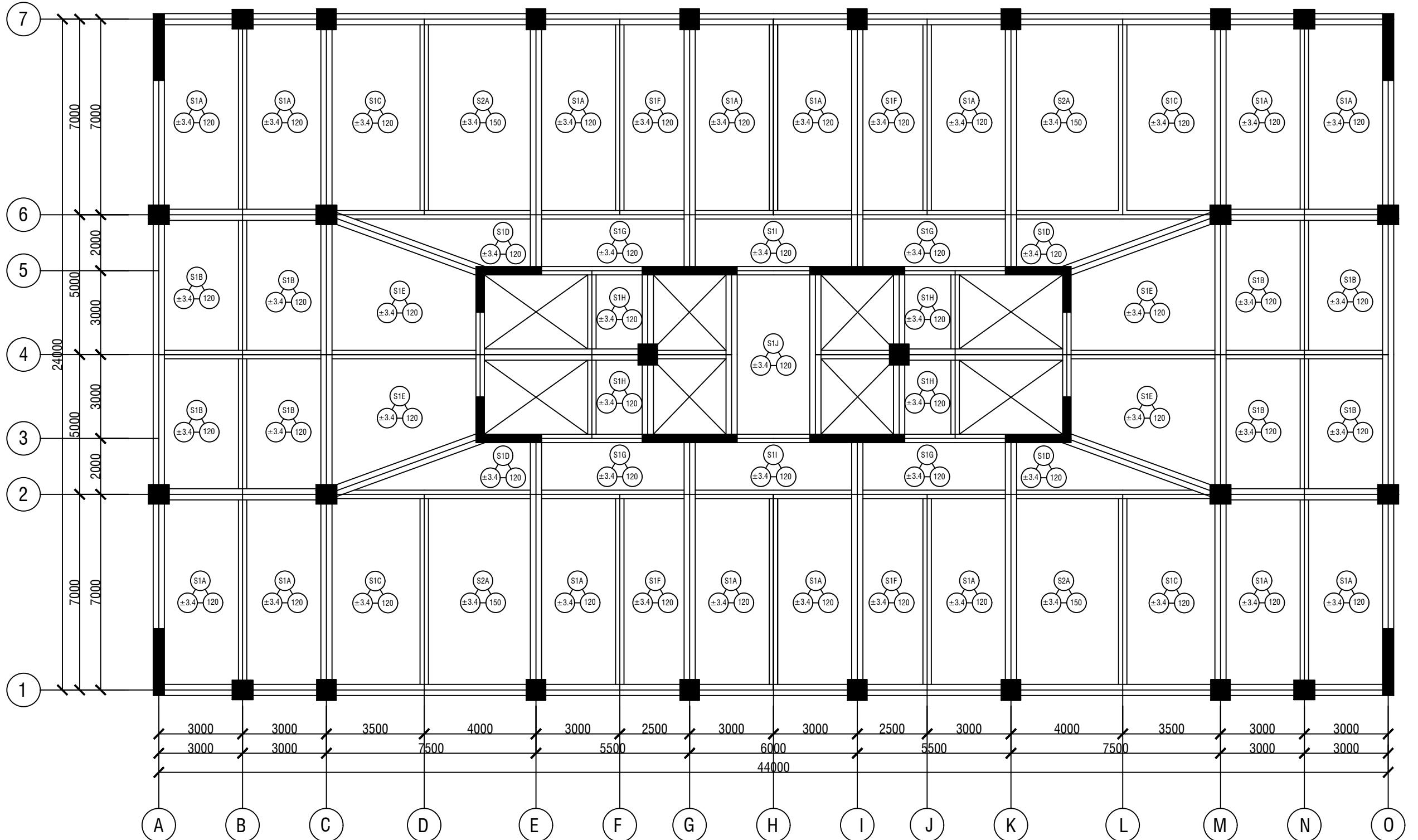
PLAT	DIMENSI
S1A	120
S1B	120
S1C	120
S1D	120
S1E	120
S1F	120
S1G	120
S1H	120
S1I	120

SKALA

1 : 150

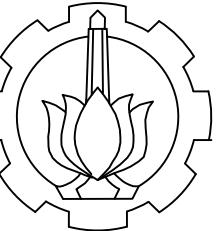
NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

5 41



DENAHA PLAT LANTAI 1-9
SKALA 1 : 150

PLAT	DIMENSI
S2A	150
S2B	150
S2C	150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LANTAI 10

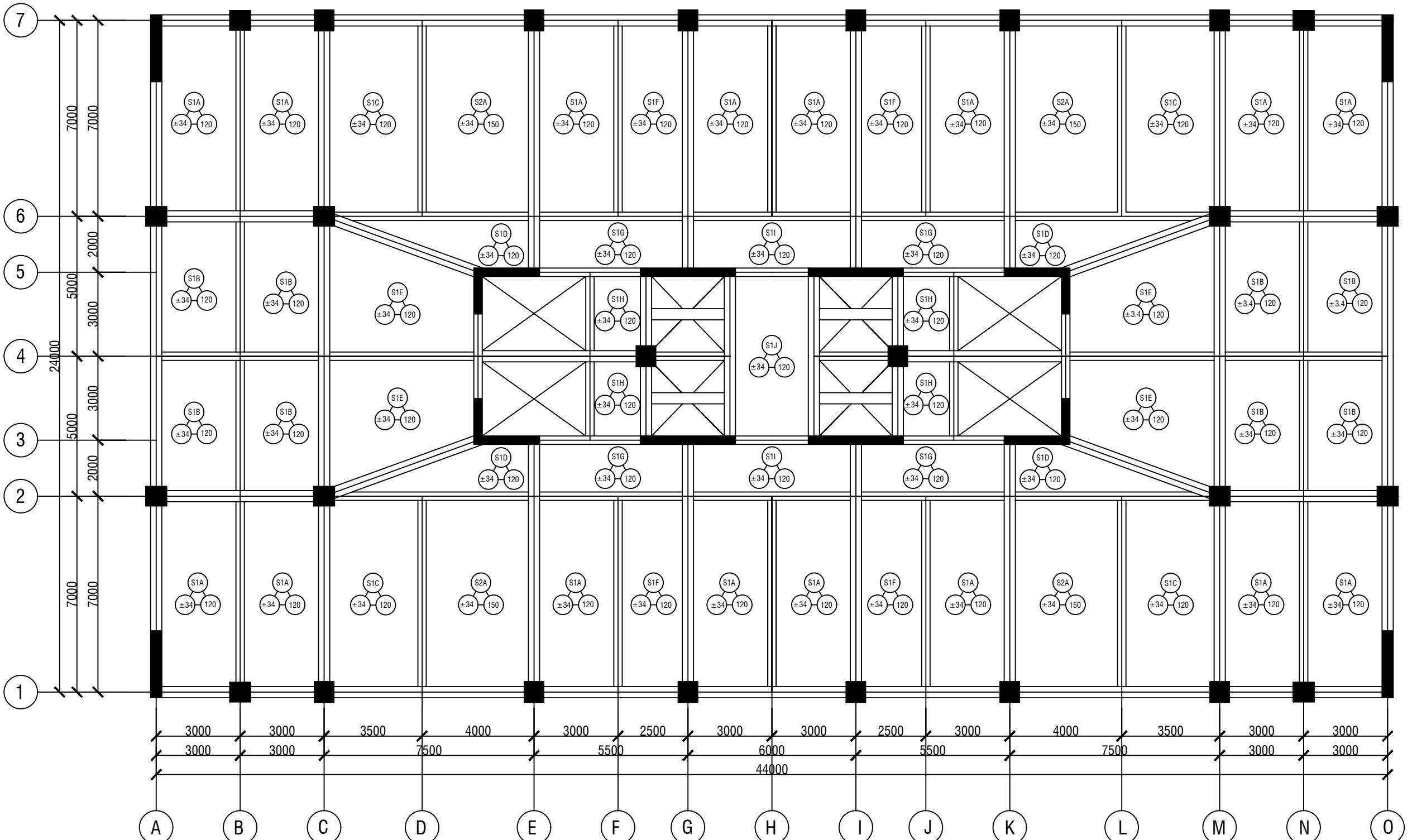
PLAT	DIMENSI
S1A	120
S1B	120
S1C	120
S1D	120
S1E	120
S1F	120
S2A	150
S2B	150
S1H	120
S1I	120

SKALA

1 : 150

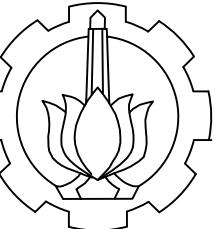
NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

6 41



DENAH PLAT LANTAI 10
SKALA 1 : 150

PLAT	DIMENSI
S2A	150
S2B	150
S1H	120
S1I	120



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

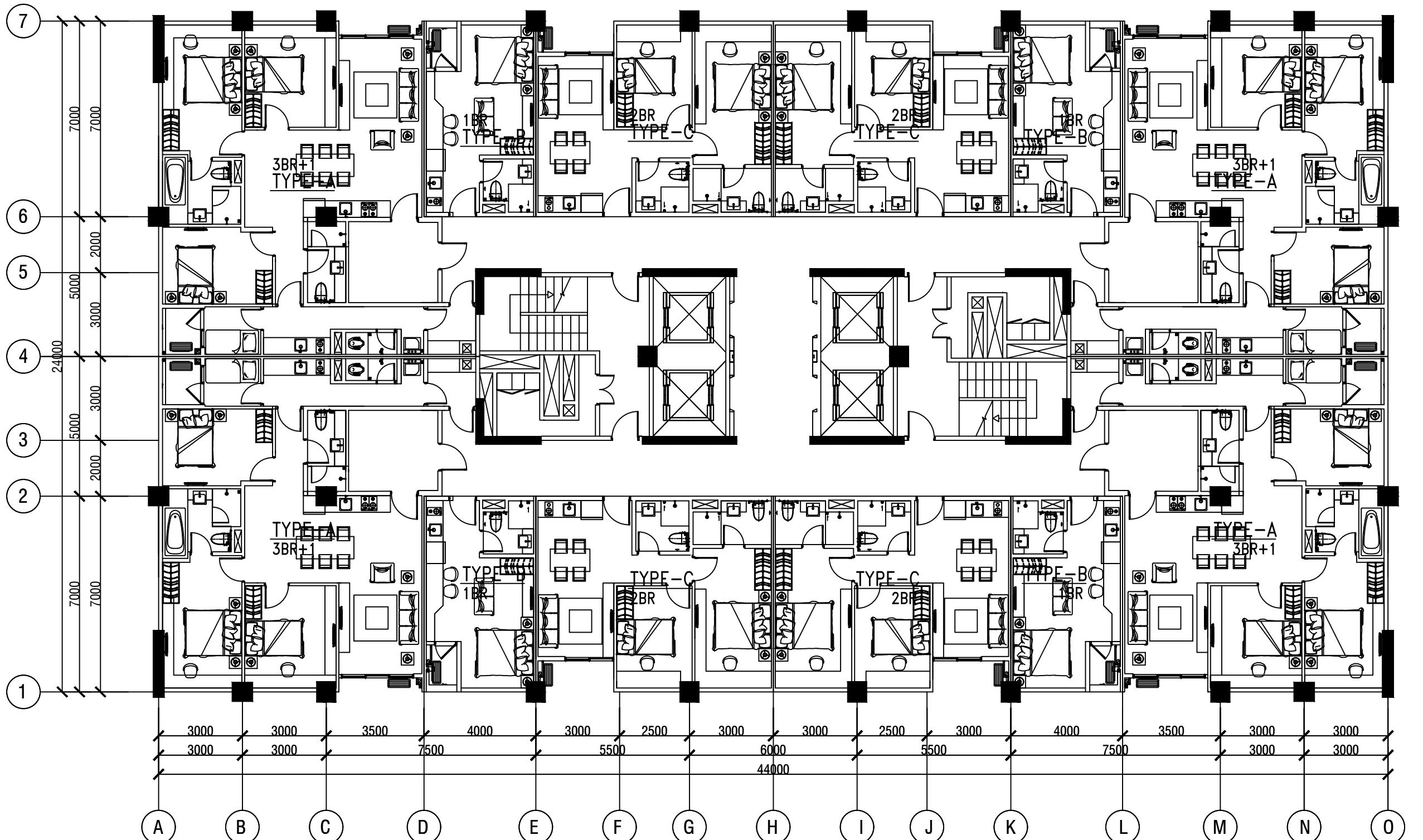
JUDUL GAMBAR

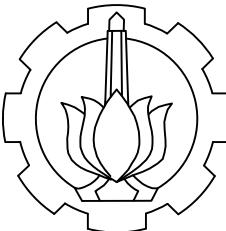
DENAH ARSITEKTUR

SKALA

1 : 150

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
7	41





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

TAMPAK UTARA
DAN SELATAN

SKALA

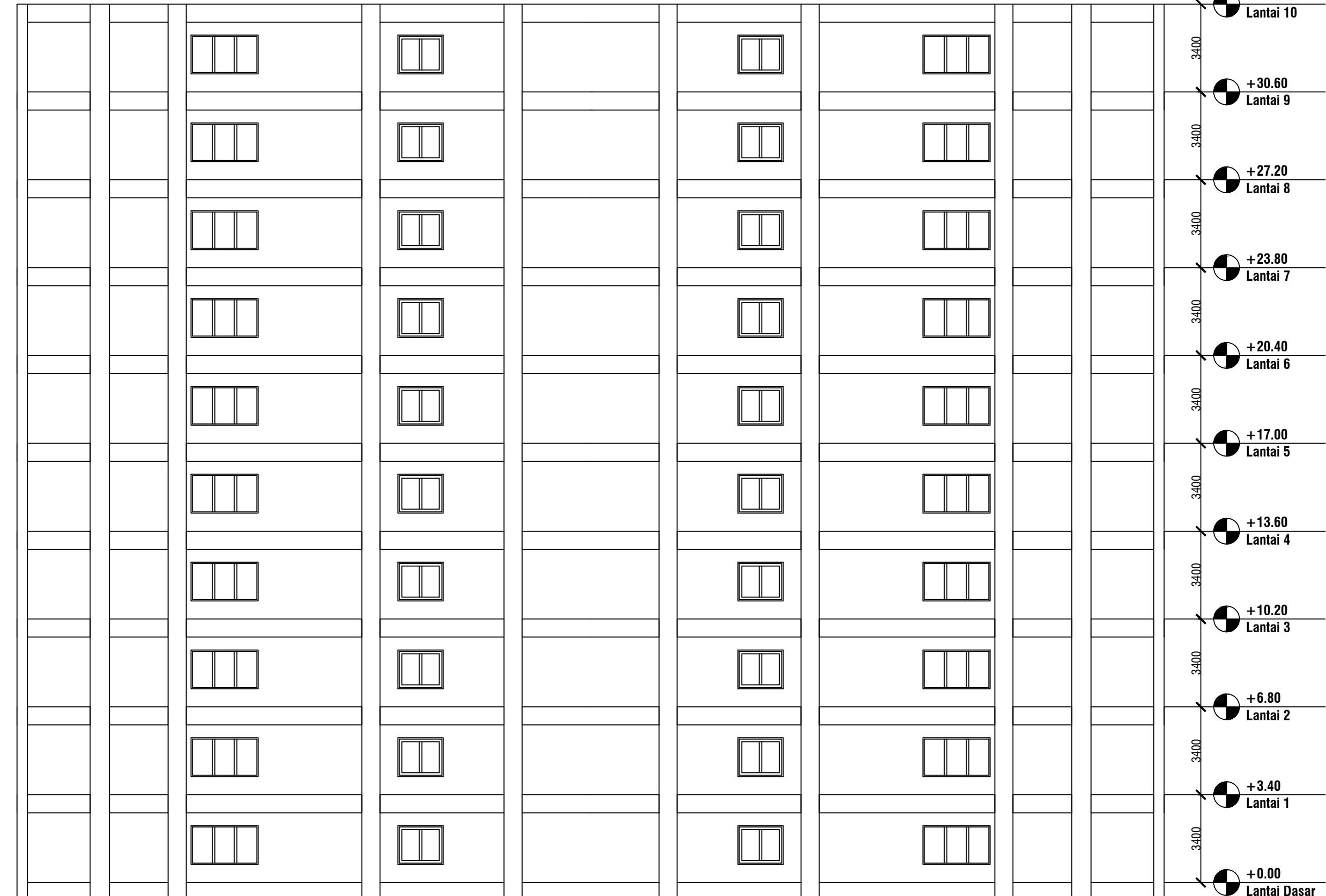
1 : 150

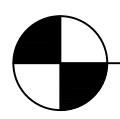
NOMOR
GAMBAR

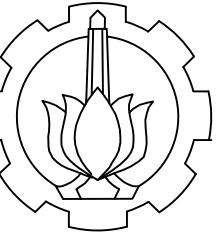
8

JUMLAH
GAMBAR

41



 TAMPAK UTARA DAN SELATAN
SKALA 1 : 150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

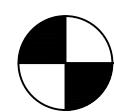
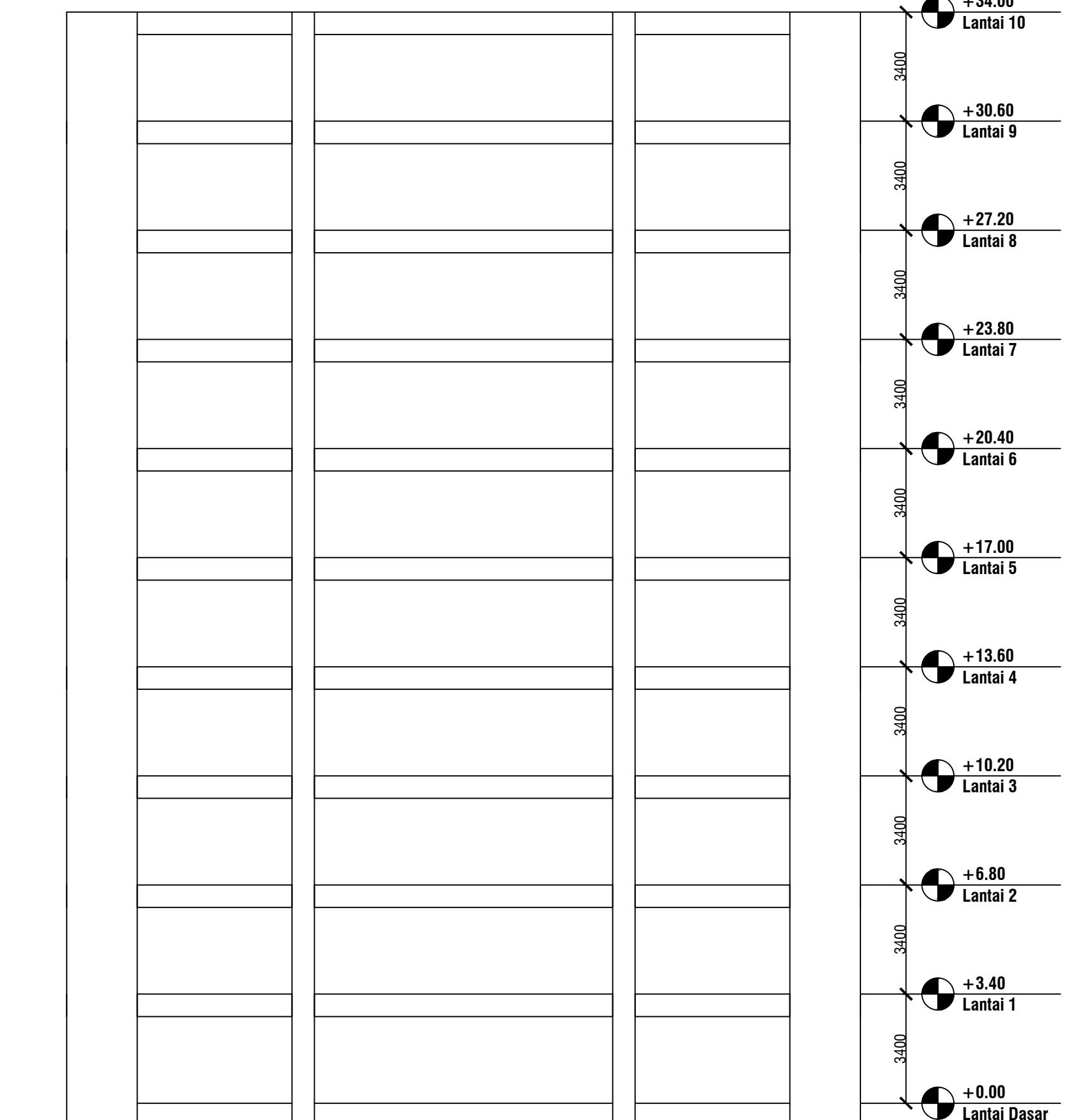
JUDUL GAMBAR

TAMPAK TIMUR DAN
BARAT

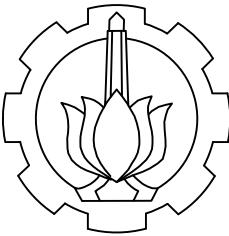
SKALA

1 : 150

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
9	41



TAMPAK TIMUR DAN BARAT
SKALA 1 : 150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

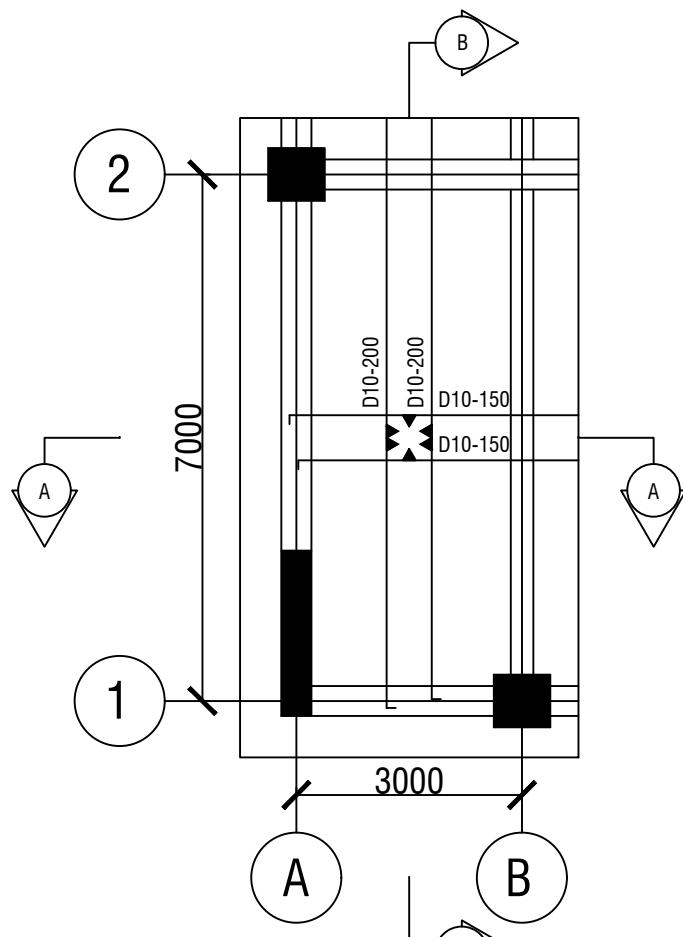
DETAIL PENULANGAN
PLAT S1A
POT A-A PLAT S1A
POT B-B PLAT S1A

SKALA

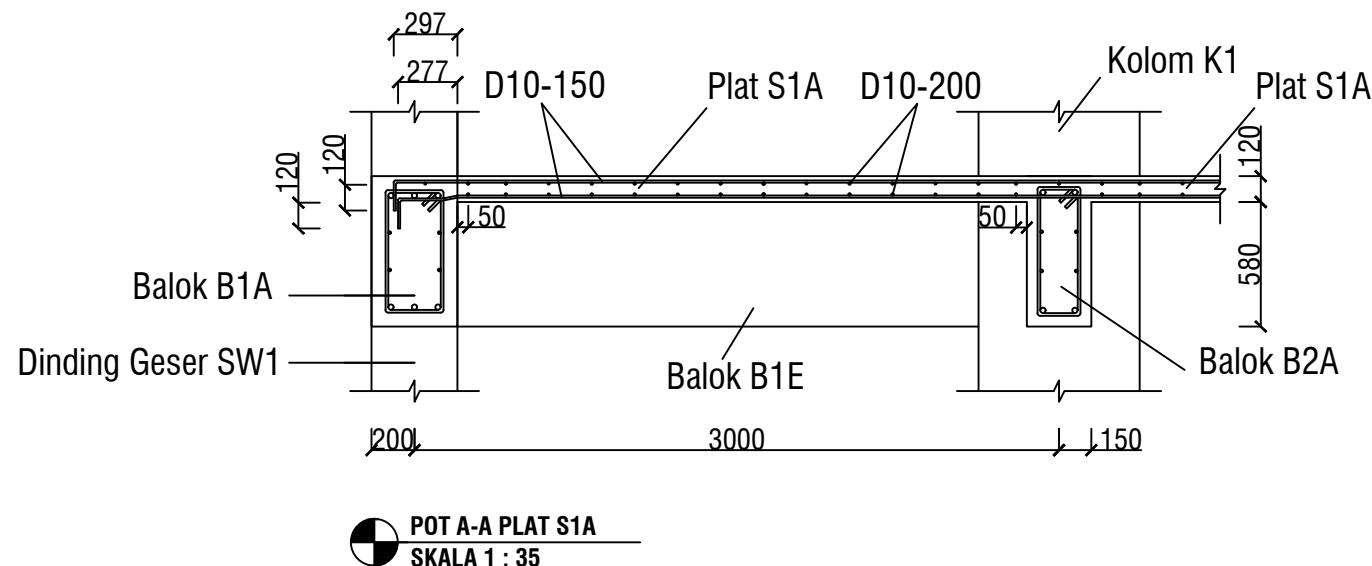
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

