



TUGAS AKHIR – RC-14501

**PERANCANGAN MODIFIKASI GEDUNG ONE EAST
RESIDENCE DI BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK**

MUHAMMAD FEBRIANTO RAMADHAN
NRP. 3112 100 094

Dosen Pembimbing:
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR–RC14-1501

**PERANCANGAN MODIFIKASI GEDUNG ONE EAST
RESIDENCE DI BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK**

MUHAMMAD FEBRIANTO RAMADHAN
NRP. 3112 100 094

Dosen Pembimbing:
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT–RC14-1501

**MODIFICATION OF BUILDING DESIGN ONE EAST
RESIDENCE IN BALIKPAPAN USING PRECAST
CONCRETE**

MUHAMMAD FEBRIANTO RAMADHAN
NRP 3112 100 094

Advisor:
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**PERANCANGAN MODIFIKASI GEDUNG ONE EAST
RESIDENCE DI BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK**

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Struktur
Program Studi S-1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD FEBRIANTO RAMADHAN

NRP. 3112100094

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. **Endah Wahyuni, ST, M.Sc, Ph.D.**
NIP. 197002011995122001



SURABAYA, Desember 2016

PERANCANGAN MODIFIKASI GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI BALIKPAPAN DENGAN MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

Nama : Muhammad Febrianto Ramadhan
NRP : 3112 100 094
Jurusan : S1 Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Saat ini perkembangan pembangunan gedung vertikal di Kalimantan Timur sudah menjadi kebutuhan, seperti dikemukakan oleh Ketua DPD REI Kaltim (Hasyim, 2015). Khususnya di Kota Balikpapan, hingga 2018 mendatang permintaan apartemen meningkat sehingga pasokan yang akan masuk ke Balikpapan bertambah menjadi sebanyak 3753 unit yang berasal dari sembilan proyek. Di samping itu, pembangunan di Kalimantan Timur memiliki kendala yaitu ketidaktersediaan material bangunan, sehingga perlu pengiriman dari luar daerah untuk pengadaannya, sebagai contoh batu dan pasir yang didatangkan dari Kota Palu. Untuk mengatasi kendala tersebut terdapat solusi yaitu memproduksi elemen pada suatu tempat secara massal dengan penggunaan sistem beton pracetak. Beton pracetak bertujuan untuk memudahkan pekerjaan di lapangan dan mendapatkan hasil yang lebih akurat karena elemen-elemen struktur berupa beton sudah dicetak terlebih dahulu di pabrik dengan kualitas yang dapat terjaga.

Pada tugas akhir ini dilakukan modifikasi pada Gedung One East Residence setinggi dua puluh tujuh lantai dan satu *basement* dengan menggunakan metode pracetak (*precast*) yang sebelumnya seluruh elemen struktur menggunakan metode cor di lokasi (*cast in situ*). Perencanaan struktur menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah dan dinding geser beton bertulang biasa yang dibangun di Kota Balikpapan,

Kalimantan Timur. Beton pracetak digunakan pada elemen balok dan pelat, sedangkan pada kolom, dinding geser, serta tangga menggunakan beton dengan cor di lokasi. Pondasi gedung ini dirancang menggunakan pondasi *bored pile*. Hasil dari perancangan modifikasi dibuat dalam bentuk gambar teknik.

Hasil dari modifikasi Gedung One East Residence ini meliputi ukuran balok induk 60/80, ukuran balok anak 40/60, ukuran kolom 140/140, dan dinding geser dengan ketebalan 30 cm. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek.

Kata Kunci: Modifikasi Struktur, Beton Pracetak, Sistem Ganda, Dinding Geser

MODIFICATION OF BUILDING DESIGN ONE EAST RESIDENCE IN BALIKPAPAN USING PRECAST CONCRETE

Name of Student : **Muhammad Febrianto Ramadhan**
NRP : **3112 100 094**
Department : **Civil Engineering Department**
Advisor : **Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.**

Abstract

The development of vertical building in East Kalimantan has currently become a necessity, as stated by the Chairman of DPD RI Kaltim (Hasyim, 2015). Particularly in Balikpapan, until 2018 the demand apartments increases making the supply in the town rises into 3753 units coming from nine projects. On the other hand, development in East Kalimantan has several obstacles, including the unavailability of building materials which needs to be delivered from outside, such as rock and sand brought from Palu city. To overcome these problems, a solution could be taken by producing mass elements with the use of precast concrete systems. Precast concrete is used to make work become easier because of the simple workability, and to get a better accurate result due to the maintained quality of the factory product.

This final project aims to modificate the One East Residence Building design with twenty-seven floors and one basement using precast method which previously using on-site cast method. Design of the structure uses a dual system with intermediate moment frame bearers and reinforced concrete shear walls which is built in Balikpapan, East Kalimantan. Precast concrete elements are used in beams and plates, while the shear wall, stair, and concrete column uses on-site cast method. The foundation of this building is designed using bored pile.

The result of the design modifications is made in the form of engineering drawings.

The results of the modifications of Building East Residence are dimensions primary beam of 60/80cm, secondary beam of 40/60cm, column of 140/140cm, and thickness shear wall of 30cm. The connection between the precast elements uses a wet joint and short console.

Keywords: Structure Modification, Precast Concrete, Dual System, Shear wall

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Modifikasi Gedung One East Residence di Balikpapan dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak”.

Dalam pembuatan proposal tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan saran, motivasi, bimbingan serta wawasan dari berbagai pihak yang sangat berharga. Oleh karena itu, dengan segala hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Triyono, Ibu Almh. Wahyuning Puji Sejati, dr. Muhamad Cholis Hidayat, S.Ked., & Muhammad Fahlul Al Habsy selaku keluarga atas segala dukungan, doa, nasihat, serta kesabaran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan studi hingga sarjana dan menggapai cita-cita.
2. Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan laporan ini.
3. Seluruh Dosen Pengajar dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS yang telah memberi pendidikan selama masuk dunia perkuliahan S1 Teknik Sipil.
4. Teman-teman angkatan S55 yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, suatu kebanggaan menjadi bagian dari keluarga S55.
5. Kakak maupun adik tingkat, dan seluruh Mahasiswa Teknik Sipil ITS yang selalu menjadi penggerak untuk menyelesaikan pengerjaan laporan ini.
6. Teman-teman seataap dan seperjuangan Himpunan Mahasiswa Bontang (HMB) cabang Surabaya.
7. Serta semua pihak yang selalu memberi dukungan untuk penulis selama perkuliahan dan pengerjaan proposal tugas akhir ini, semoga jasa dan bantuannya dibalas pula kebaikan oleh Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan sehingga belum mencapai kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dalam perbaikan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, 5 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	ivv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sistem Struktur Gedung.....	5
2.3 Konstruksi Tahan Gempa	6
2.4 Sistem Pracetak Untuk Bangunan Gedung.....	7
2.4.1 Elemen Pracetak	7
2.4.2 Perencanaan Sambungan	12
2.4.3 Titik-Titik Angkat dan Sokongan.....	15
2.4.3 Fase Penanganan Beton Pracetak	19
2.5 Struktur Basement	20

BAB III METODOLOGI	23
3.1 Studi Literatur dan Data Perancangan	24
3.1.1. Literatur Terkait Perencanaan Gedung	24
3.1.2. Pengumpulan Data Perancangan Gedung	24
3.1.3. Data-Data Perencanaan	24
3.2. Penentuan Kriteria Desain	25
3.3. <i>Preliminary Design</i>	26
3.3.1. Pengaturan Denah	26
3.3.2. Penentuan Dimensi Elemen Struktur	27
3.4. Perencanaan Struktur Sekunder	29
3.4.1. Perencanaan Balok Anak	29
3.4.2. Perencanaan Tangga	29
3.4.3. Perencanaan Struktur Atap	29
3.4.4. Perencanaan Lift	29
3.5. Pembebanan Struktur	30
3.6. Permodelan Struktur Utama	34
3.7. Analisis Struktur	34
3.7.1. Perhitungan Gaya Dalam	34
3.7.2. Kontrol Persyaratan	35
3.8. Perencanaan Penulangan Struktur	35
3.8.1. Perencanaan Tulangan Balok	35
3.8.2. Perencanaan Tulangan Kolom	39
3.8.3. Perhitungan Tulangan Pelat	40
3.9. Perencanaan Sambungan	42
3.9.1. Sambungan Balok Pracetak dengan Kolom	42

3.9.2.	Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak	43
3.9.3.	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	44
3.9.4.	Detail Penulangan Sambungan	45
3.10.	Perencanaan <i>Basement</i> dan Pondasi	48
3.10.1.	Daya Dukung Tiang Vertikal	48
3.10.2.	Daya Dukung Tiang Horizontal.....	49
3.10.3.	Kebutuhan Tiang Pancang.....	50
3.10.4.	Perencanaan Terhadap Geser.....	51
3.11.	Metode Pelaksanaan	52
3.12.	Penggambaran Hasil Perhitungan.....	52
BAB IV PEMBAHASAN		53
4.1.	<i>Preliminary Design</i>	53
4.1.1.	Umum.....	53
4.1.2.	Data Perencanaan	53
4.1.3.	Pembebanan.....	54
4.1.4.	Perencanaan Dimensi Balok	54
4.1.5.	Perencanaan Tebal Pelat.....	57
4.1.6.	Perencanaan Dimensi Kolom	67
4.1.7.	Perencanaan Tebal Dinding Geser.....	71
4.2.	Perencanaan Struktur Sekunder.....	72
4.2.1.	Perencanaan Pelat.....	72
4.2.2.	Perencanaan Balok Anak Pracetak	90
4.2.3.	Perencanaan Tangga	104
4.2.4.	Perencanaan Balok Lift	119

4.3.	Permodelan Struktur.....	128
4.3.1.	Umum.....	128
4.3.2.	Data-Data Perencanaan	128
4.3.3.	Perhitungan Berat Struktur.....	129
4.3.4.	Kombinasi Pembebanan	130
4.3.5.	Analisa Beban Gempa	130
4.3.6.	Pembebanan Gempa Dinamis.....	135
4.3.7.	Kontrol Desain	136
4.4.	Struktur Utama	153
4.4.1.	Umum.....	153
4.4.2.	Perencanaan Balok Induk.....	153
4.4.3.	Perencanaan Kolom.....	180
4.4.4.	Perencanaan Dinding Geser	191
4.5.	Perencanaan Sambungan.....	197
4.5.1.	Umum.....	197
4.5.2.	Konsep Desain Sambungan.....	199
4.5.3.	Penggunaan <i>Topping</i> Beton.....	203
4.5.4.	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom.....	204
4.5.5.	Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak	210
4.5.6.	Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok.....	215
4.6.	Perencanaan <i>Basement</i>	217
4.6.1	Penulangan Dinding <i>Basement</i>	217
4.7.	Perencanaan Pondasi	222
4.7.1.	Umum.....	222
4.7.2.	Data Tanah	223

4.7.3.	Spesifikasi Tiang Pancang.....	223
4.7.4.	Daya Dukung.....	224
4.7.5.	Perhitungan Tiang Pancang.....	226
4.7.6.	Perencanaan Bored Pile.....	233
4.7.7.	Perencanaan Poer Kolom.....	234
4.7.8.	Perencanaan Balok Sloof.....	240
4.8.	Metode Pelaksanaan.....	243
4.8.1.	Umum.....	243
4.8.2.	Metode Pelaksanaan Basement.....	248
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		253
5.1	Kesimpulan.....	253
5.2	Saran.....	254
DAFTAR PUSTAKA.....		255
LAMPIRAN.....		256

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Metode Penyambungan	12
Tabel 2.2	Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis ...	19
Tabel 3.1	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	26
Tabel 3.2	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik.....	26
Tabel 3.3	Beban mati pada struktur.....	30
Tabel 3.4	Beban hidup pada struktur.....	31
Tabel 3.5	Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik.....	46
Tabel 3.6	Faktor pengali penyaluran tulangan berkait dalam tarik	47
Tabel 4.1	Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	56
Tabel 4.2	Rekapitulasi Dimensi Balok Anak	57
Tabel 4.3	Rekapitulasi Dimensi Pelat	67
Tabel 4.4	Penulangan terpasang pada pelat.....	90
Tabel 4.5	Spesifikasi C300 Passenger Elevator	119
Tabel 4.6	Koefisien Situs Fa	132
Tabel 4.7	Koefisien Situs Fv	132
Tabel 4.8	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	134
Tabel 4.9	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik.....	134
Tabel 4.10	Faktor Keutamaan Gempa.....	136
Tabel 4.11	Perhitungan beban mati.....	137
Tabel 4.12	Perhitungan beban hidup.....	138
Tabel 4.13	Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x.....	139
Tabel 4.14	Koefisien untuk Batas Atas	139
Tabel 4.15	Modal Periode dan Frekuensi Struktur.....	140
Tabel 4.16	Reaksi Dasar Struktur.....	142
Tabel 4.17	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa	142
Tabel 4.18	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala	143

Tabel 4.19 Rasio Partisipasi Massa	144
Tabel 4.20 Simpangan Antar Lantai Izin.....	146
Tabel 4.21 Simpangan antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban	146
Tabel 4.22 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X	148
Tabel 4.23 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X	149
Tabel 4.24 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y	150
Tabel 4.25 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y	151
Tabel 4.26 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur	152
Tabel 4.27 Nilai Mpr balok induk	167
Tabel 4.28 Rekapitulasi Analisa Struktur Balok Induk	178
Tabel 4.29 Gaya Dalam Kolom.....	181
Tabel 4.30 Rekapitulasi Analisis Penulangan Kolom	189
Tabel 4.31 <i>Output</i> gaya Dalam Dinding Geser (ETABS 2015)	192
Tabel 4.32 Hasil SPT.....	227
Tabel 4.33 Kapasitas Angkat dan Radius Tower Crane	245

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pelat pracetak berlubang (<i>Hollow Core Slab</i>)	8
Gambar 2.2	Pelat pracetak tanpa lubang (<i>Solid Slab</i>)	9
Gambar 2.3	Pelat pracetak (a) <i>Single Tee</i> dan (b) <i>Double Tees</i> ..	9
Gambar 2.4	Balok berpenampang persegi (<i>Rectangular Beam</i>)	10
Gambar 2.5	Balok berpenampang L (<i>L-Shaped Beam</i>).....	10
Gambar 2.6	Balok T terbalik (<i>Inverted Tee Beam</i>).....	10
Gambar 2.7	Sambungan dengan cor setempat	13
Gambar 2.8	Sambungan dengan las	14
Gambar 2.9	Sambungan dengan menggunakan baut	15
Gambar 2.10	Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)	16
Gambar 2.11	Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat)	17
Gambar 2.12	Pengangkatan balok pracetak	17
Gambar 2.13	Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan	18
Gambar 2.14	Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok.....	18
Gambar 2.15	Tekanan tanah yang terjadi di <i>basement</i>	20
Gambar 2.16	Metode Bottom Up.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	24
Gambar 3.2	Ilustrasi kuat momen yang bertemu di Hubungan Balok Kolom.....	40
Gambar 3.3	Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur	40
Gambar 3.4	Sambungan Balok dan Kolom.....	42
Gambar 3.5	Hubungan Balok Kolom.....	43
Gambar 3.6	Sambungan Antara Balok dengan Pelat	44
Gambar 3.7	Sambungan balok induk dengan balok anak	45
Gambar 3.8	Detail kaitan untuk penyaluran kait standar	47
Gambar 3.9	Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang.....	51
Gambar 4.1	Denah pembalokan	55
Gambar 4.2	Tipe pelat P1	60
Gambar 4.3	Kolom titik As H-2.....	67
Gambar 4.4	Pelat tipe P1	75

Gambar 4.5	Potongan Pelat tipe P1	75
Gambar 4.6	Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)	79
Gambar 4.7	Diagram gaya geser horizontal penampang komposit	84
Gambar 4.8	Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)	86
Gambar 4.9	Momen pengangkatan pelat arah i	87
Gambar 4.10	Momen pengangkatan pelat arah j	87
Gambar 4.11	(a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit.....	91
Gambar 4.12	Distribusi Beban pada Balok Anak 30/40 Sebelum Komposit	92
Gambar 4.13	Momen saat pengangkatan balok anak	101
Gambar 4.14	Letak titik pengangkatan.....	102
Gambar 4.15	Perencanaan Tangga	106
Gambar 4.16	Distribusi Beban pada Tangga	107
Gambar 4.17	Sketsa beban pada tangga	108
Gambar 4.18	<i>Free body</i> diagram gaya-gaya pada tangga	110
Gambar 4.19	Bidang lintang (D) pada tangga	110
Gambar 4.20	Bidang normal (N) pada tangga.....	111
Gambar 4.21	Bidang momen (M) pada tangga	111
Gambar 4.22	Ruang Lift.....	120
Gambar 4.23	Permodelan 3D Struktur Utama.....	130
Gambar 4.24	Peta untuk penentuan harga S_s	131
Gambar 4.25	Peta untuk penentuan harga S_1	131
Gambar 4.26	Grafik Respon Spektrum Daerah Balikpapan.....	133
Gambar 4.27	Denah Pembalokan	154
Gambar 4.28	Pembebanan pada Balok Induk Sebelum Komposit	155
Gambar 4.29	Pembebanan pada Balok Induk Sesudah Komposit	156
Gambar 4.30	Momen saat pengangkatan balok induk.....	175
Gambar 4.31	Letak titik pengangkatan.....	176
Gambar 4.32	Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom dengan $F_s = F_y$	182

Gambar 4.33 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK	184
Gambar 4.34 Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom dengan $F_s = 1,25f_y$	185
Gambar 4.35 Denah penempatan <i>shearwall</i>	191
Gambar 4.36 Panjang Tumpuan pada Tumpuan	199
Gambar 4.37 Mekanisme Pemindahan Beban	200
Gambar 4.38 Model keruntuhan	202
Gambar 4.39 Model sambungan balok pada konsol kolom	202
Gambar 4.40 Geometrik konsol pendek	204
Gambar 4.41 Detail batang tulangan dengan kait standar	210
Gambar 4.42 Detail batang tulangan dengan kait standar	214
Gambar 4.43 Panjang Penyaluran Pelat	215
Gambar 4.44 Diagram tegangan yang terjadi pada dinding <i>basement</i>	217
Gambar 4.45 Pengaturan Jarak Tiang Pancang Pondasi Kolom	230
Gambar 4.46 Diagram Gaya Lateral Tiang Pondasi	232
Gambar 4.47 <i>Output</i> Program Bantu SpColumn	234
Gambar 4.48 Analisa Poer Sebagai Balok Kantilever	235
Gambar 4.49 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom	245
Gambar 4.50 Pemasangan Balok Induk Pracetak	245
Gambar 4.51 Pemasangan Balok Anak Pracetak	246
Gambar 4.52 Pemasangan Tulangan Atas	246
Gambar 4.53 Pengecoran <i>Topping</i>	247
Gambar 4.54 Pelaksanaan Basement dengan Metode Konvensional	249
Gambar 4.55 Potongan Metode <i>Cut Off</i>	252

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini perkembangan pembangunan vertikal di Kalimantan Timur sudah menjadi kebutuhan, seperti dikemukakan oleh Ketua DPD REI Kaltim (Hasyim, 2015). Khususnya di Kota Balikpapan, keluarga muda perkotaan adalah bagian pasar yang paling membutuhkan hunian vertikal dengan sebab sebagai gaya hidup praktis, dekat dengan pusat aktivitas sehari-hari, serta investasi. Hingga 2018 mendatang permintaan apartemen meningkat, sehingga pasokan yang akan masuk ke Balikpapan bertambah menjadi sebanyak 3753 unit yang berasal dari sembilan proyek. Sebanyak 75% di antaranya dibeli kalangan muda yang terdiri atas keluarga muda dengan satu anak, profesional muda, pasangan yang baru menikah, dan investor muda. Dengan sebagian besar dari keluarga muda *end user* atau pembeli apartemen untuk ditempati.

Pembangunan di Kalimantan Timur memiliki kendala yaitu ketidaktersediaan material bangunan, sehingga perlu pengiriman dari luar daerah untuk pengadaannya, sebagai contoh batu dan pasir yang didatangkan dari Kota Palu. Untuk mengatasi kendala tersebut terdapat solusi yaitu memproduksi elemen pada suatu tempat secara massal dengan penggunaan sistem beton pracetak. Beton pracetak bertujuan untuk memudahkan pekerjaan di lapangan dan mendapatkan hasil yang lebih akurat karena elemen-elemen struktur berupa beton sudah dicetak terlebih dahulu di pabrik dengan kualitas yang dapat terjaga. Sistem pracetak memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan sistem konvensional. Kelebihannya adalah dapat mempercepat waktu penyelesaian proyek, lebih praktis, dan biaya semakin hemat pada jumlah pemakaian elemen yang semakin banyak dengan tipe berulang. Kekurangannya adalah pada ketidakmampuan beton dalam menahan gaya lateral (Dora, 2006).

Dari permasalahan yang ada, maka pada tugas akhir ini dilakukan modifikasi pada Gedung One East Residence setinggi dua puluh tujuh lantai dan satu *basement* dengan menggunakan metode pracetak (*precast*) yang sebelumnya yaitu metode cor di lokasi (*cast in situ*). Perencanaan struktur menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah dan dinding geser beton bertulang biasa yang dibangun di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan Utama:

Bagaimana merencanakan struktur gedung One East Residence di Balikpapan menggunakan metode beton pracetak?

Detail Permasalahan:

1. Bagaimana merencanakan dimensi yang efisien dari balok dan pelat beton pracetak?
2. Bagaimana perencanaan *detailing* penulangan pada elemen pracetak sesuai peraturan?
3. Bagaimana perencanaan *detailing* sambungan pada elemen pracetak sesuai peraturan?
4. Bagaimana perencanaan struktur *basement* dan pondasi yang mampu menopang gedung?
5. Bagaimana merancang gambar teknik dari hasil modifikasi perancangan dan perhitungan struktur?

1.3. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari modifikasi perencanaan struktur gedung One East Residence di Balikpapan, meliputi

Tujuan Utama:

Perencanaan struktur gedung One East Residence di Balikpapan menggunakan metode beton pracetak.

Detail Tujuan:

1. Dapat merencanakan dimensi elemen beton pracetak yang efisien.

2. Dapat merencanakan *detailing* penulangan pada elemen beton pracetak sesuai peraturan.
3. Dapat merencanakan *detailing* sambungan pada elemen beton pracetak sesuai peraturan.
4. Dapat merencanakan struktur *basement* dan pondasi yang menopang gedung.
5. Dapat merancang gambar teknik dari hasil modifikasi perancangan dan perhitungan struktur.

1.4. Batasan Masalah

Batasan dalam modifikasi perencanaan struktur gedung One East Residence, meliputi

1. Dalam perancangan struktur gedung One East Residence Surabaya ini direncanakan penggunaan teknologi pracetak hanya pada bagian balok induk, balok anak, dan pelat, sedangkan untuk *shear wall*, kolom, dan tangga menggunakan sistem cor setempat (*cast in situ*).
2. Tidak menghitung RAB bangunan.
3. Perancangan tidak meliputi utilitas bangunan, mekanikal, instalasi listrik, dan *finishing*.
4. Program bantu yang dipakai meliputi ETABS2015, PCACol, dan AutoCAD.

1.5. Manfaat

Modifikasi perencanaan struktur ini memiliki manfaat, meliputi

1. Memahami perancangan pada struktur gedung bertingkat menggunakan metode beton pracetak (*precast*).
2. Dapat memberikan contoh yang konkret penggunaan beton pracetak dalam pembangunan suatu gedung dengan berbagai kelebihan yang dimiliki dibandingkan struktur pada umumnya

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Indonesia merupakan daerah rawan gempa, maka bangunan perlu didesain agar mampu menahan beban gempa. Selain itu, kebutuhan bangunan saat ini lebih kompleks seiring perkembangan zaman. Dalam perancangan tugas akhir ini Gedung One East Residence dimodifikasi agar struktur kuat dalam menahan beban yang terjadi dan tepat guna dengan kebutuhan daerah di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Pada bab ini akan dibahas mengenai acuan yang digunakan saat proses perancangan dan perhitungan. Pembahasan mengenai sistem struktur gedung, konstruksi tahan gempa, sistem pracetak untuk bangunan gedung, dan struktur *basement*.

2.2. Sistem Struktur Gedung

Ada beberapa sistem struktur yang umum digunakan sebagai penahan gaya gempa pada perencanaan gedung. Sistem tersebut yaitu Sistem Dinding Struktural, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen, dan Sistem Ganda. Pada Gedung One East Residence digunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan disertai dengan dinding geser beton bertulang biasa. Perencanaan struktur juga disesuaikan dengan zona gempa yang terjadi.

Struktur sistem ganda adalah gabungan antara rangka pemikul momen dan dinding geser (*shear wall*) yang dapat bekerja bersamaan dalam menahan beban gempa. Pada struktur ini, beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh rangka pemikul momen, sedangkan beban lateralnya dipikul oleh rangka pemikul momen dan *shear wall*. Pada struktur sistem ganda diharapkan keduanya dapat mengalami defleksi lateral yang sama. Dengan

sistem ini, perancangan struktur juga lebih ekonomis dikarenakan dimensi rangka utama dapat diperkecil oleh penggunaan *shear wall*. Jika pada sistem rangka pemikul momen semakin tinggi struktur gedung, semakin besar dimensi yang digunakan yang dapat menyebabkan kemampuan struktur lebih banyak menahan berat sendiri. Sedangkan pada sistem struktur ganda, semakin tinggi gedung, maka semakin tebal *shear wall* yang dibutuhkan. Pemasangan *shear wall* dapat mengurangi simpangan antar tingkat gedung, hal ini terjadi karena besarnya kekakuan bangunan menjadi lebih besar dibandingkan bangunan gedung yang tidak menggunakan *shear wall*. Dengan adanya *shear wall*, dimensi rangka utama yaitu balok dan kolom dapat diperkecil.

2.3. Konstruksi Tahan Gempa

Sesuai Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa (2006), taraf keamanan minimum untuk bangunan gedung dan rumah tinggal yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu memenuhi berikut ini:

- a. Bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali.
- b. Bila terkena gempa bumi sedang, bangunan tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural, tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktur.
- c. Bila terkena gempa bumi yang sangat kuat, bangunan tersebut tidak boleh runtuh baik sebagian maupun seluruhnya, tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki, serta bangunan tersebut boleh mengalami kerusakan, tetapi kerusakan yang terjadi harus dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali.

Federal Emergency Management Agency (2010) memberikan beberapa karakteristik untuk memenuhi konstruksi bangunan yang memiliki performa yang cukup dan aman ketika gempa kuat terjadi. Dengan kriteria yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Pondasi stabil, yang mampu menahan beban guling primer gempa dan mentransfer beban lateral gempa yang besar antara struktur dan tanah.
2. Penyaluran beban yang menerus, dengan memastikan semua komponen bangunan saling terikat sehingga tidak ada komponen yang rusak atau lepas ketika terjadi gempa.
3. Kekuatan dan kekakuan, yang mampu menahan beban lateral gempa tanpa menimbulkan *displacement* horizontal yang besar pada struktur.
4. Keteraturan struktur, meliputi distribusi massa, kekuatan, dan kekakuan sehingga pergerakan lateral pada setiap lantai hampir sama ketika gempa terjadi untuk menghindari adanya pemusatan beban hanya pada titik-titik tertentu.
5. Pemborosan struktur, sehingga banyak elemen turut memberikan kekuatan residu pada struktur ketika sejumlah elemen rusak untuk mencegah keruntuhan total.
6. Daktilitas yang sesuai, yaitu kemampuan elemen struktur untuk tetap menahan beban tanpa runtuh ketika mengalami kerusakan akibat beban berlebihan.

2.4. Sistem Pracetak untuk Bangunan Gedung

Beton pracetak adalah beton yang diproduksi dalam bentuk yang spesifik di lokasi selain posisi layan elemen tersebut. Beton tersebut dibentuk di dalam cetakan dari kayu atau baja dan dirawat sebelum kemudian dilepas dari cetakan pada waktu tertentu. Lalu, komponen pracetak dipindahkan menuju lokasi konstruksi dan dipasang menuju posisi layannya. Beton pracetak diberi perkuatan dengan tulangan maupun tendon mutu tinggi. Jenis komponen beton pracetak yang biasa diproduksi antara lain: panel dinding, balok dobel-T, pelat lantai *hollow*, kolom & balok, komponen jembatan, dan lain-lain (PCI, 2004).

2.4.1. Elemen Pracetak

Pembuatan beton pracetak dilakukan di lokasi proyek ataupun di luar lokasi proyek seperti pabrik. Agar elemen beton

pracetak yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan dalam proses fabrikasi, hendaknya perencana mengetahui macam-macam elemen struktur pracetak pada umumnya.

2.4.1.1. Pelat

Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Pada pelat beton pracetak, waktu pengangkutan atau sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi pada saat pelat sudah komposit.

Dalam *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada beberapa macam pelat pracetak (*precast slab*) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain:

1) Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 2 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inci hingga 15 inci. Ilustrasi pelat pada Gambar 2.1.

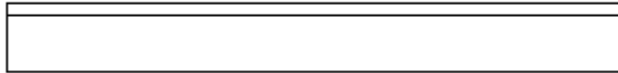


**Gambar 2.1 Pelat pracetak berlubang (*Hollow Core Slab*)
(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition*)**

2) Pelat Pracetak tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

Adalah pelat pracetak dengan tebal pelat lebih tipis dibandingkan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena

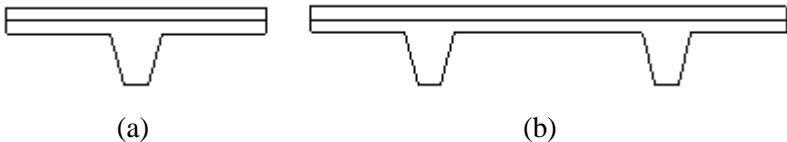
tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar yang bervariasi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 5 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang. Ilustrasi pelat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Slab*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

3) Pelat Pracetak *Double T* dan *Single Tees*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung. Ilustrasi pelat pada Gambar 2.3.



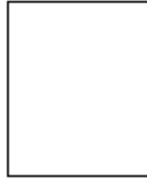
Gambar 2.3 Pelat pracetak (a) *Single Tee* dan (b) *Double Tees*
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2.4.1.2. Balok

Pada balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan:

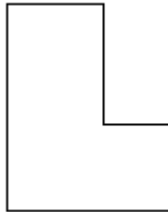
1) Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*) :

Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan. Ilustrasi balok pada Gambar 2.4.



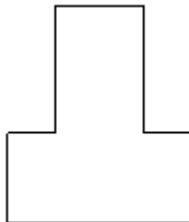
Gambar 2.4 Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2) Balok berpenampang L (*L-Shaped Beam*). Ilustrasi balok pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Balok berpenampang L (*L-Shaped Beam*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

3) Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*). Ilustrasi balok pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Balok T terbalik (*Inverted Tee Beam*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2.4.1.3. Dinding Geser (*Shear Wall*)

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

1. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \geq 2$, di mana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
2. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \leq 2$, di mana desain dikontrol oleh perilaku geser.
3. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), di mana momen guling yang terjadi akibat beban gempa 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. (Imran, 2008)

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

2.4.1.4. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai

yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Kolom dalam perencanaan tugas akhir ini tidak mengaplikasikan kolom pracetak. Pada perencanaan ini digunakan kolom cor setempat (*cast in situ*) yang menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk mengekang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.

2.4.2. Perencanaan Sambungan

Proses penyatuan komponen-komponen struktur beton pracetak menjadi sebuah struktur bangunan yang monolit merupakan hal yang penting dalam pengaplikasian teknologi beton pracetak. Oleh karena itu, perencanaan sambungan harus diperhatikan sehingga tidak menyulitkan pada saat pelaksanaan.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat tiga macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut ialah sambungan dengan cor di tempat (*in situ concrete joint*), sambungan dengan menggunakan las, dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang disajikan dalam Tabel 2.1 (Ervianto, 2006).

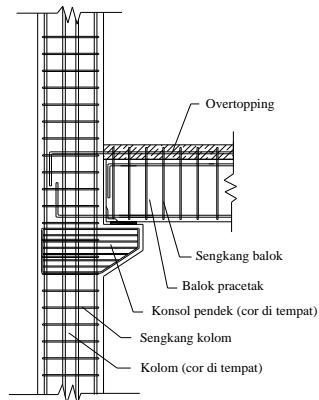
Tabel 2.1 Perbedaan Metode Penyambungan

Deskripsi	Sambungan dengan cor setempat	Sambungan dengan las/baut
Kebutuhan struktur	Monolit	Tidak monolit
Jenis sambungan	Basah	Kering
Toleransi dimensi	Lebih tinggi	Tergolong rendah, karena

		dibutuhkan akurasi yang tinggi
Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif	Perlu <i>setting time</i>	Segera dapat berfungsi
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter

2.4.2.1. Sambungan dengan Cor Setempat

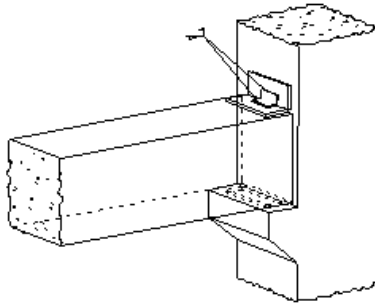
Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung / penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor setempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan di cor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam modifikasi ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.



Gambar 2.7 Sambungan dengan cor setempat

2.4.2.2. Sambungan dengan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan pelat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti Gambar 2.8. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.

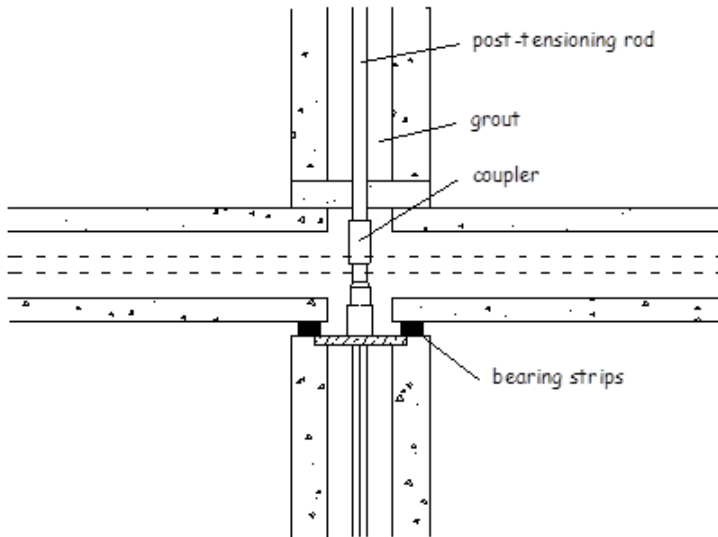


Gambar 2.8 Sambungan dengan las

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok di dukung oleh *corbels* atau biasa disebut dengan konsol yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dengan balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom.

2.4.2.3. Sambungan dengan Baut

Penyambungan cara ini diperlukan pelat baja di kedua elemen betok pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui pelat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi, seperti pada Gambar 2.9. Selanjutnya pelat sambung tersebut dicor dengan adukan beton, guna melindungi dari korosi.



Gambar 2.9 Sambungan dengan menggunakan baut

2.4.3. Titik-Titik Angkat dan Sokongan

2.4.3.1. Pengangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

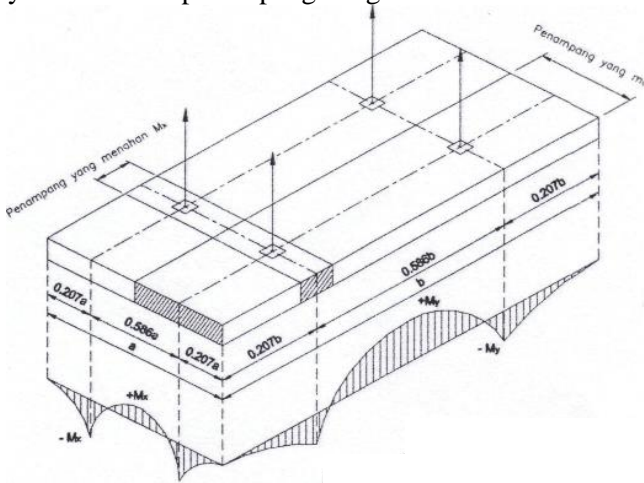
a. Dua Titik Angkat

Seperti terlihat pada Gambar 2.10, maksimum momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0107 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0107 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/2$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



**Gambar 2.10 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)**

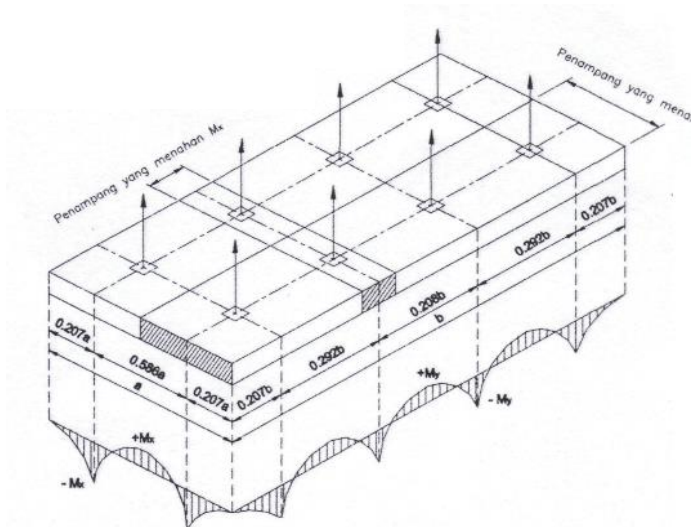
b. Empat Titik Angkat

Seperti terlihat pada Gambar 2.11, maksimum Momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_y = 0,0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

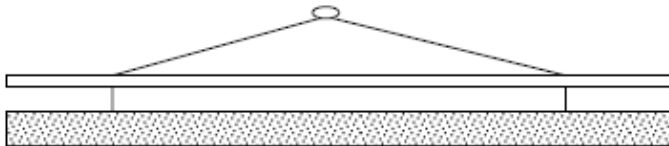
- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/4$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



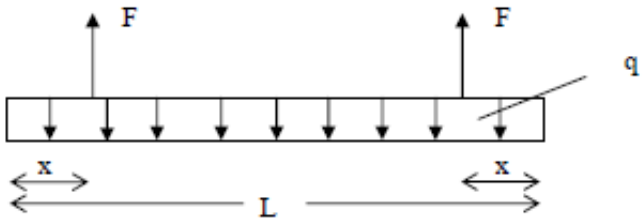
Gambar 2.11 Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2.4.3.2. Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya (Gambar 2.12). Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh anker pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan seperti pada Gambar 2.13. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan anker pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.

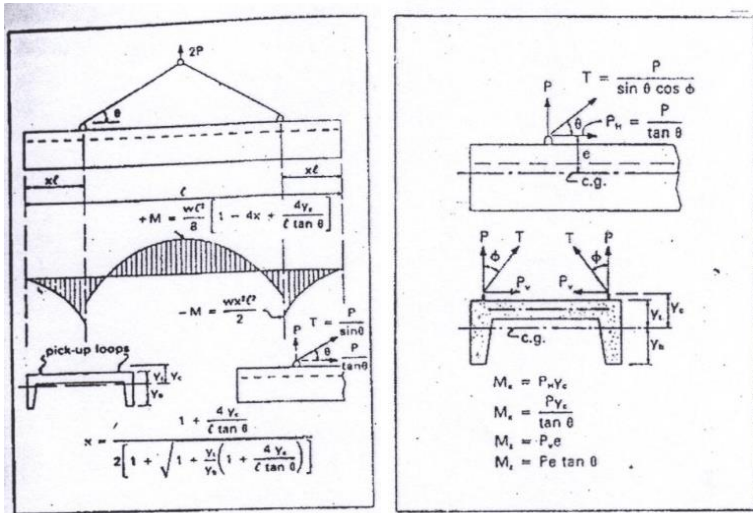


Gambar 2. 12 Pengangkatan balok pracetak



Gambar 2.13 Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan

Balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada Gambar 2.14 serta angka pengali pada Tabel 2.2.



Gambar 2.14 Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

Tabel 2.2 Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis

Pengangkatan dari bekisting	1,7
Pengangkatan ke tempat penyimpanan	1,2
Transportasi	1,5
Pemasangan	1,2

2.4.4. Fase Penanganan Beton Pracetak

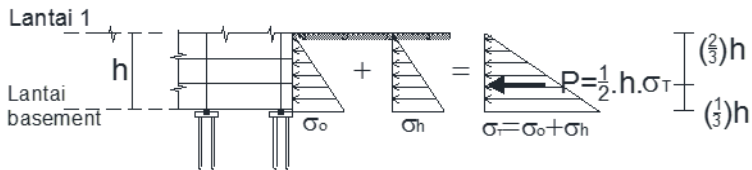
Sebelum digunakan beton pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi

1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting
 - c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
 - d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang terbawa saat produk diangkat
2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi titik-titik angkat sementara
 - c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
 - d. Perlindungan dari sinar matahari langsung
3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi sokongan vertikal maupun horizontal
 - c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
 - d. Pertimbangan dinamis saat transportasi
4. Pemasangan (*erection*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut

- b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
- c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan
- d. Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton *overtopping*.

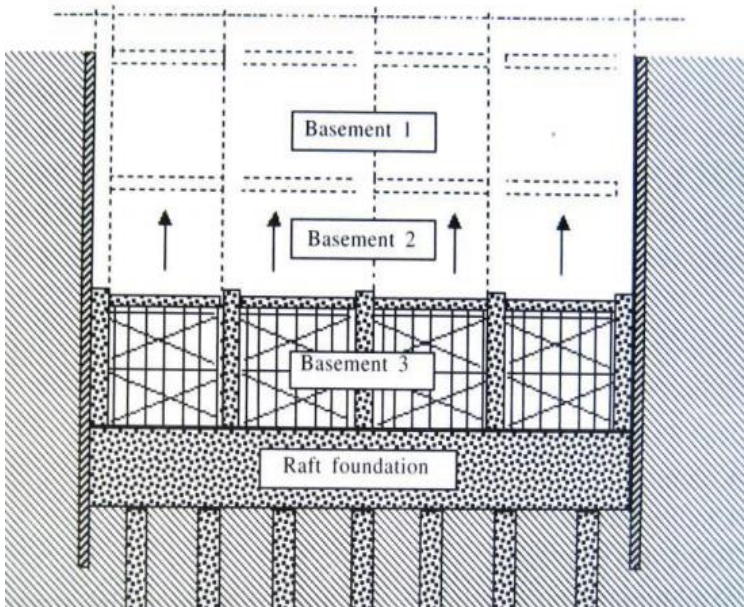
2.5. Struktur *Basement*

Perencanaan dinding *basement* juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Karena lantai *basement* berada di dalam tanah, maka seluruh dinding luar digunakan pelat beton sebagai penahan tanah. Dinding *basement* mengalami tekanan horizontal yang diakibatkan oleh tanah dan tekanan akibat air di belakang dinding *basement*. Ilustrasi tekanan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Tekanan tanah yang terjadi di *basement*

Metode konstruksi galian yang dilaksanakan pada proyek pembangunan *basement* One East Residence di Balikpapan menggunakan sistem *Bottom Up* (Gambar 2.16). Pada sistem ini struktur *basement* dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai elevasi rencana. Pelat *basement* paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian *basement* diselesaikan dari bawah ke atas, dengan menggunakan *scaffolding*. Kolom, balok, dan pelat di cor setempat (*cast in situ*). Pada sistem ini, galian tanah dapat berupa *open cut* atau dengan sistem dinding penahan tanah yang bisa sementara dan permanen.



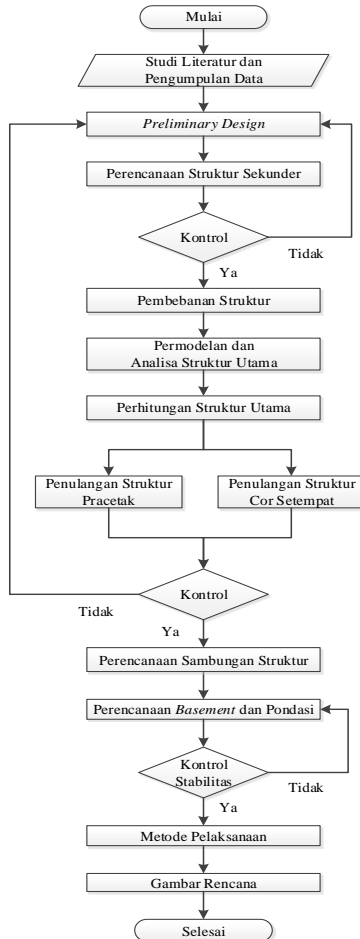
Gambar 2.16 Metode *Bottom Up*

(Sumber: <http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/>)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

Secara umum pengerjaan tugas akhir digambarkan dengan diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Perencanaan dimulai dengan melakukan pencarian studi literatur dan pengumpulan data sebagai landasan dalam pengerjaan tugas akhir. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan kriteria desain untuk struktur utama dan struktur sekunder. Lalu dilakukan permodelan struktur utama dan analisa terhadap hasil permodelan. Langkah-langkah metode penyelesaian tugas akhir dijelaskan secara detail sebagai berikut:

3.1. Studi Literatur dan Data Perancangan

3.1.1. Literatur Terkait Perencanaan Gedung

- Tata Cara Perencanaan Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
- Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2012)
- *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete* edisi keenam (PCI, 2004)
- Daya Dukung Pondasi Dalam (Wahyudi, 1999).

3.1.2. Pengumpulan Data Perancangan Gedung

- Gambar arsitektur (gambar denah, tampak, dan potongan)
- Data tanah (*soil investigation*) menggunakan data tanah *drilling log*.

3.1.3. Data-Data Perencanaan

- a. Data Umum Bangunan
 - Nama gedung : One East Residence
 - Tipe bangunan : Gedung apartemen dan *retail*
 - Total luas area : $\pm 5.402 \text{ m}^2$
 - Struktur bangunan : Struktur beton bertulang
 - Sebelum Modifikasi
 - Lokasi : Kota Surabaya, Jawa Timur
 - Tinggi Bangunan : 125 m dari jalan raya

(3 *basement*, 2 lantai podium, 3 lantai parkir, dan 30 lantai *tower*)

▪ Setelah Modifikasi

- Lokasi : Kota Balikpapan,
Kalimantan Timur
- Tinggi bangunan
 - Basement : 4 m
 - Lt. Dasar s.d. Lantai 2 : 4 m
 - Lantai 3 s.d. Lantai 27 : 3,5 m
 - Tinggi Total : 95,5 m dengan jumlah
27 lantai *tower* dan 1 *basement*

b. Data Material

- Mutu beton ($f'c$)
 - Balok dan pelat : 35 MPa
 - Kolom : 40 MPa
- Mutu baja (f_y) : 390 MPa
- Data tanah : Terlampir

c. Data Gambar

- Data Struktur : Terlampir

Bangunan gedung ini akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak pada bagian balok induk, balok anak, dan pelat.

3.2. Penentuan Kriteria Desain

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Gedung One East Residence direncanakan akan dibangun di Kota Balikpapan.

Berdasarkan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2, akan didapatkan kategori risiko dari Kota Balikpapan. Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian.

Tabel 3.1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DS} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{DS} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DS}$	D	D

3.3. Preliminary Design

Pada *preliminary design* ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.

3.3.1. Pengaturan Denah

Dalam pengaturan denah yang perlu diperhatikan adalah fungsi bangunan dan peruntukan tata ruang. Konfigurasi denah juga perlu disesuaikan agar lebih simetris, tanpa mengubah fungsi gedung semula.

3.3.2. Penentuan Dimensi Elemen Struktur

3.3.2.1. Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi (ϕ) dapat ditentukan.

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

Di mana, W = Beban aksial yang diterima kolom
 $f'c$ = Kuat tekan beton karakteristik
 A = Luas penampang kolom

3.3.2.2. Perencanaan Dimensi Balok Induk

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ MPa} \quad (3.2)$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left(0,4 - \frac{f_y}{700} \right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c \text{ 1440 sampai}$$

$$1840 \text{ kg/m}^3$$

Di mana: b = Lebar balok
 h = Tinggi balok
 L_b = Panjang balok

3.3.2.3. Penentuan Dimensi Pelat

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*one-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).
2. Tebal minimum pelat satu arah (*one-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)), sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1
3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi :

a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm

b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3.3)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

(SNI 2847:2013, persamaan 9-12)

c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (3.4)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

(SNI 2847:2013, persamaan 9-13)

Di mana :

β = rasio dimensi panjang terhadap pendek

α_m = nilai rata - rata dari α_f untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

3.4. Perencanaan Struktur Sekunder

3.4.1. Perencanaan Balok Anak

Untuk penentuan dimensi balok anak perhitungan sama dengan perhitungan balok induk.

3.4.2. Perencanaan Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi injakan.

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \quad (3.5)$$

Di mana : t = tinggi injakan

i = lebar injakan

α = sudut kemiringan tangga ($25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$)

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan pelat bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

3.4.3. Perencanaan Struktur Atap

Konstruksi atap direncanakan berfungsi sebagai pelindung komponen yang ada di bawahnya dalam gedung ini melindungi mesin elevator. Atap direncanakan hanya sebagai beban bagi konstruksi utama sehingga dalam perhitungannya dilakukan secara terpisah.

3.4.4. Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dari satu lantai ke lantai lain dalam sebuah gedung. Perencanaan lift disesuaikan dengan jumlah lantai dan perkiraan jumlah penggunaan lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran (*pit lift*) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak membentur dasar landasan, di samping itu berfungsi menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya saat tali putus. Perencanaan ini meliputi perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.5. Pembebanan Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 1726:2012 dan ketentuan SNI 2847:2013.

1) Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut:

a. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi yang dapat dipindahkan. Beban mati yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Beban mati pada struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Dinding pasangan bata merah (1/2 batu)	250 kg/m ²

Kaca setebal 12 mm	30 kg/m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg/m ²
Lantai ubin semen <i>portland</i>	24 kg/m ²
Spesi per cm tebal	21 kg/m ²

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan dalam perancangan beban hidup berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Beban hidup pada struktur

Beban hidup pada lantai gedung	Besar Beban
Lantai kantor, toko, hotel	250 kg/m ²
Lantai dan balkon dari ruang pertemuan	400 kg/m ²
Tangga, bordes tangga, dan gang	300 kg/m ²
Lantai untuk: gudang, ruang alat, dan ruang mesin	400 kg/m ²
Beban pekerja	100 kg/m ²

2) Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012) di daerah Balikpapan. Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka

Pemikul Momen hanya diterima oleh *frame*. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, di mana pengaruh pada struktur dibebankan langsung ke pusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa bedasarkan SNI 1726:2012 meliputi :

- Penentuan respon spektrum
Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 di SNI 1726:2012
- Respon seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.6)$$

(Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2012)

Di mana :

S_{DS} = percepatan spektrum respons desain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan hunian

nilai C_s max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (3.7)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_S \times W$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.8)$$

Di mana :

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.7.2

3) Beban Angin (*Wind Load/WL*)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 :

- Untuk struktur rangka ruang dengan penampang melintang berbentuk bujur sangkar dengan arah angin 45° terhadap bidang-bidang rangka, koefisien angin untuk kedua bidang rangka di pihak angin masing-masing 0,65 (tekan) dan untuk kedua rangka di belakang angin masing-masing 0,5 (isap).
- Kecuali itu, masing-masing rangka harus diperhitungkan terhadap beban angin yang bekerja dengan arah tegak lurus pada salah satu bidang rangka, koefisien angin untuk rangka pertama di pihak angin adalah 1,6 (tekan) dan untuk rangka kedua di belakang angin adalah 1,2 (isap).
- Untuk atap segitiga majemuk, untuk bidang-bidang atap di pihak angin dengan $\alpha < 65^\circ$ koefisien (0,2 α – 0,4) (tekan), dan untuk semua bidang atap di belakang angin untuk semua α adalah 0,4 (isap).
- Tekanan tiup (beban angin) di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m².

Adapun kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1

1) $U = 1,4 D$

2) $U = 1,2 D + 1,6 L$

- 3) $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- 4) $U = 1,0 D + 1,0 L$
- 5) $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Di mana:

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

3.6. Permodelan Struktur Utama

Permodelan struktur utama dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur akibat pembebanan yang ada, baik beban gravitasi maupun beban gempa. Hasil dari permodelan ini antara lain untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku struktur secara keseluruhan meliputi partisipasi massa harus memenuhi, simpangan per lantai harus memenuhi, serta gaya geser gempa harus mendekati total reaksi horizontal di perletakan. Sedangkan perilaku komponen struktur meliputi komponen kolom dan balok yang ditinjau dari gaya dalam yang didapat dari permodelan struktur. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah x & y, torsi, dan geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser, dan torsi.

Permodelan struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu ETABS2015 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut : menggambar bentuk model struktur, mendesain penampang dan material, memasukkan beban gravitasi dan beban gempa, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan *running*, setelah itu dilakukan pengecekan struktur terhadap persyaratan yang ada.

3.7. Analisis Struktur

3.7.1. Perhitungan Gaya Dalam

Analisis struktur dilakukan untuk mendapatkan gaya dalam yang selanjutnya digunakan untuk merancang elemen dan

sambungan pada struktur. Perhitungan gaya-gaya dalam struktur utama menggunakan bantuan program ETABS2015. Adapun hal-hal yang diperhatikan dalam analisa struktur ini antara lain:

- Bentuk gedung
- Dimensi elemen-elemen struktur dari *preliminary design*
- Wilayah gempa
- Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanan

3.7.2. Kontrol Persyaratan

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

- Jumlah ragam partisipasi massa
- Geser dasar seismik (V)
- Koefisien respon seismik (C_s)
- Periode waktu getar alami fundamental (T)
- Simpangan antar lantai (Δ)

Hasil rancangan elemen dan sambungan struktur dikontrol kekuatannya terhadap gaya dalam akibat beban-beban yang ada sesuai standar yang berlaku.

3.8. Perencanaan Penulangan Struktur

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

3.8.1. Perencanaan Tulangan Balok

3.8.1.1. Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data d , f_y , f'_c , dan M_u

2. Menentukan harga β_1

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'c - 28)}{7} \quad (3.9)$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho b = \frac{0.85\beta_1 f'c \left(\frac{600}{600 + fy} \right)}{fy} \quad (3.10)$$

SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2)

$$\rho < 0.025 \quad (3.11)$$

SNI 2847:2013 pasal (21.5.2.1)

$$\rho < 0.75\rho b \quad (3.12)$$

SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3)

$$\rho \text{ min} = \frac{0.25x\sqrt{f'c}}{fy} \quad (3.13)$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1.4}{fy} \quad (3.14)$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

Dari kedua harga ρ_{min} tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{fy}{0.85 fc'} \quad (3.15)$$

5. Menentukan R_n

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \quad (3.16)$$

Diketahui harga ϕ ditentukan
(SNI 2847:2013 pasal 9.3)

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmxRn}{fy}} \right) \quad (3.17)$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

7. Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{As}{bxd} \quad \longrightarrow \quad As = \rho x b x d \quad (3.18)$$

8. Menentukan jumlah tulangan

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{As_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \quad (3.19)$$

9. Menghitung jarak tulangan

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b - n \times \phi L - 2d' - 2\phi S}{n - 1} \quad (3.20)$$

3.8.1.2. Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi $\phi V_n \geq V_u$,

Di mana :

V_n = kuat geser nominal penampang

V_u = kuat geser terfaktor pada penampang

ϕ = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton (V_c) dan tulangan (V_s)

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.21)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2)

Dan untuk

$$V_c = 0,17\alpha\sqrt{f'c}b_w d \quad (3.22)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.23)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1)

Di mana :

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

3.8.1.3. Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila:

$$T_u \leq \frac{\phi\sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (3.24)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1)

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3.25)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20)

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_0 \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cot \theta \quad (3.26)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21)

Di mana:

T_u = Momen torsi terfaktor

T_n = Kuat momen torsi

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

A_0 = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser
mm²

3.8.2. Perencanaan Tulangan Kolom

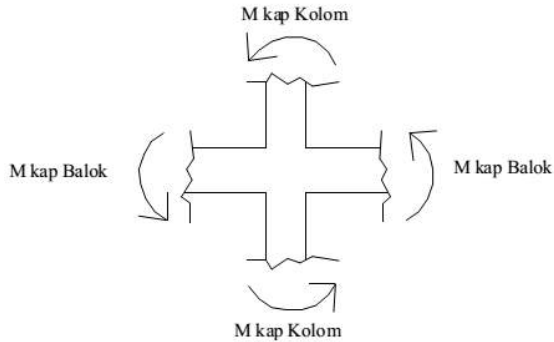
Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 23.5.1.