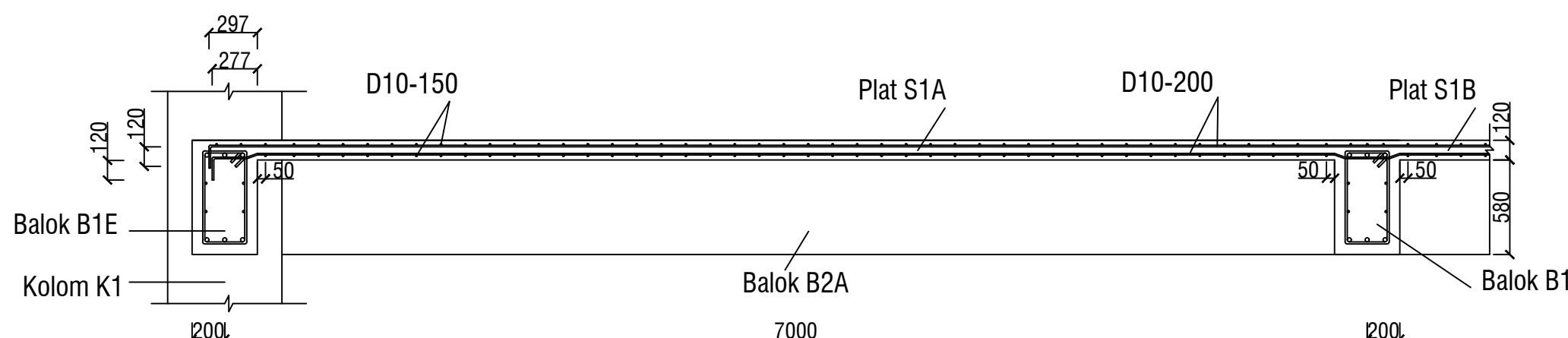
10 41



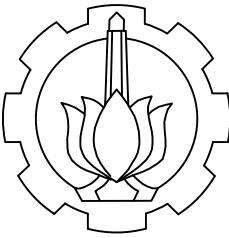
DETAIL PENULANGAN PLAT S1A
SKALA 1 : 100



POT A-A PLAT S1A
SKALA 1 : 35



POT B-B PLAT S1A
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

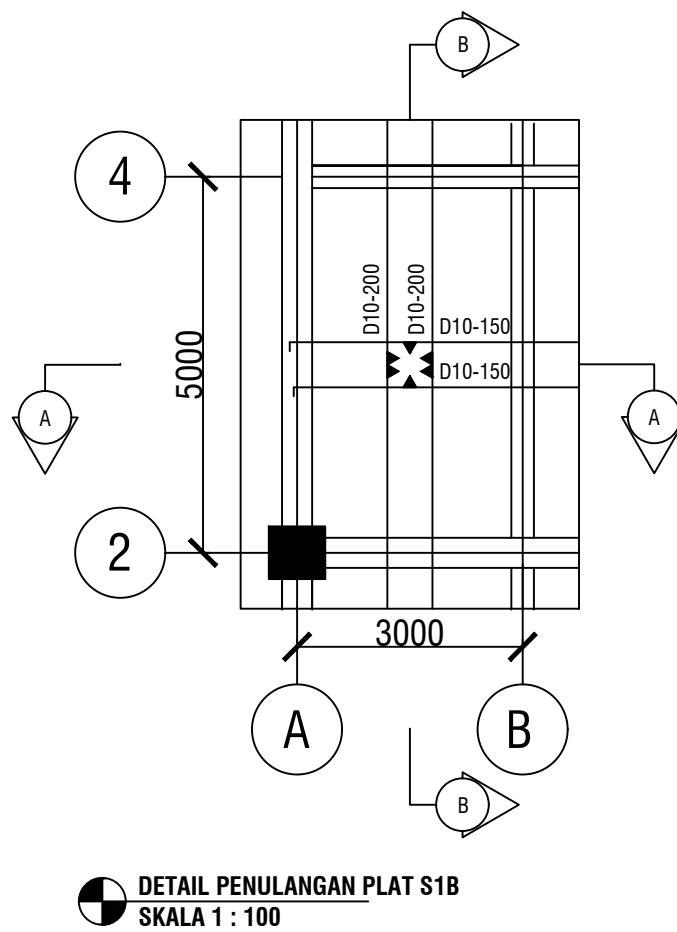
DETAIL PENULANGAN PLAT S1B
POT A-A PLAT S1B
POT B-B PLAT S1B

SKALA

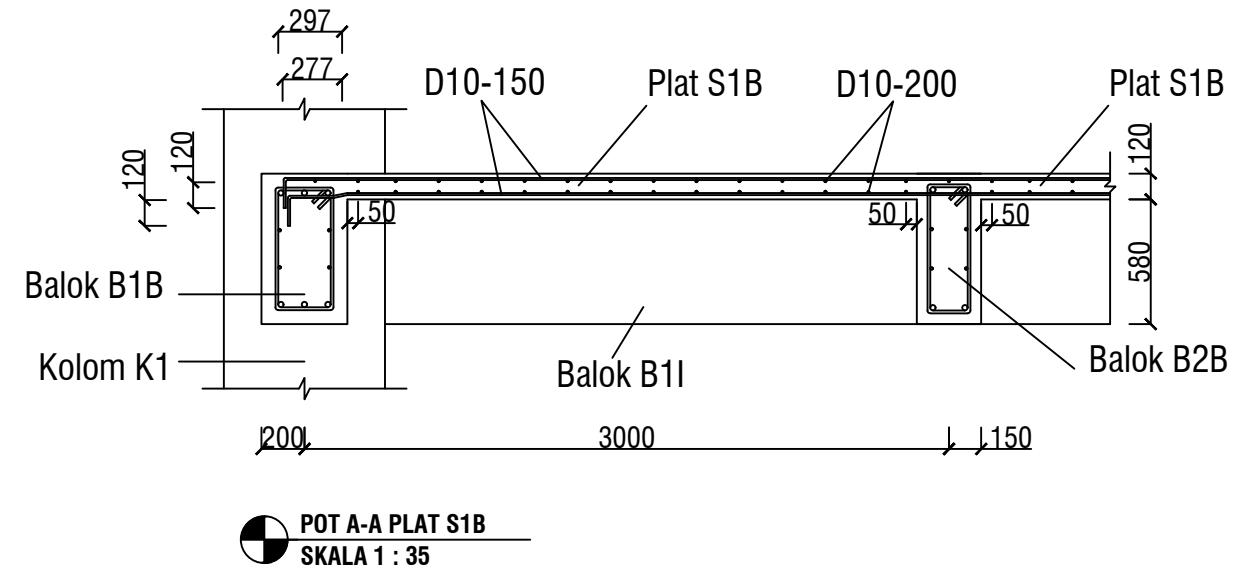
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR

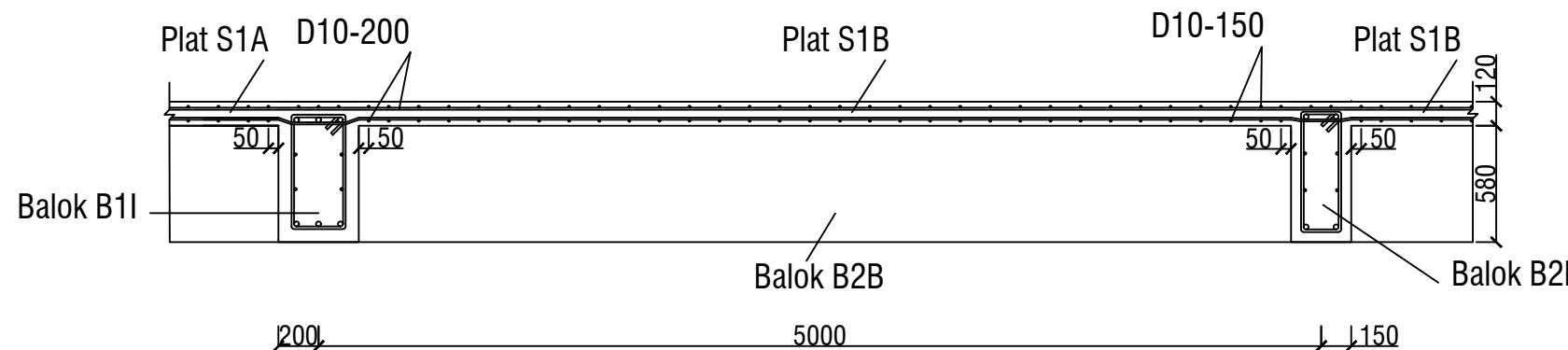
11 41



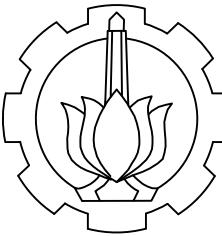
DETAIL PENULANGAN PLAT S1B
SKALA 1 : 100



POT A-A PLAT S1B
SKALA 1 : 35



POT B-B PLAT S1B
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

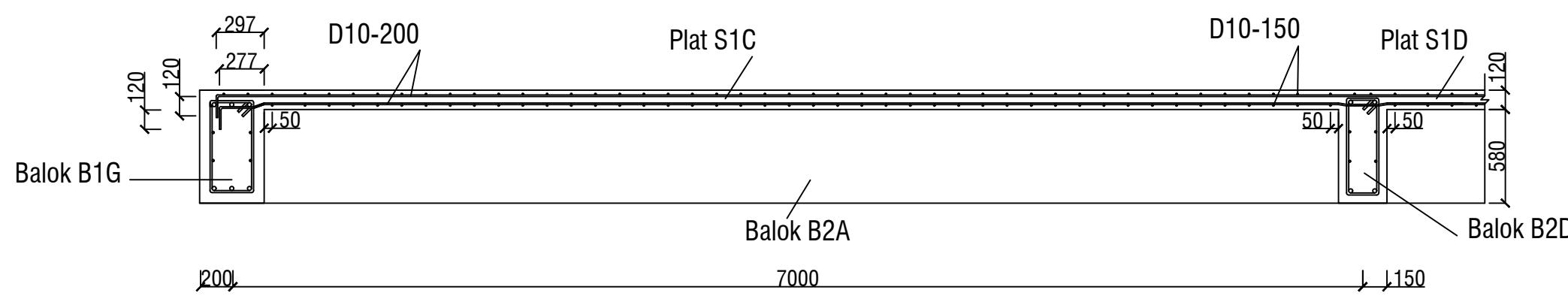
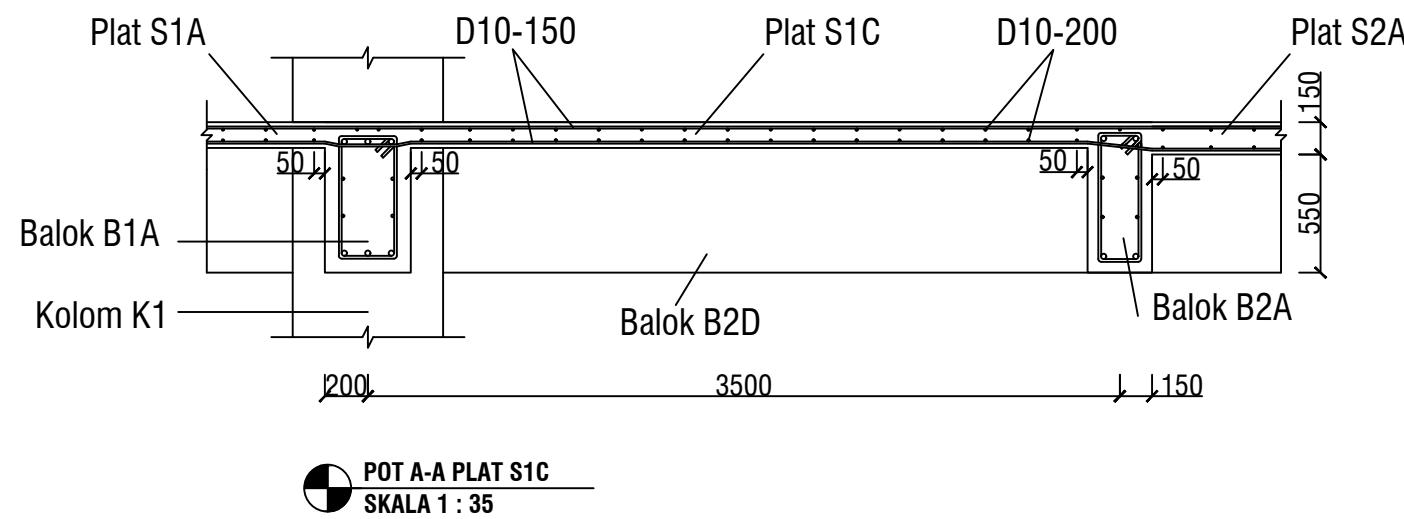
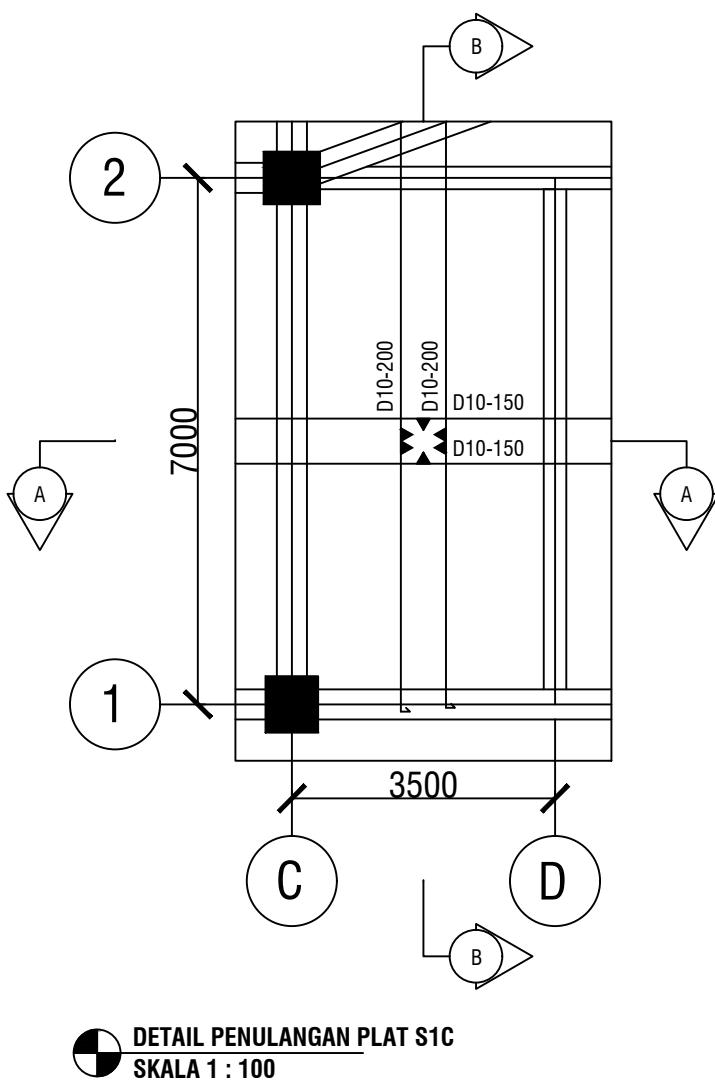
DETAIL PENULANGAN
PLAT S1C
POT A-A PLAT S1C
POT B-B PLAT S1C

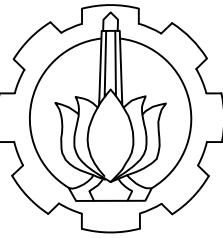
SKALA

1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

12 41





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

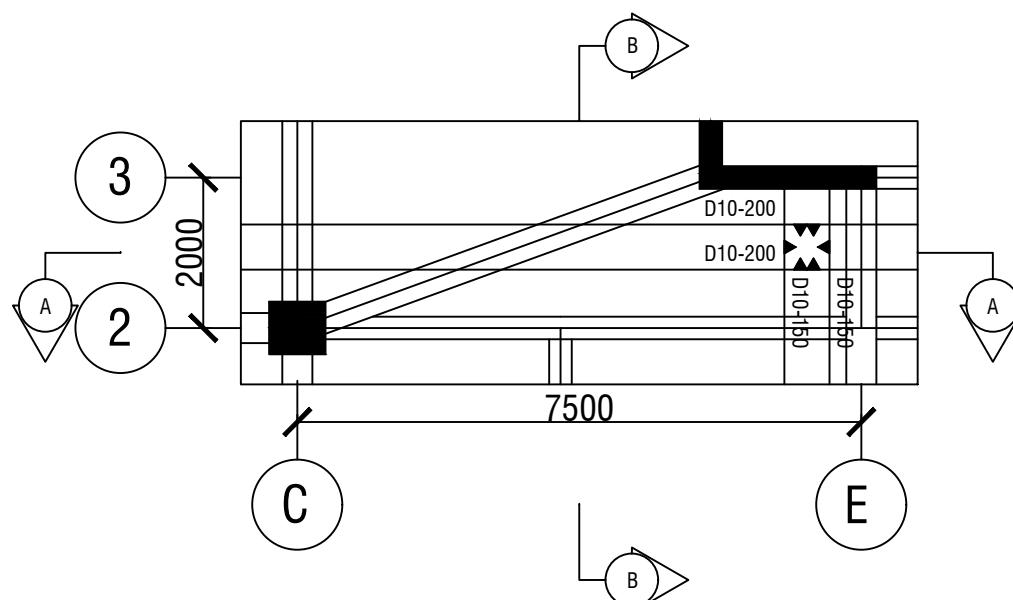
DETAIL PENULANGAN
PLAT S1D
POT A-A PLAT S1D
POT B-B PLAT S1D

SKALA

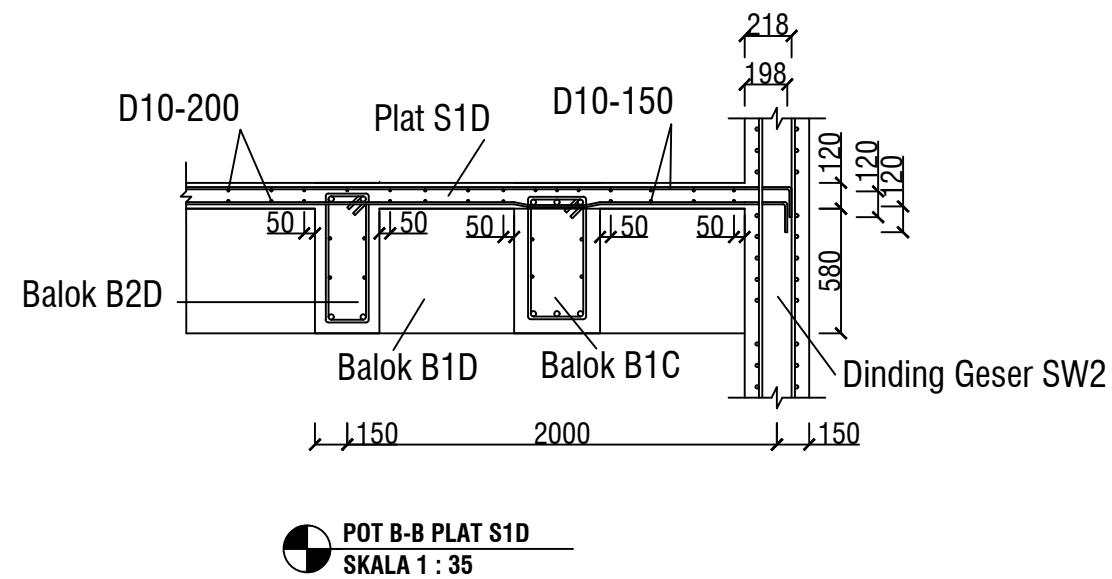
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

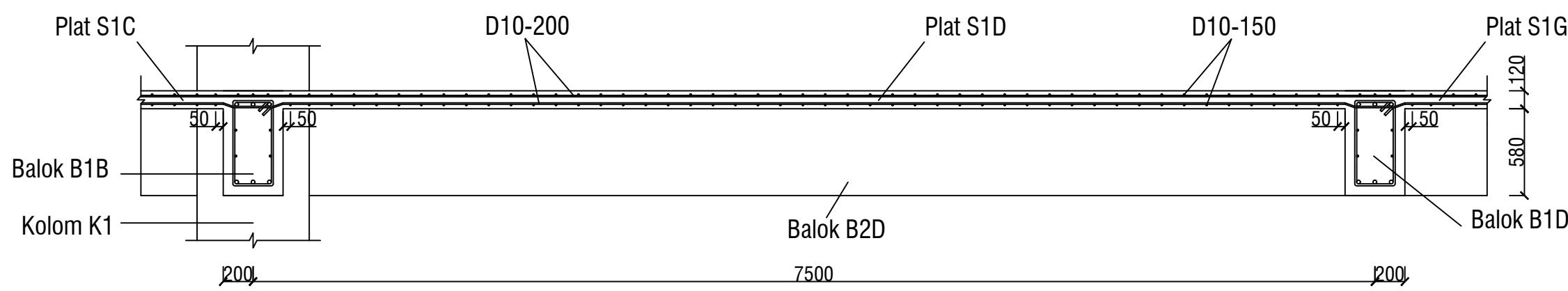
13 41



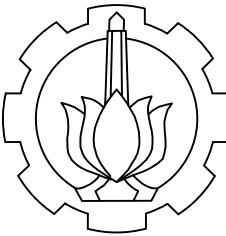
DETAL PENULANGAN PLAT S1D
SKALA 1 : 100



POT B-B PLAT S1D
SKALA 1 : 35



POT A-A PLAT S1D
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

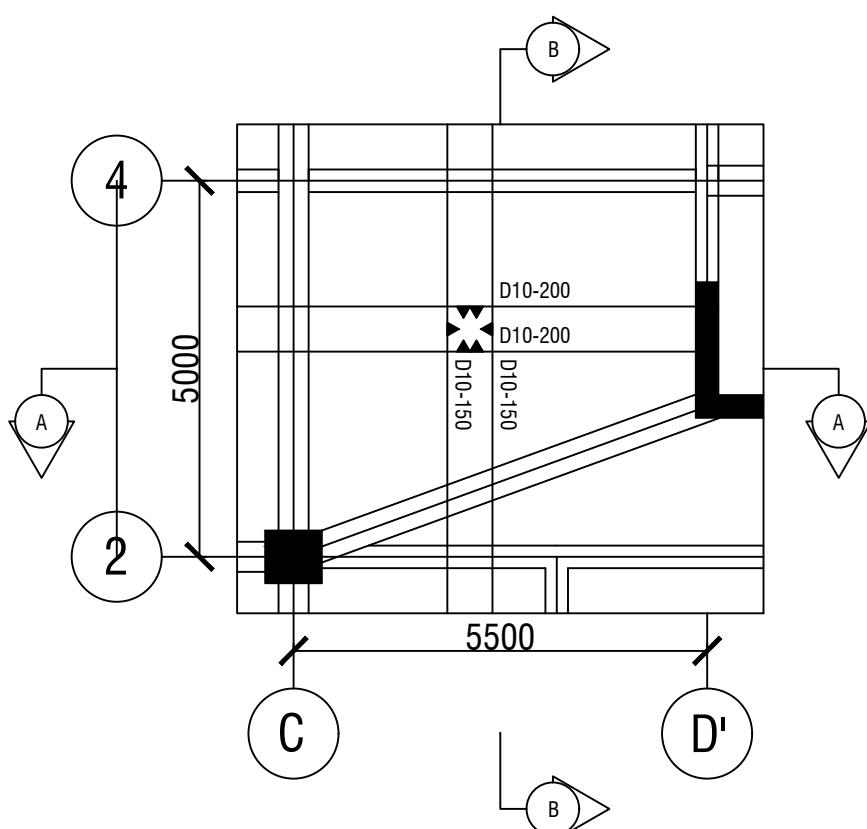
DETAIL PENULANGAN PLAT S1E
POT A-A PLAT S1E
POT B-B PLAT S1E

SKALA

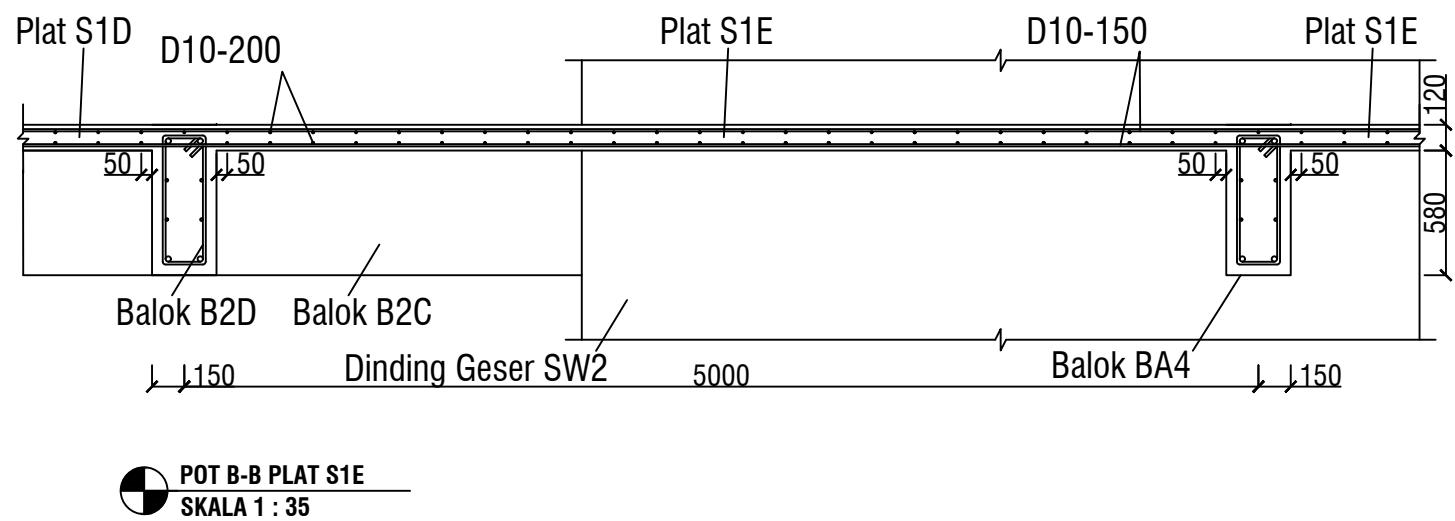
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