3.8.2.1. Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum Mn_c \geq (1,2) \times \sum Mn_b$$

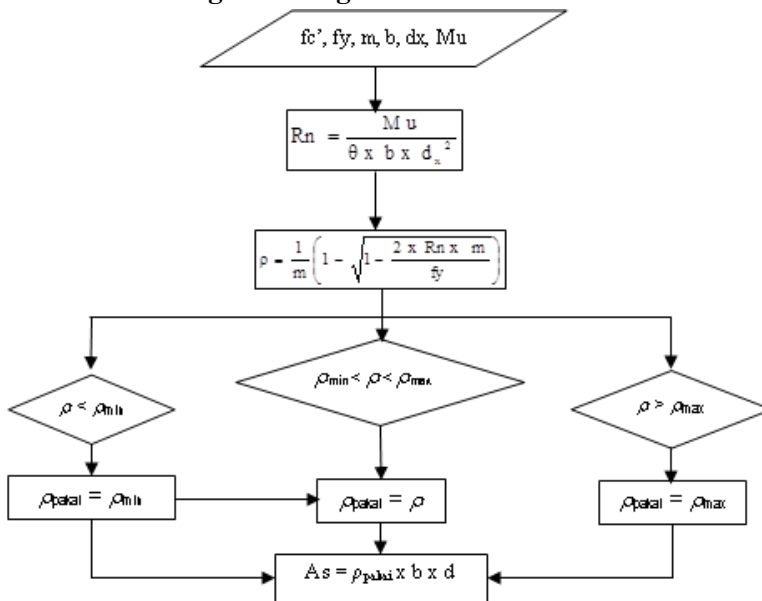
Di mana $\sum Mn_c$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum Mn_b$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa Mnc harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol kapasitas kolom tersebut agar memenuhi persyaratan *strong column weak beam*. Dengan penjelasan ilustrasi pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ilustrasi kuat momen yang bertemu di Hubungan Balok Kolom

3.8.3. Perhitungan Tulangan Pelat

3.8.3.1. Perhitungan Tulangan Lentur



Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur

Perhitungan tulangan dijelaskan secara umum melalui diagram alir pada Gambar 3.3.

3.8.3.2. Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1.

3.8.3.3. Kontrol Retak Tulangan

Untuk menghindari retak-retak beton di sekitar baja tulangan, maka penggunaan tulangan lentur dengan kuat leleh melebihi 300 MPa perlu dilakukan kontrol terhadap retak sesuai SNI 2847:2013, Pasal 10.6.4.

dengan :

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (3.27)$$

Di mana:

$Z \leq 30.000$ N/mm untuk penampang dalam ruangan,

$Z \leq 25.000$ N/mm untuk di luar ruangan,

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada kondisi beban kerja, boleh diambil sebesar 0,60 f_y (MPa)

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat (mm)

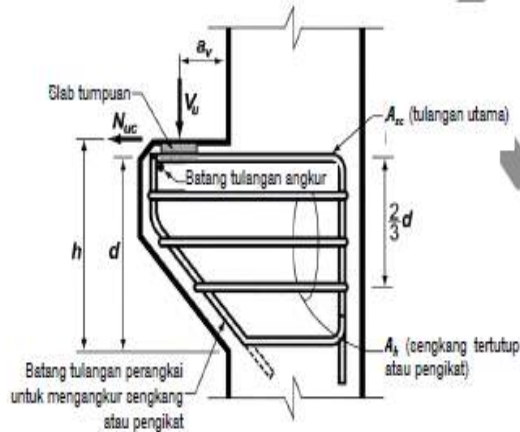
$$A = \frac{2d_c b}{n}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dibagi dengan jumlah n batang tulangan atau kawat (mm^2)

3.9. Perencanaan Sambungan

3.9.1. Sambungan Balok Pracetak dengan Kolom

Sambungan balok pracetak – kolom pada perencanaan gedung ini menggunakan Sambungan Balok - Kolom cor setempat yang terletak pada balok. Sambungan tersebut dipilih karena cukup efektif dalam kinerja, kemudahan, dan kesederhanaan sambungan. Dapat dilihat pada Gambar 3.4.

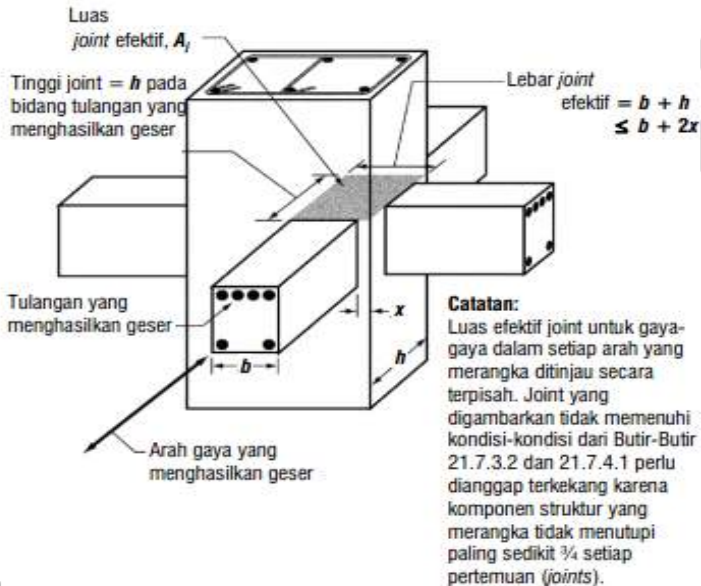


Gambar 3.4 Sambungan Balok dan Kolom

Untuk pemakaian sambungan monolit, harus dipenuhi semua kriteria untuk struktur beton bertulang yang monolit, yaitu kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan kriteria yang bersangkutan. Sementara bila sambungan kuat yang akan dipakai, harus dicek akan berlangsungnya mekanisme *strong column weak beam*. Pada sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.8.

Kuat geser nominal, V_n pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI

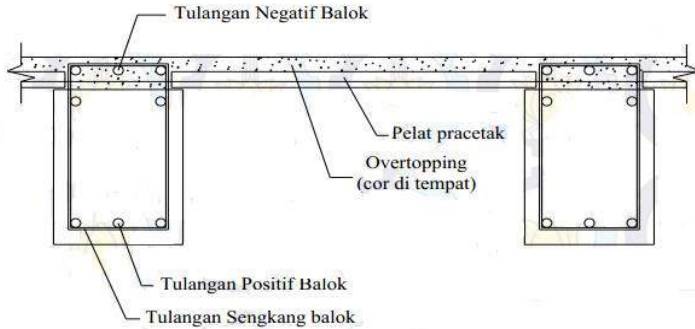
2847:2013 pasal 21.7.4. Hubungan balok dengan kolom dijelaskan juga pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Hubungan Balok Kolom

3.9.2. Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi *overtopping* yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm. Seperti terlihat pada Gambar 3.6.

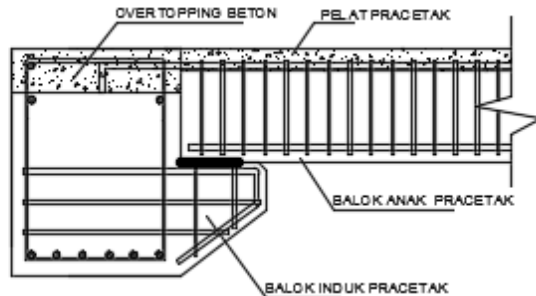


Gambar 3.6 Sambungan Antara Balok dengan Pelat

3.9.3. Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya $1/180$ kali bentang bersih komponen plat pracetak, tetapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SNI 2847:2013. Pada Gambar 3.7 diberikan gambaran mengenai sambungan tersebut.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.



Gambar 3.7 Sambungan balok induk dengan balok anak

3.9.4. Detail Penulangan Sambungan

3.9.4.1. Geser Horizontal

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi:

$$V_{vh} = T = C = A_s f_y \quad (3.28)$$

- Kuat geser horisontal menurut SNI 2847:2013, pasal 17.5.4 adalah :

$$\phi x V_{nh} = \phi x 0,6 x b_v x l_{vh} \quad (3.29)$$

- Menurut SNI 2847:2013, pasal 11.9.9.1 tulangan geser horizontal perlu :

$$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \quad (3.30)$$

3.9.4.2. Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Menurut SNI 2847:2013, pasal 12.2.2 adalah sebagai berikut:

$$l_{d(\min)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Untuk } D \leq 19 \text{ mm} : l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.31)$$

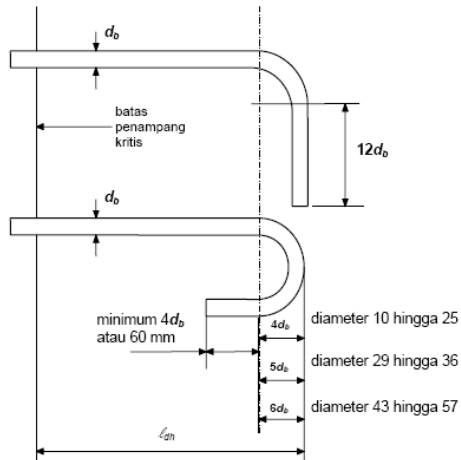
$$D \geq 22 \text{ mm} : l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.32)$$

Dengan pengaruh dari faktor pengali pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik

ψ_t = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300mm beton segar dicor dibawah panjang penyaluran atau sambungan	1,3
Situasi lain	1,0
ψ_e = faktor pelapis	
Batang atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (dikalvanis)	1,0
ψ_s = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil atau kawat ulir	0,8
Batang D-22 dan yang lebih besar	1,0
λ = faktor agregat ringan	
Apabila f_{ct} ditetapkan	0,75
Beton normal	1,0

3.9.4.3. Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik



Gambar 3.8 Detail kaitan untuk penyaluran kait standar
(Sumber: SNI 2847:2013)

Dijelaskan pada Gambar 3.8 mengenai detail kaitan. Menurut SNI 2847:2013, pasal 12.5.2 adalah sebagai berikut:

$$l_{h(\min)} = 8d_b \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran dasar dicari dengan rumus ℓ

$$d_h = (0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b \quad (3.33)$$

Dengan faktor pengali pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Faktor pengali penyaluran tulangan berkait dalam tarik

Kondisi	Faktor
Selimut Beton, batang D-36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm dan untuk kait 90° dengan tebal selimut terhadap kait tidak kurang dari 50 mm	0,70

Sengkang, batang D-36 dan yang lebih kecil yang secara vertikal atau horisontal dilindungi oleh sengkang yang dipasang sepanjang l_{dh} dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$	0,80
Untuk kait 180 derajat dari batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan tidak lebih besar dari $3d_b$	0,8

3.10. Perencanaan *Basement* dan Pondasi

Struktur *basement* direncanakan menggunakan material beton bertulang dengan cor di lokasi. Penulangan dinding *basement* dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 2847:2013. Ketebalan dinding *basement* dikontrol sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 1729:2013 pasal 22.6.6.3. Kemudian, elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah. Penulangan pelat lantai *basement* dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 1729:2013.

Beban dari struktur atas akan diteruskan ke tanah melalui pondasi. Pondasi pada gedung pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan tiang pancang beton pracetak. Perhitungan daya dukung tanah vertikal menggunakan formula dari Luciano Decourt, sedangkan kekuatan lateral dihitung dengan formula dari Sosrodaryono dan Nakazawa (2000). Pondasi dikontrol terhadap kekuatan bahan dan kekuatan tanah.

3.10.1. Daya Dukung Tiang Vertikal

Luciano Decourt memberikan formula daya dukung tiang vertikal sebagai berikut.

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.34)$$

$$q_p = N_p + K \quad (3.35)$$

$$Q_S = q_s A_s \quad (3.36)$$

$$Q_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s$$

3.10.2. Daya Dukung Tiang Horizontal

Daya dukung tiang horizontal dihitung berdasarkan beban pergeseran normal yang diizinkan pada kepala tiang, yaitu pergeseran paling maksimum pada ujung kepala tiang. Bila besarnya pergeseran normal sudah ditetapkan, maka daya dukung mendatar yang diizinkan dapat ditentukan. Formula berikut diberikan oleh Sosrodarsono dan Nakazawa (2000).

$$H_a = \left(\frac{4EI\beta^3}{1 + \beta h} \right) \delta_a \quad (3.37)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}} \quad (3.38)$$

$$k = k_0 y^{-0.5} \quad (3.39)$$

$$k_0 = 0.2 E_0 D^{\frac{3}{4}} \quad (3.40)$$

$$E_0 = 28N \quad (3.41)$$

Di mana:

H_a	= kapasitas daya dukung horizontal tiang
E	= modulus elastisitas bahan
I	= momen inersia penampang
δ	= pergeseran normal (diambil 1 cm)
k	= koefisien reaksi tanah dasar
k_o	= $0,2 E_o D^{-3/4}$
y	= besarnya pergeseran yang dicari
E_o	= modulus elastisitas tanah (28N)
h	= tinggi tiang di atas tanah

3.10.3. Kebutuhan Tiang Pancang

Pada gedung ini digunakan pondasi tiang dengan ilustrasi pada Gambar 3.9.

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (3.42)$$

$$2.5D \leq S \leq 5D$$

$$2.5D \leq S1 \leq 3D$$

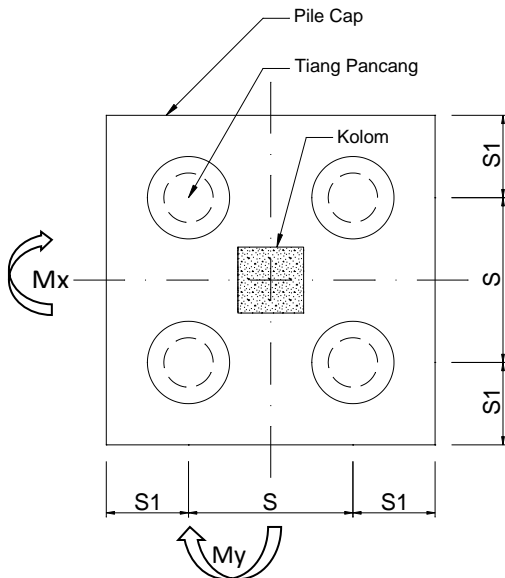
Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

$$P_{satuTP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{MyX_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{MxY_{\max}}{\sum y^2} \quad (3.43)$$

Efisiensi satu tiang pancang:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.44)$$

$$P_{grouptiang} = \eta P_{ijin}$$



Gambar 3.9 Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang

3.10.4. Perencanaan Terhadap Geser

a) Kontrol geser satu arah

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$\phi \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b_o d \geq V_u$$

(3.45)

b) Kontrol geser dua arah (geser ponds)

Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil, sesuai *SNI 2847:2013 pasal 11.11.2*

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

(3.46)

atau

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f' c} b_o d \quad (3.47)$$

Di mana α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut, atau

$$V_c = 0.33 \lambda \sqrt{f' c} b_o d \quad (3.48)$$

3.11. Metode Pelaksanaan

Setelah perhitungan dan perancangan struktur, dilakukan pengurutan langkah-langkah pengerjaan melalui metode pelaksanaan. Metode pelaksanaan akan menggambarkan secara umum proses pekerjaan mulai dari fabrikasi beton pracetak hingga pekerjaan struktur selesai.

3.12. Penggambaran Hasil Perhitungan

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan menggunakan *software* AutoCAD.

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, dinding geser, pelat, dan kolom. Sebelum melakukan *preliminary* sebaiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.1.2. Data Perencanaan

Sebelum perhitungan *preliminary design* perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima struktur gedung tersebut. Pada perencanaan gedung *One East Residences* Surabaya dimodifikasi menggunakan beton pracetak biasa dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Fungsi bangunan : Gedung Apartemen dan *retail*
- Lokasi : Kota Surabaya, Jawa Timur
- Jumlah Lantai : 27 lantai *tower* dan 1 *basement*
- Ketinggian Lantai : a) Lantai basement = 4,00 m
b) Lantai dasar s.d. 2 = 4,00 m
c) Lantai 3 s.d. 27 = 3,50 m
- Tinggi Bangunan : 95,5 m dari jalan raya
- Total luas area : $\pm 5.402 \text{ m}^2$
- Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa
- Mutu baja (f_y) : 390 MPa
- Letak bangunan : Dekat pantai

4.1.3. Pembebanan

1. Beban Statis (SNI 1727:2012)

➤ Beban Mati (PPIUG 1983)

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m³
- Tegel : 24 kg/m²
- Dinding ½ bata : 250 kg/m³
- Plafon : 11 kg/m²
- Penggantung : 7 kg/m²
- *Plumbing + ducting* : 25 kg/m²
- Spesi : 21 kg/m²

➤ Beban Hidup

- Beban atap : 100 kg/m²
- Lantai : 250 kg/m²
- Pelat tangga dan bordes : 300 kg/m²

2. Beban Angin

- Dekat dengan pantai : 40 kg/m²

3. Beban Gempa

- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726:2012.

4.1.4. Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi dalam tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (*rectangular beam*). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem pabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke lokasi proyek lalu dilakukan *overtopping (cast in situ)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan sistem tersebut maka akan terbentuk struktur yang monolit.

Dimensi balok yang diisyaratkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada Tabel 9.5.1 adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Untuk f_y selain 420 MPa, nilai dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$ (SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a))

Untuk lebar balok diambil $2/3$ dari tinggi balok :

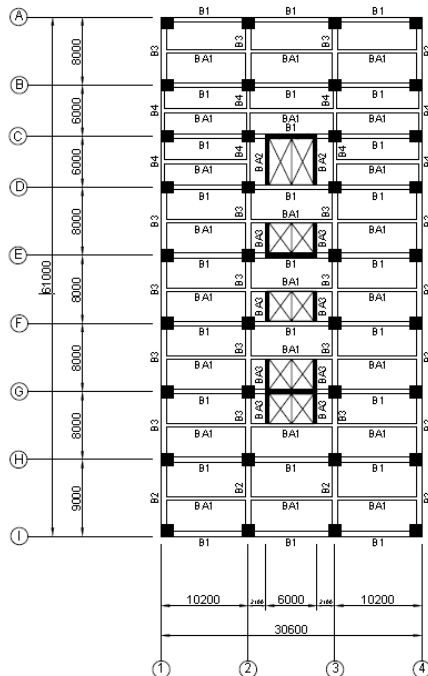
$$b = \frac{2}{3} \times h$$

di mana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

L_b = lebar kotor dari balok



Gambar 4.1 Denah pembalokan

4.1.4.1. Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan:

➤ **Balok induk memanjang (B1 dengan L = 10,2 meter)**

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b = \frac{1}{16} \times 1020 \text{ cm} = 63,75 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 63,75 \times (0,4 + f_y/700) = 61,02 \text{ cm digunakan } h = 80 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 61,02 \text{ cm} = 40,68 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = 40,68 \text{ cm digunakan } b = 60 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang B1 dengan dimensi 60/80.

➤ **Balok induk melintang (B2 dengan L = 9 meter)**

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b = \frac{1}{16} \times 900 \text{ cm} = 56,25 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 56,25 \times (0,4 + f_y/700) = 53,84 \text{ cm digunakan } h = 80 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 53,84 \text{ cm} = 35,89 \text{ cm}$$

$$b = 35,89 \text{ cm digunakan } b = 60 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk melintang B2 dengan dimensi 60/80.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode	Lb (cm)	h min (cm)	h (cm)	B (cm)	h pakai (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)	Jumlah
B1	1020	63.75	61.02	40.68	80	60	60/80	27
B2	900	56.25	53.84	35.89	80	60	60/80	4
B3	800	50.00	47.86	31.90	60	40	40/60	20

4.1.4.2. Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan :

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times L \quad (\text{SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a)})$$

Untuk f_y selain 420 MPa, nilai dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$ (SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a))

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

Di mana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

➤ **Balok anak (BA1 dengan L = 10,2 meter)**

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times 1020 \text{ cm} = 48,57 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 48,57 \text{ cm digunakan } h = 60 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 48,57 = 30,99 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = 30,99 \text{ cm digunakan } b = 40 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak dengan dimensi 40/60.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode	Lb (cm)	h min (cm)	h (cm)	B (cm)	h pakai (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)	Jumlah
BA1	1020	48.57	46.49	30.99	60	40	40/60	24
BA2	600	28.57	27.35	18.23	40	30	20/30	2
BA3	400	19.05	18.23	12.15	40	30	20/30	8

4.1.5. Perencanaan Tebal Pelat

4.1.5.1. Peraturan Perencanaan Pelat

Peraturan penentuan tebal pelat minimum satu arah dan dua arah menggunakan persyaratan pada SNI 2847:2013. Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5 tabel 9.5(a).

Syarat ketebalan pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya:

- a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2
1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
 2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
- b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

(SNI 2847:2013, persamaan 9-12)

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

(SNI 2847:2013, persamaan 9-13)

Di mana:

ℓ_n = panjang bentang bersih arah memanjang pelat (m)

β = rasio panjang bentang arah memanjang dengan arah memendek pelat

α_m = nilai rata-rata dari α untuk semua balok pada tepi dari suatu pelat

α = rasio dari kekuatan lentur penampang balok dengan kekakuan pelat

f_y = kuat leleh baja non-prategang (MPa)

$$\alpha = \frac{E_{balok} \times I_{balok}}{E_{pelat} \times I_{pelat}}$$

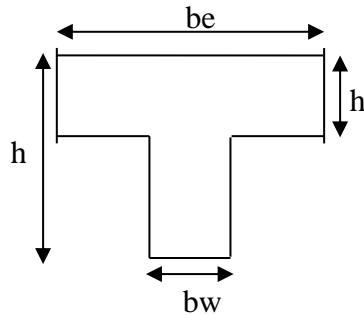
$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times bw \times h^3 \times k$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{1}{12} \times b \times t^3$$

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

Perumusan untuk mencari lebar flens pada balok SNI 2847:2013 pasal 8.12

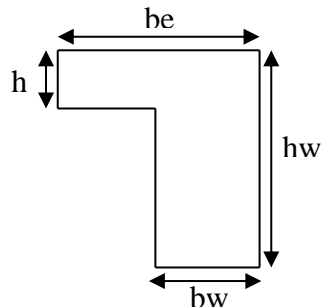
- Balok tengah (Interior)
 - $be_1 \leq bw + 2(8hf)$
 - $be_2 \leq bw + (2 \times \frac{1}{2} Ln)$
 - dipakai yang terkecil



Menurut SNI 2847:2013 pasal 8.12.2: nilai lebar slab efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh memenuhi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

- Delapan kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

- Balok tepi (Eksterior)
 - $be_1 \leq bw + \frac{L}{12}$
 - $be_2 \leq bw + 6hf$
 - $be_3 \leq bw + \frac{1}{2} Ln$
 - dipakai yang terkecil



Menurut SNI 2847:2013 pasal 8.12.3: Nilai lebar sayap efektif yang menggantung tidak boleh melebihi:

- Seperduabelas panjang bentang balok
- Enam kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

4.1.5.2. Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 5 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu :

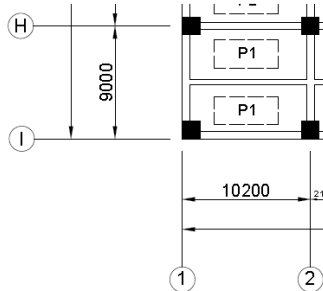
- Pelat tipe P1 : 1020 x 450 cm

Tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Mutu beton (f'_c) = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- Tebal pelat rencana (t) = 18 cm

Untuk perhitungan pelat satu arah adalah sebagai berikut:

- Pelat tipe P1 ukuran 1020 cm x 450 cm



Gambar 4.2 Tipe pelat P1

$$L_n = 1020 - \left(\frac{60}{2} + \frac{60}{2} \right) = 960 \text{ cm}$$

$$S_n = 450 - \left(\frac{60}{2} + \frac{40}{2} \right) = 400 \text{ cm}$$

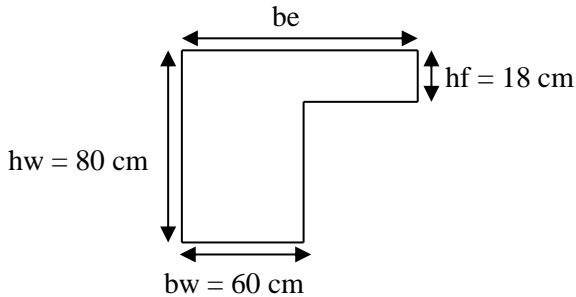
4.1.5.3. Kontrol Tebal Pelat

Untuk pelat tipe P1 dengan dimensi 1020 cm x 450 nilai β adalah

$$\beta = \frac{Ln}{S_n} = \frac{960}{400} = 2,4 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

$\beta > 2$ tergolong dalam pelat satu arah, maka perhitungan lebar sayap efektif adalah:

1. Balok induk B1 L = 1020 cm (60/80) (Eksterior)



$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12} = 60 + \frac{1020}{12} = 145 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf = 60 + 6(18) = 168 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} S_n = 60 + \frac{1}{2} (970) = 545 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 145 \text{ cm}$... (terkecil)

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{145}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18}{80}\right) + 4 \left(\frac{18}{80}\right)^2 + \left(\frac{145}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{145}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right)}$$

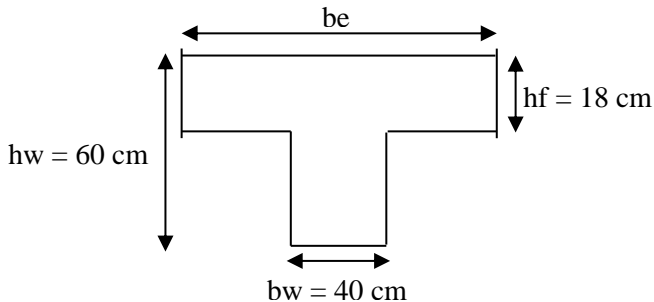
$$k = 1,69$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times b_w \times h_w^3 \times k \\
 &= \frac{1}{12} \times 60 \times 80^3 \times 1,69 \\
 &= 4335019,95 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times h_f^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 600 \times 18^3 \\
 &= 495720 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{4335019,95}{495720} = 8,74$$

2. Balok anak BA1 L = 1020 cm (40/60) (Interior)



$$b_{e_1} \leq b_w + 2(8h_f) = 40 + 2(8 \times 18) = 328 \text{ cm}$$

$$b_{e_2} \leq b_w + \left(2 \times \frac{1}{2} L_n\right) = 40 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 970\right) = 1010 \text{ cm}$$

Maka dipakai $b_e = 328 \text{ cm}$... (terkecil)

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{328}{40} - 1\right) \left(\frac{18}{60}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18}{60}\right) + 4 \left(\frac{18}{60}\right)^2 + \left(\frac{328}{40} - 1\right) \left(\frac{18}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{328}{40} - 1\right) \left(\frac{18}{60}\right)}$$

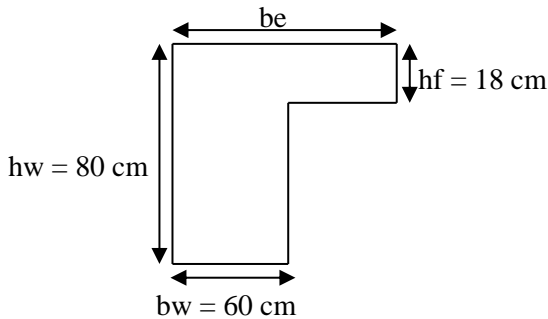
$$k = 2,88$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \times 2,88 \\ &= 2075583,19 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 600 \times 18^3 \\ &= 495720 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{2075583,19}{495720} = 4,19$$

3. Balok induk B2 L = 450 cm (60/80) (Eksterior)



$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12} = 60 + \frac{450}{12} = 97,5 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf = 60 + 6(18) = 168 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} L_n = 60 + \frac{1}{2} (390) = 255 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 97,5 \text{ cm}$... (terkecil)

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{97,5}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18}{80}\right) + 4 \left(\frac{18}{80}\right)^2 + \left(\frac{97,5}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{97,5}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right)}$$

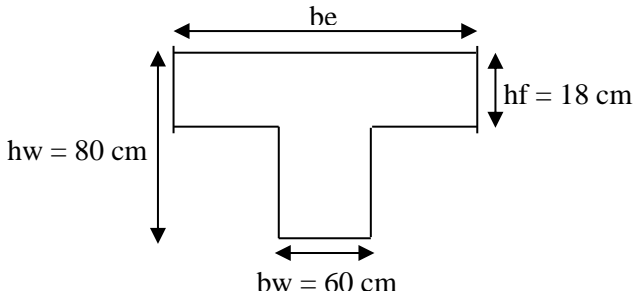
$$k = 1,35$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 60 \times 80^3 \times 1,35 \\ &= 3462542,81 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 300 \times 18^3 \\
 &= 218700 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{3462542,81}{218700} = 15,83$$

4. Balok induk B2 L = 450 cm (60/80) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 60 + 2(8 \times 18) = 348 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 60 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 390\right) = 450 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 348 \text{ cm}$... (terkecil)

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{348}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right) \left[4 - 6\left(\frac{18}{80}\right) + 4\left(\frac{18}{80}\right)^2 + \left(\frac{348}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{348}{60} - 1\right) \left(\frac{18}{80}\right)}$$

$$k = 2,51$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times b w \times h w^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 60 \times 80^3 \times 2,51 \\ &= 6424306,46 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times h f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 300 \times 18^3 \\ &= 218700 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{6424306,46}{218700} = 29,37$$

$$\text{Jadi, } \alpha_m = \frac{8,74 + 4,19 + 15,83 + 29,37}{4} = 14,53$$

Karena $\alpha_m > 2$ maka perletakan pelat adalah jepit penuh

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3(c) yang mana $\alpha_m > 2$ maka ketebalan pelat minimum adalah:

$$h = \frac{\ell n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

$$h = \frac{970 \left(0,8 + \frac{390}{1400} \right)}{36 + 9 \times 2,49} = 17,92 \text{ cm} \approx 18 \text{ cm}$$

Maka digunakan tebal pelat 18 cm

Tabel 4.3 Rekapitulasi Dimensi Pelat

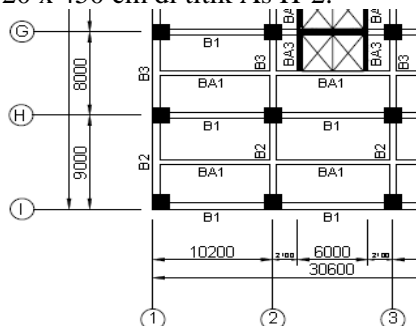
Tipe	Ly (cm)	Lx (cm)	Ln (cm)	Sn (cm)	β	Ket.	h min (cm)	h pakai (cm)
P1	1020	450	970	390	2,49	1 arah	17,92	18
P2	1020	400	970	360	2,69	1 arah	17,36	18
P3	1020	300	970	260	3,73	1 arah	15,04	18
P4	600	210	540	165	3,27	1 arah	9,90	18
P5	400	210	340	165	2,06	1 arah	6,72	18

Tebal pelat yang direncanakan 18 cm telah memenuhi syarat. Perincian elemen pelat yang merupakan pelat pracetak adalah:

- Tebal pelat pracetak = 10 cm
- Tebal *overlapping* = 8 cm

4.1.6. Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Pada tugas akhir ini, kolom yang hendak direncanakan memikul beban pada luasan pelat ukuran 1020 x 450 cm di titik As H-2.



Gambar 4.3 Kolom titik As H-2

4.1.6.1. Beban yang diterima basement dan lantai 1 – 2

a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: $10,5 \times 9 \times 0,18 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 40824 kg
Balok induk		
Memanjang	: $0,6 \times 10,5 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 12096 kg
Melintang	: $0,6 \times 9 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 10368 kg
Balok anak		
Memanjang	: $0,4 \times 10,5 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2$	= 12096 kg
Melintang	: $0 \times 0 \times 0 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0$	= 0 kg
Kolom	: $1,4 \times 1,4 \times 4 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 18816 kg
Langit-Langit & Penggantung		
	: $10,5 \times 9 \times 18 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1701 kg
Spesi (1cm)	: $10,5 \times 9 \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1984,5 kg
Dinding bata	: $19,5 \times 4 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 19500 kg
Plumbing	: $10,5 \times 9 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 945 kg
Sanitasi	: $10,5 \times 9 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1890 kg +
Berat Total (DL)		= 120220,5 kg

b. Beban hidup

Beban lantai:	$10,5 \times 9 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 23625 kg+
Berat Total (LL)		= 23625 kg

4.1.6.2. Beban yang diterima lantai 3 – 10

a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: $10,5 \times 9 \times 0,18 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 40824 kg
Balok induk		
Memanjang	: $0,6 \times 10,5 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 12096 kg
Melintang	: $0,6 \times 9 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 10368 kg
Balok anak		
Memanjang	: $0,4 \times 10,5 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2$	= 12096 kg
Melintang	: $0 \times 0 \times 0 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0$	= 0 kg
Kolom	: $1,4 \times 1,4 \times 3,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 16464 kg
Langit-Langit & Penggantung		
	: $10,5 \times 9 \times 18 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1701 kg

Spesi (1cm)	: $10,5 \times 9 \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1984,5 kg
Dinding bata	: $19,5 \times 3,5 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 17062,5 kg
Plumbing	: $10,5 \times 9 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 945 kg
Sanitasi	: $10,5 \times 9 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1890 kg +
	Berat Total (DL)	= 115431 kg

b. Beban hidup

Beban lantai:	$10,5 \times 9 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 23625 kg+
	Berat Total (LL)	= 23625 kg

4.1.6.3. Beban yang diterima lantai 11 – 20

a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: $10,5 \times 9 \times 0,18 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 40824 kg
Balok induk		
Memanjang	: $0,6 \times 10,5 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 12096 kg
Melintang	: $0,6 \times 9 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 10368 kg
Balok anak		
Memanjang	: $0,4 \times 10,5 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2$	= 12096 kg
Melintang	: $0 \times 0 \times 0 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0$	= 0 kg
Kolom	: $1,1 \times 1,1 \times 3,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 10164 kg
Langit-Langit & Penggantung		
	: $10,5 \times 9 \times 18 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1701 kg
Spesi (1cm)	: $10,5 \times 9 \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1984,5 kg
Dinding bata	: $19,5 \times 3,5 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 17062,5 kg
Plumbing	: $10,5 \times 9 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 945 kg
Sanitasi	: $10,5 \times 9 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1890 kg +
	Berat Total (DL)	= 109131 kg

b. Beban hidup

Beban lantai:	$10,5 \times 9 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 23625 kg+
	Berat Total (LL)	= 23625 kg

4.1.6.4. Beban yang diterima lantai 21 – 27

a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: $6 \times 3 \times 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5,75 \times 25 =$	745200 kg
Balok induk		
Memanjang	: $12 \times 0,6 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 25 =$	345600 kg

Melintang	: $8 \times 0,6 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 25$	= 259200 kg
Balok anak		
Memanjang	: $6 \times 0,4 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 4 \times 25$	= 345600 kg
Melintang	: $9 \times 0,4 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1,75 \times 25$	= 226800 kg
Kolom	: $1,5 \times 1,5 \times 3,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 25$	= 472500 kg
Langit-Langit & Penggantung		
	: $12 \times 9 \times 18 \text{ kg/m}^2 \times 25$	= 48600 kg
Spesi (1cm)	: $12 \times 9 \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 25$	= 56700 kg
Dinding bata	: $21 \times 3,5 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 25$	= 459375 kg
Plumbing	: $12 \times 9 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 25$	= 27000 kg
Sanitasi	: $12 \times 9 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 25$	= 54000 kg +
	Berat Total (DL)	= 3040575 kg

b. Beban hidup

Beban lantai:	$12 \times 9 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 25$	= 675000 kg +
	Berat Total (LL)	= 675000 kg

4.1.6.5. Beban yang diterima lantai atap

a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: $10,5 \times 9 \times 0,18 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 40824 kg
Balok induk		
Memanjang	: $0,6 \times 10,5 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 12096 kg
Melintang	: $0,6 \times 9 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1$	= 10368 kg
Balok anak		
Memanjang	: $0,4 \times 10,5 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2$	= 12096 kg
Melintang	: $0 \times 0 \times 0 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0$	= 0 kg
Langit-Langit & Penggantung		
	: $10,5 \times 9 \times 18 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1701 kg
Spesi (1cm)	: $10,5 \times 9 \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1984,5 kg
Dinding bata	: $19,5 \times 3,5 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 17062,5 kg
Plumbing	: $10,5 \times 9 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 945 kg
Sanitasi	: $10,5 \times 9 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 1890 kg +
	Berat Total (DL)	= 98967 kg

b. Beban hidup

Beban atap	: $10,5 \times 9 \times 100 \text{ kg/m}^2 \times 1$	= 9450 kg
------------	--	-----------

$$\begin{aligned} \text{Air Hujan} & : 10,5 \times 9 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 1 & = 1890 \text{ kg} \\ & \text{Berat Total (LL)} & = 11340 \text{ kg} \end{aligned}$$

Koefisien Reduksi untuk beban hidup untuk hotel/apartemen (PPIUG tabel 3.3) = 0,75. Jadi, total beban untuk beban hidup :

$$\begin{aligned} L_L & = 0,75 \times W_{L\text{total}} \\ L_L & = 0,75 \times 768960 \text{ kg} \\ & = 576720 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat total} & = 1,2 D_L + 1,6 L_L \\ & = 1,2 (3151986) + 1,6 (576720) \\ & = 4705135,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 (b) aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi ($\phi=0,65$).

$$\text{Mutu beton} = 35 \text{ MPa} = 35 \times 10 = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Rencana awal} \rightarrow A = \frac{W}{\phi f'c} = \frac{4642569}{0,65 \times 400} = 17856,03 \text{ cm}^2$$

$$\text{Misalkan } b=h, \text{ maka } b^2 = 17856,03 \text{ cm}^2$$

$$b = 133,627 \text{ cm} \approx 140 \text{ cm}$$

agar lebih efisien maka dimensi kolom :

- *Basement* & Lantai 1 s.d. 10 = 140 cm
- Lantai 11 s.d. 20 = 110 cm
- Lantai 21 s.d. 27 = 80 cm

4.1.7. Perencanaan Tebal Dinding Geser

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil dan tidak kurang dari 100 mm. Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser direncanakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tebal dinding geser} & = 30 \text{ cm} \\ \text{Panjang bentang dinding} & = 740 \text{ cm} \\ \text{Tinggi dinding} & = 400 \text{ cm} \\ T \geq H/25 = 400/25 & = 16 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$T \geq L/25 = 740/25 = 29,6 \text{ cm}$$

Dengan demikian tebal dinding geser 30 cm memenuhi.

4.2. Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1. Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 18 cm dengan perincian tebal pelat pracetak 10 cm dan pelat cor setempat / *overtopping* 8 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 1727:2013). Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu:

1. Sebelum komposit, keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran *topping* yaitu komponen pracetak dan komponen *topping* belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.
2. Sesudah komposit, keadaan ini terjadi apabila *topping* dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Permodelan pelat utama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit akan digunakan untuk perhitungan tulangan pelat. Pelat pada saat awal pemasangan atau saat sebelum komposit diasumsikan memiliki perletakan bebas dengan tulangan lapangan saja.

Sedangkan pada saat setelah komposit diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis. Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan yang direncanakan. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

4.2.1.1. Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan *preliminary design* adalah :

- Tebal pelat = 18 cm
- Mutu beton (f'_c) = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- Diameter tulangan rencana (D) = 10 mm

4.2.1.2. Pembebanan Pelat Lantai

➤ Sebelum komposit

- Beban mati (DL)
 - Berat sendiri = $0,10 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)
 - Beban kerja = 250 kg/m^2

➤ Setelah komposit

- Beban mati (DL)
 - Berat sendiri = $0,18 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}^2$
 - Plafon+penggantung = $11 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$
 - Ubin (t = 2 cm) = $0,02 \times 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$
 - Spesi (t = 2 cm) = $0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
 - Plumbing + sanitasi = $10 + 20 \text{ kg/m}^2 = 30 \text{ kg/m}^2$ +
 - DL = 570 kg/m^2
- Beban hidup (LL)
 - Beban hidup pada lantai LL = 250 kg

4.2.1.3. Pembebanan Pelat Atap

➤ Sebelum komposit

- Beban mati (DL)
 - Berat sendiri = $0,10 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)
 - Beban kerja = 200 kg/m^2
 - Beban air hujan = 20 kg/m^2 +
 - LL = 220 kg/m^2

➤ Setelah komposit

- Beban mati (DL)
 - Berat sendiri = $0,18 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Plafon+penggantung} & = 11 + 7 \text{ kg/m}^2 & = 18 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Aspal (t = 1 cm)} & = 0,01 \times 1400 & = 14 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Spesi (t = 2 cm)} & = 0,02 \times 2100 & = 42 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Plumbing + sanitasi} & = 10 + 20 \text{ kg/m}^2 & = \frac{30 \text{ kg/m}^2}{\text{DL}} + \\
 & & = 536 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

- **Beban hidup (LL)**

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Beban hidup pada atap} & & = 200 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban air hujan} & & = \frac{20 \text{ kg/m}^2}{\text{LL}} + \\
 & & = 220 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

Sesuai SNI 1727:2013 pasal 4.7, beban hidup dapat direduksi 20% untuk komponen yang menumpu 2 lantai atau lebih.

$$\text{Beban hidup} = 0,8 \times 220 \text{ kg/m}^2 = 176 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.4. Kombinasi pembebanan pelat

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 (9-2) didapatkan

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai**:

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 240 + 1,6 \times 250 = 688 \text{ kg/m}^2$$
- Keadaan 2 sebelum komposit, *topping* telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 432 + 1,6 \times 0 = 518,4 \text{ kg/m}^2$$
- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 570 + 1,6 \times 250 = 1084 \text{ kg/m}^2$$
 Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap** :
- Keadaan 1, ada beban kerja

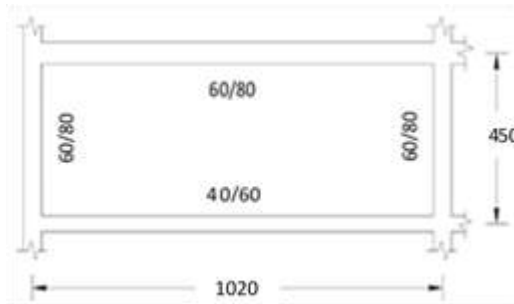
$$Q_u = 1,2 \times 240 + 1,6 \times 220 = 640 \text{ kg/m}^2$$
- Keadaan 2, *topping* telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 432 + 1,6 \times 0 = 518,4 \text{ kg/m}^2$$
- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 536 + 1,6 \times 176 = 924,8 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.5. Perhitungan Tulangan Pelat

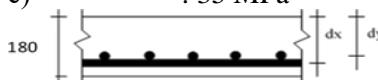
Perhitungan pelat untuk semua lantai digunakan pelat P1 persegi panjang 10,2 m × 4,5 m. Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis di antara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Berikut ini merupakan langkah-langkah dan perhitungan yang digunakan dalam menentukan penulangan pelat, antara lain :



Gambar 4.4 Pelat tipe P1

- Menentukan data perencanaan untuk penulangan pelat :

Dimensi pelat	: 1020 cm × 450 cm
Tebal pelat pracetak	: 100 mm (sebelum komposit)
Tebal <i>overtopping</i>	: 80 mm
Tebal selimut beton	: 20 mm
Diameter tulangan rencana	: 10 mm
Mutu tulangan baja (f_y)	: 390 MPa
Mutu beton (f'_c)	: 35 MPa



Gambar 4.5 Potongan Pelat tipe P1

- Kondisi sebelum komposit

$$dx = 100 - 20 - \frac{10}{2} = 75 \text{ mm}$$

$$dy = 100 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 65 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 180 - 20 - \frac{10}{2} = 155 \text{ mm}$$

$$dy = 180 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 145 \text{ mm}$$

- Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan 2847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut:

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{78,54 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 1,03 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,03}{0,8} = 1,29 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{10}{1,29} - 1 \right) 0,003 = 0,15$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3 didapat $\phi = 0,9$

$p_{\min} = 0,0020$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Ly = 1020 - \left(\frac{60}{2} + \frac{60}{2} \right) = 960 \text{ cm}$$

$$L_x = 450 - \left(\frac{60}{2} + \frac{40}{2} \right) = 400 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{960}{400} = 2,4 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

Pada penulangan pelat satu arah hanya terdapat satu tulangan utama yaitu searah melintang pelat. Sedangkan tulangan yang terdapat pada arah memanjang pelat merupakan tulangan pembagi yang berfungsi untuk menahan susut dan suhu.

Penulangan pokok pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan pokok maupun tulangan bagi direncanakan menggunakan tulangan D10 mm ($A_s = 78,54 \text{ mm}^2$).

4.2.1.6. Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit di kedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{960}{400} = 2,4 \geq 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

- $M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 x \rightarrow x = 83$
- $M_{uly}^{(+)} = M_{uty}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_y^2 y \rightarrow y = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

▪ Penulangan arah X (tulangan utama)

$Q_u = 518,4 \text{ kg/m}^2$ (saat keadaan 2, *topping* telah terpasang)

$$\begin{aligned} M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} &= 0,001 \times 518,4 \times 2,5^2 \times 83 \\ &= 688,44 \text{ kgm} = 6884400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{0,688 \times 10^7}{0,9} = 0,765 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{0,765 \times 10^7}{1000 \times 75^2} = 1,36$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,36}{390}} \right) = 0,004 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}} = 0,0020$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004 \times 1000 \times 75 = 267,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \\ &= \frac{267,78}{78,54} = 3,41 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{jarak tulangan (s)} = 1000/4 = 250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D_{10}} \\ &= 4 \times 78,54 \text{ mm}^2 \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} \dots \dots \text{ OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-250 mm.

▪ Penulangan arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 65 = 130 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

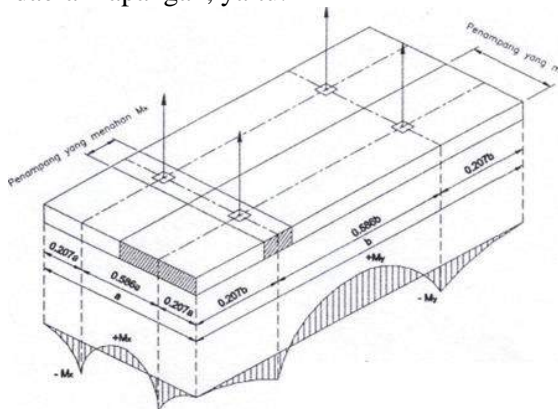
$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 100 \\ &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D10}}} \\ &= \frac{130}{78,54} = 1,66 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$
Maka digunakan tulangan susut D10-450 mm.

4.2.1.7. Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (*erection*). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan referensi *PCI Design Handbook* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 di mana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



Gambar 4.6 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)
(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe P1: $1020 \times 450 \text{ cm}$ ($L_x = 400 \text{ cm}$, $L_y = 960 \text{ cm}$)

Ditentukan $a = 4 \text{ m}$ dan $b = 9,6 \text{ m}$

Dengan $w = (0,10 \times 2400) = 240 \text{ kg/m}$

Maka:

$M_x = 0,0107 \times 240 \times 4^2 \times 9,6 = 394,44 \text{ kgm}$

$M_y = 0,0107 \times 240 \times 4 \times 9,6^2 = 946,67 \text{ kgm}$

▪ **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$M_u = 394,44 \text{ kgm} = 3944448 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3944448}{0,9} = 4382720 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{1000 \times d x^2} = \frac{4382720}{1000 \times 75^2} = 0,78$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,78}{390}} \right) = 0,00202 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00202 > \rho_{\text{min}} = 0,0020$ dipakai ρ_{min} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00202 \times 1000 \times 75 = 151,85 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan minimum, $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\begin{aligned} &\leq 3 \times 100 \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ } \varnothing 10}} \\ &= \frac{151,85}{78,54} = 1,93 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan lentur D10-450 mm.

▪ **Penulangan arah Y (tulangan susut)**

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,002$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 65 = 130 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 100 \\ &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D10}} \\ &= \frac{130}{78,54} = 1,66 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-450 mm.

4.2.1.8. Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$Q_u = 1084 \text{ kg/m}^2$ (saat keadaan 3, setelah komposit)

$$d_x = 155 \text{ mm}$$

$$d_y = 145 \text{ mm}$$

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit di kedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{960}{400} = 2,4 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

- $M_{ux^{(+)}} = M_{utx^{(-)}} = 0,001 Q_u L_x^2 x \rightarrow x = 83$
- $M_{uy^{(+)}} = M_{uty^{(-)}} = 0,001 Q_u L_y^2 y \rightarrow y = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

▪ **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} \text{Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} &= 0,001 \times 1084 \times 4^2 \times 83 \\ &= 1439,55 \text{ kgm} = 14395520 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{14395520}{0,9} = 15995022,22 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{15995022,22}{1000 \times 155^2} = 0,67$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,67}{390}} \right) = 0,0017 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0017 < \rho_{\text{min}} = 0,0020$ maka dipakai $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0,002$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 155 = 310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 180 \\ &\leq 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{ D10}}} \\ &= \frac{310}{78,54} = 3,95 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/4 = 250 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots$ (OK)

Maka digunakan tulangan lentur D10-250 mm.

▪ **Penulangan arah Y**

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 145 = 290 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum, $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\leq 5 \times 180$$

$$\leq 900 \text{ mm}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ } \varnothing 10}} \\ &= \frac{290}{78,54} = 3,69 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/4 = 250 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots$ (OK)

Maka digunakan tulangan susut D10-250 mm.

4.2.1.9. Penulangan *Stud* Pelat Lantai

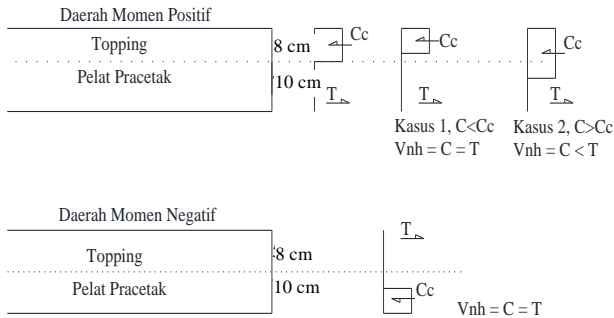
Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan *topping* cor setempat maka transfer gaya regangan horizontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh *topping* cor setempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor di tempat maka dipakai tulangan *stud*.

Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horizontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik di dalam sembarang *segmen* dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horizontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horizontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Gambar 4.7 Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

Perhitungan stud pelat 1020 cm × 450 cm

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'_c \times A_{\text{topping}} \\ &= 0,85 \times 35 \times 80 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 2380000 \text{ N} = 2380 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipakai stud D16 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T \\ &= A_s \times f_y \\ &= 201,06 \times 390 = 78414,15 \text{ N} = 78,414 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 155 \\ &= 85250 \text{ N} = 85,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{nh} < 0,55.b_v.d \text{(OK)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontakannya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55.b_v.d$ dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horizontal,

luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$S_{\text{maks}} = 4 \times 80 \text{ mm} \\ = 320 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

maka, $S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$

SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.3:

$$A_{v_{\text{min}}} = 0,0062 \sqrt{f'c} \frac{bw \times s}{f_y} \\ = 0,0062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 300}{390} = 282,15 \text{ mm}^2$$

$$A_v \geq (0,35 b_w \cdot S) / f_y = (0,35 \times 1000 \times 300) / 390 = 269,23 \text{ mm}^2$$

maka, $A_{v_{\text{min}}} = 282,15 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan stud D16 dengan $A_v = 670,21 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (*shear connector*) D16-300 mm ($A_v = 670,21 \text{ mm}^2$).

4.2.1.10. Kontrol Retak

Pada SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 : spasi tulangan terdekat ke muka tarik, s , tidak boleh melebihi yang diberikan oleh $s =$

$$380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Di mana :

C_c = jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik

$$= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

$$= 20 + 0 + \frac{1}{2} \times 16 = 28 \text{ mm}$$

$$f_s = 2/3 f_y = 2/3 \times 390 = 260 \text{ MPa}$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{260} \right) - 2,5 \times 25 \leq 300 \left(\frac{280}{260} \right)$$

$$s = 330,08 \text{ N/mm} \leq 330,23 \text{ N/mm}$$

4.2.1.11. Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 :

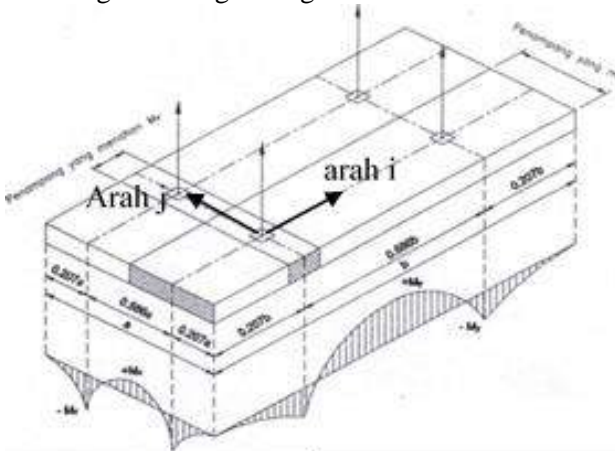
- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} = (0,24f_y \sqrt{f'_c}) / d_b$ (SNI 2847:2013 pasal 12.5.2)
 $= (0,24 \times 390 \times \sqrt{35}) / 10 = 55,37 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

4.2.1.12. Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe P1 dengan dimensi 1020 cm x 450 cm dengan empat titik pengangkatan (*four point pick up*).

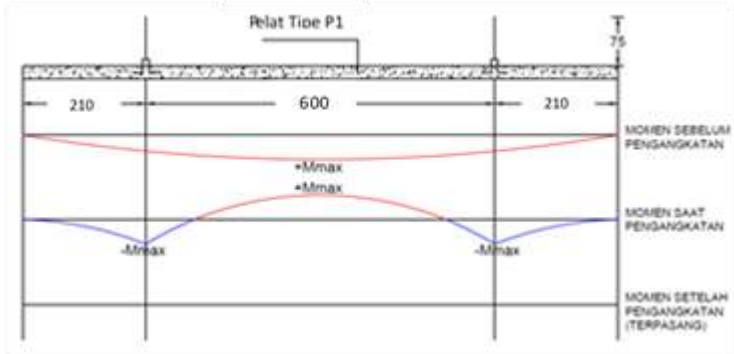
a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat



Gambar 4.8 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
 - Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
 - Pada perhitungan beban *ultimate* ditambahkan koefisien kejut ($k = 1,2$) pada saat pengangkatan.
 - $DL = 0,1 \times 10,2 \times 4,5 \times 2400 = 11016 \text{ kg}$
- b) Pengangkatan Pelat Tipe P1



Gambar 4.9 Momen pengangkatan pelat arah i



Gambar 4.10 Momen pengangkatan pelat arah j

Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta di atas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka $LL = 200 \text{ kg}$.

Beban *ultimate* = $(1,2 \times 1,2 \times 11016) + (1,2 \times 1,6 \times 200) = 16247 \text{ kg}$

Gaya angkat (Tu) setiap tulangan = $\frac{16247}{4} = 4061,76 \text{ kg}$

Sesuai PBI pasal 2.2.2, tegangan tarik izin baja

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{3900}{1,5} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

Maka diameter tulangan angkat = $\sqrt{\frac{4 \times 4061,76}{\pi \times 2600}} = 1,41 \text{ cm}$

Maka dipasang tulangan angkat D16 mm

c) Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

f_{cr} untuk beton 28 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{35} = 4,14 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,1 = 0,05 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Sixth Edition*, momen maksimum diperhitungkan

Berdasarkan gambar di atas:

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left(\frac{W_{\text{pekerja}}}{A_{\text{pelat}}} \right)$$

$$w = (0,1 \times 2400) + \left(\frac{200}{10,2 \times 4,5} \right) = 244,357 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} + M_x = - M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 244,357 \times 4^2 \times 9,6 \\ &= 401,606 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + M_y = - M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 244,357 \times 4 \times 9,6^2 \\ &= 963,855 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$P = \frac{16247}{4} = 4061,76 \text{ kg}$$

- My ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 400/2 = 200 \text{ cm}$

$$M_y = \left(\frac{P \times yc}{tg 45} \right) = \left(\frac{4061,76 \times 0,05}{tg 45} \right) = 203,088 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 963,855 + 203,088 = 1166,94 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 200 \times 10^2 = 3333,33 \text{ cm}^3$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{fc'} = 0,7 \times \sqrt{35} = 4,14 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{1166,94 \times 10^4}{3333,33 \times 10^3} \\ = 3,5 \text{ MPa} < f_r \text{ (Ok)}$$

- Mx ditahan oleh penampang selebar $15t = 150 \text{ cm}$ atau $b/2 = 480 \text{ cm}$

Ambil terkecil = 150 cm

$$M_x = \left(\frac{P \times yc}{tg 45} \right) = \left(\frac{4061,76 \times 0,05}{tg 45} \right) = 203,088 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 401,606 + 203,088 = 606,694 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 150 \times 10^2 = 2500 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{606,694 \times 10^4}{2500 \times 10^3} \\ = 2,42 \text{ MPa} < f_r \text{ (Ok)}$$

Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.4 Penulangan terpasang pada pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Tulangan Angkat
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi		
P1	10,2	4,5	D10-200	D10-250	D16-300	D16
P2	10,2	4	D10-250	D10-250	D16-300	D16
P3	10,2	3	D10-250	D10-250	D16-300	D13
P4	6	2,1	D10-250	D10-250	D16-300	D10
P5	4	2,1	D10-250	D10-250	D16-300	D10

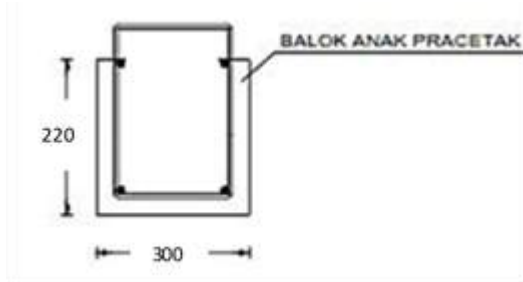
4.2.2. Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada di balok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

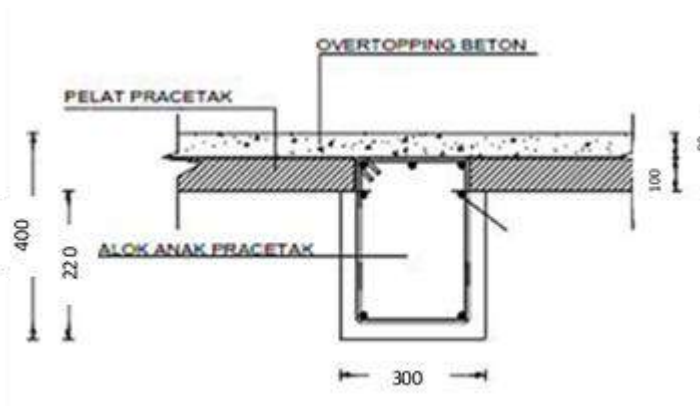
4.2.2.1. Dimensi Awal

- Dimensi balok anak : 30×40 cm
- Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa
- Mutu baja (f_y) : 390 MPa
- Tulangan lentur : D22
- Tulangan sengkang : $\emptyset 10$

Dalam perhitungan balok anak, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka terdapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.