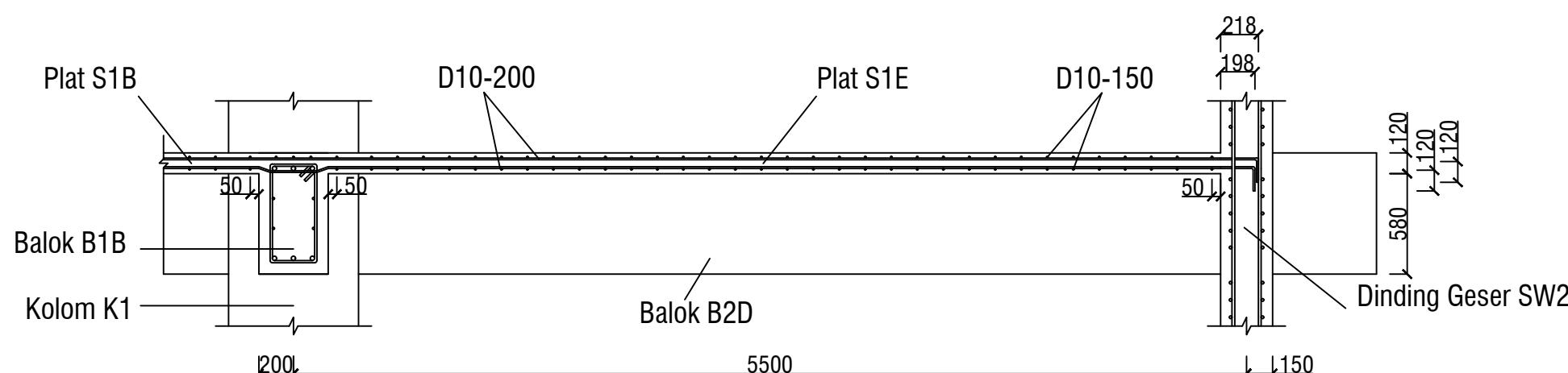
14 41



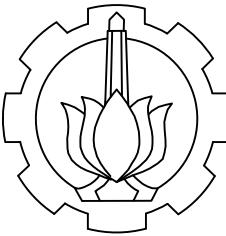
DETAIL PENULANGAN PLAT S1E
SKALA 1 : 100



POT B-B PLAT S1E
SKALA 1 : 35



POT A-A PLAT S1E
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

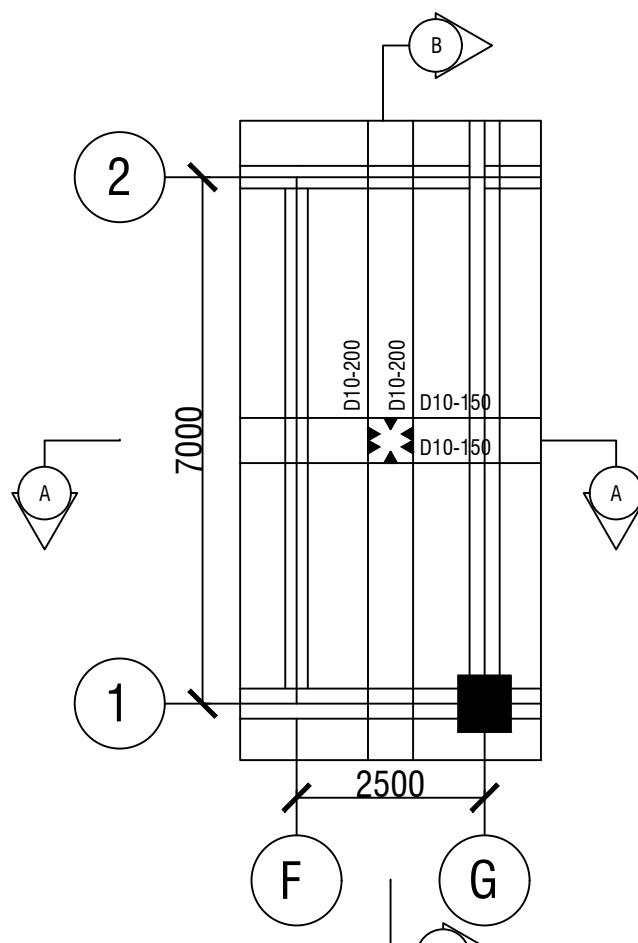
DETAIL PENULANGAN PLAT S1F
PLAT S1F
POT A-A PLAT S1F
POT B-B PLAT S1F

SKALA

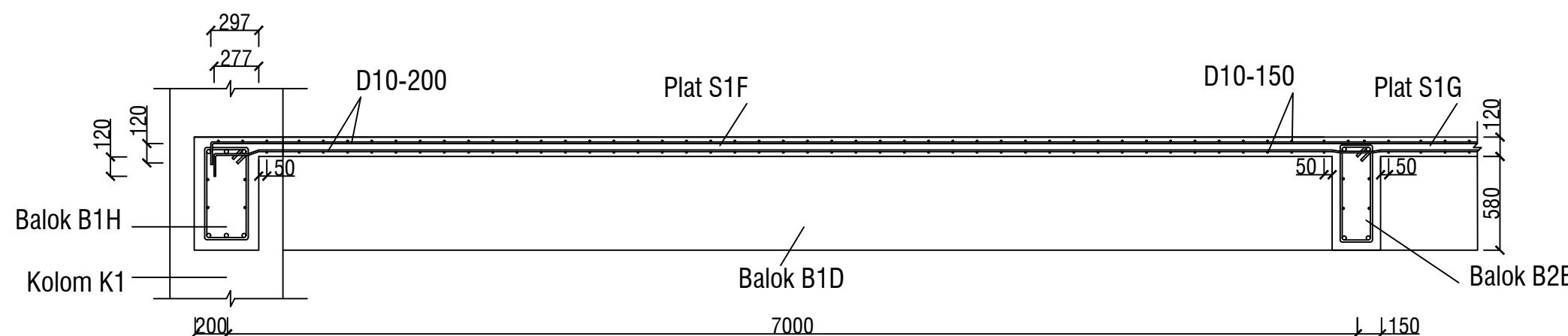
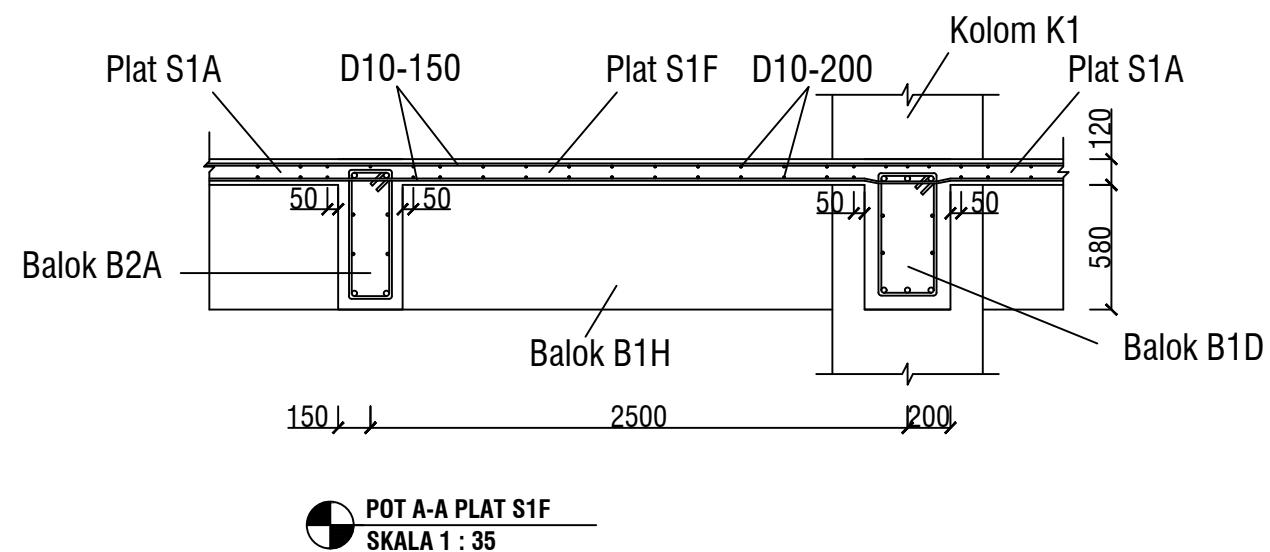
1 : 100
1 : 35
1 : 35

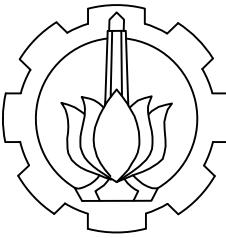
NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR

15 41



DETAIL PENULANGAN PLAT S1F
SKALA 1 : 100





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PLAT S1G
POT A-A PLAT S1G
POT B-B PLAT S1G

SKALA

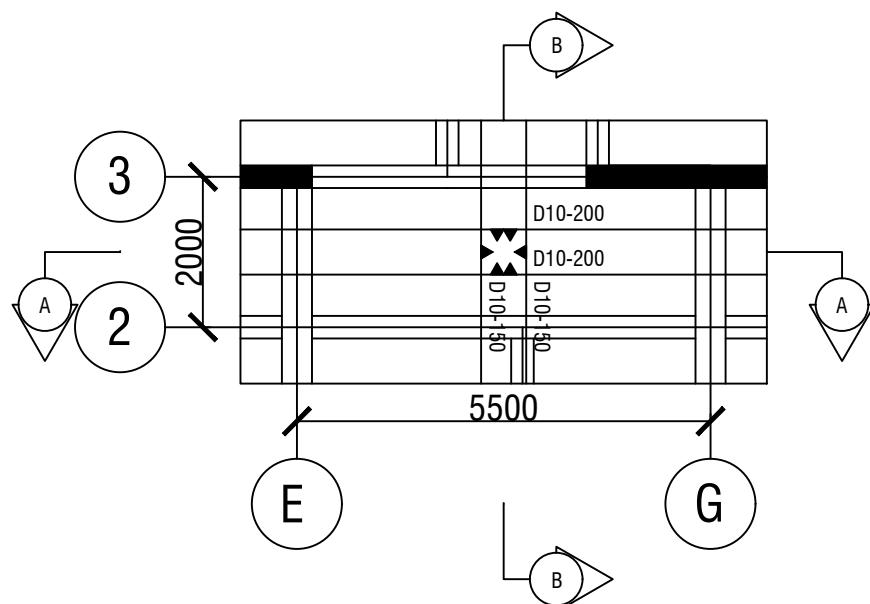
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR
GAMBAR

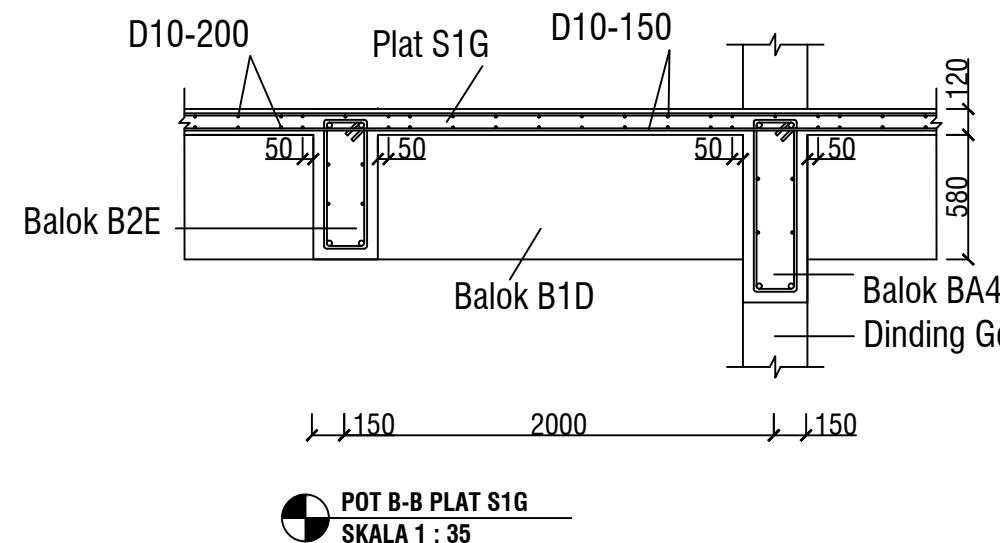
JUMLAH
GAMBAR

16

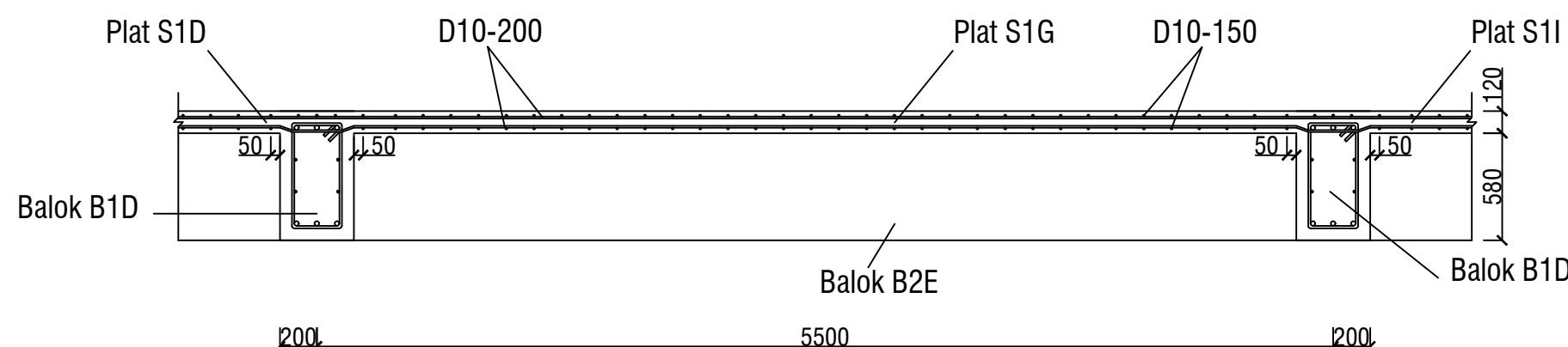
41



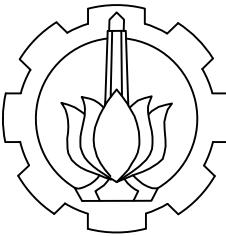
DETAIL PENULANGAN PLAT S1G
SKALA 1 : 100



POT B-B PLAT S1G
SKALA 1 : 35



POT A-A PLAT S1G
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PLAT S1H
POT A-A PLAT S1H
POT B-B PLAT S1H

SKALA

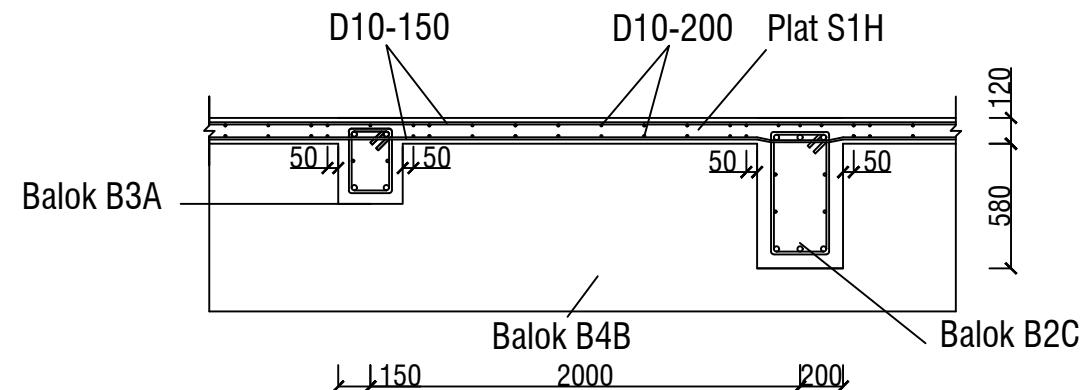
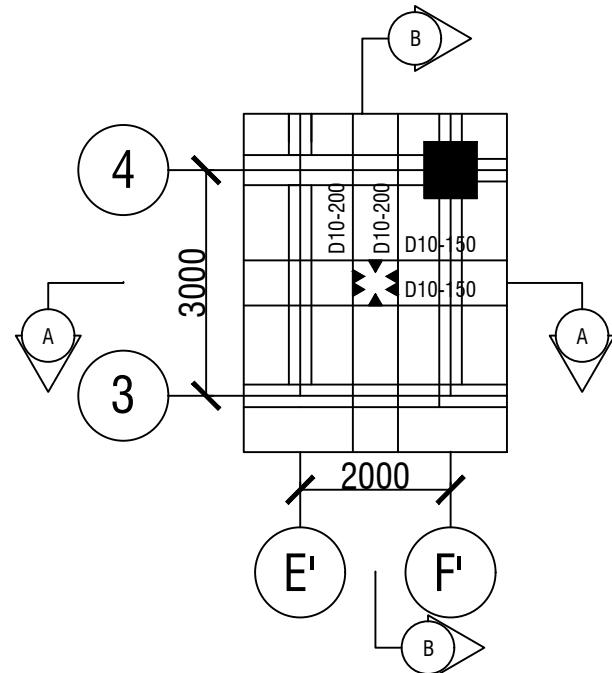
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR
GAMBAR

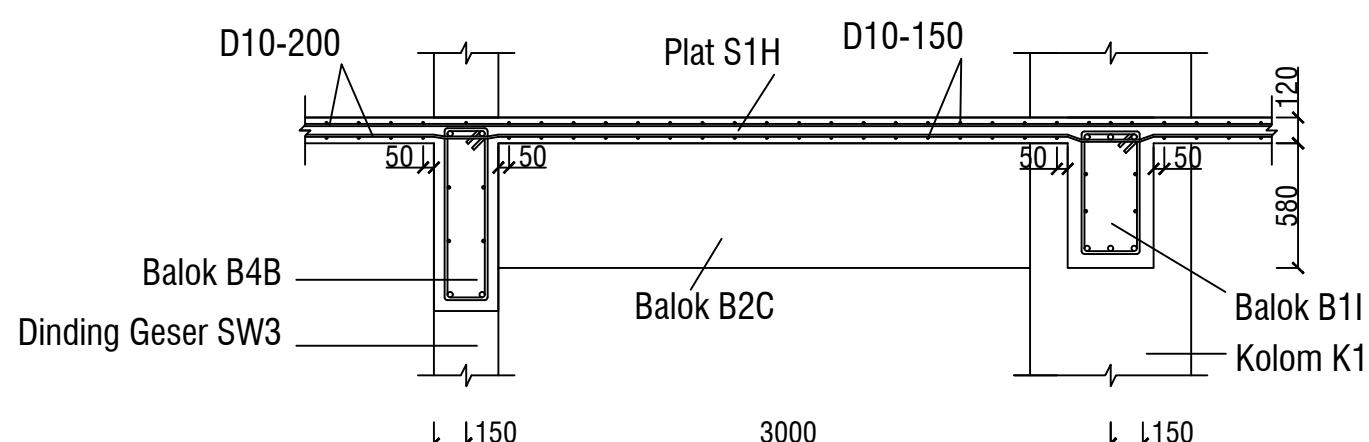
JUMLAH
GAMBAR

17

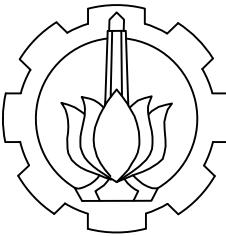
41



POT A-A PLAT S1H
SKALA 1 : 35



POT B-B PLAT S1H
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

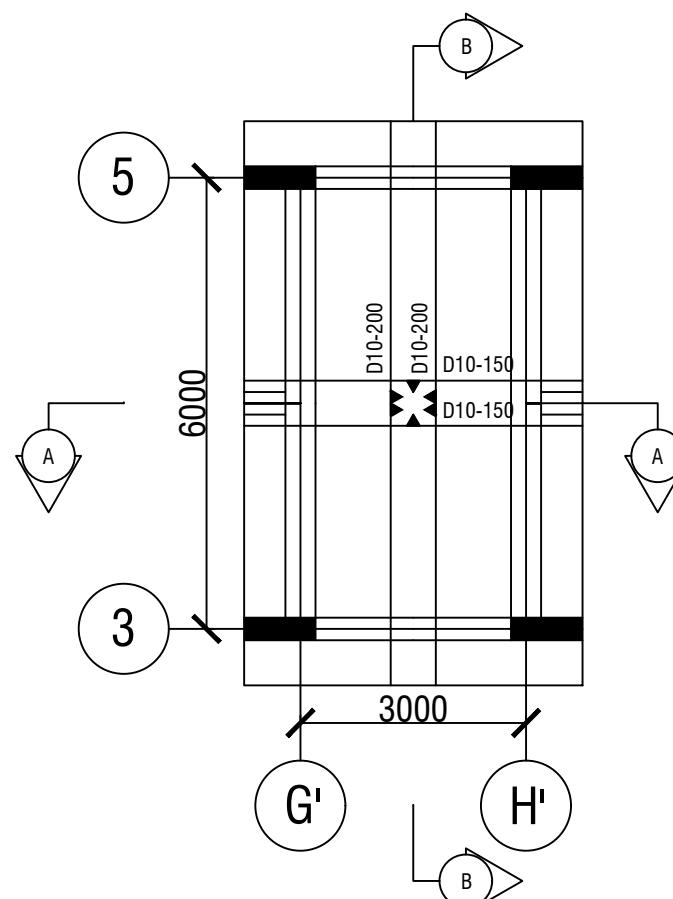
DETAIL PENULANGAN PLAT S1I
POT A-A PLAT S1I
POT B-B PLAT S1I

SKALA

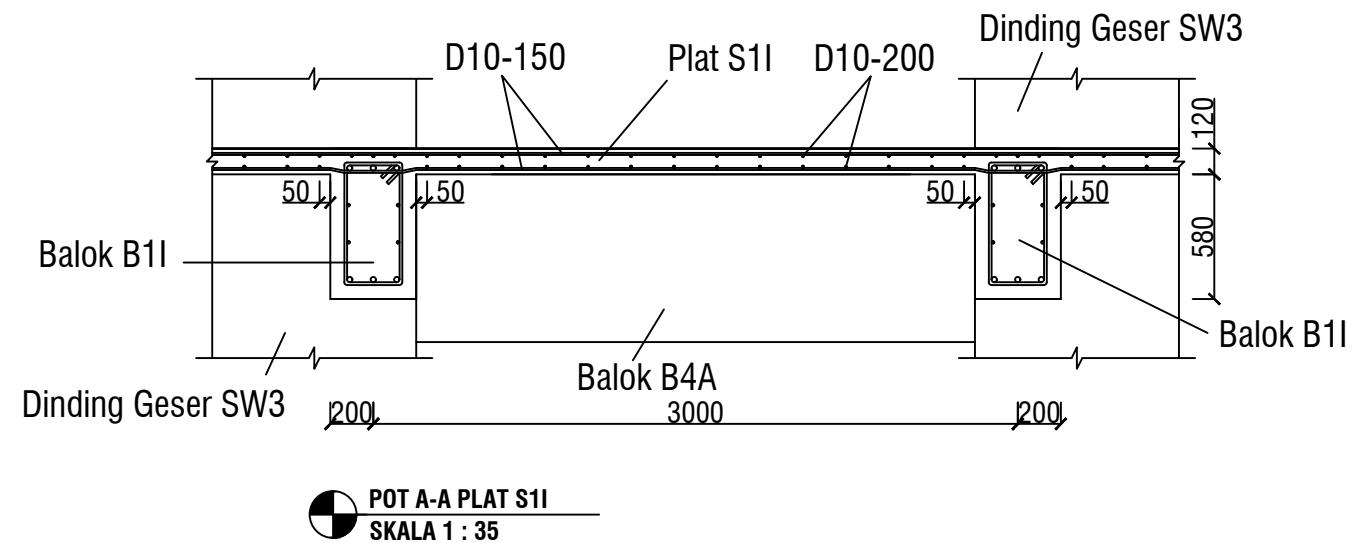
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