(a)



(b)

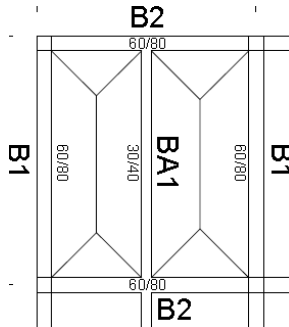
Gambar 4.11 (a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit

4.2.2.2. Pembebanan Balok Anak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan berat hidup merata di atasnya). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dianggap sebagai beban segitiga pada lajur pendek dan beban trapesium pada lajur yang panjang.

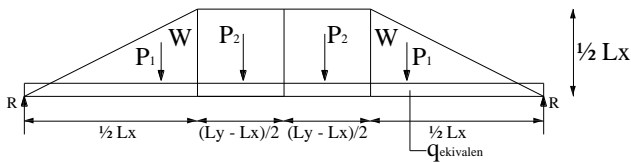
Beban-beban berbentuk trapesium maupun segitiga tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen dengan menyamakan momen maksimum akibat beban merata dengan momen maksimum akibat beban segitiga atau trapesium.

Beban ekuivalen tersebut digunakan sebagai beban merata pada balok anak maupun balok induk untuk perhitungan analisis struktur.



**Gambar 4.12 Distribusi Beban pada Balok Anak 30/40
Sebelum Komposit**

Beban ekuivalen trapesium



Beban Trapesium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P_1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P_1 + P_2$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (P_1 \times (\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx)) - (P_2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx))$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{2} P_2 \times Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{4} P_2 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) + (\frac{1}{4} P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) + (\frac{1}{24} \times q \times Lx^3) + (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{48} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 (\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2)$$

$$M_{eq} = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$M_{max} = M_{eq}$$

$$\frac{1}{8} \times q \times Ly^2 \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2 \right) \right) = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$q_{ek} = q \times \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

a. Pembebanan Sebelum Komposit :

$$Lx = 300 - (40/2 + 60/2) = 250 \text{ cm}$$

$$Ly = 600 - (60/2 + 60/2) = 540 \text{ cm}$$

▪ Beban mati (Q_{DL})

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times (0,4 - 0,18) \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 158,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sebelum komposit} &= 0,1 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 240 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sebelum komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 240 \times 2,5 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,5}{5,4} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\ &= 377,119 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

▪ Kombinasi beban

Q_u sebelum komposit

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times (158,4 + 377,119) + 1,6 \times 0 \\ &= 556,223 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Pembebanan Sesudah Komposit

▪ Beban mati (Q_{DL})

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times 0,4 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q \text{ pelat sesudah komposit} = 0,18 \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 432 \times 2,5 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,5}{5,4} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= 565,679 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- **Beban hidup (Q_{LL})**

Beban pekerja = 200 kg/m²

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,5 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,5}{5,4} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= 392,833 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- **Kombinasi beban**

Q_u sesudah komposit

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times (288 + 565,679) + 1,6 \times 392,833$$

$$= 1652,947 \text{ kg/m}$$

4.2.2.3. Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen-momen dan gaya melintang dari SNI 2847:2013 pasal 8.3.3

Momen Sebelum Komposit

Asumsi balok berada di atas dua tumpuan sederhana (sendi-rol)

$$M_{\text{max}} = 1/8 \times (556,223) \times 6^2 = 2503,004 \text{ kgm}$$

$$V = 1/2 \times (556,223) \times 6 = 1668,67 \text{ kg}$$

Momen Sesudah Komposit

$$M_{\text{tumpuan}} = -1/10 \times (1652,947) \times 6^2 = -5950,61 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 1/16 \times (1652,947) \times 6^2 = 3719,131 \text{ kgm}$$

$$V = 1/2 \times (1652,947) \times 6 = 4958,841 \text{ kg}$$

4.2.2.4. Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

Dimensi balok anak 30/40

Tebal selimut beton = 40 mm

D tulangan utama = 22 mm

D tulangan sengkang = 10 mm

Mutu beton ($f'c$) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 390 MPa

a. Perhitungan Tulangan Sebelum Komposit

$$d = (400 - 180) - 40 - 10 - 1/2 (22) = 159 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{380,13 \times 390}{0,85 \times 35 \times 300} = 24,91$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{24,91}{0,8} = 31,14$$

$$\epsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{159}{31,14} - 1 \right) 0,003 = 0,0123$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat $\phi = 0,9$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

Tulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 3277,24 \text{ kgm} = 32772400 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{32772400}{0,9 \times 300 \times 159^2} = 4,8$$

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

$$= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 4,8}{390}} \right) = 0,0135$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0135 > \rho_{\text{min}} = 0,003792$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan luas tulangan perlu sebesar:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0135 \times 300 \times 159 = 644,26 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{D22}}}$$

$$= \frac{644,26}{380,13} = 1,69 \approx 2 \text{ buah}$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D22}$$

$$= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 760,27 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} \dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D22

b. Perhitungan Tulangan Sesudah Komposit

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(22) = 339 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$A_{S_{\text{tulangan}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S_{\text{perlu}}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{380,13 \times 390}{0,85 \times 35 \times 300} = 24,91$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{24,91}{0,8} = 31,14$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{339}{31,14} - 1 \right) 0,003 = 0,041$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat $\phi = 0,9$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

Tulangan lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 5950,609 \text{ kgm} = 69632505,35 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{69632505,35}{0,9 \times 300 \times 339^2} = 2,24$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,24}{390}} \right) = 0,00598 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00598 > \rho_{\text{min}} = 0,00379$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00598 \times 300 \times 339 = 609,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD22}} \\ &= \frac{609,11}{380,13} = 1,6 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D16} \\ &= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 706,27 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{ OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D22

Tulangan tumpuan

$$M_{\text{tumpuan}} = 4352,0316 \text{ kgm} = 43520316 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{43520316}{0,9 \times 300 \times 339^2} = 2,1$$

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

$$= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,1}{390}} \right) = 0,0056$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0056 > \rho_{\text{min}} = 0,00379$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d \\ = 0,0056 \times 300 \times 339 = 760,27 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s D22} \\ = \frac{760,27}{380,13} = 1,6 \approx 2 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A \text{ D22} \\ = 2 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ = 760,27 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{ OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D22

4.2.2.5. Perhitungan Tulangan Geser

a. Perhitungan tulangan sebelum komposit

$$V_u = 1668,67 \text{ kg} = 21848,279 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 159$$

$$= 47032,83 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 47032,83$$

$$= 35274,63 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 35274,63 = 17637,31 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5 \phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan $\emptyset 10$ mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$\begin{aligned}
 A_{v,u} &= \frac{75\sqrt{f'c}.b.S}{1200.fy} \\
 &= \frac{75\sqrt{35}.300.1000}{1200.240} \\
 &= 462,193 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,u} &= \frac{b.S}{3.fy} \\
 &= \frac{300.1000}{3.240} \\
 &= 416,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{vu} \text{ pakai} = 462,193 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{n \times 0,25 \times \pi \times dp^2 \times S}{A_{v,u}} = 339,85 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$1. s \leq \frac{d}{2} = 79,5 \text{ mm}$$

$$2. 600 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang Ø10 - 75 mm.

b. Perhitungan tulangan sesudah komposit

$$V_u = 5802,709 \text{ kg} = 58027,09 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 339 \\
 &= 100277,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times 100277,6 \\ &= 75208,16 \text{ N}\end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 75208,16 = 37604,08 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan $\emptyset 10$ mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240$ MPa)

$$\begin{aligned}A_{v,u} &= \frac{75\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \\ &= \frac{75\sqrt{35} \cdot 300 \cdot 1000}{1200 \cdot 240} \\ &= 462,193 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{v,u} &= \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \\ &= \frac{300 \cdot 1000}{3 \cdot 240} \\ &= 416,66 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{vu} \text{ pakai} = 462,193 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{n \times 0,25 \times \pi \times dp^2 \times S}{A_{v,u}} = 339,85 \text{ mm}$$

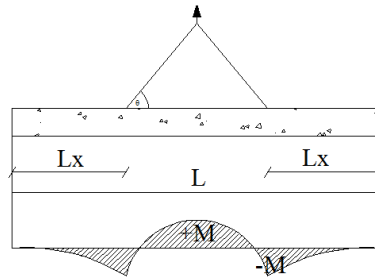
Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. $s \leq \frac{d}{2} = 169,5 \text{ mm}$
2. 600 mm

Maka, dipakai sengkang $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$.

4.2.2.6. Pengangkatan Balok Anak

Balok anak pracetak dibuat secara pabrikan di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan saat pemasangan modular. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4.13 Momen saat pengangkatan balok anak

Di mana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Yt}{Yb} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

a. Kondisi sebelum komposit

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

$$h = 40 - 18 = 22 \text{ cm}$$

$$L = 600 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{(40-18)}{2} = 11 \text{ cm}$$

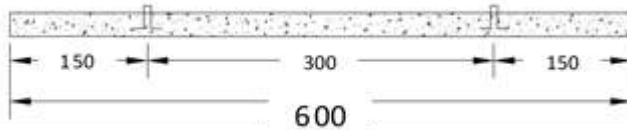
$$I = \frac{1}{12} \times 30 \times (40-18)^3 = 26620 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 16 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 16}{600 \times \text{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{11}{11} \left(1 + \frac{4 \times 16}{600 \times \text{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,2257$$

$$X \times L = 0,2257 \times 600 = 135,43 \text{ cm} = 1,5 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 600 - 2 \times (1,5) = 3 \text{ m}$$



Gambar 4.14 Letak titik pengangkatan

a) Pembebanan

$$\text{Balok } (0,3 \times (0,4-0,18) \times 6 \times 2400) = 950,4 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T \sin \phi &= P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 950,4}{2} \\ &= 1368,576 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{1368,576}{\sin 45^\circ} = 1935,459 \text{ kg}$$

b) Tulangan angkat balok anak

$$P_u = 1935,459 \text{ kg}$$

Menurut PBI pasal 2.2.2. tegangan izin tarik dasar baja bertulang adalah $f_y/1,5$. Jika dipakai tulangan polos dengan mutu $f_y = 240$ MPa, maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{Pu}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{1935,459}{1600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,6205 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan $\phi 8$ mm

c) Momen yang Terjadi

- Pembebanan

$$\text{Balok } (0,3 \times (0,4 - 0,18) \times 2400) = 158,4 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \text{tg}\theta} \right) \times 1,2$$

$$+ M = \left(\frac{158,4 \times 6^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,223 + \frac{4 \times 0,16}{6 \times \text{tg}45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 174,317 \text{ kgm}$$

d) Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{158,4 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times (400 - 180)^2}$$

$$= 0,72 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{158,4 \times 0,223^2 \times 6^2}{2} \right) \times 1,2 = 174,3 \text{ lkgm}$$

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{158,4 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times (400 - 180)^2}$$

$$= 0,72 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen di atas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada di bawah nilai $f'_{r_{\text{ijin}}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

4.2.2.7. Kontrol Ledutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak *preliminary design* telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

4.2.3. Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai *frame* statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan sendi. Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

4.2.2.8. Dimensi Awal

Data-data perencanaan :

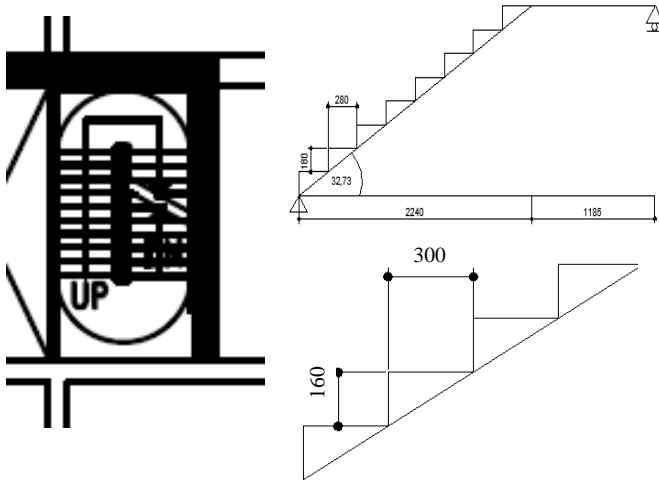
- Mutu beton ($f'c$) = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- Tinggi antar lantai = 400 cm
- Panjang bordes = 300 cm
- Lebar bordes = 200 cm
- Lebar tangga = 150 cm
- Tebal pelat tangga (t_p) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan (t) = 16 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Jumlah tanjakan (n_T) = $\frac{\text{tinggi lantai}}{t} = 25$ buah
- Jumlah injakan (n_i) = $n_T - 1 = 24$ buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 13 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 13 buah
- Elevasi bordes = 200 cm
- Panjang horizontal plat tangga = $i \times \text{jumlah tanjakan bordes}$
= $30 \times 13 = 330$ cm
- Kemiringan tangga (α)

$$\text{arc tan } \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horisontal plat tangga}} = \frac{200}{330} = 0,606$$

Jadi, $\alpha = 30^\circ$

Cek syarat :

 - $60 \leq (2t + i) \leq 65$
 $60 \leq (2 \times 16 + 30) \leq 65$
 $60 \leq 62 \leq 65 \dots \dots \dots$ (OK)
 - $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
 $25^\circ \leq 30^\circ \leq 40^\circ \dots$ (OK)
 - Tebal pelat rata-rata anak tangga = $(i/2) \sin \alpha$
 $= (30/2) \sin 30^\circ$
 $= 7,5$ cm
 - Tebal pelat rata-rata = $t_p + t_r = 20 + 7,5$
 $= 27,5$ cm



Gambar 4.15 Perencanaan Tangga

4.2.2.9. Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Tangga

Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,275}{\cos 30^\circ} \times 2400 \times 1 \text{ m} = 782,1 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel horizontal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel vertikal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi horizontal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi vertikal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sandaran} = 50 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total (DL)} = 944,1 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL)} : 1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban :

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (944,1) + 1,6 (500)$$

$$= 1932,92 \text{ kg/m}$$

b. Pembebanan Pelat Bordes

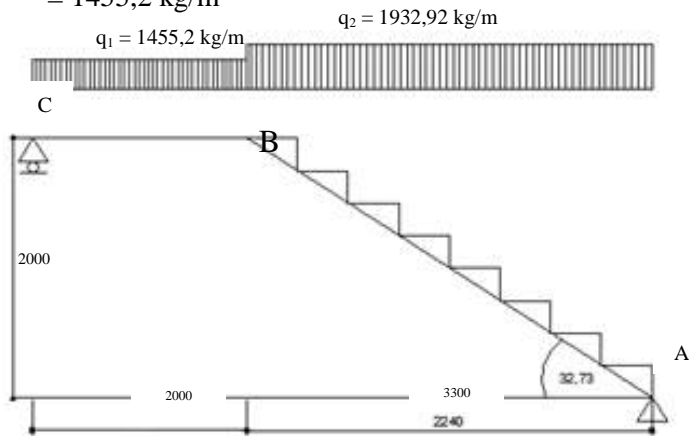
Beban Mati (DL)

Pelat bordes	= 0,2 x 2400 x 1 m	= 480 kg/m
Spesi	= 2 x 21 x 1 m	= 42 kg/m
Tegel	= 24 x 1 m	= 24 kg/m +
Total (LL)		= 546 kg/m

Beban Hidup (LL) : 1 m x 500 kg/m² = 500 kg/m

Kombinasi Beban :

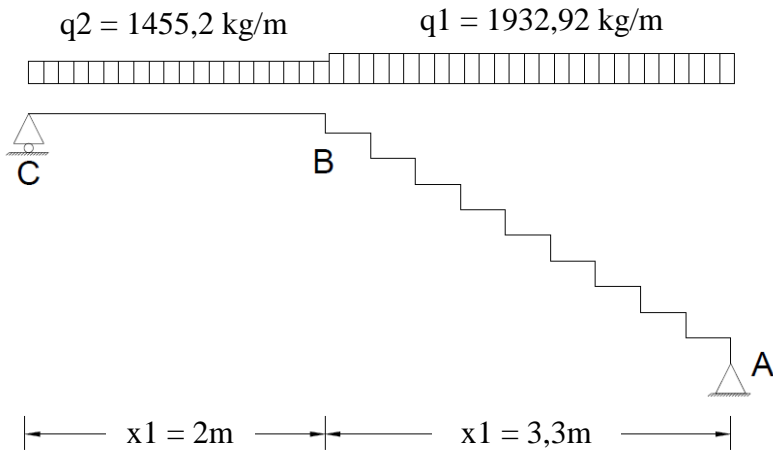
$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (546) + 1,6 (500) \\ &= 1455,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 4.16 Distribusi Beban pada Tangga

4.2.2.10. Analisa Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tertentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, di mana pembebanan tangga dan model seperti pada Gambar 4.17 :



Gambar 4.17 Sketsa beban pada tangga

- $\sum M_A = 0$
 $(R_C \times 5,3) - (q_2 \times 2 \times (1 + 3,3)) - (q_1 \times 3,3 \times 1,65) = 0$
 $(R_C \times 5,3) - 12514,72 - 10524,74 = 0$
 $R_C = 4347,073 \text{ kg}$
- $\sum M_C = 0$
 $(R_A \times 5,3) - (q_2 \times 2 \times 1) - (q_1 \times 3,3 \times (1,65 + 2)) = 0$
 $(R_A \times 5,3) - 2910,4 - 23282,06 = 0$
 $R_A = 4941,973 \text{ kg}$
- $\sum H = 0$
 $H_A = 0$

Kontrol

- $\sum V_A = 0$
 $R_C + R_A - (q_2 \times 2) - (q_1 \times 3) = 0$
 $4347,073 + 4941,973 - (1455,2 \times 2) - (1932,92 \times 3,3) = 0$
 $0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$

Pelat Bordes C-B (2 m)

- a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$M_C = 0$$

$$M_{B \text{ kiri}} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$\begin{aligned} M_{B \text{ kiri}} &= 4347,073 \times 2 - \frac{1}{2} \times 1455,2 \times 2^2 \\ &= 5783,745 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- b. Gaya Lintang (D)

$$\text{Titik C} \quad D_{C \text{ kanan}} = R_C = 4347,073 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Titik B} \quad D_{B \text{ kiri}} &= R_C - (q_2 \times 2) \\ &= 1436,673 \text{ kg} \end{aligned}$$

- c. Gaya Normal (N)

$$N_{C-B} = 0 \text{ kg}$$

Pelat A-B (3,3 m)

- a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

Momen maksimum apabila :

$$\frac{\Sigma M_{x_1}}{\Sigma X_1} = 0$$

$$R_A - q_1 \times x = 0$$

$$x = \frac{R_A}{q_1} = \frac{4941,973}{1932,92} = 2,56 \text{ m} < 3,3 \text{ m}$$

Momen maksimum terjadi di titik $x = 2,56 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_{\text{max}} &= R_A \times x - \frac{1}{2} q_1 \times x^2 \\ &= 4941,973 \times 2,56 - \frac{1}{2} \times 1932,92 \times 2,56^2 \\ &= 6317,659 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Titik A, $M_A = 0 \text{ kgm}$

$$\begin{aligned} M_B &= R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2 \\ &= 4941,973 \times 3,3 - \frac{1}{2} \times 1932,92 \times 3,3^2 \\ &= 5783,745 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- b. Gaya Lintang (D)

$$D_x = R_A \times \cos 30^\circ - (q_1 \cos 30^\circ \times x_1)$$

$$\text{Titik A } (X_1 = 0) ; D_A = R_A \times \cos 30^\circ = 4279,874 \text{ kg}$$

Titik B ($X_1 = 3,3 \text{ m}$) ; $D_B = -1244,195 \text{ kg}$

c. Gaya Normal (N)

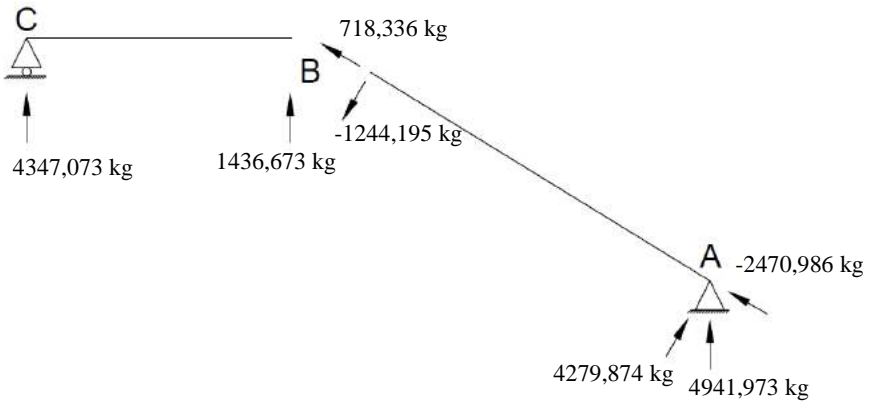
Titik A ; $N_A = -R_A \sin 30^\circ = -4941,973 \times \sin 30^\circ$

$$N_A = -2470,986 \text{ kg}$$

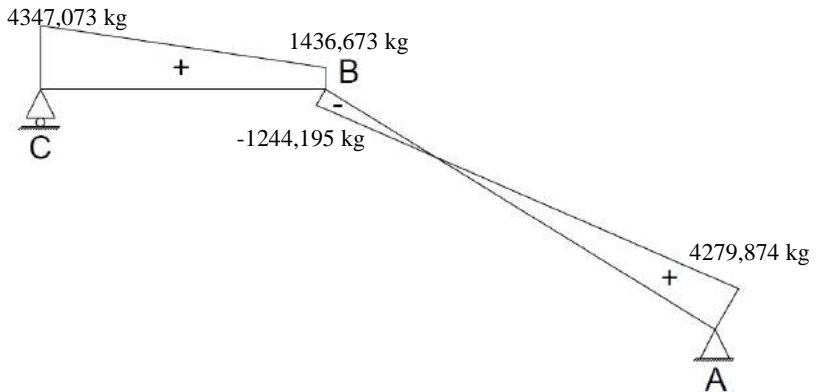
Titik B ; $N_B = -R_A \sin 30^\circ + q_1 \sin 30^\circ \times 3,3 \text{ m}$

$$N_B = -4941,973 \sin 30^\circ + 1932,92 \sin 30^\circ \times 3,3$$

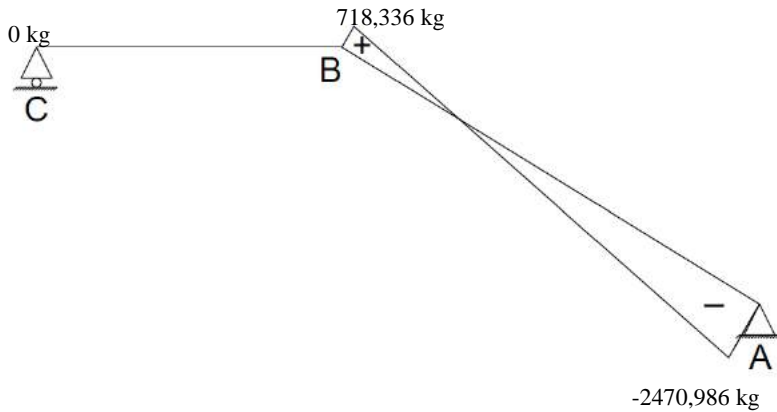
$$N_B = 718,336 \text{ kg}$$



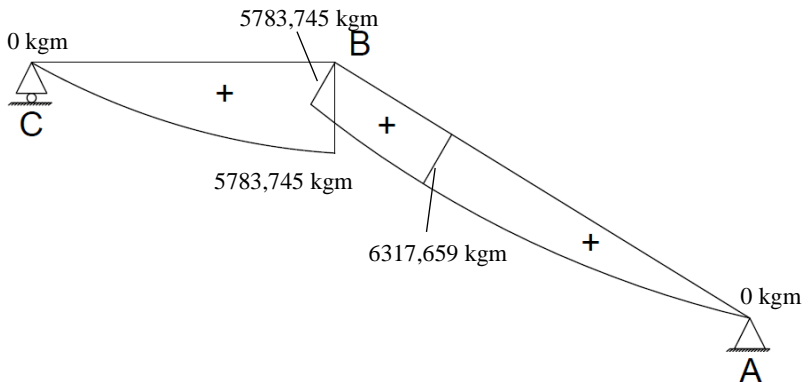
Gambar 4.18 Free body diagram gaya-gaya pada tangga



Gambar 4.19 Bidang lintang (D) pada tangga



Gambar 4.20 Bidang normal (N) pada tangga



Gambar 4. 21 Bidang momen (M) pada tangga

4.2.2.11. Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

a. Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – Data Perencanaan

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 390 MPa

D tulangan lentur = 16 mm
 D tulangan susut = 16 mm
 Berat jenis beton = 2400 MPa
 Tebal pelat tangga = 200 mm
 Tebal pelat bordes = 200 mm
 Tebal selimut beton = 20 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c-28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35-28)}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{201,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 2,636 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,636}{0,8} = 3,29 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{d}{3,29} - 1 \right) 0,003 = 0,15$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat $\phi = 0,9$

$\rho_{\min} = 0,0020$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$d = 200 - 20 - (0,5 \times 16) = 172 \text{ mm}$$

Penulangan Pelat Tangga

Tulangan Utama

$$M_{\max} = 6317,659 \text{ kgm} = 63176590 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{48882035}{0,9 \times 1000 \times 174^2} = 2,37$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,37}{390}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,00635 > \rho_{\text{min}}$$

Maka digunakan $\rho = 0,00635$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,00635 \times 1000 \times 172 = 1091,89 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{1091,89}{201,062} = 5,4 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/6 = 166,67 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur D16-150 mm ($A_s = 1206,372 \text{ mm}^2$)

Penulangan arah melintang pelat

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan :

$\rho = 0,002$ untuk $f_y = 390 \text{ MPa}$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,002 \times b \times h$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 172 = 344 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{344}{201,062} = 1,71 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/2 = 500 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16-500 mm ($A_s = 402,124 \text{ mm}^2$)

Penulangan Pelat Bordes

Tulangan Utama

$$M_{\text{max}} = 5783,7452 \text{ kgm} = 57837452 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{69735455}{0,9 \times 1000 \times 172^2} = 2,44$$

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,44}{390}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0065 > \rho_{\text{min}}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0065$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,0065 \times 1000 \times 172 = 1126,09 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D16}}} \\ &= \frac{1126,09}{201,062} = 5,6 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/6 = 166,67 \approx 150 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur D16-150 mm ($A_s = 1407,434 \text{ mm}^2$)

Penulangan arah melintang pelat

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan :

$\rho = 0,0018$ untuk $f_y = 390 \text{ MPa}$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times h \\ &= 0,002 \times 1000 \times 172 = 344 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D16}}} \\ &= \frac{313,2}{201,06} = 1,71 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/2 = 500 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D16-500 mm ($A_s = 402,124 \text{ mm}^2$)

b. Perhitungan Balok Bordes

Perencanaan dimensi balok bordes

$$h = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 300 = 18,75 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 18,75 = 12,5 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Dipakai dimensi balok bordes 20/30

Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,2 \times 0,3 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding} &= 3 \times 250 && = \underline{750 \text{ kg/m}} \\ q_d &= 894 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_d \text{ ultimate} &= 1,2 \times q_d = 1,2 \times 894 && = 1072,8 \text{ kg/m} \\ \text{beban pelat bordes} &&& = \underline{4941,97 \text{ kg/m}} \\ q_u &= 6014,77 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan} &= \frac{1}{24} \times q_u \times l^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 6014,77 \times 3^2 \\ &= 2255,54 \text{ kgm} \\ &= 22555398 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan} &= \frac{1}{12} \times q_u \times l^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 6014,77 \times 3^2 \\ &= 4511,08 \text{ kgm} \\ &= 45110795 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gaya geser balok bordes

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times l = 0,5 \times 6014,77 \times 3 = 9022,16 \text{ kg}$$

Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan :

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga } d = 300 - 40 - 10 - 16/2 = 242 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{201,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 200} = 13,18$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{13,18}{0,8} = 16,47$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1\right) 0,003 = \left(\frac{242}{16,47} - 1\right) 0,003 = 0,0411$$

Sehingga, berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3 didapat $\phi = 0,9$

$$\rho_{min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Penulangan Tumpuan

$$M_{tumpuan} = 22555398 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{22555398}{0,9 \times 200 \times 242^2} = 2,14$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,14}{390}} \right)$$

$$= 0,0057 > \rho_{min}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0057$

$$A_{S_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0057 \times 200 \times 242 = 275,84 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{S_{D16}}} \\ &= \frac{275,84}{201,06} = 1,37 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D16} \\ &= 2 \times 201,106 \text{ mm}^2 \\ &= 402,2 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &= 0,5 \times A_s \\ &= 0,5 \times 402,2 \text{ mm}^2 \\ &= 155,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

Penulangan Lapangan :

M lapangan = 45110795 Nmm

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{45110795}{0,9 \times 200 \times 242^2} = 4,28$$

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,28}{390}} \right)$$

$$= 0,0119 > \rho_{\text{min}}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0119$

$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,0119 \times 200 \times 242 = 576,01 \text{ mm}^2$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D16}}}$$

$$= \frac{576,01}{201,06} = 2,86 \approx \text{dipakai 3 buah}$$

$$A_{S \text{ pasang}} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A \text{ D16}$$

$$= 3 \times 201,106 \text{ mm}^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2 > A_{S \text{ perlu}} \dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D16

$$A_{S' \text{ perlu}} = 0,5 \times A_{S}$$

$$= 0,5 \times 576,01 \text{ mm}^2$$

$$= 288,01 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

Penulangan Geser Balok Bordes

Penulangan Tumpuan

$V_u \text{ total} = 90221,6 \text{ N}$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 200 \times 242 = 47723,044 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 47723,044 = 35792,283 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 35792,283 = 17896,141 \text{ N}$$

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \times 200 \times 242 = 88365,906 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 17.5 : Bila V_u kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$ maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 72572,41 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser = 10 mm

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \emptyset 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 242}{88365,906} = 103 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang $2h = 2 \times 300 = 600 \text{ mm}$ dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. $d/4 = 242/4 = 60,5 \text{ mm}$
2. $8 \times D_{\text{tul longitudinal}} = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$
3. $24 \times \emptyset_{\text{tul sengkang}} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$
4. 300 mm

Dari syarat, maka diambil sengkang di daerah plastis $\emptyset 10$ -50 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 242/2 = 121 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis $\emptyset 10$ -100 mm.

4.2.4. Perencanaan Balok Lift

4.2.4.1. Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh SIGMA Elevator Company dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift : IRIS NV Standard

Kapasitas : 1000 Kg

Kecepatan : 1.0 m/s

Motor : 18.5 KW

Lebar pintu (*opening width*) : 1100 mm

Dimensi sangkar (*car size*)

- *Car wide* (CW) = 2150 mm

- *Car depth* (CD) = 1600 mm

Dimensi ruang luncur (*hoistway size*) Duplex

- *Hoistway width* (HW) = 5550 mm

- *Hoistway depth* (HD) = 2300 mm

Beban reaksi ruang mesin

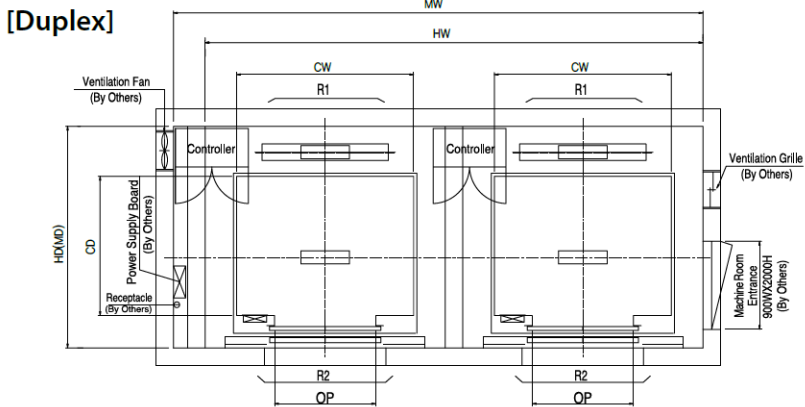
• R_1 = 10200 kg

• R_2 = 7000 kg

Penjelasan mengenai spesifikasi lift yang dipakai disajikan dalam Tabel 4.5:

Tabel 4.5 Spesifikasi C300 Passenger Elevator

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size								Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex				Duplex				Simplex		Duplex		Machine Room		Fit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4				
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3600	1500	3600	2000	3800	3150				
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350				
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450				
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650				
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750				
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500				
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700				
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150				
	20	1350	1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200	8900	6000	10200	7500				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700				



Gambar 4.22 Ruang Lift

4.2.4.2. Perencanaan Dimensi Balok Lift

a. Balok Penumpu Depan dan Belakang

Panjang balok penumpu = 600 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 600 \text{ cm} = 37,5 \text{ cm}$$

$h_{\min} = 37,5 \times (0,4 + f_y/700) = 35,89 \text{ cm}$ digunakan $h = 60 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 35,89 = 23,93 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok penumpu 40/60 cm

b. Balok Penggantung Lift

Panjang balok penggantung lift = 400 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 400 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

$h_{\min} = 18,75 \times (0,4 + f_y/700) = 23,93 \text{ cm}$ digunakan $h = 60 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 23,93 = 15,95 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok penggantung 40/60 cm

4.2.4.3. Pembebanan Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpang

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

2. Koefisien kejutan beban hidup oleh keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejutan yang ditentukan dengan rumus berikut:

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

Di mana:

Ψ = koefisien kejutan yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (10200 + 7000) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 30616 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.2.4.4. Balok Penggantung Lift 40/60

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t = 2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 +$$

$$= 346 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 346 \text{ kg/m}^2 \times 2,3 \text{ m} = 795,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,4 \times 0,6 \times 2400 = 576 \text{ kg/m} +$$

$$Q_d = 1371,8 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (q_1) :

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_L$$

$$= 1,2 \times 1371,8 + 1,6 \times 100$$

$$= 1806,16 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift (P) = 30616 kg

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P$$

$$= \frac{1}{2} \times 1806,16 \times 3 + \frac{1}{2} \times 30616$$

$$= 18920,3 \text{ kg}$$

$$M_u = \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL$$

$$= \frac{1}{8} \times 1806,16 \times 3^2 + \frac{1}{4} \times 30616 \times 3$$

$$= 34228,3 \text{ kgm}$$

Data Perencanaan :

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

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D22 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \text{Ø}10 \text{ mm}$$

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

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 22 = 539 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{342283200}{0,9 \times 400 \times 539^2} = 3,27$$

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

$$= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 3,27}{390}} \right) = 0,009$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,009 > \rho_{\min} = 0,004$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,009 \times 400 \times 539 = 1921,46 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D22}}$$

$$= \frac{1921,46}{380,13} = 5,05 \approx \text{dipakai 6 buah}$$

Maka dipasang tulangan 6 D22 (2280,8 mm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 18920,3 \text{ kg} = 189203,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 539 \\
 &= 212584 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \times 212584 \\
 &= 159438 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013: Bila V_u lebih dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_{s \text{ perlu}} = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$V_{s \text{ perlu}} = (189203,2 - 159438) / 0,75 = 39686,5 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser = 10 mm

$$A_v = \frac{V_s \times S}{f_y \times d} = \frac{39686,5 \times 1000}{240 \times 539} = 306,791 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{75 \times \sqrt{f'c} \times b \times S}{1200 \times f_y} = \frac{75 \times \sqrt{35} \times 400 \times 1000}{1200 \times 240} \\
 &= 616,258 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_v = \frac{b \times S}{3 \times f_y} = \frac{400 \times 1000}{3 \times 240} = 555,556 \text{ N}$$

Diambil nilai A_v terbesar, $A_v = 616,258 \text{ N}$

$$\text{Karena } V_s < \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$s = \frac{n \times 0,25 \times \pi \times dp^2 \times S}{A_v} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{616,258} = 254,893 \text{ mm}$$

Syarat $s_{\max} < d/2 = 254,893/2 = 169,5 \text{ mm}$ dan $s_{\max} < 600 \text{ mm}$

Dipasang tulangan geser $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur 6D22
- Tulangan geser $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$

4.2.4.5. Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 40/60

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,18 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t = 2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 +$$

$$= 346 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 346 \times 3/2 \text{ m} = 519 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,4 \times 0,6 \times 2400 = 576 \text{ kg/m} +$$

$$Q_d = 1095 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (q_l) :

$$Q_l = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l$$

$$= 1,2 \times 1095 + 1,6 \times 100$$

$$= 1474 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat balok

$$P = \sum R \times \Psi = (10200) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1)$$

$$= 18156 \text{ kg}$$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1474 \times 6 + \frac{1}{2} \times 18156$$

$$= 13500 \text{ kg}$$

$$M_u = \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL$$

$$= \frac{1}{8} \times 1474 \times 6^2 + \frac{1}{4} \times 18156 \times 6$$

$$= 33867 \text{ kgm}$$

Data Perencanaan :

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

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D22 \text{ mm}$$

Tulangan sengkang = Ø10 mm

b = 40 cm

h = 60 cm

d = 600 - 40 - 10 - ½ 22 = 539 mm

$\beta_1 = 0,8$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{338670000}{0,9 \times 400 \times 539^2} = 4,32$$

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

$$= \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,32}{390}} \right) = 0,012$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,012 > \rho_{\min} = 0,00379$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,012 \times 400 \times 539 = 1943,17 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D22}}}$$

$$= \frac{1943,17}{380,13} = 5,11 \approx \text{dipakai 6 buah}$$

Maka dipasang tulangan 6 D22 (2280,8 mm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 13500 \text{ kg} = 135000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 400 \times 539 \\ &= 212584 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 212584 \\ &= 159438 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013: Bila $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$, maka diperlukan tulangan geser.

$$A_v = \frac{75 \times \sqrt{f'c} \times b \times S}{1200 \times f_y} = \frac{75 \times \sqrt{35} \times 400 \times 1000}{1200 \times 240} = 616,3 \text{ N}$$

$$A_v = \frac{b \times S}{3 \times f_y} = \frac{400 \times 1000}{3 \times 240} = 555,556 \text{ N}$$

Diambil nilai A_v terbesar, $A_v = 616,3 \text{ N}$

$$\text{Karena } V_s < \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$s = \frac{n \times 0,25 \times \pi \times dp^2 \times S}{A_v} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{66,3} = 254,893 \text{ mm}$$

Syarat $s_{\max} < d/2 = 539/2 = 269,5 \text{ mm}$ dan $s_{\max} < 600 \text{ mm}$

Dipasang tulangan geser $\phi 10 - 250 \text{ mm}$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur 6D22
- Tulangan geser $\phi 10 - 250 \text{ mm}$

4.3. Permodelan Struktur

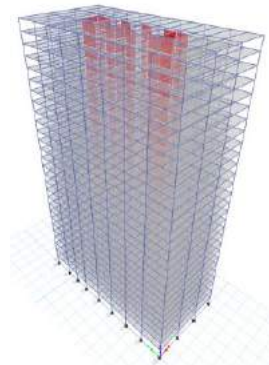
4.3.1. Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban-beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 2847:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2. Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan Gedung *One East Residence* Surabaya adalah sebagai berikut :

Mutu beton ($f'c$)	: 35 MPa dan 40 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 390 MPa
Fungsi bangunan	: Gedung apartemen & <i>retail</i>
Tinggi bangunan	: 95,5 m
Jumlah tingkat	: 27 lantai dan 1 <i>basement</i>
Tinggi tiap tingkat	: a) Lantai <i>basement</i> = 4,00 m b) Lantai dasar s.d. 2 = 4,00 m c) Lantai 3 s.d. 27 = 3,50 m
Dimensi balok induk	: 60/80
Dimensi balok anak	: 30/40 dan 40/60
Zona gempa	: Rendah



Gambar 4.23 Permodelan 3D Struktur Utama

4.3.3. Perhitungan Berat Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Ganda diterima oleh rangka dan dinding geser. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

- **Pembebanan gravitasi pada lantai 1 s.d. 27**

Beban Mati (DL)

Rangka +Plafon	= 18	= 18 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	= 42 kg/m ²
Tegel (2 cm)	= 2 x 24	= 48 kg/m ²
Sanitasi	= 20	= 20 kg/m ²
<i>Plumbing+Ducting</i>	= 10	= 10 kg/m ² +
		DL= 138 kg/m ²

- **Pembebanan Pada Atap**

Beban Mati (DL)

Rangka +Plafon	= 18	= 18 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	= 42 kg/m ²
Aspal	= 14	= 14 kg/m ²
<i>Plumbing+Ducting</i>	= 10	= 10 kg/m ² +
		DL= 84 kg/m ²

Beban Hidup (LL)

Koefisien reduksi untuk beban hidup untuk komponen struktur yang menumpu dua lantai atau lebih (1727:2012 pasal 4.8.2) = 20%

Beban hidup lantai = 0,8 x 250 = 200 kg.

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur gedung yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya gesernya sudah mencapai 80% gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program ETABS 2015 untuk kombinasi 1D+1L.

4.3.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanya beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktivitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1727:2013 bangunan tahan gempa sebagai berikut :

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
- 1,0DL+1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0 Ey

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

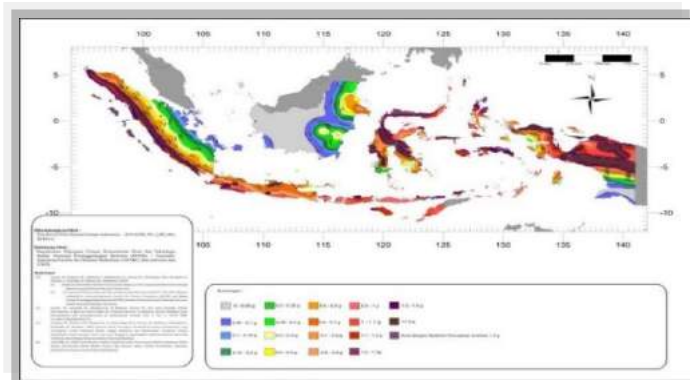
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

4.3.5. Analisa Beban Gempa

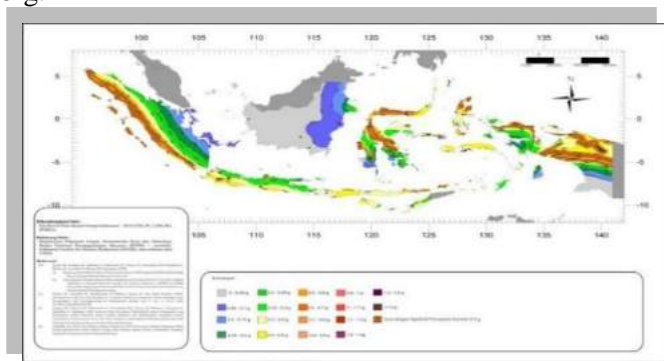
4.3.5.1. Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25.



Gambar 4.24 Peta untuk penentuan harga S_s

Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g, (5% redaman kritis), tanah sedang. Dari gambar 4.24 untuk daerah Balikpapan didapatkan nilai $S_s = 0,205$ g.



Gambar 4.25 Peta untuk penentuan harga S_1

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), tanah sedang. Dari gambar 4.25 untuk wilayah Balikpapan $S_1 = 0,083$ g.

Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 didapat perhitungan:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{2 \times 10}{\left(\frac{2}{13} + \frac{2}{26} + \frac{2}{53} + \frac{2}{54} + \frac{2}{50} + \frac{2}{43} + \frac{2}{50} + \frac{2}{50} + \frac{2}{50} + \frac{2}{50}\right)}$$

$$= 36,23$$

Dengan nilai $N = 36,23$ didapat klasifikasi situs tanah sedang (SD).

Untuk nilai F_a (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan F_v (koefisien situs untuk periode 1 detik) yang didapat dari Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 4.7 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan 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	1	1	1	1
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				

Dari data di atas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,205$$

$$S_1 = 0,083$$

$$F_a = 1,6 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$F_v = 2,4 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (\text{SNI 1726:2012 Pers. 6.2-1})$$

$$= 1,6 \times 0,205$$

$$= 0,328$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (\text{SNI 1726:2012 Pers. 6.2-2})$$

$$= 2,4 \times 0,083$$

$$= 0,199$$

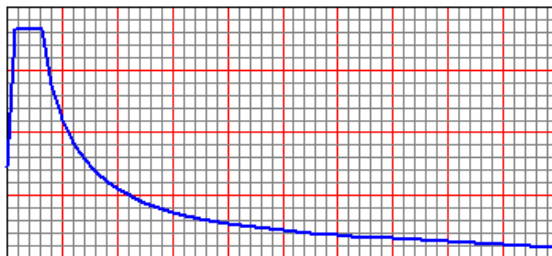
4.3.5.2. Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,328 = 0,219$$

(SNI 1726:2012 Pers. 6.2-3)

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,199 = 0,133$$

(SNI 1726:2012 Pers. 6.2-4)



Gambar 4.26 Grafik Respon Spektrum Daerah Balikpapan

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah Kota Balikpapan yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen sebesar $S_{DS} = 0,219$ dan parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh situs $S_{D1} = 0,133$. Berdasarkan Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 maka didapat kategori Kota Balikpapan mempunyai kategori risiko B.

Tabel 4.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang biasa yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

4.3.6. Pembebanan Gempa Dinamis

Perhitungan beban gempa pada struktur Gedung One East Residence ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisis dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang telah ditentukan.

4.3.6.1. Arah pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodik. Untuk menyimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektivitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X:
100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y:
100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

4.3.6.2. Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan menggunakan beton pracetak dengan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 4,5; nilai koefisien modifikasi respon (R) = 5,5; dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 2,5.

4.3.6.3. Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan apartemen. Pada Tabel 4.10 berdasarkan pada SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai $I = 1$.

Tabel 4.10 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

4.3.7. Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu ETABS 2015, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol beban gravitasi
- Kontrol periode getar struktur
- Kontrol respons seismik
- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol batas simpangan (*drift*)
- Kontrol sistem ganda

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.3.7.1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi dikontrol untuk mengecek kesesuaian permodelan pada program bantu ETABS 2015 dengan desain bangunan gedung. Sesuai nilai beban mati yang telah dijelaskan pada bagian 4.3.7.1 di atas, perhitungan beban mati masing-masing elemen struktur pada gedung ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Perhitungan beban mati

No	Jenis	Dimensi (netto)			Pengali		Jumlah / lantai	Jumlah Lantai	Berat (kg)
		b (m)	h (m)	L (m)					
1	Balok Induk B1	0,6	0,62	8,8	2400	kg/m3	27	28	5939619,84
2	Balok Induk B2	0,6	0,62	7,6	2400	kg/m3	4	28	759951,36
3	Balok Induk B3	0,6	0,62	6,6	2400	kg/m3	20	28	3299788,8
4	Balok Induk B4	0,6	0,62	4,6	2400	kg/m3	8	28	919941,12
5	Balok Anak BA1	0,4	0,42	9,6	2400	kg/m3	24	28	2601123,84
6	Balok Anak BA2	0,3	0,22	5,4	2400	kg/m3	2	28	47900,16
7	Balok Anak BA3	0,3	0,22	3,4	2400	kg/m3	8	28	120637,44
8	Pelat P1	4,5	0,18	10,2	2400	kg/m3	6	28	3331238,4
	Superimposed	4,5	-	10,2	198	kg/m2	6	28	1526817,6
9	Pelat P2	4	0,18	10,2	2400	kg/m3	26	28	12831436,8
	Superimposed	4	-	10,2	198	kg/m2	26	28	5881075,2
10	Pelat P3	3	0,18	10,2	2400	kg/m3	10	28	3701376
	Superimposed	3	-	10,2	198	kg/m2	10	28	1696464
11	Pelat P4	2,1	0,18	6	2400	kg/m3	2	28	304819,2
	Superimposed	2,1	-	6	198	kg/m2	2	28	139708,8
12	Pelat P5	2,1	0,18	4	2400	kg/m3	8	28	812851,2
	Superimposed	2,1	-	4	198	kg/m2	8	28	372556,8
13	Kolom Base-Lt.2								
	Kolom K1	1,4	1,4	4	2400	kg/m3	36	3	2032128
14	Kolom Lt 3-Lt.27								
	Kolom K1	1,4	1,4	3,5	2400	kg/m3	36	8	4741632
	Kolom K2	1,1	1,1	3,5	2400	kg/m3	36	10	3659040
	Kolom K3	0,8	0,8	3,5	2400	kg/m3	36	7	1354752
10	Dinding Geser Base-Lt2								
	Shearwall SW1	0,3	4	6	2400	kg/m3	3	3	155520
	Shearwall SW2	0,3	4	6	2400	kg/m3	2	3	103680

	Shearwall SW3	0,3	4	8	2400	kg/m3	2	3	138240
	Shearwall SW4	0,3	4	4	2400	kg/m3	4	3	138240
11	Dinding Geser Lt3-Lt27								
	Shearwall SW1	0,3	3,5	6	2400	kg/m3	3	25	1134000
	Shearwall SW2	0,3	3,5	6	2400	kg/m3	2	25	756000
	Shearwall SW3	0,3	3,5	8	2400	kg/m3	2	25	1008000
	Shearwall SW4	0,3	3,5	4	2400	kg/m3	4	25	1008000
	Total								60516538,6

Sedangkan untuk perhitungan beban hidup, sesuai yang dijelaskan pada 6.3.2, ditunjukkan pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Perhitungan beban hidup

No	Jenis	b (m)	L(m)	n	A (m2)	q (kg/m2)	Lo (kg)
1	Hunian	30,6	61	1	1734,6	250	433650
2	Tangga	3	3,3	2	19,8	300	5940
3	Bordes	3	2	1	6	300	1800
Total /Lantai							441390
Total 1 basement + 27 Lantai							12358920

Beban yang terhitung pada permodelan dalam ETABS 2015 yaitu sebagai berikut:

- Beban mati = 59385,6652 ton
(selisih 1,9% dengan perhitungan manual)
- Beban hidup = 11886,334 ton
(selisih 3,8% dengan perhitungan manual)

Dengan demikian permodelan struktur dianggap sesuai dengan yang diinginkan.

4.3.7.2. Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Periode fundamental pendekatan (T_a)

$$T_a = C_t h_n^x$$

Koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 4.13 dan 4.14 berdasarkan SNI 1726:2012.

Tabel 4.13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan 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

Tabel 4.14 Koefisien untuk Batas Atas

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
\leq	1,7

$$T_x = 0,0466 (95,5 \text{ m})^{0,9} = 2,821 \text{ s}$$

$$T_y = 0,0466 (95,5 \text{ m})^{0,9} = 2,821 \text{ s}$$

Dengan $S_{D1} = 0,133$ maka didapatkan koefisien $C_u = 1,65$ (cara interpolasi)

$$T = T_a \times C_u = 2,821 \times 1,65 = 4,655 \text{ s}$$

Tabel 4.15 Modal Periode dan Frekuensi Struktur

Output Case	Step Type	Step Num	Period	Frequency	Circ Freq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	3,524	0,284	1,783	3,178
MODAL	Mode	2	2,727	0,367	2,305	5,311
MODAL	Mode	3	2,302	0,435	2,730	7,453
MODAL	Mode	4	1,070	0,934	5,870	34,456
MODAL	Mode	5	0,869	1,151	7,233	52,320
MODAL	Mode	6	0,725	1,380	8,672	75,208
MODAL	Mode	7	0,515	1,940	12,192	148,630
MODAL	Mode	8	0,436	2,292	14,403	207,430
MODAL	Mode	9	0,360	2,781	17,475	305,390
MODAL	Mode	10	0,298	3,359	21,108	445,540
MODAL	Mode	11	0,260	3,842	24,137	582,610
MODAL	Mode	12	0,218	4,594	28,866	833,260

Dari Tabel 4.15, T terbesar yang didapat dari analisis ETABS =

3,524 s, maka:

$3,524 < T_{a,Cu}$

$3,524 < 2,821 \times 1,65$

$3,524 < 4,655$ (OK)

4.3.7.3. Koefisien Respon Seismik (C_s)

Koefisien respon seismik C_s harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1 .

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Dengan :

S_{DS} = percepatan spektrum respons desain dalam rentan periode pendek.

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai R yang dipakai yaitu R untuk Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Menengah Mampu Menahan Paling Sedikit 25% Gaya Gempa yang Ditetapkan = 5,5.

$$C_s = \frac{0,218}{\left(\frac{5,5}{1}\right)}$$

$$C_s = 0,0398$$

Dan nilai C_s tidak perlu melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,1328}{\left(\frac{5,5}{1}\right) \times 4,655} = 0,00519$$

Dan nilai C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,218 \times 1 = 0,0096$$

Maka nilai C_s diambil 0,0096

Perhitungan gaya geser (*base shear*) yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya didistribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 1726:2012.

$$V = C_s \times W$$

Di mana :

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.7.2.

$$V = C_s \times W$$

Tabel 4.16 Reaksi Dasar Struktur

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
1,4D	0,000009056	0,00003093	132815154,7
1,2D+1,6L	0,000008685	0,00003268	133506201,2
1,2D+1L+1Ex	537932,08	119994,64	126132977,7
1,2D+1L+1Ex	-537932,08	-119994,64	126130944,8
1,2D+1L+1Ey	161384	399962,52	126132756,3
1,2D+1L+1Ey	-161384	-399962,52	126131166,1
1D+1L	0,000007045	0,00002595	710193,3124
0,9D+1Ex	537932,08	119994,64	85382187,36
0,9D+1Ex	-537932,08	-119994,64	85380154,45
0,9D+1Ey	161384	399962,52	85381966,04
0,9D+1Ey	-161384	-399962,52	85380375,77

$$V_{\text{statik}} = 0,0096 \times 710193,3124 \text{ kg}$$

$$= 6833,007 \text{ kg.}$$

Dari hasil analisis menggunakan program ETABS 2015 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) pada Tabel 4.17 sebagai berikut :

Tabel 4.17 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

Output Case	Global FX	Global FY
Text	Kgf	Kgf
Gempa X	1971,7006	1199,64
Gempa Y	1613	2190,2465

Kontrol :

- Untuk gempa arah X :

$$V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \times V_{\text{statik}}$$

$$1971,7006 \text{ kg} > 85\% \times 6833,007 \text{ kg}$$

$$1971,7006 \text{ kg} > 5808,056 \text{ kg} \text{ (Not OK)}$$

- Untuk gempa arah Y :

$$V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$$

$$2190,2465 \text{ kg} > 85\% \times 6833,007 \text{ kg}$$

$$2190,2465 \text{ kg} > 5808,056 \text{ kg} \text{ (Not OK)}$$

Dari kontrol di atas, analisis struktur masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada Pasal 11.1.4 SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0,85 \cdot \frac{C_s \cdot W}{V}$.

- Untuk arah X :

$$0,85 \cdot \frac{C_s \cdot W}{V} = 0,85 \cdot \frac{6833,007}{1971,7006} = 2,946$$

- Untuk arah Y :

$$0,85 \cdot \frac{C_s \cdot W}{V} = 0,85 \cdot \frac{6833,007}{2190,2465} = 2,652$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar pada Tabel 4.18 sebagai berikut :

Tabel 4.18 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala

Beban Gempa	Global FX (kg)	Global FY (kg)
Gempa Arah X	5817,9351	8075,63
Gempa Arah Y	14605,99	5913,6643

Kontrol :

- Untuk gempa arah X :

$$V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$$

$$5817,9351 \text{ kg} > 85\% \times 6833,007 \text{ kg}$$

$$5817,9351 \text{ kg} > 5808,056 \text{ kg} \text{ (OK)}$$

- Untuk gempa arah Y :

$$V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$$

$$5913,6643 \text{ kg} > 85\% \times 6833,007 \text{ kg}$$

$$5913,6643 \text{ kg} > 5808,056 \text{ kg} \text{ (OK)}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur bangunan ini masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.