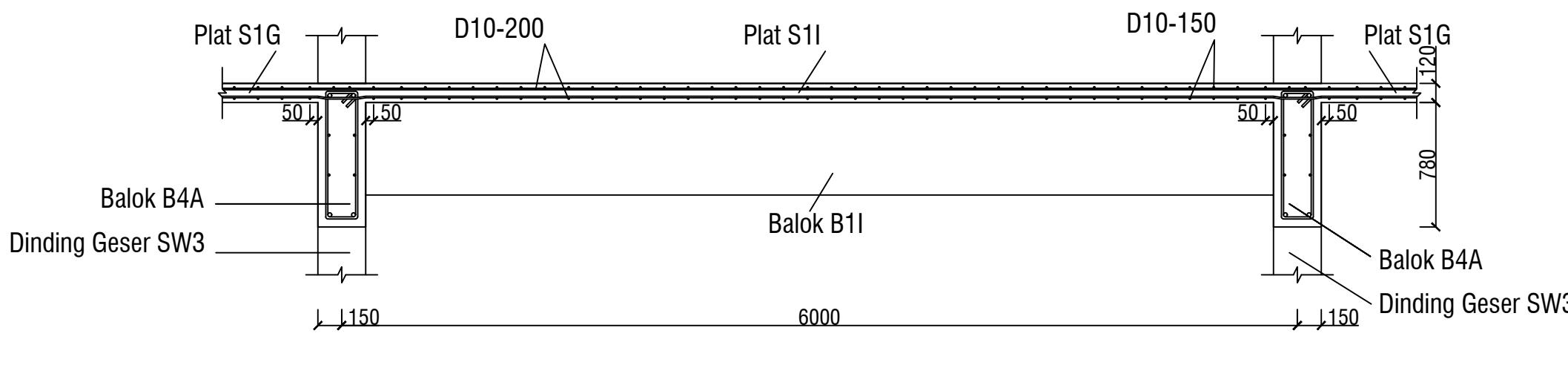
18 41



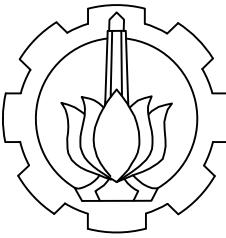
DETAIL PENULANGAN PLAT S1I
SKALA 1 : 100



POT A-A PLAT S1I
SKALA 1 : 35



POT B-B PLAT S1I
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

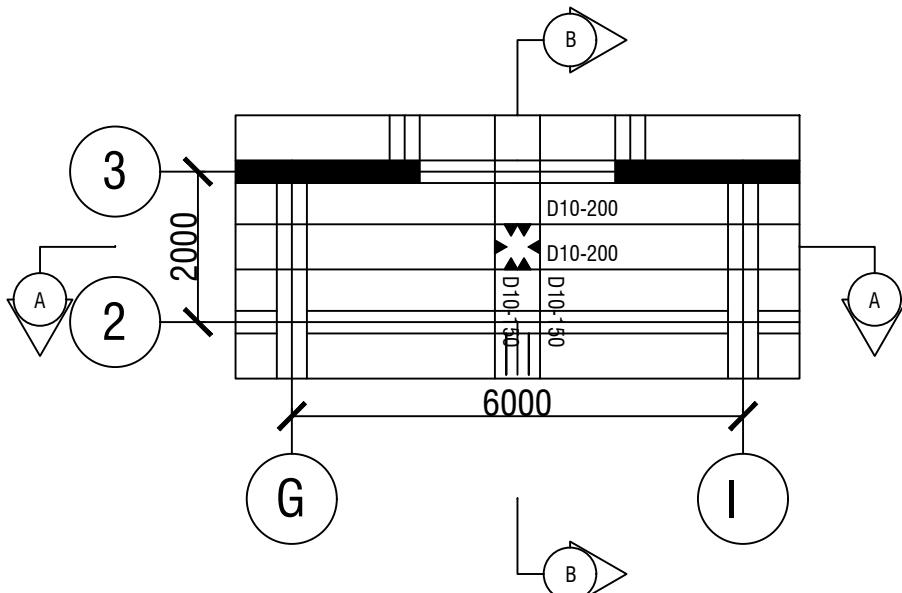
DETAIL PENULANGAN PLAT S1J
POT A-A PLAT S1J
POT B-B PLAT S1J

SKALA

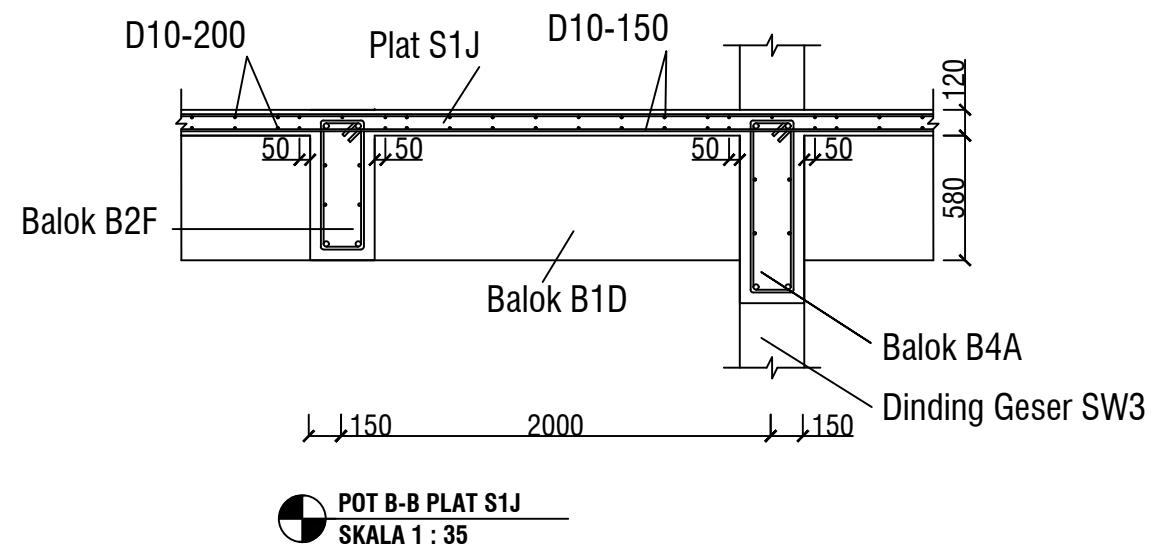
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

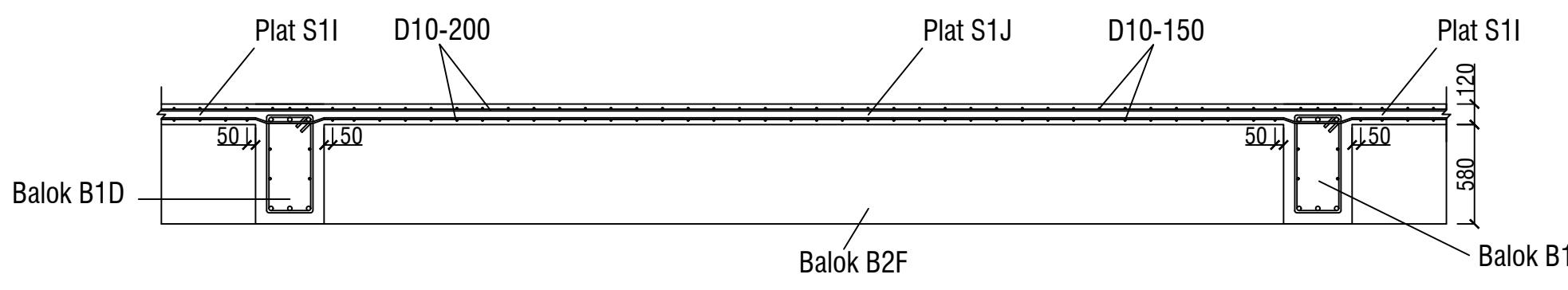
19 41



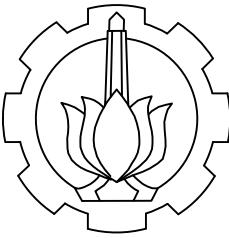
DETAIL PENULANGAN PLAT S1J
SKALA 1 : 100



POT B-B PLAT S1J
SKALA 1 : 35



POT A-A PLAT S1J
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

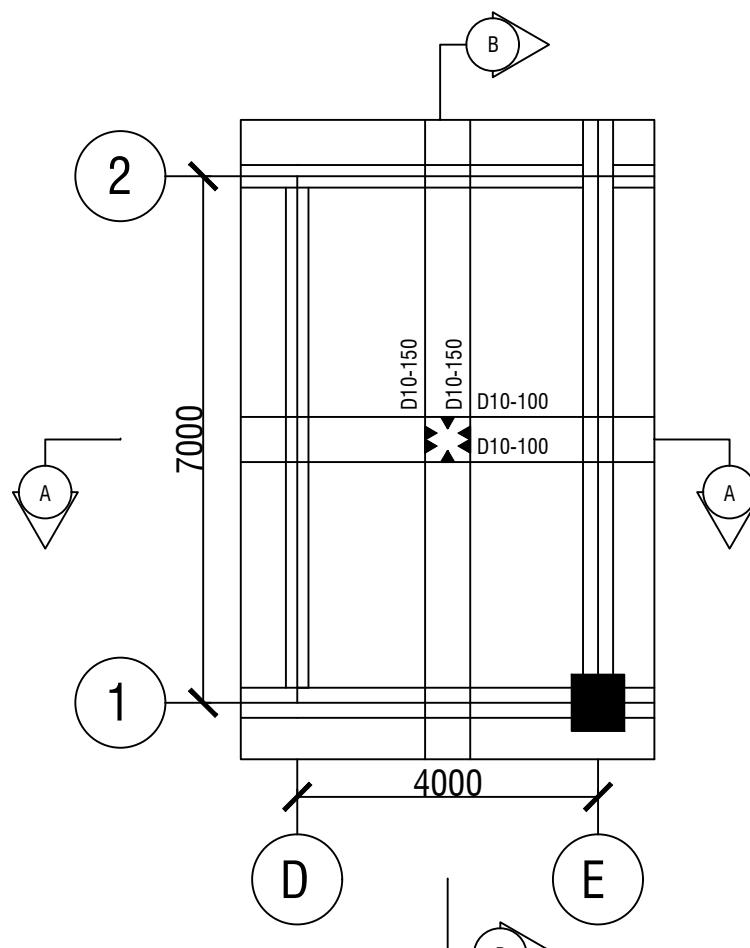
DETAIL PENULANGAN PLAT S2A
POT A-A PLAT S2A
POT B-B PLAT S2A

SKALA

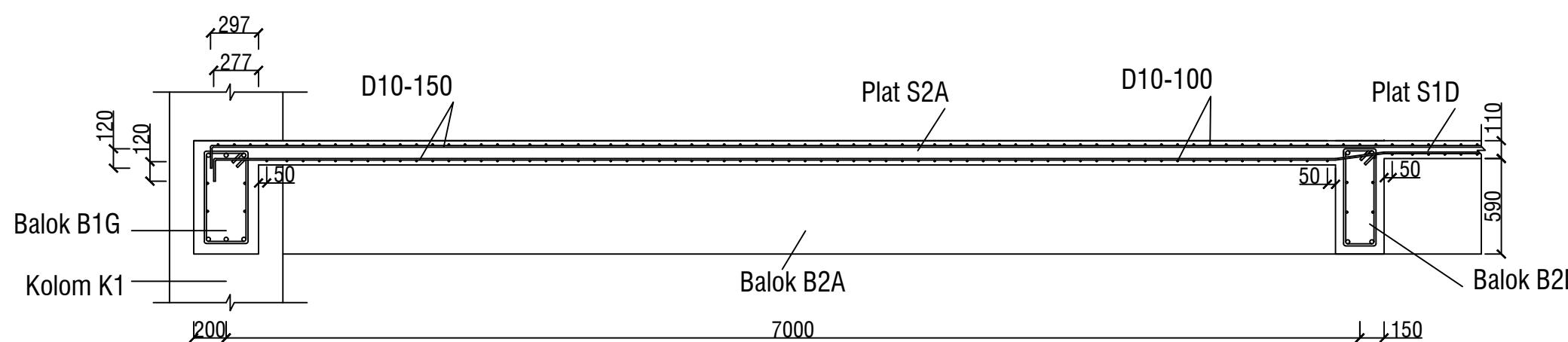
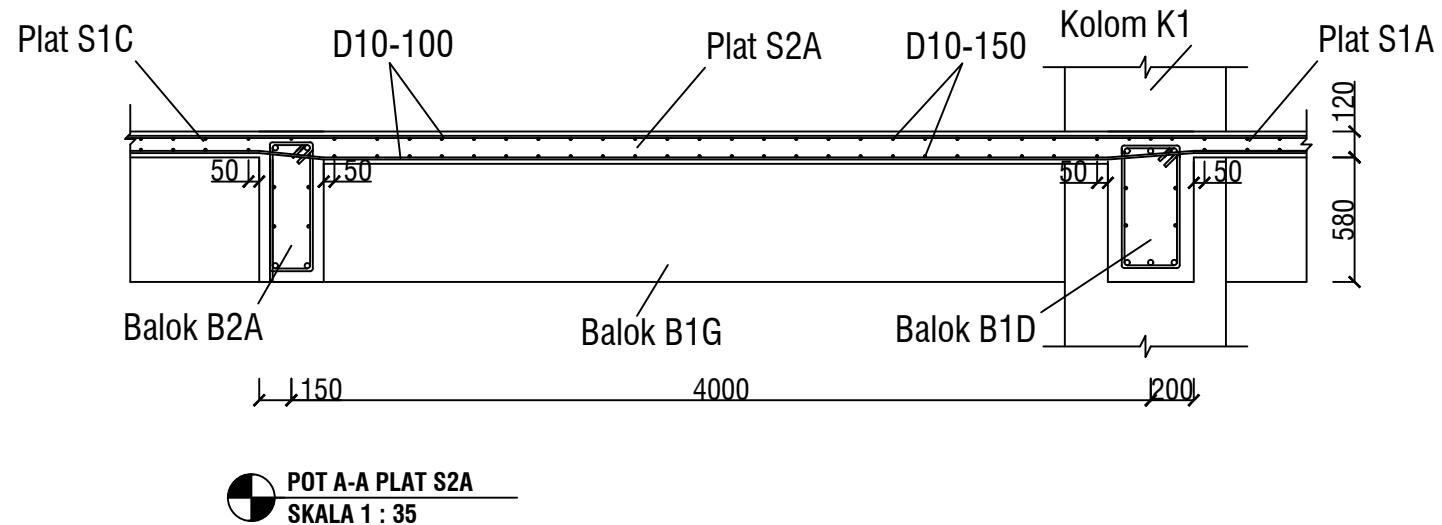
1 : 100
1 : 35
1 : 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

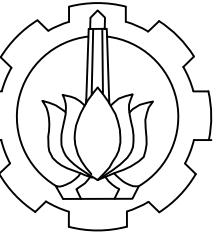
20 41



DETAIL PENULANGAN PLAT S2A
SKALA 1 : 100



POT A-A PLAT S2A
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL BALOK

SKALA

1 : 40

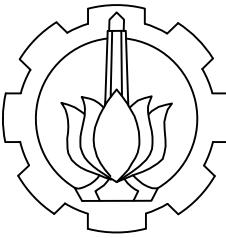
NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

21

41

TIPE BALOK	B1A		B1B		B1C		B1D		B1E		B1F	
KONDISI	TUMPUAN	LAPANGAN										
SKETSA												
DIMENSI	400 X 700	400 X 700										
TULANGAN ATAS	6D25	3D25	3D25	2D25								
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13										
TULANGAN BAWAH	3D25	3D25	2D25	2D25								
SENGKANG	3D13-100	D13-200	D13-100	D13-200								
PANJANG (l)	7000		10000		5280		9000		3000		3000	
MUTU TULANGAN	BJTD 40 DAN BJTP 40											
MUTU BETON	fc' 35											
SELIMUT BETON	65		65		65		65		65		65	

TIPE BALOK	B1G		B1H		B1I		B2A		B2B		B2C	
KONDISI	TUMPUAN	LAPANGAN										
SKETSA												
DIMENSI	400 X 700	400 X 700	400 X 700	400 X 700	400 X 700	400 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700
TULANGAN ATAS	6D25	3D25	6D25	3D25	6D25	3D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13										
TULANGAN BAWAH	3D25	3D25	3D25	3D25	3D25	3D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25
SENGKANG	3D13-100	D13-200	3D13-100	D13-200	3D13-100	D13-200	D13-100	D13-175	D13-100	D13-175	D13-100	D13-175
PANJANG (l)	7500		5500		6000		7000		10000		3000	
MUTU TULANGAN	BJTD 40 DAN BJTP 40											
MUTU BETON	fc' 35											
SELIMUT BETON	65		65		65		50		50		50	



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL BALOK
DAN KOLOM

SKALA

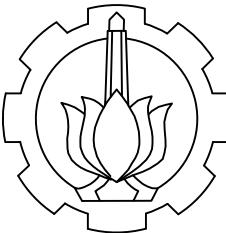
1 : 40

**NOMOR
GAMBAR**

22 41

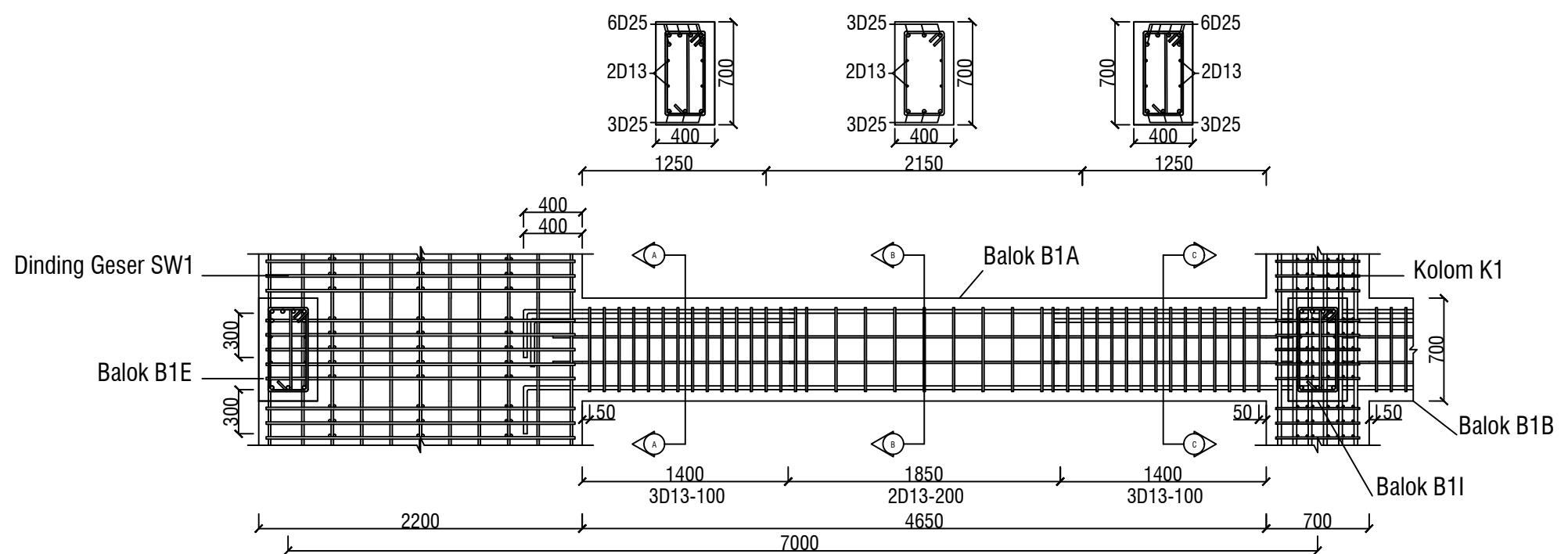
TIPE BALOK	B2D		B2E		B2F		B3A		B4A		B4B	
KONDISI	TUMPUAN	LAPANGAN										
SKETSA												
DIMENSI	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 700	300 X 400	300 X 400	300 X 900	300 X 900	300 X 900	300 X 900
TULANGAN ATAS	2D25	2D25										
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13	4D13	4D13	4D13	2D13	2D13	4D13	4D13	4D13	4D13
TULANGAN BAWAH	2D25	2D25										
SENGKANG	D13-100	D13-175	D13-100	D13-175	D13-100	D13-175	D13-80	D13-100	D13-100	D13-140	D13-100	D13-140
PANJANG (l)	7500		5500		6000		3000		3000		4000	
MUTU TULANGAN	BJTD 40 DAN BJTP 40											
MUTU BETON	fc' 35											
SELIMUT BETON	50		50		50		50		50		50	

TIPE KOLOM	K1	
KONDISI	TUMPUAN	LAPANGAN
SKETSA LT 1 S/D 10		
DIMENSI	700 X 750	700 X 750
TULANGAN UTAMA	24D25	24D25
SENGKANG	6D13-100	6D13-100
PANJANG (l)	3400	
MUTU TULANGAN	BJTD 40 DAN BJTP 40	
MUTU BETON	fc' 35	
SELIMUT BETON	65	



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN



DETAIL PENULANGAN BALOK B1A
SKALA 1 : 40

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

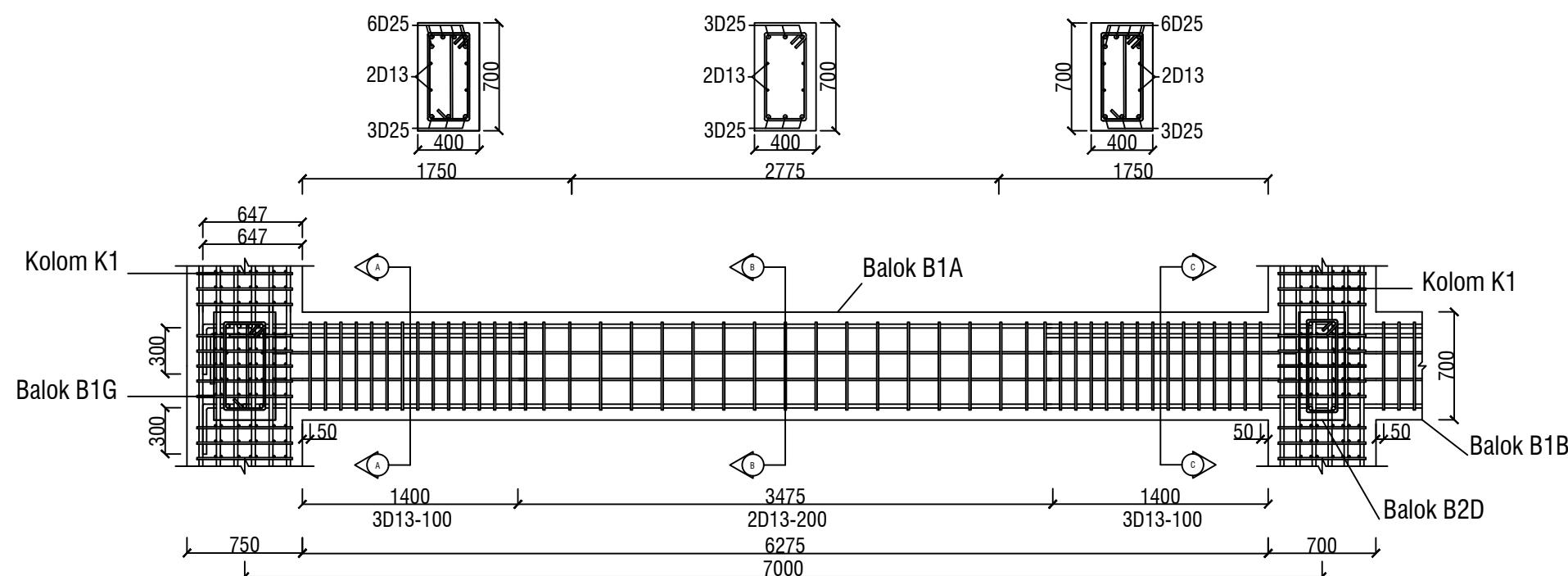
10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B1A