4.3.7.4. Kontrol partisipasi massa

Menurut SNI 1726 2012 pasal 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program ETABS 2015 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.19 berikut :

Tabel 4.19 Rasio Partisipasi Massa

Output Case	Step Type	Step Num	Perio d	SumUX	Sum UY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	3,524	0,000	0,657
MODAL	Mode	2	2,727	0,099	0,657
MODAL	Mode	3	2,302	0,653	0,657
MODAL	Mode	4	1,070	0,653	0,808
MODAL	Mode	5	0,869	0,669	0,808
MODAL	Mode	6	0,725	0,824	0,808
MODAL	Mode	7	0,515	0,824	0,872
MODAL	Mode	8	0,436	0,829	0,872
MODAL	Mode	9	0,360	0,886	0,872
MODAL	Mode	10	0,298	0,886	0,910
MODAL	Mode	11	0,260	0,889	0,910
MODAL	Mode	12	0,218	0,920	0,910

Dari Tabel 4.19 didapat partisipasi massa arah X sebesar 92% pada moda ke 12 dan partisipasi massa arah Y sebesar 91%

pada moda ke 10. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.3.7.5. Kontrol batas simpangan antar lantai (*drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus (pasal 7.8.6):

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Di mana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan izin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1:

$$\Delta_1 = C_d \cdot \delta_{e1} / I$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2:

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) \cdot C_d / I$$

Di mana:

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gedung

- Untuk contoh perhitungan simpangan x akibat gempa arah x pada Lantai Dasar didapat

$$\Delta_1 = C_d \cdot \delta_{e1} / I = 4 \cdot 0.308 / 1 = 1,232 \text{ mm}$$

- Untuk contoh perhitungan simpangan x akibat gempa arah x pada Lantai 2 didapat

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) \cdot C_d / I = (0,996 - 0.308) \cdot 4 / 1 = 2,752 \text{ mm}$$

Tabel 4.20 Simpangan Antar Lantai Izin

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.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Pada Tabel 4.20 dijelaskan untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat izinnnya adalah :

$$\Delta_a = 0,020 \cdot h_{sx}$$

Di mana :

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 3,5 m, simpangan izinnnya adalah

$$\Delta_a = 0,020 \cdot 3500$$

$$= 70 \text{ mm}$$

- Untuk tinggi tingkat 4 m, simpangan izinnnya adalah

$$\Delta_a = 0,020 \cdot 4000$$

$$= 80 \text{ mm}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program ETABS 2015, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.21 Simpangan antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Zi	Simpangan		Simpangan	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
27	95,5	0,523	0,259	0,146	0,759
26	92	0,615	0,289	0,172	0,771

25	88,5	0,651	0,302	0,182	0,792
24	85	0,669	0,312	0,187	0,811
23	81,5	0,686	0,322	0,192	0,835
22	78	0,704	0,333	0,197	0,861
21	74,5	0,735	0,349	0,205	0,902
20	71	0,719	0,35	0,201	0,912
19	67,5	0,737	0,36	0,206	0,936
18	64	0,751	0,37	0,21	0,96
17	60,5	0,76	0,377	0,212	0,98
16	57	0,766	0,384	0,214	0,996
15	53,5	0,768	0,389	0,215	1,007
14	50	0,767	0,392	0,214	1,014
13	46,5	0,763	0,393	0,213	1,016
12	43	0,755	0,392	0,211	1,012
11	39,5	0,742	0,387	0,207	1,002
10	36	0,713	0,375	0,199	0,978
9	32,5	0,697	0,367	0,195	0,952
8	29	0,675	0,356	0,189	0,92
7	25,5	0,648	0,34	0,181	0,876
6	22	0,614	0,321	0,172	0,821
5	18,5	0,575	0,298	0,161	0,754
4	15	0,53	0,27	0,148	0,675
3	11,5	0,478	0,238	0,133	0,582
2	8	0,408	0,195	0,114	0,465
1	4	0,296	0,134	0,083	0,311
0	0	0,121	0,053	0,034	0,129
Basement 1	-4	0	0	0	0

Tabel 4.22 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Ket
	Zi	Simpangan Arah X		
	(m)	δi (mm)	Δa (mm)	
27	95,5	2,3535	70	OK
26	92	2,7675	70	OK
25	88,5	2,9295	70	OK
24	85	3,0105	70	OK
23	81,5	3,087	70	OK
22	78	3,168	70	OK
21	74,5	3,3075	70	OK
20	71	3,2355	70	OK
19	67,5	3,3165	70	OK
18	64	3,3795	70	OK
17	60,5	3,42	70	OK
16	57	3,447	70	OK
15	53,5	3,456	70	OK
14	50	3,4515	70	OK
13	46,5	3,4335	70	OK
12	43	3,3975	70	OK
11	39,5	3,339	70	OK
10	36	3,2085	70	OK
9	32,5	3,1365	70	OK
8	29	3,0375	70	OK
7	25,5	2,916	70	OK
6	22	2,763	70	OK
5	18,5	2,5875	70	OK
4	15	2,385	70	OK
3	11,5	2,151	70	OK
2	8	1,836	70	OK
1	4	1,332	80	OK

0	0	0,5445	80	OK
Basement 1	-4	0	80	OK

Tabel 4.23 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Ket
	Zi	Simpangan Arah Y		
	(m)	δi (mm)	Δa (mm)	
27	95,5	1,1655	70	OK
26	92	1,3005	70	OK
25	88,5	1,359	70	OK
24	85	1,404	70	OK
23	81,5	1,449	70	OK
22	78	1,4985	70	OK
21	74,5	1,5705	70	OK
20	71	1,575	70	OK
19	67,5	1,62	70	OK
18	64	1,665	70	OK
17	60,5	1,6965	70	OK
16	57	1,728	70	OK
15	53,5	1,7505	70	OK
14	50	1,764	70	OK
13	46,5	1,7685	70	OK
12	43	1,764	70	OK
11	39,5	1,7415	70	OK
10	36	1,6875	70	OK
9	32,5	1,6515	70	OK
8	29	1,602	70	OK
7	25,5	1,53	70	OK
6	22	1,4445	70	OK
5	18,5	1,341	70	OK
4	15	1,215	70	OK

3	11,5	1,071	70	OK
2	8	0,8775	70	OK
1	4	0,603	80	OK
0	0	0,2385	80	OK
Basement 1	-4	0	80	OK

Tabel 4.24 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y		Ket
	Zi	Simpangan Arah X		
	(m)	δi (mm)	Δa (mm)	
27	95,5	2,628	70	OK
26	92	3,096	70	OK
25	88,5	3,276	70	OK
24	85	3,366	70	OK
23	81,5	3,456	70	OK
22	78	3,546	70	OK
21	74,5	3,69	70	OK
20	71	3,618	70	OK
19	67,5	3,708	70	OK
18	64	3,78	70	OK
17	60,5	3,816	70	OK
16	57	3,852	70	OK
15	53,5	3,87	70	OK
14	50	3,852	70	OK
13	46,5	3,834	70	OK
12	43	3,798	70	OK
11	39,5	3,726	70	OK
10	36	3,582	70	OK
9	32,5	3,51	70	OK
8	29	3,402	70	OK
7	25,5	3,258	70	OK

6	22	3,096	70	OK
5	18,5	2,898	70	OK
4	15	2,664	70	OK
3	11,5	2,394	70	OK
2	8	2,052	70	OK
1	4	1,494	80	OK
0	0	0,612	80	OK
Basement 1	-4	0	80	OK

Tabel 4.25 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y		Ket
	Zi	Simpangan Arah Y		
	(m)	δi (mm)	Δa (mm)	
27	95,5	3,4155	70	OK
26	92	3,4695	70	OK
25	88,5	3,564	70	OK
24	85	3,6495	70	OK
23	81,5	3,7575	70	OK
22	78	3,8745	70	OK
21	74,5	4,059	70	OK
20	71	4,104	70	OK
19	67,5	4,212	70	OK
18	64	4,32	70	OK
17	60,5	4,41	70	OK
16	57	4,482	70	OK
15	53,5	4,5315	70	OK
14	50	4,563	70	OK
13	46,5	4,572	70	OK
12	43	4,554	70	OK
11	39,5	4,509	70	OK
10	36	4,401	70	OK

9	32,5	4,284	70	OK
8	29	4,14	70	OK
7	25,5	3,942	70	OK
6	22	3,6945	70	OK
5	18,5	3,393	70	OK
4	15	3,0375	70	OK
3	11,5	2,619	70	OK
2	8	2,0925	70	OK
1	4	1,3995	80	OK
0	0	0,5805	80	OK
Basement 1	-4	0	80	OK

Dari hasil kontrol Tabel 4.21; Tabel 4.22; Tabel 4.23; Tabel 4.24; dan Tabel 4.25 di atas maka analisis struktur Gedung One East Residence Surabaya memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

4.3.7.6. Kontrol Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Tabel 4.26 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur

Pemikul Gaya Geser	Arah X	Presentase	Arah Y	Presentase
Dinding Geser	79714,28	72,1 %	83024,33	72,7 %
Sistem Rangka	30879,11	27,9 %	31122,94	27,3 %
Total	110593,4	100 %	114147,3	100 %

Maka dari Tabel 4.26 perhitungan di atas, sistem ganda memenuhi syarat.

4.4. Struktur Utama

4.4.1. Umum

Struktur utama merupakan suatu komponen utama di mana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk, kolom, dan dinding geser. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

4.4.2. Perencanaan Balok Induk

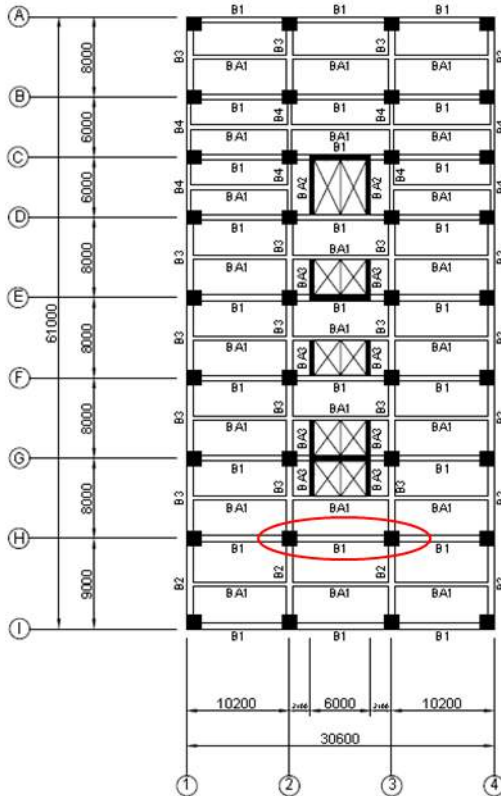
Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Di dalam *preliminary design* Gedung One East Residence direncanakan dimensi balok induk dengan menggunakan sistem pracetak.

4.4.2.1. Penulangan Lentur Balok Induk

Balok induk yang direncanakan adalah balok induk dengan sistem pracetak. Penulangan lentur balok ini harus memperhatikan dua kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan setelah komposit. Dari dua kondisi tersebut dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk tersebut. Pada perhitungan akan dihitung Balok Induk B1 dengan bentang 10,2 m

Data Perencanaan :

Mutu beton (f'_c)	= 40 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 390 MPa
Dimensi Balok Induk	= 60/80 cm
Diameter tulangan longitudinal	= 25 mm
Diameter tulangan sengkang	= 13 mm



Gambar 4.27 Denah Pembalok

4.4.2.2. Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, balok pracetak dimodelkan sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan yang digunakan untuk menghitung tulangan pada kondisi sebelum komposit adalah beban yang berasal dari pelat, *overtopping* dan berat balok itu sendiri. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk akan dihitung sebagai beban dengan konsep *tributary area*.

a. Pelat sebelum *overtopping*, ada beban kerja

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

Beban Hidup

$$\text{Beban Pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 60/62$$

$$\text{Bentang balok induk} = 10,2 \text{ m}$$

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dan hidup dari pelat pracetak, balok anak, dan berat balok induk itu sendiri.

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada tiap balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat (segitiga)

$$\text{Berat balok induk} = 0,6 \times 0,62 \times 2400 = 892,8 \text{ kg/m}$$

$$L_x = 4 \text{ m}$$

$$L_y = 9,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekuivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{L_x}{L_y}\right)^2\right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 240 \times 4 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{4}{9,6}\right)^2\right) \\ &= 904,444 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

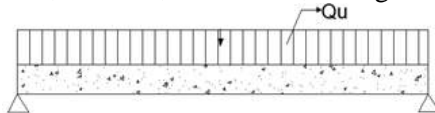
Total beban mati balok induk (Q_d)

$$= \text{berat balok induk} + \text{berat ekuivalen pelat}$$

$$= 892,8 \text{ kg/m} + 904,444 \text{ kg/m}$$

$$= 1797,244 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,2 \times Q_d = 1,2 \times 1797,244 = 2156,693 \text{ kg/m}$$



Gambar 4.28 Pembebanan pada Balok Induk Sebelum Komposit

$$\begin{aligned} M_u &= (1/8 \times Q_u \times L^2) \\ &= (1/8 \times 2156,693 \times 10,2^2) \\ &= 28047,797 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Pelat sudah diberi *overlapping*, tidak ada beban kerjaBeban mati

Pelat :

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Overlapping} &= 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 432 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 60/62$$

$$\text{Bentang balok induk} = 10,2 \text{ m}$$

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dari pelat pracetak dan *overlapping*-nya, balok anak, dan berat balok induk sendiri.

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada tiap balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat (segitiga)

$$\text{Berat balok induk} = 0,6 \times 0,8 \times 2400 = 1152 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekuivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{lx}{ly}\right)^2\right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 432 \times 4 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{4}{9,6}\right)^2\right) \\ &= 1628 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Total beban mati balok induk (Q_d)

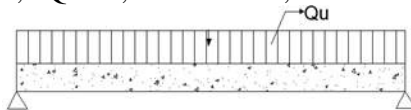
$$= \text{berat balok induk} + \text{berat ekuivalen pelat}$$

$$= 1152 \text{ kg/m} + 1628 \text{ kg/m}$$

$$= 2780 \text{ kg/m}$$

Beban pekerja = 200 kg/m²

$$Q_u = 1,2 Q_d + 1,6 Q_l = 1,2 \times 2780 + 1,6 \times 200 = 3656 \text{ kg/m}$$



Gambar 4.29 Pembebanan pada Balok Induk Sesudah Komposit

$$\begin{aligned} M_u &= (1/8 \times Q_u \times L^2) \\ &= (1/8 \times 3656 \times 10,2^2) \\ &= 47546,28 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Jadi, momen (M_u) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan lentur balok induk setelah komposit adalah 47546,28 kgm.

Tulangan Lentur

Dimensi balok induk 60/62

Bentang balok induk 10,2 m

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 25 mm

Karena perletakan setelah komposit dianggap sendi maka momennya adalah nol, tetapi tetap diberikan penulangan sebesar setengah dari tulangan lapangan.

Tebal selimut $= 40$ mm

$d_x = 620 - 120 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 25 = 554,5$ mm

$b = 600$ mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40 - 28)}{7} = 0,764 \geq 0,65$$

SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490,874 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{490,874 \times 390}{0,85 \times 40 \times 600} = 9,38$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{9,38}{0,764} = 12,279$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{554,5}{12,279} - 1 \right) 0,003 = 0,132$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat $\phi = 0,9$

$\rho \text{ min} = 0,0036$

$M_u = 47546,28 \text{ kgm} = 475462800 \text{ Nmm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{475462800}{0,9 \times 600 \times 554,5^2} = 2,86$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 40} = 11,47$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{11,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,47 \times 2,86}{390}} \right) = 0,00768$$

ternyata $\rho > \rho_{\min} = 0,0041$

maka digunakan $\rho = 0,00768$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,00768 \times 390 \times 554,5 = 2555,49 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan 6D25 mm ($A_s = 2945,243 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = 0,5 \times A_s \text{ perlu} = 0,5 \times 2555,49$$

$$= 1277,745 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan tekan 3 D25 ($A_s' = 1472,621 \text{ mm}^2$).

4.4.2.3. Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sesudah Komposit

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk ini adalah sebagai berikut:

Dimensi balok induk	= 60/80 mm
Panjang balok induk	= 10,2 m
Diameter tulangan utama	= 25 mm
Diameter sengkang	= 13 mm
Tebal selimut	= 40 mm
$d_x = 800 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 25$	= 734,5 mm
$d' = 40 + 13 + \frac{1}{2} \times 25$	= 65,5 mm
b	= 600 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40 - 28)}{7} = 0,764 \geq 0,65$$

SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,0041$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 40} = 11,47$$

Desain balok induk dilakukan dengan tulangan rangkap, di mana untuk mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak-balik (kiri dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Dari analisa *software* ETABS 2015 didapat nilai momen sebagai berikut :

M tumpuan negatif	= -372548200 Nmm
M tumpuan positif	= +545727100 Nmm
M lapangan	= +362124600 Nmm

a. Perhitungan balok T beam

- Lebar efektif

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 1020 = 255 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times tp = 8 \times 12 = 96 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 600 = 300 \text{ cm}$$

b. Penulangan Tumpuan (balok dianggap persegi)

b.1. Tulangan negatif tumpuan

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$Mu^{(-)} = 372548200 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 6$ buah ($As = 2945,243 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 6$ buah ($As' = 2945,243 \text{ mm}^2$)

$$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 734,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 25) = 65,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40-28)}{7} = 0,764 \geq 0,65$$

- **Analisa tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{As}{b_w \times d} = \frac{2945,243}{600 \times 734,5} = 0,0067$$

$$\rho' = \frac{As'}{b_w \times d} = \frac{2945,243}{600 \times 734,5} = 0,0067$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0 \leq \frac{0,85 \times 40 \times 0,764 \times 65,5}{390 \times 734,5} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0 \leq 0,01837 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c \cdot b + A'_s \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f'_c \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 71,127 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,764 \times 71,127 = 54,361 \text{ mm}$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{71,127 - 65,5}{71,127} \right) \leq 390$$

$$f'_s = 47,469 \leq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tekan)}$$

Maka diambil $f'_s = 47,469 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\ &= (2945,243 \times 390 - 2945,243 \times 47,469) \times \left(734,5 - \frac{54,361}{2} \right) + 2945,243 \times 47,469 \times 669 \\ &= 807101240,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(\frac{1}{c/d} \right) - \left(\frac{5}{3} \right) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,04 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 807101240,7 \text{ Nmm} \\ &= 736034311,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$736034311,1 \text{ Nmm} > 372548200 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka tulangan di atas kuat menahan beban *ultimate* balok.

b.2. Tulangan positif tumpuan

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$M_u^{(+)} = 545727100 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 6$ buah ($A_s = 2945,243 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 6$ buah ($A_s' = 2945,243 \text{ mm}^2$)

$$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 734,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 25) = 65,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40-28)}{7} = 0,764 \geq 0,65$$

▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2945,243}{600 \times 734,5} = 0,0067$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{2945,243}{600 \times 734,5} = 0,0067$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0 \geq \frac{0,85 \times 40 \times 0,764 \times 65,5}{390 \times 734,5} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0 \leq 0,017 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka: } A_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f'_c \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 71,127 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,764 \times 71,127 = 54,362 \text{ mm}$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{71,127 - 65,5}{71,127} \right) \leq 390$$

$$f'_s = 47,469 \leq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 47,469$

Kondisi Tekan :

$$\begin{aligned}
 M_n &= (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times (d - d') \\
 &= (2945,24 \times 390 - 2945,24 \times 47,47) \times \left(734,5 - \frac{54,36}{2} \right) + 2945,24 \times 47,47 \times (734,5 - 65,5) \\
 &= 8071012407 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(\frac{1}{c/d} \right) - \left(\frac{5}{3} \right) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,049 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 80710124,07 \text{ Nmm} \\
 &= 726391116,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$726391116,6 > 545727100 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Kondisi Tarik

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 2945,243 \times 390 \times \left(734,5 - \frac{54,362}{2} \right) + 2945,243 \times 47,469 \times \left(734,5 - \frac{54,362}{2} \right) \\
 &= 8178159012 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(\frac{1}{c/d} \right) - \left(\frac{5}{3} \right) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,049 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 81781590,12 \text{ Nmm} \\
 &= 736034311,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$736034311,1 > 545727100 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan di atas kuat menahan beban *ultimate* balok.

c. Penulangan Lapangan (balok dianggap balok T palsu)

Penulangan lentur lapangan didasarkan pada nilai momen yang terjadi di daerah lapangan. Besar momen lapangan yang terjadi di bagian balok melintang interior ialah sebesar $M_u = 362124600 \text{ Nmm}$ (analisis *software ETABS 2015*).

Sebelum dilakukan analisis desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut:

Tulangan lapangan bawah

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 1020 = 255 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 60 + (16 \times 15) = 300 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (1020 - 60) = 480 \text{ cm}$$

$$b = be = 252 \text{ cm}$$

▪ Tulangan Lapangan

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$Mu^{(+)} = 362124600 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 5$ buah ($As = 2454,369 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 2$ buah ($As' = 981,748 \text{ mm}^2$)

$$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 734,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 25) = 65,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40-28)}{7} \geq 0,65 = 0,764$$

▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{As}{b_w \times d} = \frac{2454,369}{600 \times 734,5} = 0,00557$$

$$\rho' = \frac{As'}{b_w \times d} = \frac{981,748}{600 \times 734,5} = 0,00223$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0033 \geq \frac{0,85 \times 40 \times 0,764 \times 65,5}{390 \times 734,5} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$0,0055 \leq 0,018$ (Tulangan tekan belum leleh)

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 64,262 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,764 \times 64,262 = 49,114 \text{ mm}$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{64,262 - 65,5}{64,262} \right) \leq 390$$

$$f'_s = 11,561 \leq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 11,561 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f'_s \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,369 \times \left(734,5 - \frac{49,114}{2} \right) + 981,748 \times 11,561 \times \left(734,5 - \frac{49,114}{2} \right) \\ &= 6790954142 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(\frac{1}{c/d} \right) - \left(\frac{5}{3} \right) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,21 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 679095414 \text{ Nmm} \\ &= 612022321,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$612022321,5 \text{ Nmm} > 362124600 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka tulangan di atas kuat menahan beban *ultimate* balok.

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Tulangan Tumpuan
 - Tulangan atas = 6D25 ($A_s = 2945,243 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 6D25 ($A_s = 2945,243 \text{ mm}^2$)
- Tulangan Lapangan
 - Tulangan atas = 5D25 ($A_s = 2454,369 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 2D25 ($A_s = 981,748 \text{ mm}^2$)

d. Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 pada pasal 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini: Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1})$$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari:

$$V_n = V_c + V_s$$

Di mana:

V_u = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

Φ = Faktor reduksi geser (0,75)

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut:

$$\Phi T_n = T_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.5})$$

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Di mana:

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_u$ min)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm²

F_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)

S = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari:

$$\phi 0,33\lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Di mana:

- ϕ = Faktor reduksi kekuatan
- F_c' = Kuat tekan beton (MPa)
- A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
- P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm^2)

▪ Penulangan Geser Balok Balok Induk 10,2 meter

Penulangan geser balok induk didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.3.3 di mana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa di mana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan penulangan tumpuan dan lapangan untuk balok dengan bentang 10,2 meter.

Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \left(\frac{W_u \times l_n}{2} + \frac{Pu}{2} \right)$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

▪ **Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Bentang 10,2 meter**

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut:

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

Tabel 4.27 Nilai Mpr balok induk

LOKASI		Tul. Pasang	As perlu	a (mm)	Mpr (kNm)	
Tumpuan	KIRI	ATAS	6	2945,24	70,383	1004,07
		BAWAH	6	2945,24	70,383	1004,07
	KANAN	ATAS	6	2945,24	70,383	1004,07
		BAWAH	6	2945,24	70,383	1004,07

$$M_{pr1} = 1004,072 \text{ kNm}$$

$$M_{pr2} = 1004,072 \text{ kNm}$$

$$l_n = 8,8 \text{ m}$$

Perhitungan beban pada balok induk

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,18 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup

$$\text{Hunian} = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 60/80$$

$$\text{Bentang balok induk} = 10,2 \text{ meter}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

$$L_x = 4m$$

$$L_y = 9,6m$$

- Beban mati

$$\text{Berat balok induk} = 0,6 \times 0,8 \times 2400 = 1152 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekuivalen pelat 1} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 432 \times 4 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9,6} \right)^2 \right) \\ &= 1628 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati balok induk} = 1152 + 1628 = 2780 \text{ kg/m}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Berat ekuivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 200 \times 4 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9,6} \right)^2 \right) \\ &= 753,704 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban hidup balok induk} = 753,704 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 1,2 (2780) + 1,6 (753,704) = 4541,926 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maka beban pada balok induk:

$$P_u = 0 \text{ kN}$$

$$W_u = 45,419 \text{ kN/m}$$

- Analisa terhadap gempa kiri

$$V_u = \frac{1004,072 + 1004,072}{8,8} - \left(\frac{45,419 \times 8,8}{2} + \frac{0}{2} \right)$$

$$V_u = 28,353 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1004,072 + 1004,072}{8,8} + \left(\frac{45,419 \times 8,8}{2} + \frac{0}{2} \right)$$

$$V_u = 428,043 \text{ kN}$$

- Analisa terhadap gempa kanan

$$V_u = \frac{1004,072 + 1004,072}{8,8} - \left(\frac{45,419 \times 8,8}{2} + \frac{0}{2} \right)$$

$$V_u = 28,353 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1004,072 + 1004,072}{8,8} + \left(\frac{45,419 \times 8,8}{2} + \frac{0}{2} \right)$$

$$V_u = 428,043 \text{ kN}$$

Hasil dari ETABS 2015 dengan nilai $V_u = 433,644 \text{ kN}$, sehingga nilai V_u yang menentukan ialah $433,644 \text{ kN}$

- **Pemasangan sengkang daerah sendi plastis**

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, apabila:

1. $M_{pr} \geq 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$

$$\frac{(1004,072 + 1004,072)/8,8}{228,198} \geq \frac{0,5 \times 433,644 \text{ kN}}{216,82} \text{ (OK)}$$

2. Gaya Aksial Tekan $< 0,25 \times A_g \times f_c'$

$$0 \text{ (dari ETABS)} < 4800000$$

Pu balok sangat kecil (OK)

Karena gaya aksial terlalu kecil maka persyaratan memenuhi:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{433,644}{0,75} = 578,192 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,465 \times 390 \times 734,5}{578,192 \times 10^3} = 131,52 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang $2h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$ dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. $d/4 = 734,5 / 4 = 183,63 \text{ mm}$
2. $8 \times D_{tul \text{ longitudinal}} = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
3. $24 \times D_{tul \text{ sengkang}} = 24 \times 13 = 312 \text{ mm}$
4. 300 mm

Dari syarat di atas maka diambil sengkang di daerah plastis D13-100 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 100 mm dari muka tumpuan.

e. Pemasangan sengkang di luar sendi plastis

Nilai geser maksimum, V_u , di luar sendi plastis sebagai berikut:

$$V_u = V_u - W_u (2h)$$

$$\begin{aligned} V_u &= 433,644 - 45,419 \times (2 \times 0,8) \\ &= 360,973 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka,

$$V_s = \frac{V_u - V_c}{\phi} = 191,005 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,45 \times 390 \times 734,5}{191,005 \times 10^3} = 398,125 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang diluar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$\begin{aligned} s &\leq d/2 \\ &\leq 734,5/2 = 367,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis D13-300 mm.

▪ Perhitungan Penulangan Torsi

Data perencanaan:

Dimensi Balok Induk = 600/800 mm

Tu = 102684700 Nmm

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas di mana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut:

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$102684700 < 0,75 \times \frac{\sqrt{40}}{12} \left(\frac{(600 \times 800)^2}{(600 + 800) \times 2} \right)$$

$$102684700 \text{ Nmm} > 32526845 \text{ Nmm}$$

Dengan demikian tulangan torsi dibutuhkan.