SKALA

1 : 40

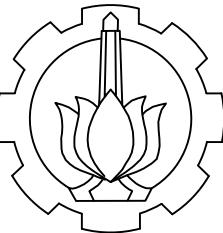


DETAIL PENULANGAN BALOK B1A
SKALA 1 : 40

NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

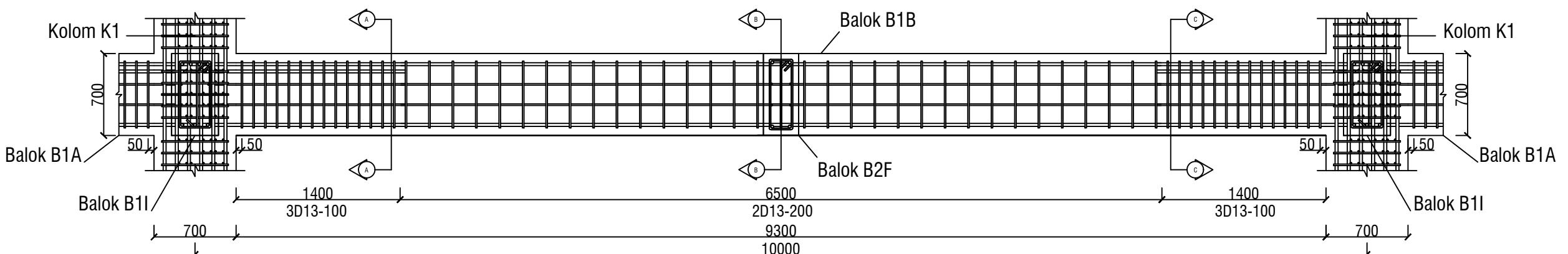
23

41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN



DETAIL PENULANGAN BALOK B1B
SKALA 1 : 40

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

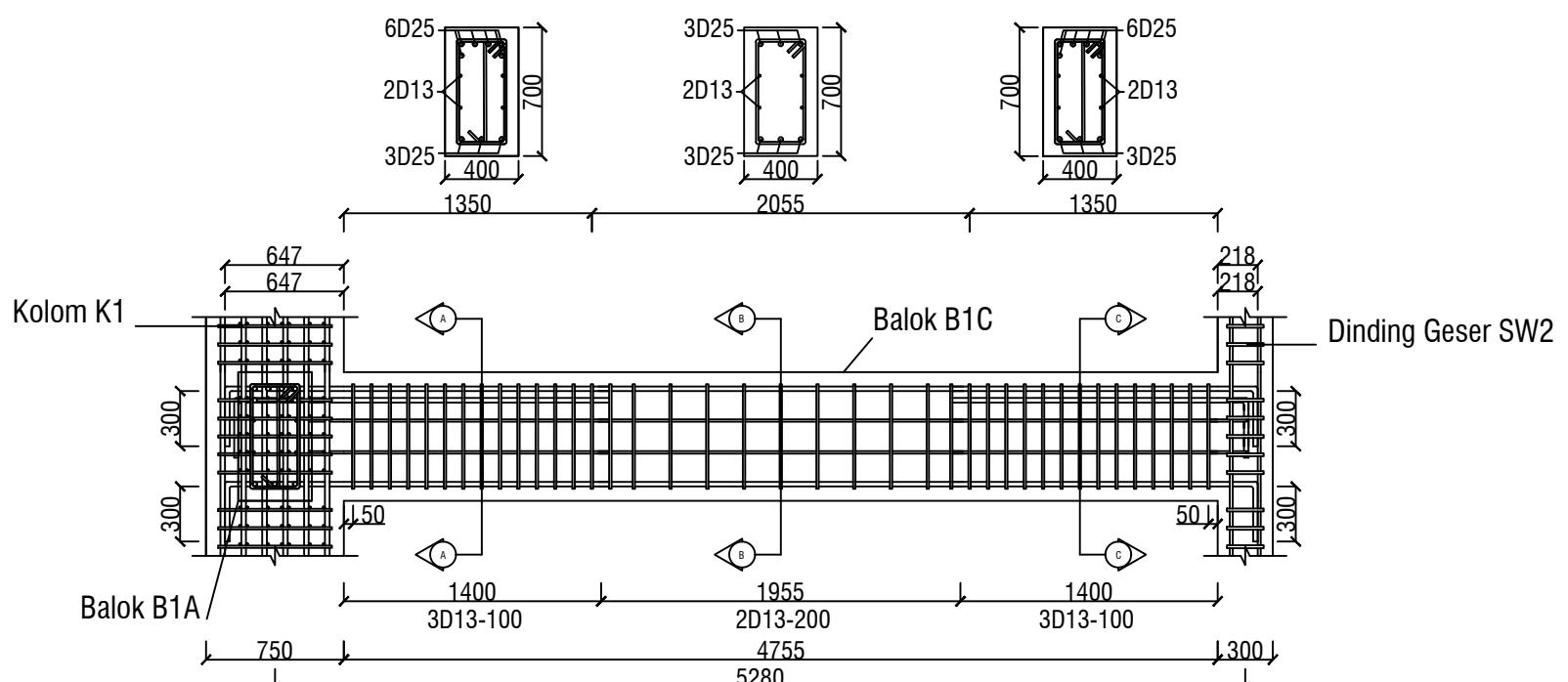
10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B1B DAN B1C

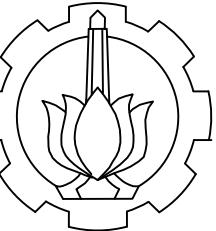
SKALA

1 : 40



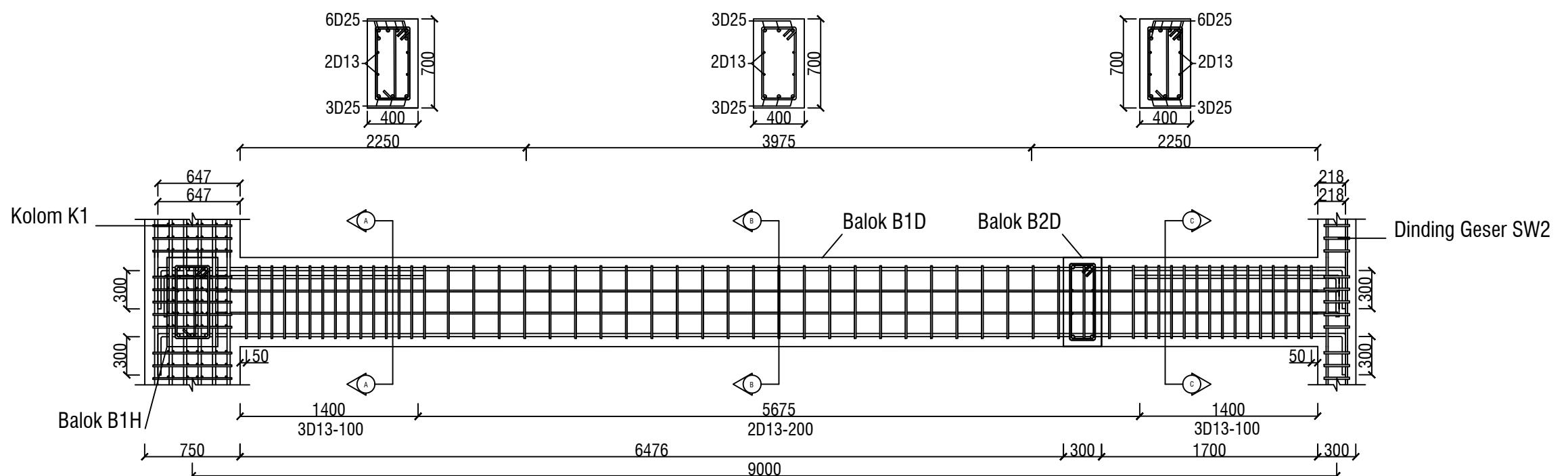
DETAIL PENULANGAN BALOK B1C
SKALA 1 : 40

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
24	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN



DETAIL PENULANGAN BALOK B1D
SKALA 1 : 40

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN
DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

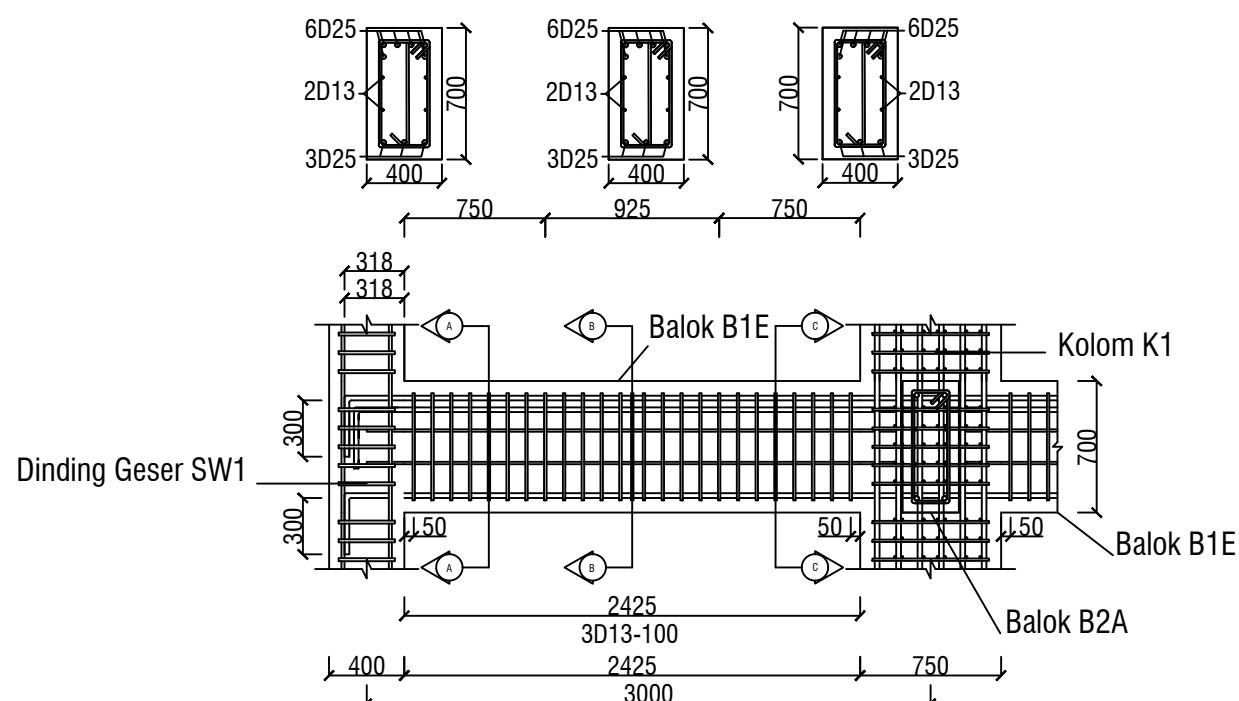
JUDUL GAMBAR

**DETAIL PENULANGAN
BALOK B1D DAN B1E**

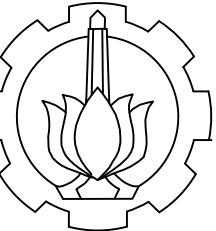
SKALA

1 : 40

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
25	41



DETAIL PENULANGAN BALOK B1E
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B1E

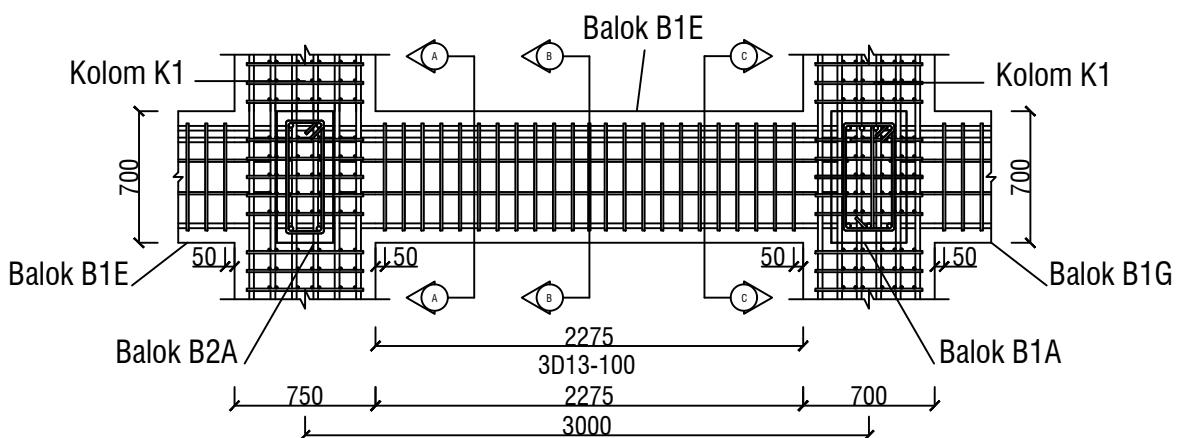
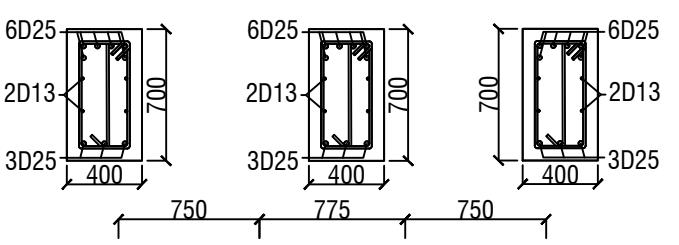
SKALA

1 : 40

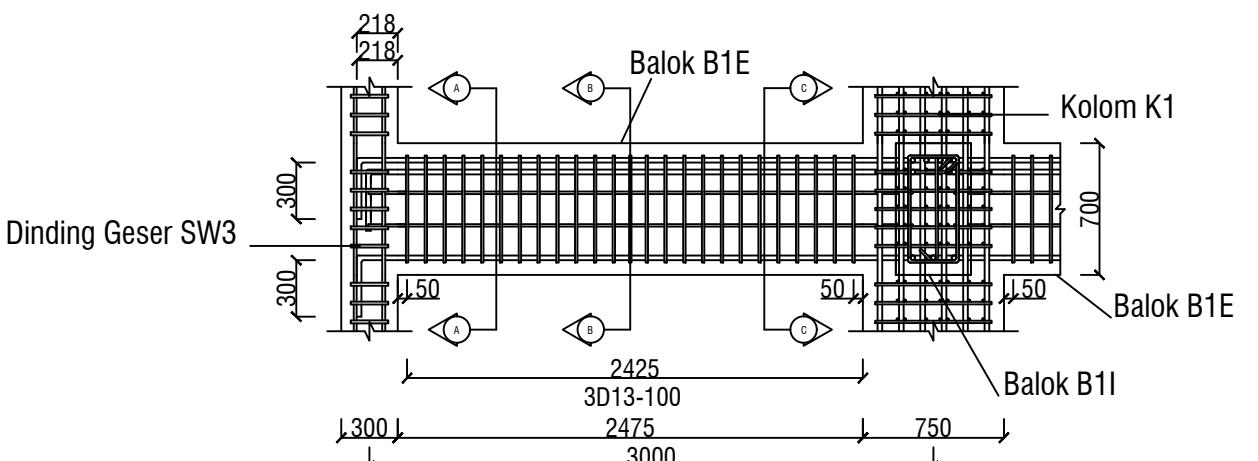
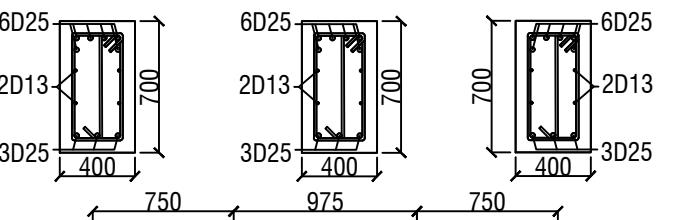
**NOMOR
GAMBAR** **JUMLAH
GAMBAR**

26

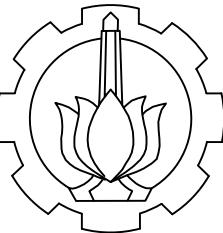
41



DETAIL PENULANGAN BALOK B1E
SKALA 1 : 40



DETAIL PENULANGAN BALOK B1E
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B1F DAN B1G

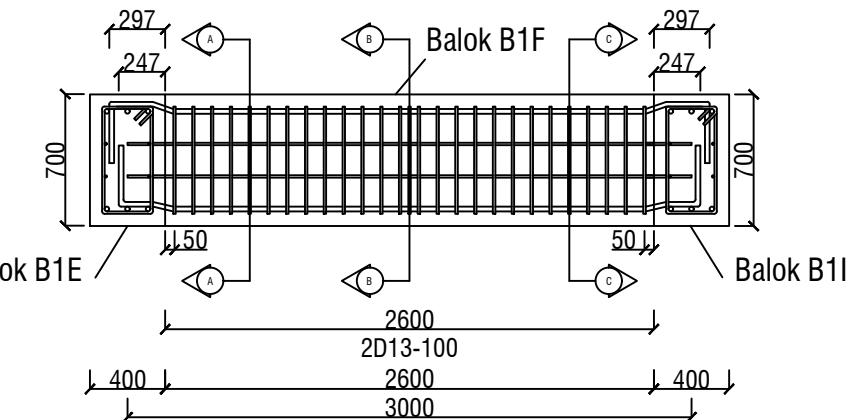
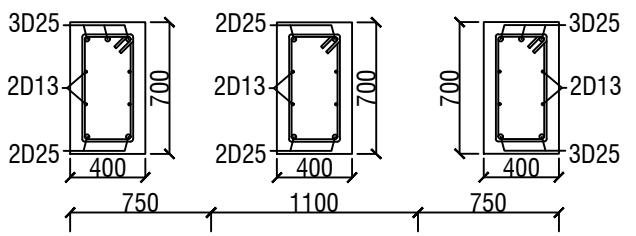
SKALA

1 : 40

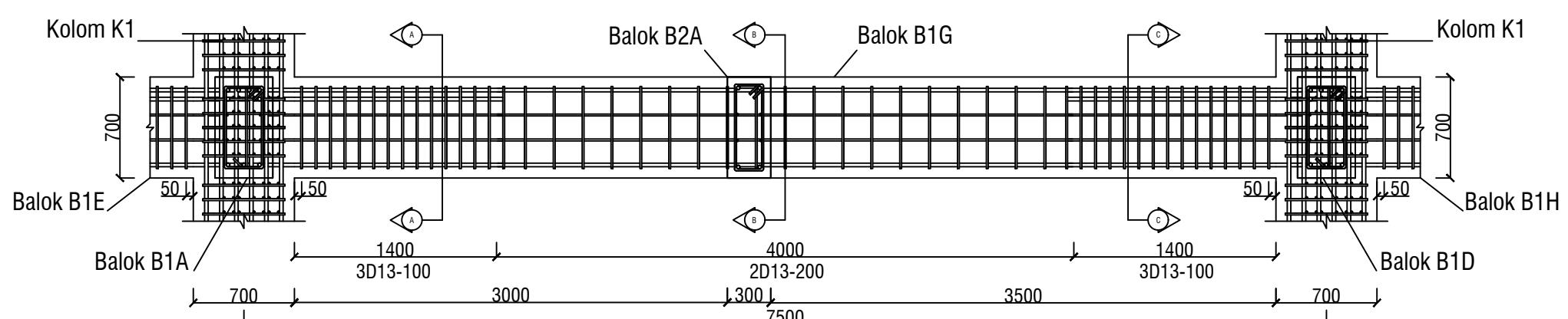
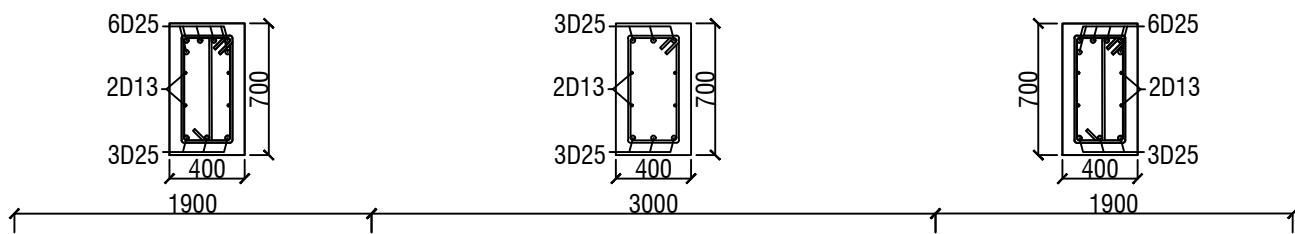
NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

27

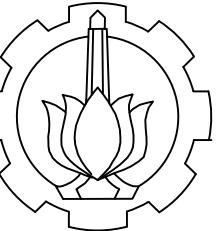
41



DETAIL PENULANGAN BALOK B1F
SKALA 1 : 40

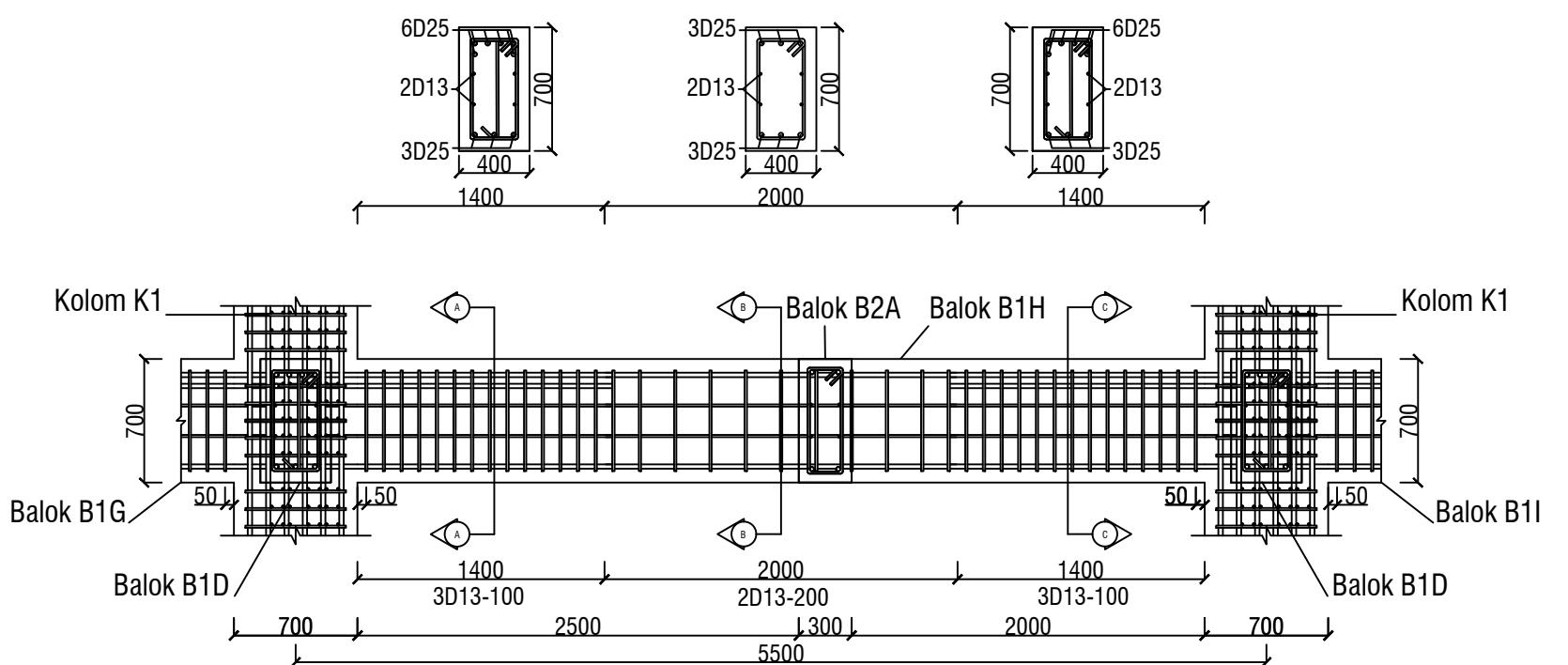


DETAIL PENULANGAN BALOK B1G
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN



DETAIL PENULANGAN BALOK B1H
SKALA 1 : 40

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

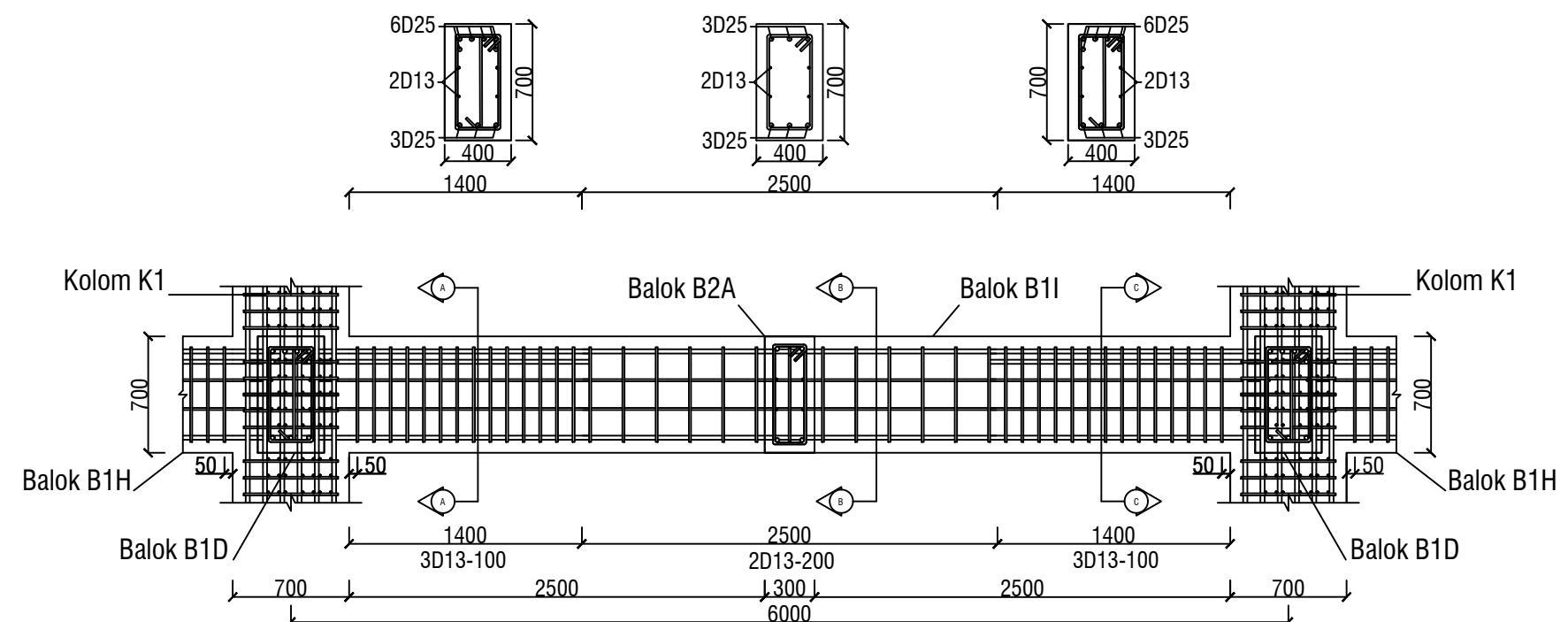
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B1H DAN B1I

SKALA

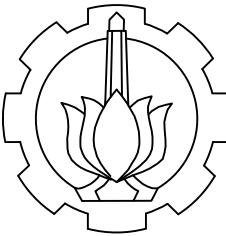
1 : 40

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
28	41



DETAIL PENULANGAN BALOK B1I
SKALA 1 : 40





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK B2A DAN B2B

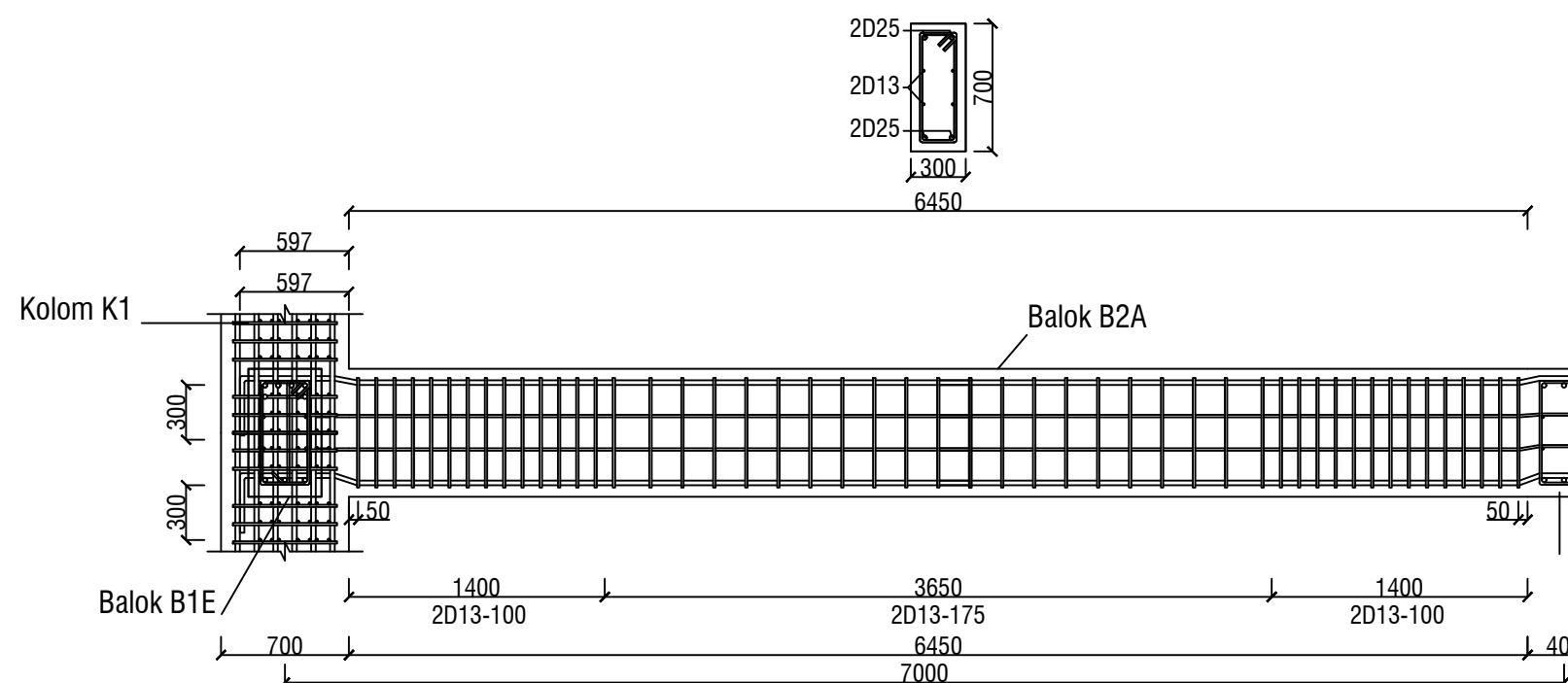
SKALA

1 : 40

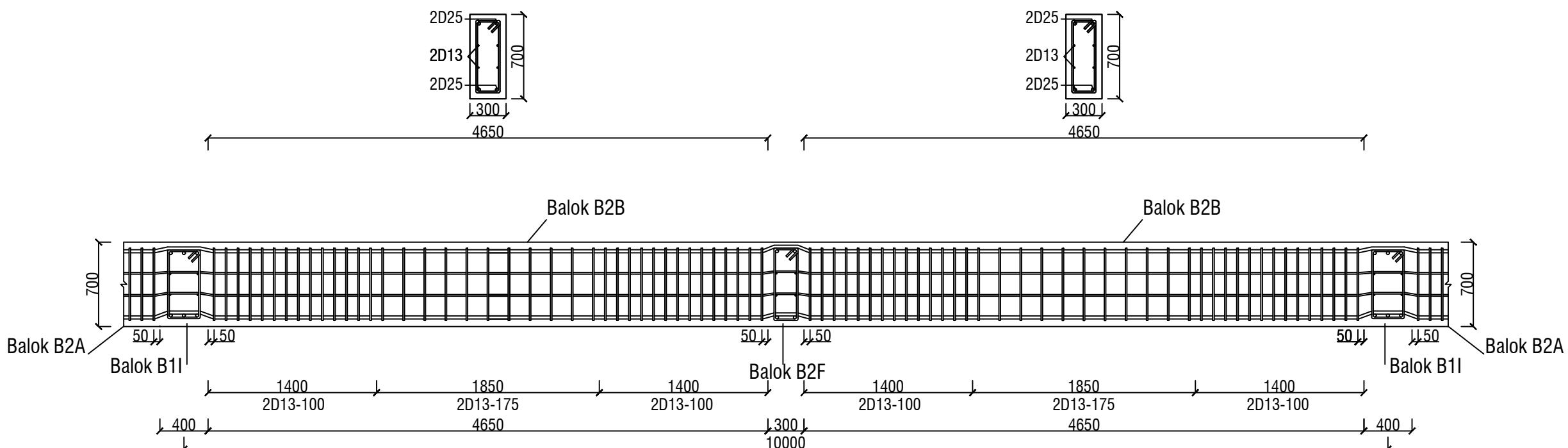
NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR

29

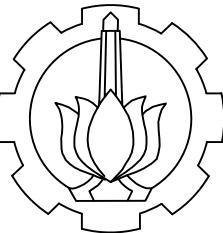
41



DETAIL PENULANGAN BALOK B2A
SKALA 1 : 40



DETAIL PENULANGAN BALOK B2B
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B2C DAN B2D

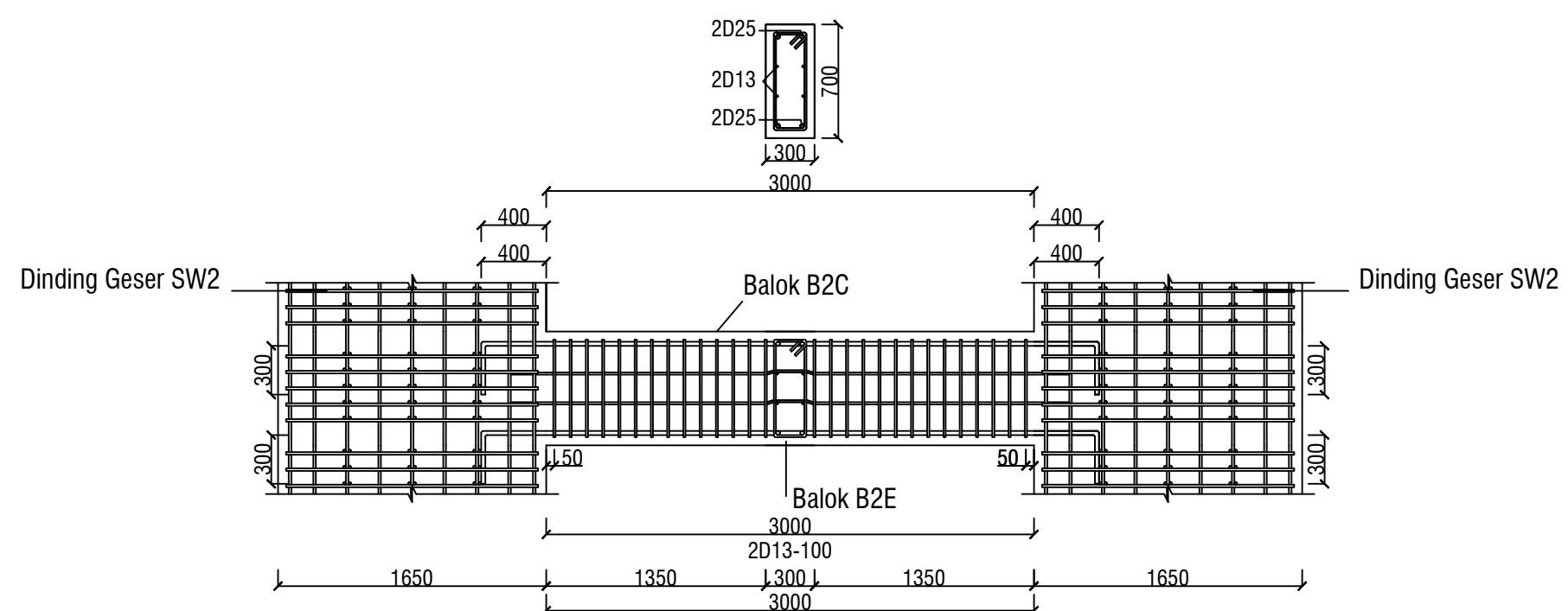
SKALA

1 : 40

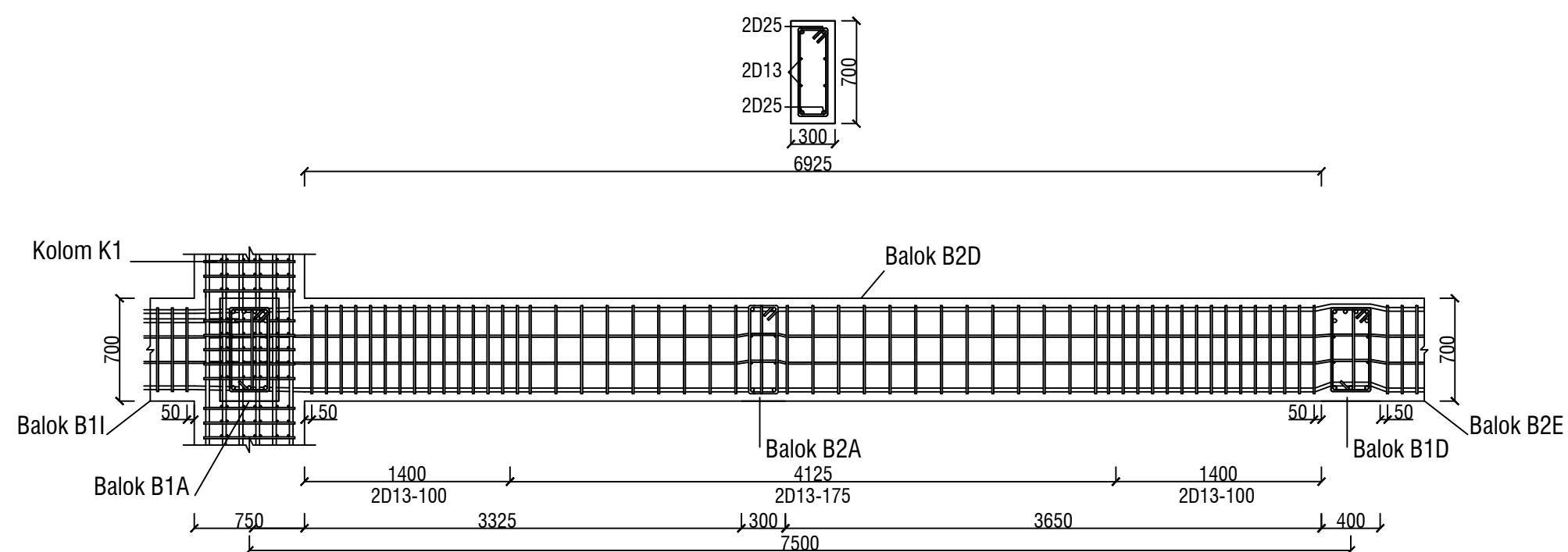
NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

30

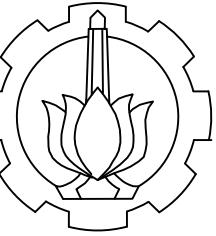
41



DETAIL PENULANGAN BALOK B1C
SKALA 1 : 40

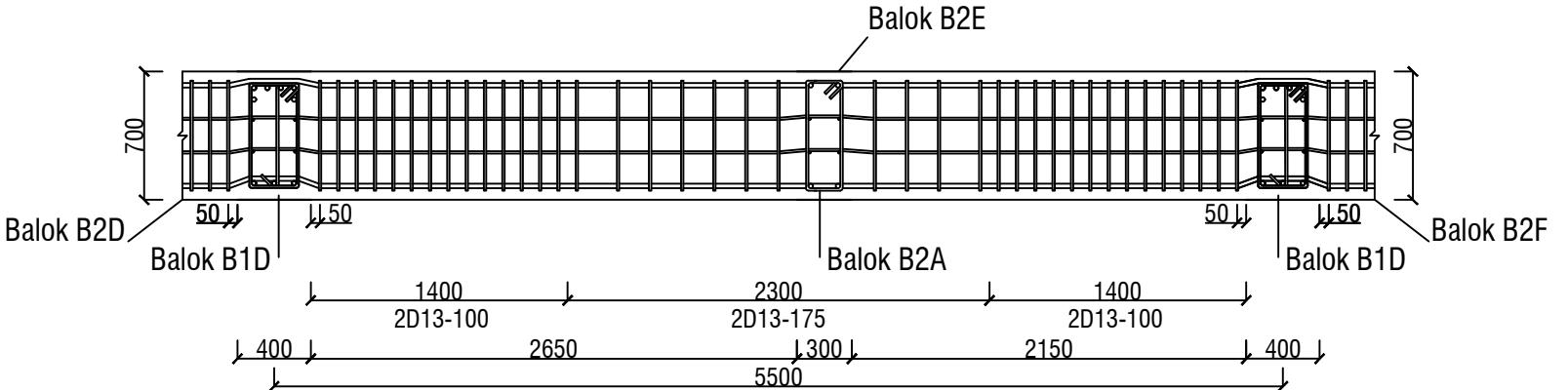


DETAIL PENULANGAN BALOK B2D
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN



DETAIL PENULANGAN BALOK B2E
SKALA 1 : 40

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B2E DAN B2F

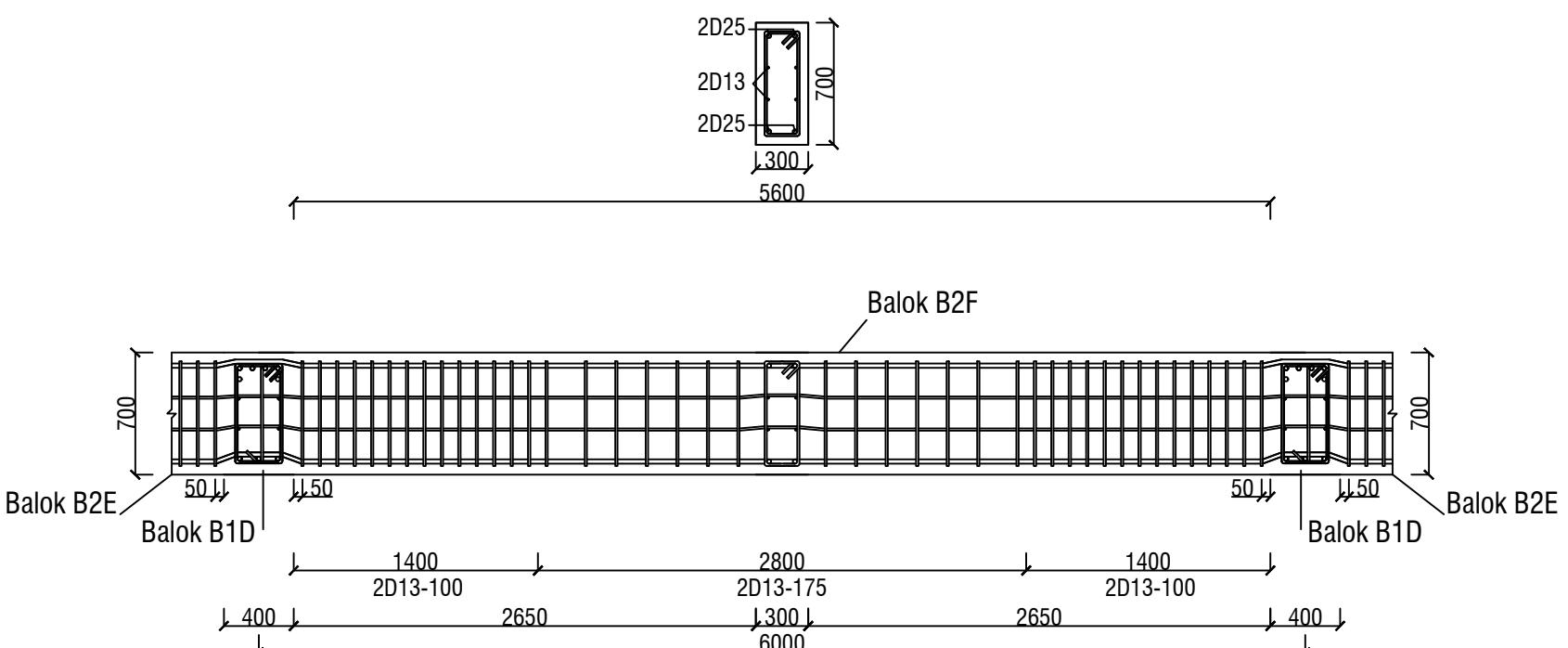
SKALA

1 : 40

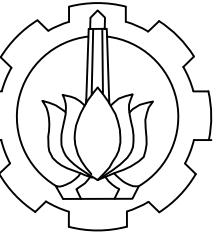
**NOMOR
GAMBAR** **JUMLAH
GAMBAR**

31

41



DETAIL PENULANGAN BALOK B2F
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B3A

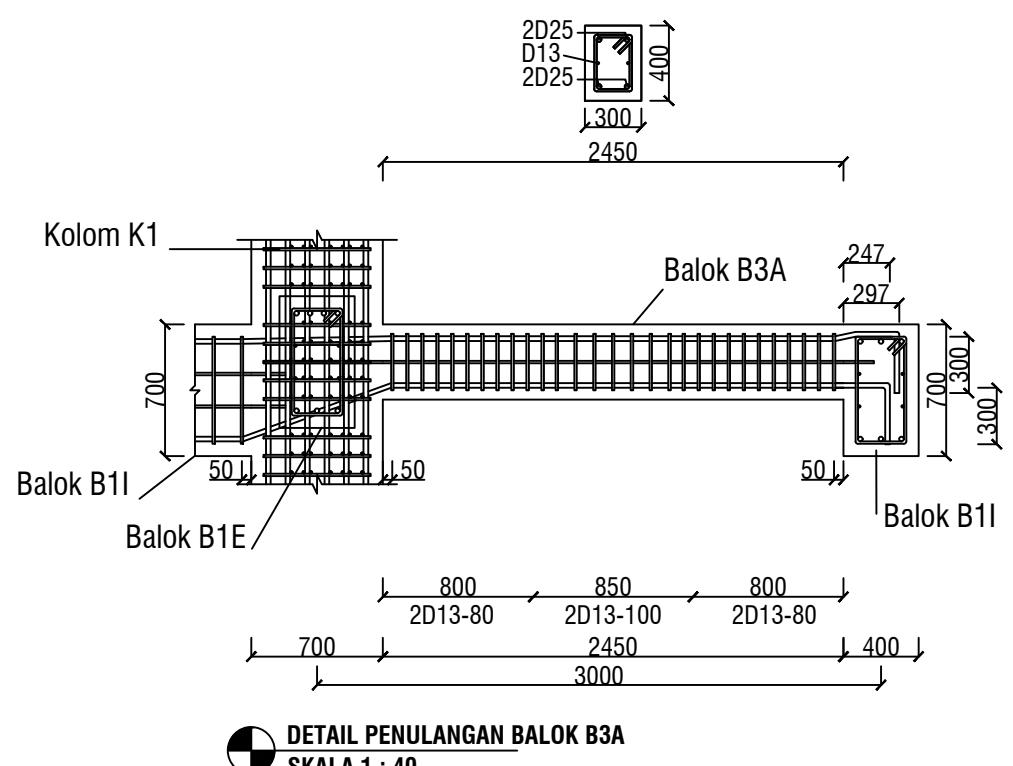
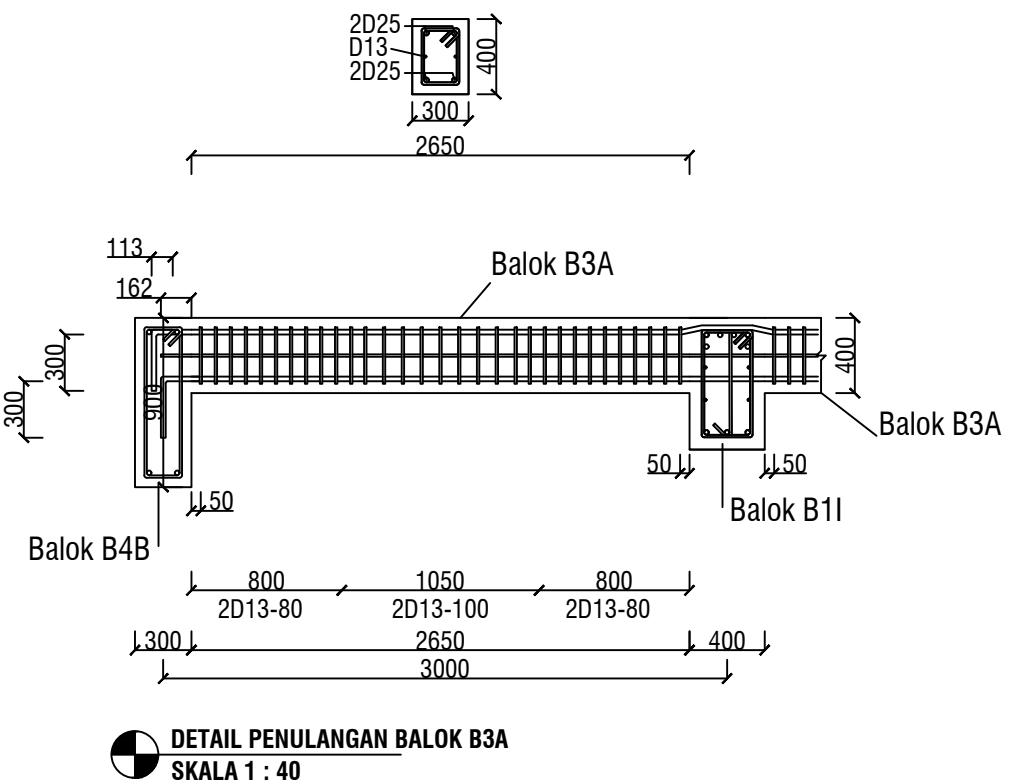
SKALA

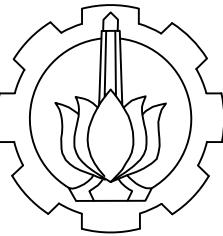
1 : 40

NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

32

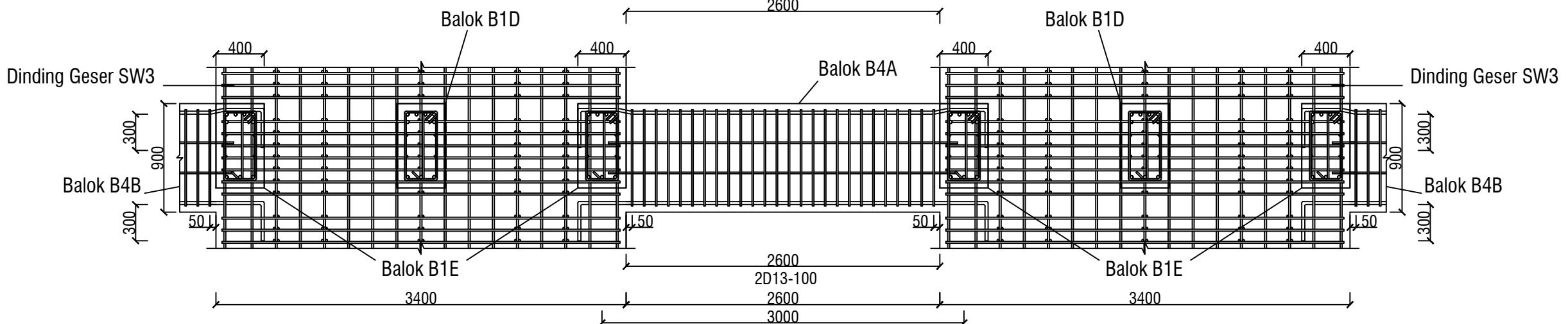
41





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN



DETAIL PENULANGAN BALOK B4A
SKALA 1 : 40

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

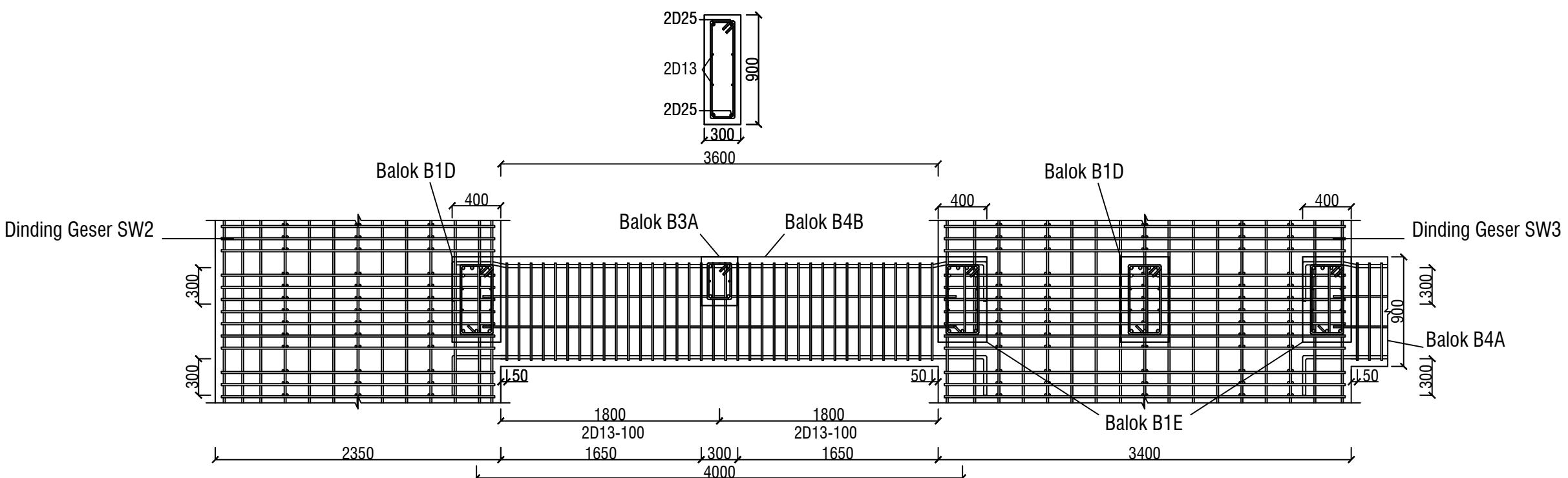
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK B4A DAN B4B

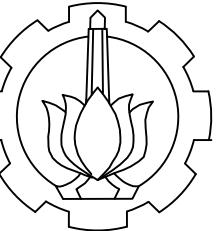
SKALA

1 : 40

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
33	41



DETAIL PENULANGAN BALOK B4B
SKALA 1 : 40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM K1 ARAH X

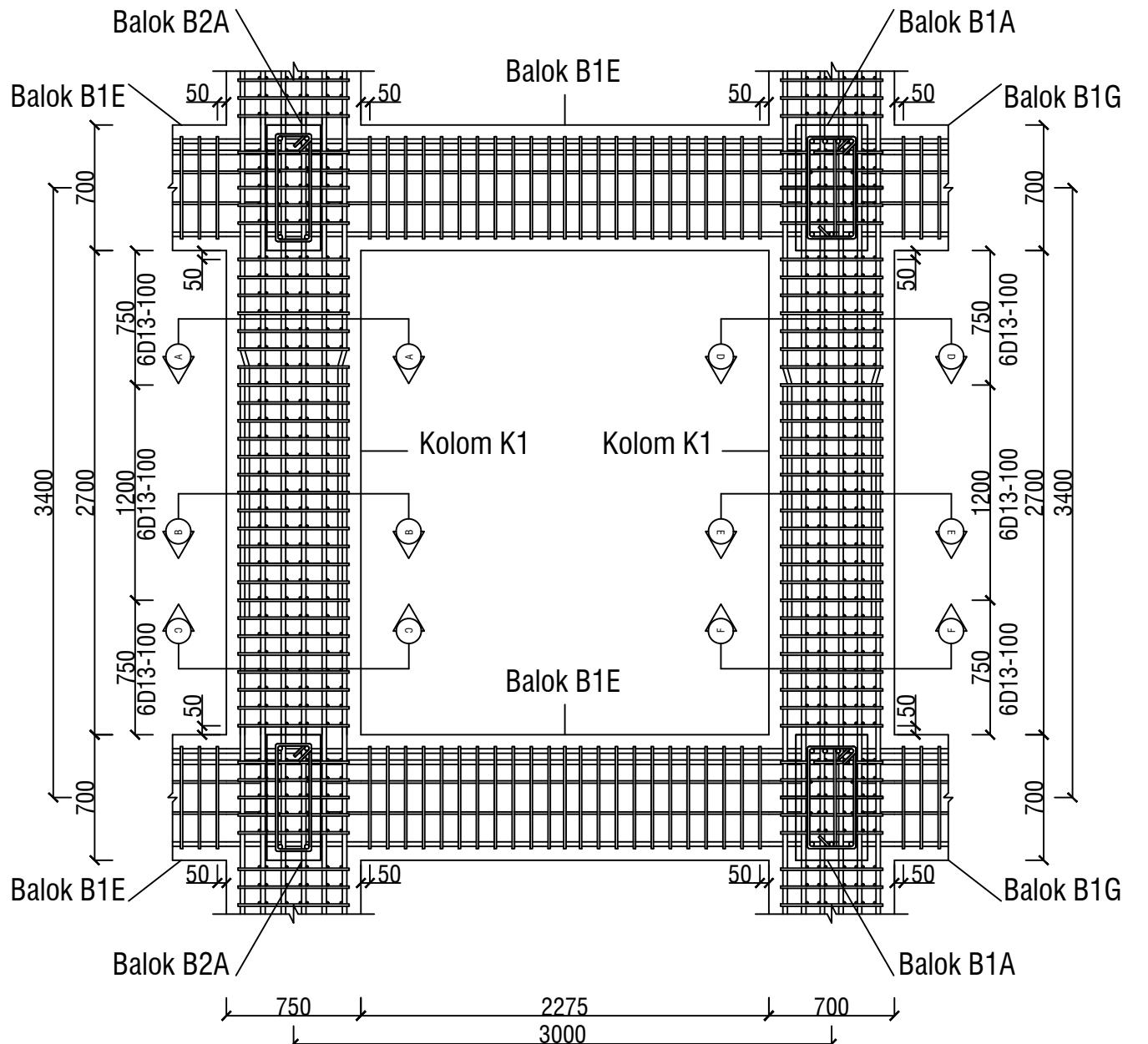
SKALA

1 : 35

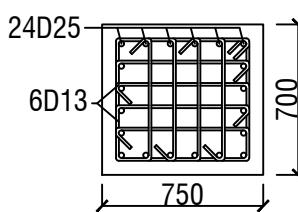
NOMOR GAMBAR **JUMLAH GAMBAR**

34

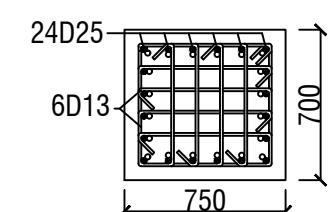
41



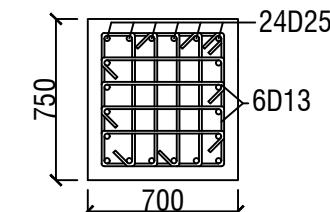
DETAIL PENULANGAN KOLOM K1 ARAH X
SKALA 1 : 35



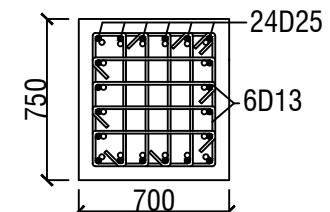
POT A-A DAN C-C
SKALA 1 : 35



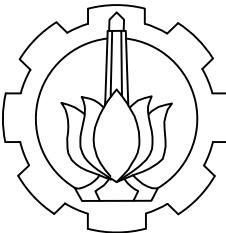
POT B-B
SKALA 1 : 35



POT D-D DAN F-F
SKALA 1 : 35



POT E-E
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM K1 ARAH Y

SKALA

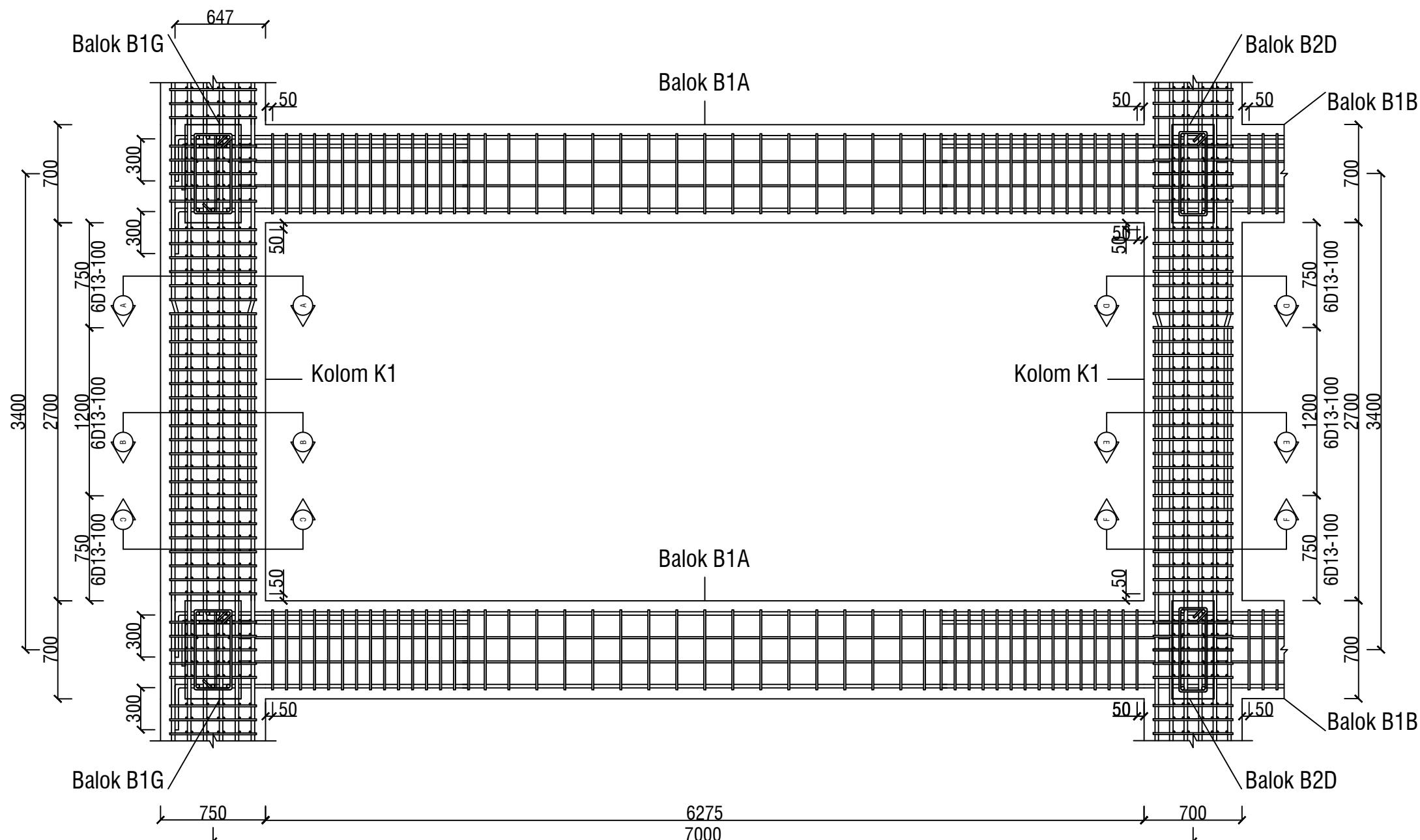
1 : 35

NOMOR GAMBAR

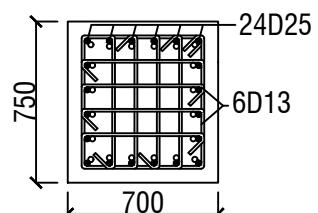
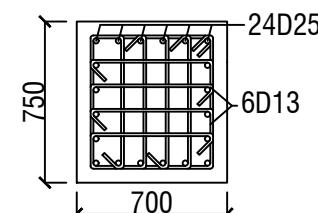
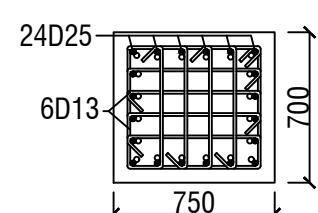
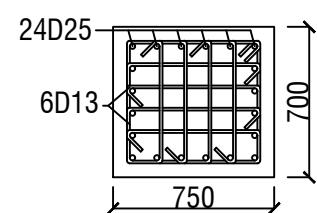
35

JUMLAH GAMBAR

41



DETAIL PENULANGAN KOLOM K1 ARAH Y
SKALA 1 : 35

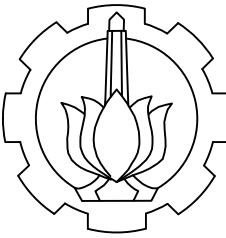


POT A-A DAN C-C
SKALA 1 : 35

POT B-B
SKALA 1 : 35

POT D-D DAN F-F
SKALA 1 : 35

POT E-E
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
DINDING GESER

SKALA

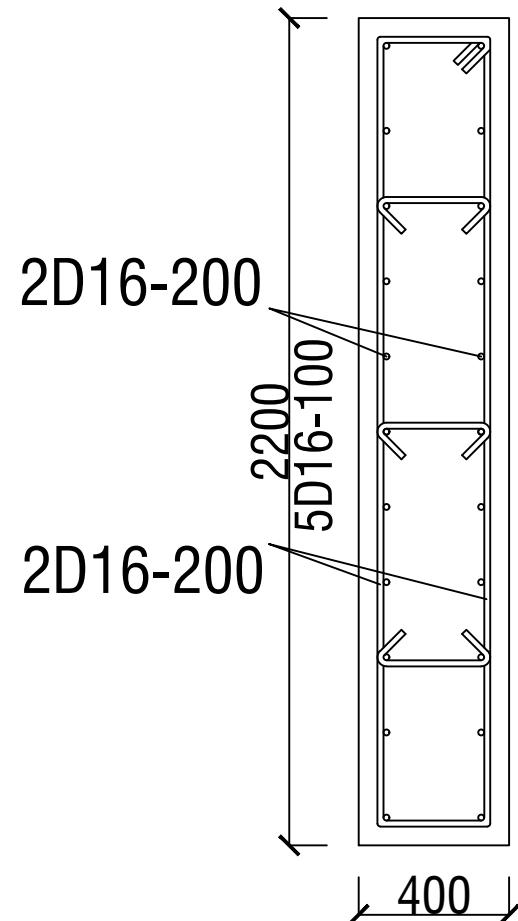
1 : 20

NOMOR
GAMBAR

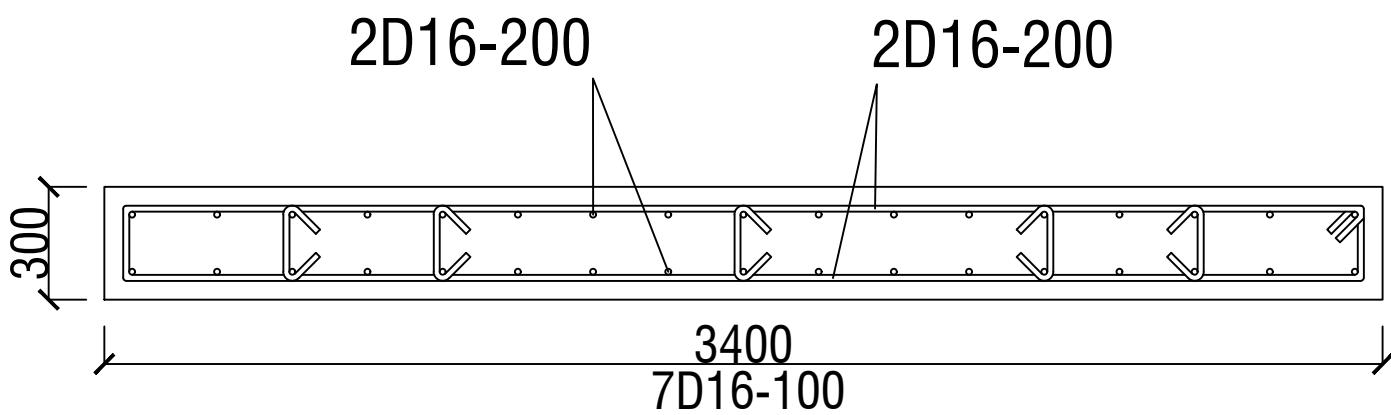
JUMLAH
GAMBAR

36

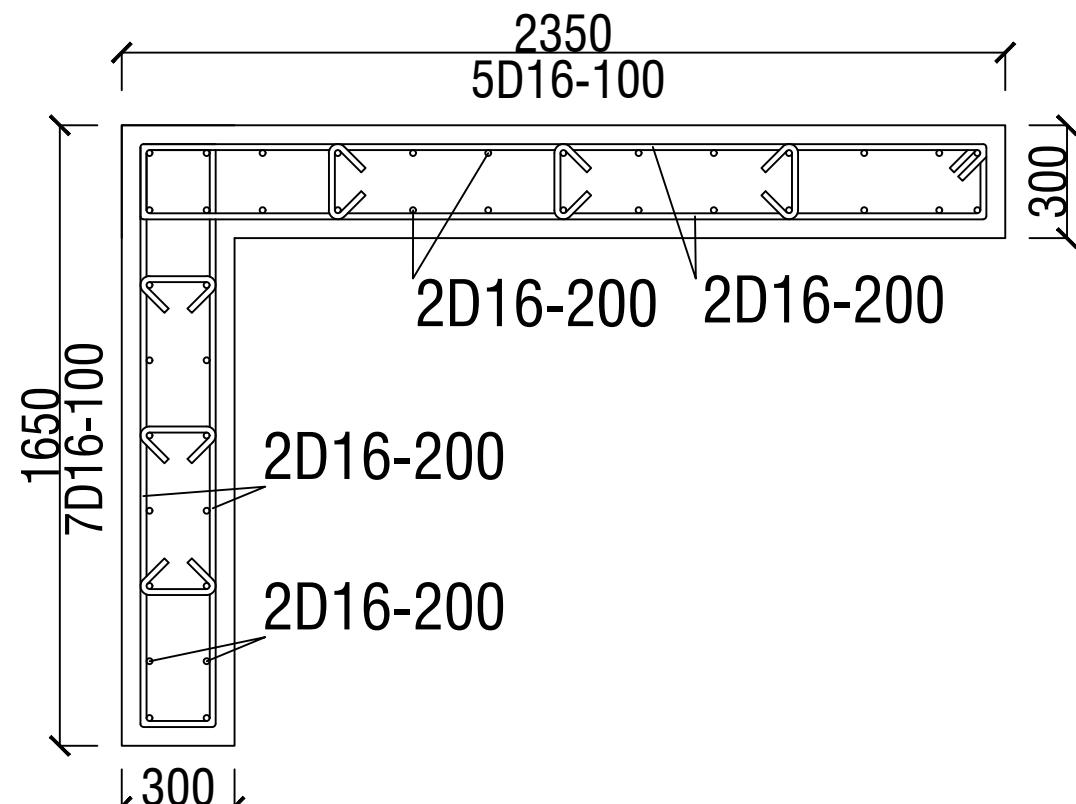
41



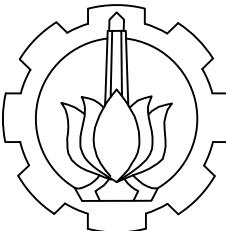
DETAIL PENULANGAN DINDING GESER SW1
SKALA 1 : 20



DETAIL PENULANGAN DINDING GESER SW3
SKALA 1 : 20



DETAIL PENULANGAN DINDING GESER SW2
SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN DINDING GESE

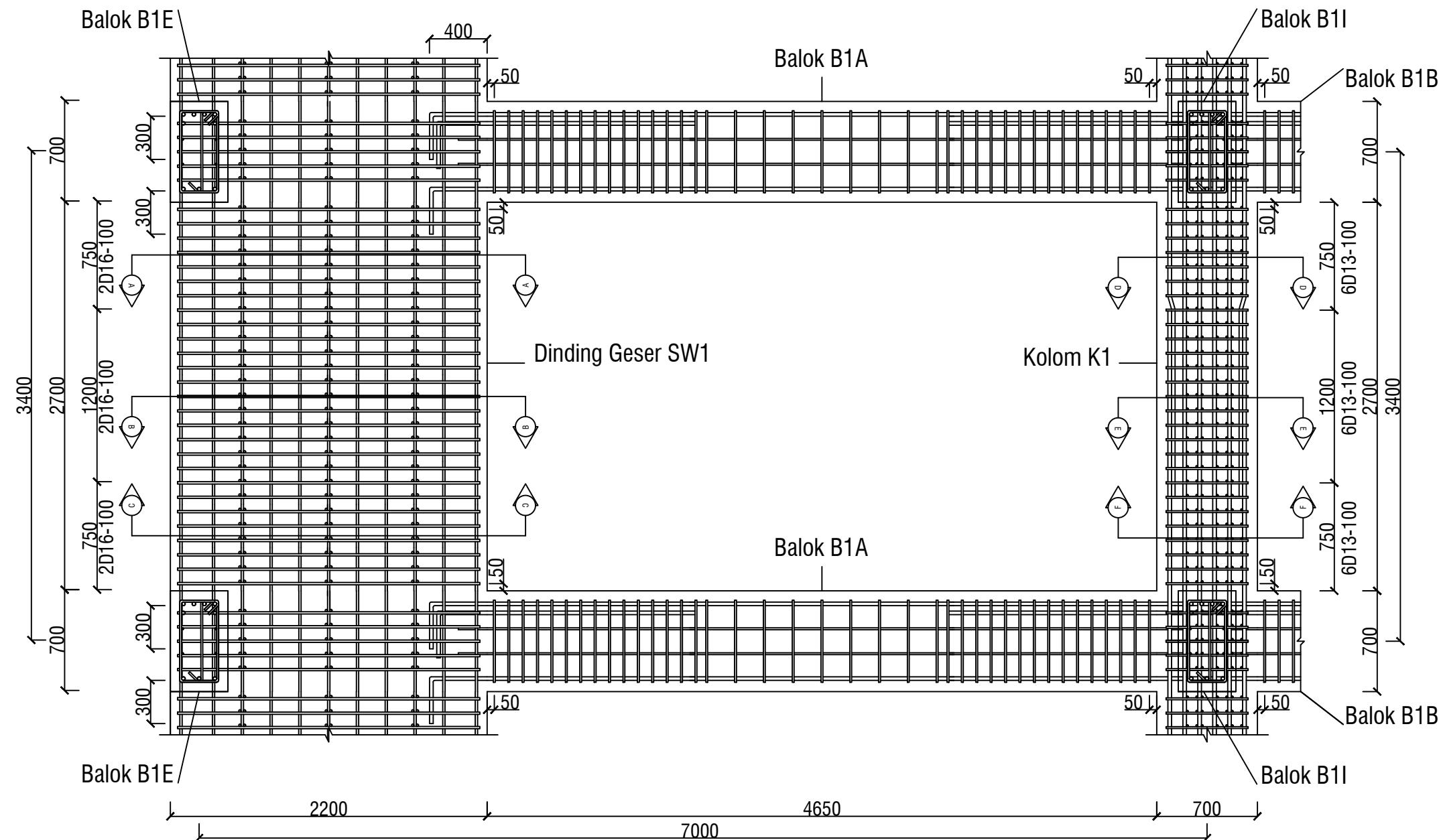
SKALA

1 : 35

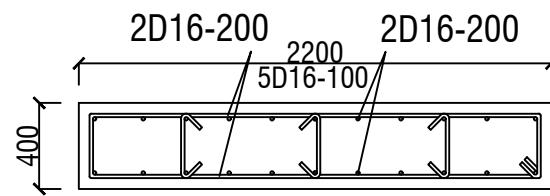
NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
---------------------	----------------------

37

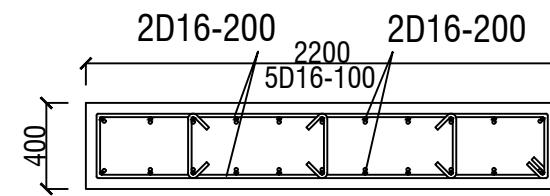
41



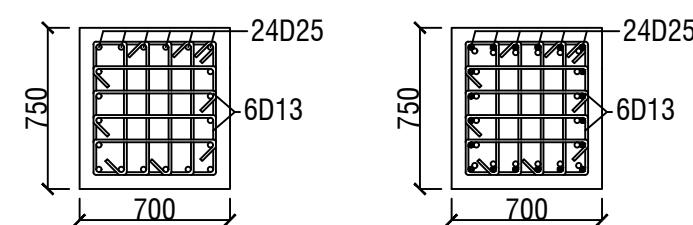
DETAIL PENULANGAN DINDING GESE SW1
SKALA 1 : 35



POT A-A DAN C-C
SKALA 1 : 35

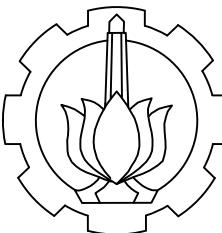
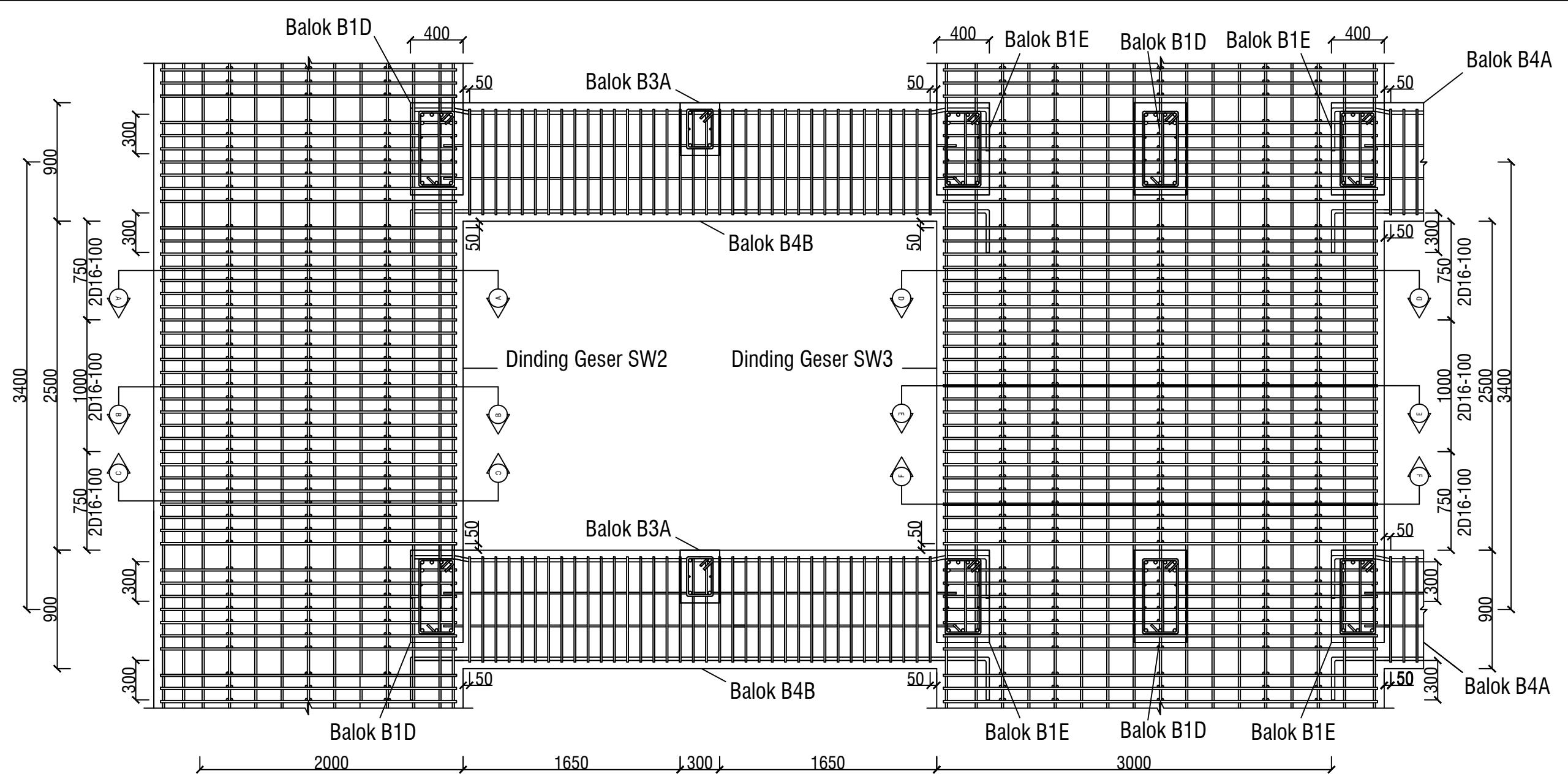


POT B-B
SKALA 1 : 35



POT D-D DAN F-F
SKALA 1 : 35

POT E-E
SKALA 1 : 35



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN 10 LANTAI DENGAN SISTEM GANDA TERBENTAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Hajdar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN DINDING GESER SW2 DAN SW3

SKALA

1 · 35

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

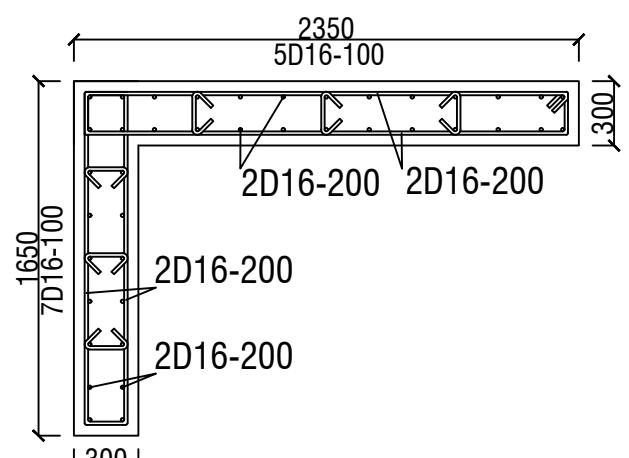
38

4



DETAIL PENULANGAN DINDING GESEN SW2 DAN SW 3

SKALA 1 : 100

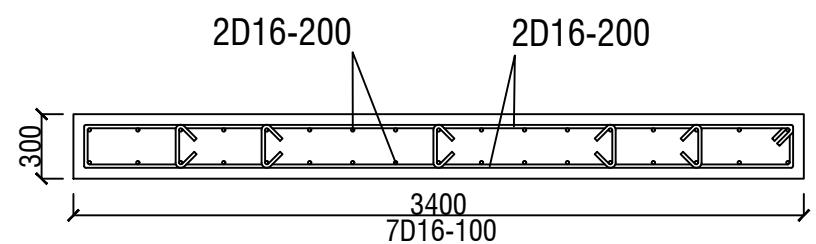


POT A-A DAN C-C
SKALA 1 : 35

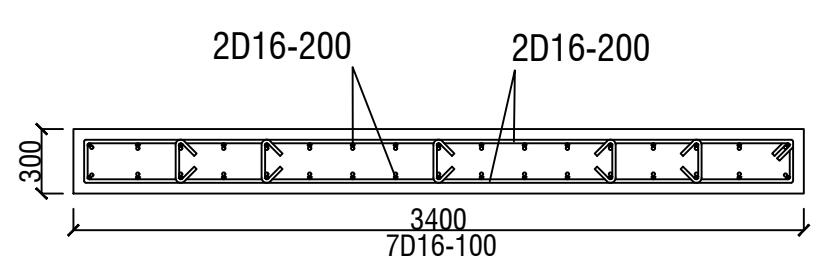
The diagram shows a rectangular metal frame with various dimensions and component labels:

- Width: 2350 mm
- Height: 1650 mm
- Depth: 300 mm
- Top horizontal beam: 5D16-100
- Bottom horizontal beam: 2D16-200
- Left vertical beam: 7D16-100
- Right vertical beam: 300 mm
- Left side panel: 2D16-200 (labeled twice)
- Right side panel: 2D16-200 (labeled twice)

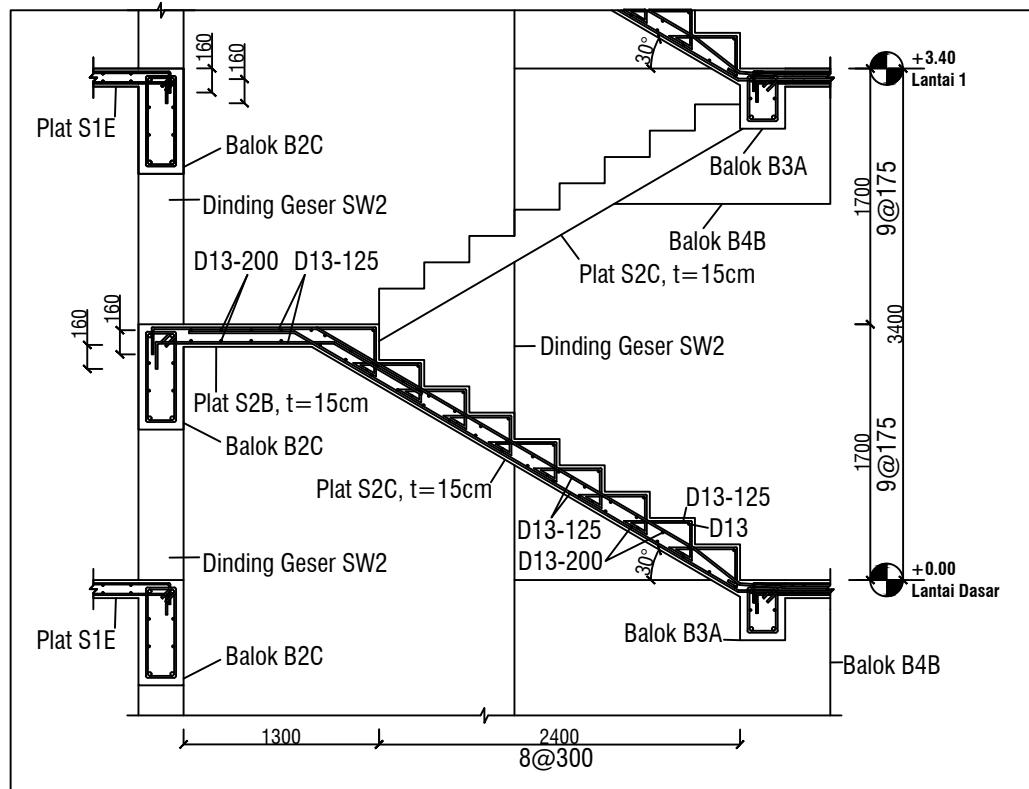
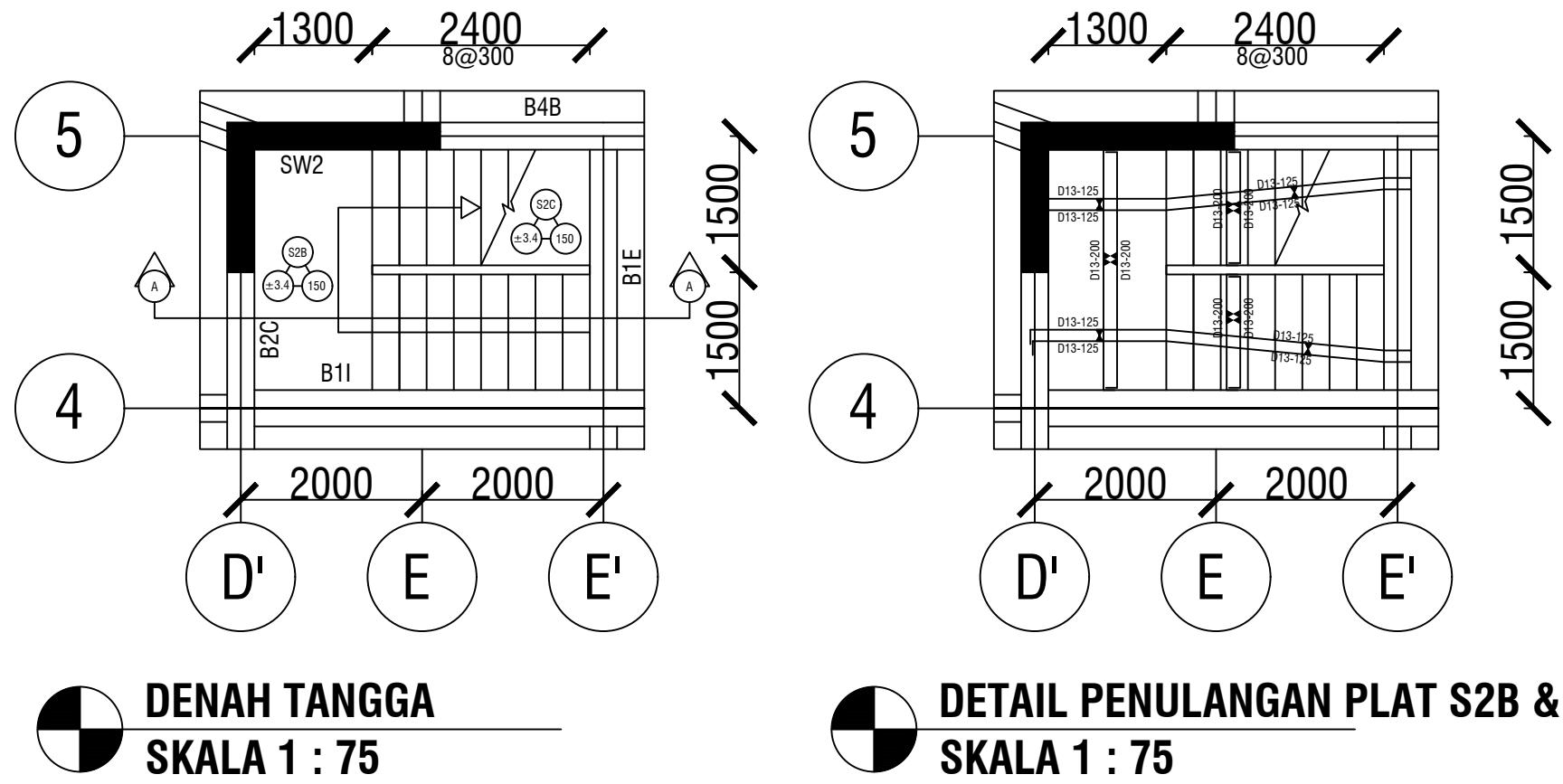
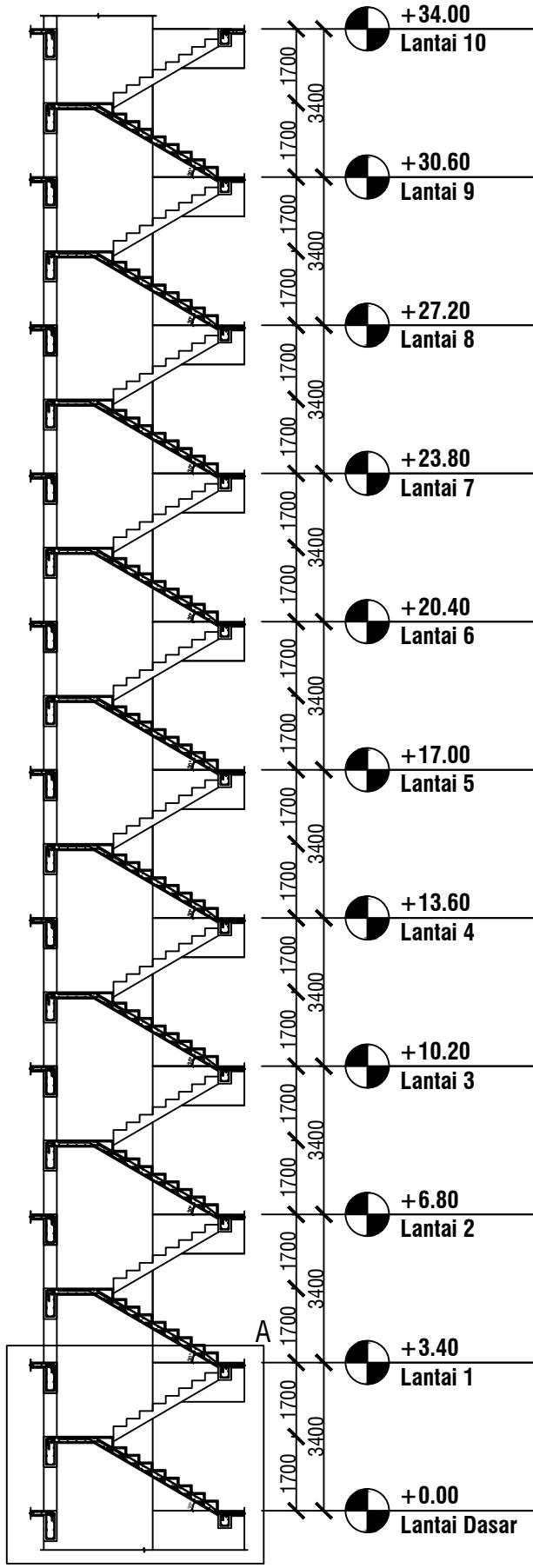
POT B-B
SKALA 1 : 35



POT D-D DAN F-F
SKALA 1 : 35

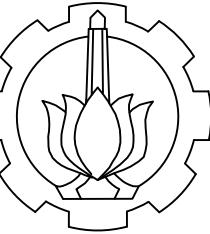


POT E-E
SKALA 1 : 35



DETAIL A
SKALA 1 : 50

	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
	FAKULTAS VOKASI
	DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL
CATATAN	
JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN	
DESAIN STRUKTUR APARTEMEN	
10 LANTAI DENGAN SISTEM	
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI	
NAMA DOSEN	Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NAMA MAHASISWA	Haidar Abdul Syakur
NRP	10111310000091
JUDUL GAMBAR	DENAH DAN DETAIL PENULANGAN PLAT S2B & C POT A-A DETAIL A
SKALA	1 : 75 1 : 150 1 : 50
NOMOR GAMBAR	39
JUMLAH GAMBAR	41



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

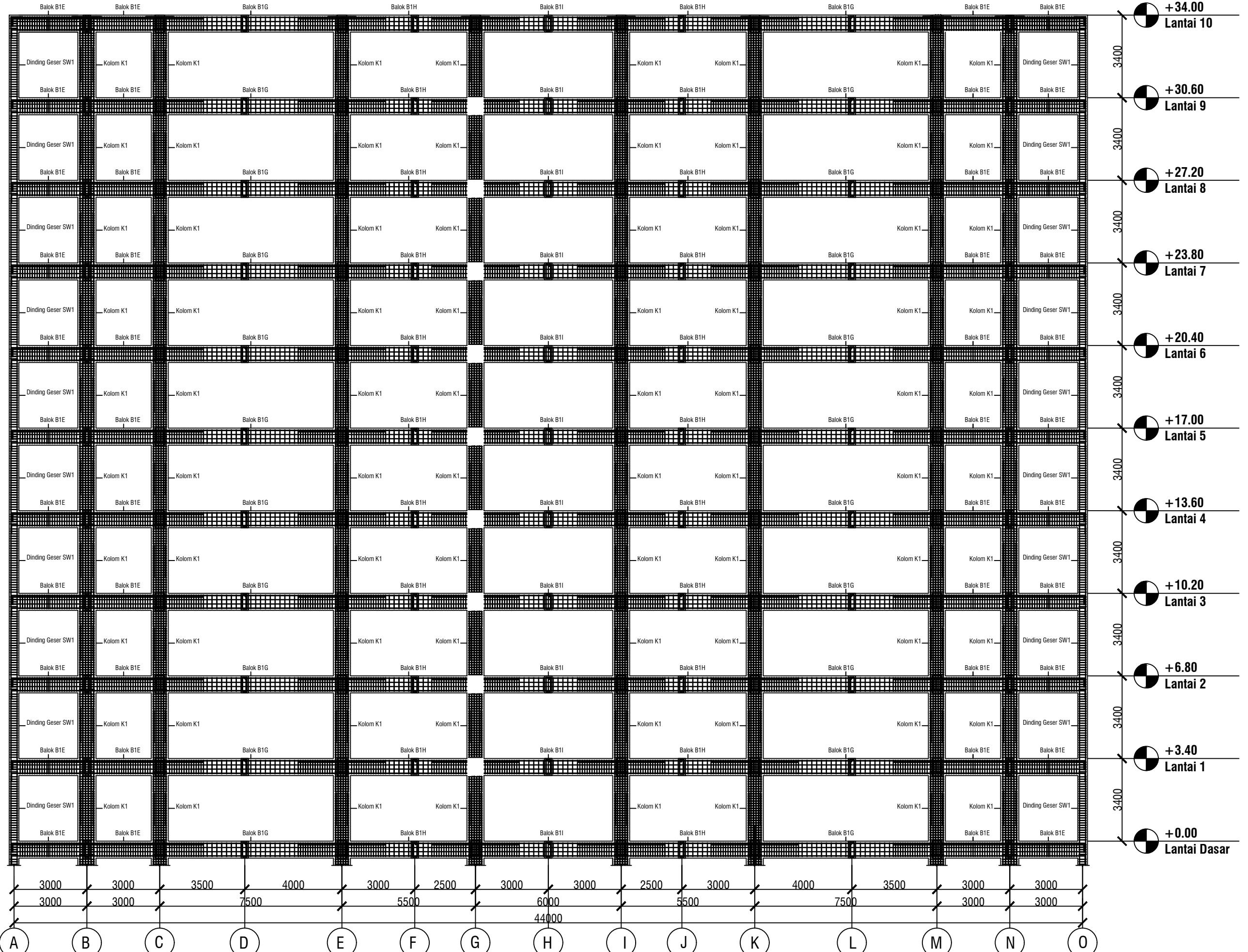
PORTAL ARAH X AS 1

SKALA

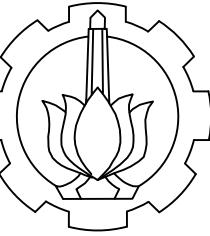
1 : 150

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

40 41



PORTAL ARAH X AS 1
SKALA 1 : 150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL

CATATAN

JUDUL PROYEK AKHIR TERAPAN

DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
10 LANTAI DENGAN SISTEM
GANDA TERLETAK DI TEPI PANTAI

NAMA DOSEN

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan,
M.EngSc., Ph.D

NAMA MAHASISWA

Haidar Abdul Syakur

NRP

10111310000091

JUDUL GAMBAR

PORTAL ARAH Y AS C

SKALA

1 : 150

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
41	41



PORTAL ARAH Y AS C
SKALA 1 : 150