Dimensi penampang harus sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{891183}{600 \times 734,5} \right)^2 + \left(\frac{102684700 \times (520 + 720 \times 2)}{1,7 \times (520 \times 734,5)^2} \right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left(\frac{290292,96}{600 \times 734,5} + 0,66 \sqrt{40} \right)$$

$$2,077 \leq 3,39 \dots \dots (\text{OK})$$

Desain penampang harus berdasarkan pada

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Di mana :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{ho} \\ &= 0,85 (520 \times 720) \\ &= 318240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (struktur non-prategang)}$$

maka,

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n / \phi}{2 A_o f_{yt} \cot 45^\circ} = \frac{37273160,75}{2 \times 318240 \times 390 \times \cot 45^\circ} \\ &= 0,170 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

▪ Tulangan transversal

Kebutuhan sengkang geser daerah sendi plastis:

$$\frac{A_{v,u}}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{1188244}{390 \times 734,5} = 4,059 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Kontrol sengkang terpasang (D13-100)

$$\begin{aligned} \frac{n \pi / 4 D^2}{s} &\geq \frac{A_{v,u}}{s} + \frac{A_t}{s} \\ \frac{2 \times \pi / 4 \times 13^2}{75} &\geq 4,059 + 0,170 \\ 5,362 &\geq 4,229 \quad (OK) \end{aligned}$$

Kebutuhan sengkang geser daerah lapangan:

$$\frac{A_{v,u}}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{726350}{390 \times 728} = 2,481 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Kontrol sengkang terpasang (D16-150)

$$\begin{aligned} \frac{n \pi / 4 D^2}{s} &\geq \frac{A_{v,u}}{s} + \frac{A_t}{s} \\ \frac{2 \times \pi / 4 \times 16^2}{150} &\geq 2,481 + 0,170 \\ 2,681 &\geq 2,651 \quad (OK) \end{aligned}$$

▪ Tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7 luas tulangan torsi longitudinal dihitung dengan:

$$A_\ell = \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} = 0,170 \times 2480 \times \frac{390}{390}$$

$$= 422,0 \text{ mm}^2$$

Dipasang 2D25 ($A_l = 981 \text{ mm}^2$). Kontrol luas tulangan longitudinal total minimum menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3:

$$A_{st} + A_l \geq \frac{0,42\sqrt{f_c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$15280,7 + 981 \geq \frac{0,42\sqrt{40} \times 480000}{390} - 422,0$$

$$16261,7 \geq 2847,3 \text{ mm}^2 \quad (OK)$$

Maka dipakai tulangan torsi longitudinal 2D25.

f. Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak *preliminary design* telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min}

g. Kontrol retak

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr}$$

di mana M_{cr} harus diperoleh menggunakan modulus hancur, f_r , yang diberikan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'}$$

dimana:

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus hancur beton

I_g = momen inersia penampang beton bruto

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

λ = faktor modifikasi ($\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal)

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{40} \\ &= 3,921 \text{ MPa} \end{aligned}$$

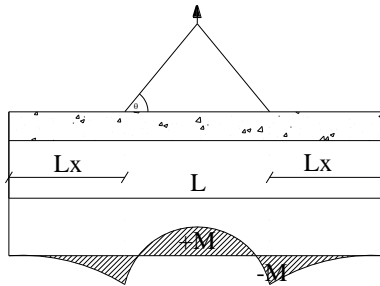
$$I_g = (1/12) \times 400 \times 800^3 = 1,71 \times 10^{10} \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{3,921 \times 1,71 \times 10^{10} \text{ mm}^2}{400} \\ &= 16729600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 9903254422 \text{ Nmm} \geq M_{cr} = 16739600 \text{ Nmm (OK)}$$

4.4.2.4. Pengangkatan Elemen Balok Induk

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4.30 Momen saat pengangkatan balok induk

Di mana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

▪ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

$$L = 1020 \text{ cm}$$

Perhitungan :

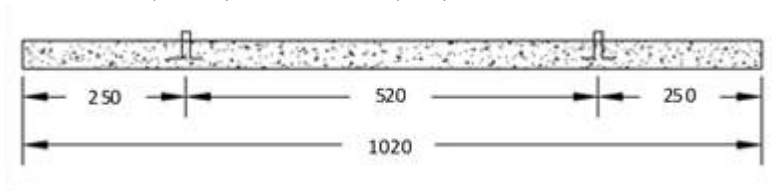
$$Y_t = Y_b = \frac{(80 - 18)}{2} = 31 \text{ cm}$$

$$Y_c = 31 + 5 = 36 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 36}{1020 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{31}{31} \left(1 + \frac{4 \times 36}{1020 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,232$$

$$X \times L = 0,232 \times 1020 = 236,271 \text{ cm} \approx 250 \text{ cm}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 1020 - 2 \times (250) = 520 \text{ cm}$$



Gambar 4.31 Letak titik pengangkatan

e) Pembebanan

$$\text{Balok } (0,6 \times 0,62 \times 18 \times 2400) = 9106,56 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T \sin \phi &= P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 9106,56}{2} \\ &= 13113,446 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{13113,446}{\sin 45^\circ} = 18545,214 \text{ kg}$$

f) Tulangan Angkat Balok Induk

$$P_u = 18545,214 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan izin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 390 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$. Jika dipakai tulangan ulir dengan mutu $f_y = 390 \text{ MPa}$, maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 3900/1,5 = 2600 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \emptyset_{\text{tulangan angkat}} &\geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}} \\ \emptyset_{\text{tulangan angkat}} &\geq \sqrt{\frac{18545,214}{2600 \times \pi}} \end{aligned}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq 1,507 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan D16 mm

- Pembebanan

Balok $(0,6 \times 0,62 \times 2400) = 892,8 \text{ kg/m}$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \text{tg}\theta} \right) \times 1,2$$

$$+ M = \left(\frac{892,8 \times 10,2^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,232 + \frac{4 \times 0,36}{10,2 \times \text{tg}45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 2990,372 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang Terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{2990,372 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 600 \times 620^2}$$

$$= 0,778 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c'} = 4,141 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$- M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$- M = \left(\frac{892,8 \times 0,232^2 \times 10,2^2}{2} \right) \times 1,2 = 2990,372 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{2990,372 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 600 \times 620^2}$$

$$= 0,778 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c'} = 4,141 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen di atas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3

hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok induk tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

4.4.2.5. Rekapitulasi Analisa Balok Induk

Tabel 4.28 Rekapitulasi Analisa Struktur Balok Induk

Parameter	Satuan	Balok			
		B1	B2	B3	B4
Dimensi	cm	60/80	60/80	60/80	60/80
f_c	MPa	40	40	40	40
f_y	MPa	390	390	390	390
ρ_{min}		0,004	0,004	0,004	0,004
m		11,471	11,471	11,471	11,471
Tul long	mm	25	25	25	25
Tul seng	mm	13	13	13	13
b_e	mm	960	960	960	960
<i>Tul. Lentur sebelum komposit</i>					
<u>Sebelum overtopping</u>					
Qu	kg/m	2156,693	2156,693	2156,693	2557,44
Mu	kgm	28047,797	41518,44	34748,587	26520,48
<u>Setelah overtopping</u>					
Qu	kg/m	3656	2557,44	2557,44	2557,44
Mu	kgm	47546,28	51039,72	42302,64	26520,48
Tul Lentur					
ρ butuh		0,008	0,008	0,007	0,004
ρ pakai		0,008	0,008	0,007	0,004
Tul tarik		6D25	6D25	5D25	3D25
As	mm ²	2945,243	2945,243	2454,369	1472,622
Tul tekan		3D25	3D25	3D25	2D25
As'	mm ²	1472,622	1472,622	1472,622	981,748
<i>Tul. Lentur setelah komposit</i>					
<u>Tumpuan negatif</u>					
Mu	kNm	372,548	555,81	297,05	236,279
Tul tarik		6D25	7D25	6D25	4D25
As	mm ²	2945,243	3436,117	2945,243	1963,495

Tul tekan		6D25	7D25	6D25	4D25
As'	mm ²	2945,243	3436,117	2945,243	1963,495
Kondisi		tekan, elastis	tekan, elastis	tekan, elastis	tekan, elastis
c	mm	46,045	75,671	71,127	60,136
f's	MPa	47,469	80,644	47,469	53,519
φMn	kNm	726,391	841,864	726,391	486,349
<u>Tumpuan positif</u>					
Mu	kNm	545,727	160,302	78,54	81,234
Tul tarik		6D25	7D25	6D25	4D25
As	mm ²	2945,243	3436,117	2945,243	1963,495
Tul tekan		6D25	7D25	6D25	4D25
As'	mm ²	2945,243	3436,117	2945,243	1963,495
Kondisi		tekan, elastis	tekan, elastis	tekan, elastis	tekan, elastis
c	mm	64,262	75,671	71,127	60,136
f's	MPa	11,561	80,644	47,469	53,519
φMn	kNm	611,186	841,864	726,391	486,349
<u>Lapangan</u>					
Mu	kNm	93,592	495,736	285,425	145,604
Tul tarik		2D25	5D25	5D25	3D25
As	mm ²	981,748	2454,369	2454,369	1472,622
Tul tekan		5D25	2D25	2D25	2D25
As'	mm ²	2454,369	981,748	981,748	981,748
Kondisi		tekan, elastis	tekan, elastis	tekan, elastis	tekan, elastis
c	mm	52,746	64,262	64,262	50,347
f's	MPa	145,073	11,561	11,561	180,579
φMn	kNm	245	611,186	611,186	362,33
<u>Penulangan Geser</u>					
<u>Daerah sendi plastis</u>					
Mpr1	kNm	1004,072	1161,592	1004,072	680,609
Mpr2	kNm	1004,072	1161,592	1004,072	680,609
Pu	kN	0	221,952	221,952	221,952

Wu	kN/m	45,419	45,419	45,419	45,419
Ln	m	8,8	7,6	6,6	4,6
Vu	kN	428,043	589,251	565,124	511,357
Vs	kN	578,192	785,668	753,498	681,81
Senggang		D13	D13	D13	D13
s butuh	mm	131,52	190,833	100,921	111,532
s max	mm	300	367,25	312	312
s pakai	mm	100	150	100	100
Lapangan					
Vu	kN	360,973	516,58	492,453	438,687
Vs	kN	191,005	398,481	366,311	294,623
Senggang		D13	D13	D13	D13
s butuh	mm	367,25	190,833	207,593	258,105
s max	mm	398,125	367,25	367,25	367,25
s pakai	mm	300	150	200	250
Tulangan Torsi					
Tu	kNm	102,68	112,52	44,04	29,87
Pengangkatan					
X	cm	0,232	0,235	0,238	0,248
T	kg	18545,214	16363,424	14545,266	10908,949
Tul. Angkat		D16	D16	D16	D16

4.4.3. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder, balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Dalam perhitungan perencanaan dimensi kolom, bagian kolom yang direncanakan ialah kolom yang memikul beban terbesar.

4.4.3.1. Data umum perencanaan kolom

Data umum perencanaan adalah sebagai berikut :

Dimensi : 140/140 cm

Tinggi kolom : 400 cm

Tinggi bersih kolom	: 320 cm
Tebal decking (d') kolom	: 40 cm
Diameter tulangan utama (D)	: 32 mm
Diameter sengkang (D)	: 16 mm
Mutu tulangan (fy)	: 390 MPa
Mutu sengkang (fy)	: 390 MPa
Mutu beton (f'c)	: 40 MPa

4.4.3.2. Kontrol Dimensi Kolom

Sebelum diperiksa syarat dimensi kolom menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 harus dipenuhi bila:

- Kolom sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial
- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari $A_g \cdot f'c / 10$
 $= 1400 \times 1400 \times 40 / 10 = 7840000 \text{ N} = 7840 \text{ kN}$
 karena 7840 kN ini lebih kecil dari beban aksial berfaktor maksimum dari ETABS (21793,1 kN) maka pasal tersebut di atas berlaku :
 - Dimensi penampang terpendek 1400 mm > 300 m (Ok)
 - Rasio $b/h = 1400/1400 = 1 > 0,4$ (Ok)

4.4.3.3. Perhitungan Penulangan Kolom

Beban aksial dan momen yang terjadi pada kolom didapat dari *software* ETABS 2015.

Tabel 4.29 Gaya Dalam Kolom

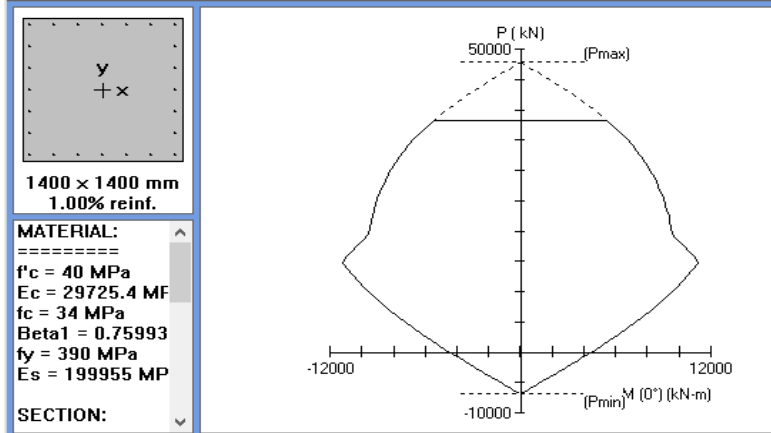
Ukuran (mm)	Aksial (kN)	Geser (kN)	Torsi (kN.m)	Momen (kN.m)
1400x1400	21793,1	235,6	61,35	634,5

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847:2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g \cdot f'c / 10$, harus memenuhi ketentuan pada *pasal* 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

$$\begin{aligned} \text{Gaya aksial terfaktor} &\leq A_g \times \frac{f'_c}{10} \\ &\leq 1400 \times 1400 \times \frac{40}{10} \\ &\leq 7840000\text{N} = 7840 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis dengan program bantu ETABS 2015 didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 21793,1 kN. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi $A_g \times \frac{f'_c}{10}$, maka detail pengekanan kolom harus sesuai dengan SNI 2847:2013 *pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.*

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu SpColumn, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.32 Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom dengan $F_x = F_y$

4.4.3.4. Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3.1, Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,06 A_g$. Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program SpColumn diperoleh Tulangan longitudinal : 24D32, dengan rasio tulangan = 1,00 % (OK).

4.4.3.5. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis struktur.

$$\phi.P_n(\max) = 0,8 \times \phi \times \left[0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right]$$

Diketahui bahwa :

$$P_u = 21793,1 \text{ kN}$$

$$A_g = 1400 \times 1400 = 1960000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n \times \pi \times r^2 = 24 \times \pi \times \left(\frac{32}{2}\right)^2 = 19302 \text{ mm}^2$$

maka :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,8 \times 0,65 [0,85 \times 40 \times (1960000 - 19302) + 390 \times 19302] \\ &= 38225976 \text{ N} = 38226,0 \text{ kN} > P_u \text{ (ok)} \end{aligned}$$

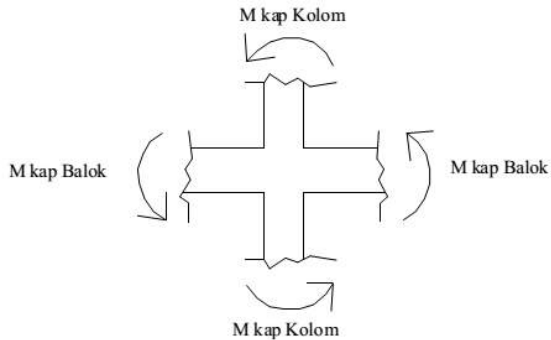
4.4.3.6. Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Di mana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_{nb}$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah

kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.



Gambar 4.33 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

Dari hasil analisis *SpColumn* didapatkan nilai $\phi M_n = 4442$ kNm dan $\phi = 0,65$

M_{nc} didapat:

$$\sum M_{nc} = 2 \times \frac{\phi M_n}{\phi} = 2 \times \frac{4442}{0,65} = 13667,7 \text{ kNm}$$

Nilai M_g dicari dari jumlah M_{nb+} dan M_{nb-} balok yang menyatu dengan kolom didapat dari M_n di tabel 4.28 penulangan balok induk. Diperoleh bahwa :

$$M_{nb+} = 1819,4 \text{ kNm}$$

$$M_{nb-} = 1766,4 \text{ kNm}$$

Sehingga

$$\sum M_{nb} = 0,85 \times (1819,4 + 1766,4) = 4482,3 \text{ kNm}$$

Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Maka;

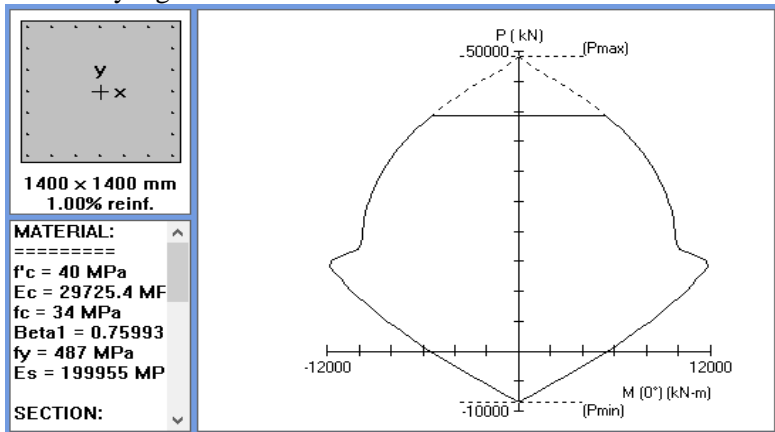
$$\sum M_{nc} = 13667,7 \text{ kNm} \geq 1,2 \times 4482,3$$

$$13667,7 \text{ kNm} \geq 5378,8 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka Memenuhi Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

4.4.3.7. Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana (V_e)

Gaya geser desain, V_e , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1, harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *joint* berdasarkan pada M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam *joint*. Dalam semua kasus V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.



Gambar 4.34 Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom dengan $F_s = 1,25f_y$

Dengan bantuan Gambar 4.34 $M_{pr} = M_b = 11808$ kNm
 Bila dianggap M_{pr} yaitu momen *balance* kolom eksterior di atas dan di bawah lantai 1 sama besar maka :

$$V_e = (2 \times M_{pr})/l_n$$

$$= (2 \times 11808)/(4 - 0,8) = 7380 \text{ kN}$$

Perhitungan Mpr balok :

Mpr balok yang digunakan adalah Mpr yang saling berlawanan arah. Pada perhitungan ini digunakan Mpr dari balok di satu sisi HBK dan Mpr⁺ dari sisi HBK lainnya dengan menganggap momen lentur di atas dan bawah kolom yang mendukung lantai 1 berbanding kebalikan dengan tinggi masing-masing (l_1 dan l_2) kolom, maka akan diperoleh gaya geser rencana berdasarkan Mpr balok sebagai berikut:

Perhitungan Mpr⁺

$$- Mpr^+ = 2274,3 \text{ kNm}$$

$$- Mpr^- = 2489,3 \text{ kNm}$$

$$Vu = 2 \times \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_1} \times \frac{l_1}{l_1 + l_2}$$

Pada struktur l_1 dan l_2 adalah tinggi kolom tingkat 1 dan 2 = 4 m.

Maka diperoleh :

$$Vu = 2 \times \frac{2274,3 + 2489,3}{4} \times \frac{4}{4 + 4} = 1190,9 \text{ kN}$$

Ternyata $V_e = 7380 \text{ kN} > 235,6 \text{ kN}$

4.4.3.8. Pengekang kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1, panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari ketentuan:

$$l_o \geq h = 1400 \text{ mm}$$

$$\geq 1/6 \times \text{tinggi bersih kolom} = 1/6 \times 3200 = 533,33 \text{ mm}$$

$$\geq 450 \text{ mm}$$

di mana s tidak boleh lebih besar dari (pasal 21.6.4.3):

$$- \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil kolom} = \frac{1}{4} \times 700 = 350 \text{ mm}$$

$$- 6 \times d_b = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

$$- S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$$

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - 200}{3} \right) = 150 \text{ mm}$$

Dimana S_o tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

Maka dipakai jarak sengkang (s) = 100 mm
 $A_{sh_{min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

dan

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}}$$

Keterangan :

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

b_c = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A_g = luasan penampang kolom (mm)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)

F_{yh} = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dengan asumsi bahwa $s = 100$ mm, $F_{yh} = 390$ MPa, selimut beton = 40 mm dan $D_s = 16$ mm. sehingga diperoleh :

$$b_c = b - 2xd' - ds = 1400 - 2x16 - 40 = 1304 \text{ mm}$$

$$A_g = 1400 \times 1400 = 1960000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (1400 - 40)^2 = 1849600 \text{ mm}^2$$

Maka :

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,3 \frac{sb_c x f'_c}{f_{yt}} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \frac{100 \times 1304 \times 40}{390} \left(\frac{1960000}{1849600} - 1 \right) \\ &= 239,489 \text{ mm}^2 \\ A_{sh} &= 0,09 \frac{sb_c x f'_c}{f_{yt}} = 0,09 \times \frac{100 \times 1304 \times 40}{390} = 1203,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai 6D16 ($A_{sh} = 1206,37 \text{ mm}^2 > 1203,69 \text{ mm}^2$), Mengingat beban aksial terfaktor kolom minimal 7840 kN

$< 38905,705$ kN, maka Nilai V_c diambil sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{21793100}{14 \times 1960000} \right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 1400 \times 1328$$

$$V_c = 3586560N = 3586,6 \text{ kN}$$

Berdasarkan A_v 6D16 = 1206,372 mm² dan s terpasang = 150 mm

$d = h$ kolom – d' – \emptyset sengkang – $\frac{1}{2}$ dl

$$d = 1400 - 40 - 16 - \frac{1}{2} 32$$

$$d = 1328 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{1206,37 \times 390 \times 1382}{150} = 6248039,682 \text{ N} = 6248,04 \text{ kN}$$

Maka $\emptyset(V_s + V_c) = 0,75(6248,04 + 3586,6) = 7376,0$ kN $> V_u = 235,6$ kN. Ini berarti A_{sh} terpasang di $L_0 = 1400$ mm cukup untuk menahan geser. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

$$S < \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 1328 = 332 \text{ mm}$$

$$< 6 \times dl = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

$$< 150 \text{ mm}$$

\therefore spasi sengkang pakai = 100 mm (untuk memenuhi V_u)

4.4.3.9. Panjang Lewatan Pada Sambungan Tulangan

Sambungan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.2, sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) \times d_b$$

Di mana :

$$\Psi_t = 1 ; \Psi_e = 1 ; \Psi_s = 1$$

$$\lambda = 1$$

$K_{tr} = 0 \rightarrow$ penyederhanaan desain

$$c = 40 + ds + \frac{1}{2}dl$$

$$= 40 + 16 + \frac{1}{2} 32$$

$$= 72 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{390}{1,1 \times 1 \times \sqrt{40}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{72 + 0}{32} \right)} \right) \times 32$$

$$l_d = 797,277 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.7.2 sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir $l_d \geq 200 \text{ mm}$, maka

$$L_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$700 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.4.3.10. Rekapitulasi Analisa Penulangan Kolom

Tabel 4.30 Rekapitulasi Analisis Penulangan Kolom

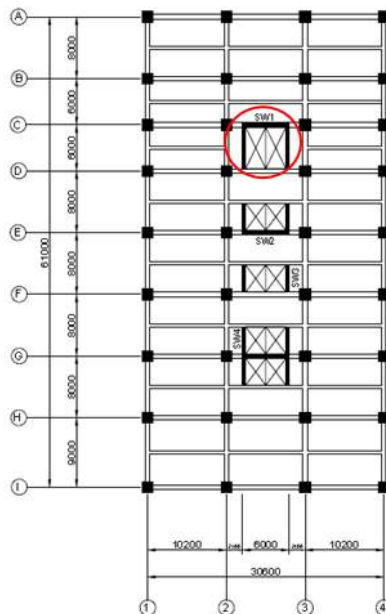
Parameter	Satuan	K1	K2	K3
<i>Data Perencanaan</i>				
Dimensi	cm	140/140	110/110	80/80
P_u	kN	21793,1	13748,4	5840,7
V_{u1}	kN	221,94	238,63	354,90
V_{u2}	kN	79,16	229,74	288,07
M_{u1}	kNm	634,5	416,6	268,3
M_{u2}	kNm	466,4	408,2	159,8

T_u	kNm	61,35	61,35	61,35
<i>Kontrol Dimensi</i>				
$A_g f'_c / 10$	kN	7840	4840	3240
$P_u > A_g f'_c / 10$	kontrol	OK	OK	OK
$b \geq 400$	kontrol	OK	OK	OK
$b/h \geq 0,4$	kontrol	OK	OK	OK
<i>Penulangan Longitudinal</i>				
Tul. pakai		24D32	16D32	8D32
ρ	%	1,00	1,08	1,02
$1\% \geq \rho \geq 8\%$	kontrol	OK	OK	OK
Interaksi P-M	kontrol	OK	OK	OK
<i>Kontrol Aksial</i>				
ϕP_n	kN	38226,0	24966,0	16702,9
$\phi P_n \geq P_u$	kontrol	OK	OK	OK
<i>Kontrol SCWB</i>				
M_{nc}	kNm	4442	2311	1745
ΣM_{nc}	kNm	13667,7	7110,8	5369,2
$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$	kontrol	OK	OK	OK
<i>Gaya Geser Rencana</i>				
M_{prc}	kNm	11808	5856	3602
L_n	m	3,2	3,2	2,7
V_e kolom	kN	7380	5660	2668
V_u struktur	kN	235,6	331,3	457,1
V_u ambil	kN	7380	5660	2694,8
<i>Penulangan Geser</i>				
l_0	mm	1400	1100	900
s max	mm	192	192	192
s ambil	mm	100	100	100
A_{sh1}	mm ²	239,5	237,5	253,7
A_{sh2}	mm ²	1203,7	926,8	552,5
Tul. pakai		6D16	5D16	3D16
A_{sh}	mm ²	1206,4	1005,3	603,2
V_c	kN	3586,6	2202,5	743,1
V_s	kN	6248,0	4674,8	1700,8
$\phi(V_s + V_c)$	kN	7376,0	5327,3	1832,9
$\phi(V_s + V_c) \geq V_u$	kontrol	OK	OK	OK
<i>Kontrol Torsi</i>				

$T_u \text{ max}$	kNm	875,6	439,3	200,1
$T_u \text{ max} \geq T_u$	kontrol	OK	OK	OK
<i>Panjang Lewatan Tul.</i>				
ld	mm	800	800	800

4.4.4. Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser (*Shearwall*) dalam struktur gedung berfungsi untuk menahan gaya geser dan momen-momen yang terjadi akibat gaya lateral. Dinding geser bekerja sebagai sebuah balok kantilever vertikal dan dalam menyediakan tahanan lateral, dinding geser menerima tekuk maupun geser. Dalam struktur bangunan ini dipakai *model section* dinding geser tipe SW1 dengan tebal 30 cm. Sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser berdasarkan hasil analisis ETABS 2015 yang mempunyai gaya paling maksimum.



Gambar 4.35 Denah penempatan *shearwall*

Data perencanaan adalah sebagai berikut :

Mutu beton ($f'c$)	= 40 MPa
Mutu baja (f_y)	= 390 MPa
Tebal dinding geser	= 30 cm
Bentang shearwall	= 6 m (Arah X dan Y)
Tinggi shearwall	= 95,5 m (keseluruhan)
Tebal selimut beton	= 40 mm

4.4.4.1. Gaya Geser Rencana *Shear Wall*

Dinding geser harus mempunyai tulangan geser horizontal dan vertikal. Sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser pada lantai dasar. Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program bantu ETABS 2015 didapatkan kombinasi *envelope* beban maksimum sebagai berikut :

Tabel 4.31 Output gaya Dalam Dinding Geser (ETABS 2015)

Kombinasi	Arah X			Arah Y		
	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)
<i>Envelope</i>	25761,633	1583,005	8240,603	21213,168	1150,516	12879,276

4.4.4.2. Kuat Aksial Rencana

Kuat aksial rencana dihitung berdasarkan (SNI 2847:2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_{nw} = 0,55 \phi f'c . A_g \left[1 - \left(\frac{k \cdot \ell_c}{32h} \right)^2 \right]$$

Di mana:

ℓ_c = panjang kolom

h = tebal dinding geser

k = faktor panjang efektif, di mana $k = 0,8$

- Untuk arah X

$$P_u = 25761,63 \text{ kN}$$

$$A_g = 300 \times 6000 = 18 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_{mw} &= 0,55 \times 0,75 \times 40 \times 18 \times 10^5 \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 4000}{32 \times 300} \right)^2 \right] \\ &= 26400000 \text{ N} \\ &= 26400 \text{ kN} > P_u = 25761,63 \text{ kN} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

- Untuk arah Y

$$P_u = 21213,17 \text{ kN}$$

$$A_g = 300 \times 6000 = 18 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_{mw} &= 0,55 \times 0,75 \times 40 \times 18 \times 10^5 \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 4000}{32 \times 300} \right)^2 \right] \\ &= 26400000 \text{ N} \\ &= 26400 \text{ kN} > P_u = 21213,17 \text{ kN} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

4.4.4.3. Pemeriksaan Tebal Dinding Geser

Tebal dinding dianggap cukup bila dihitung memenuhi (SNI 2847:2013, pasal 11.9.3)

$$\phi V_n = \phi 0,83 \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \geq V_u$$

Di mana:

h = tebal dinding geser

$$d = 0,8 \ell_w$$

- Untuk arah X

$$V_u = 1583,005 \text{ kN}$$

$$d = 0,8 \times 6000$$

$$= 4800 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,75 \times 0,83 \sqrt{40} \times 300 \times 4800 \\ &= 5669331 \text{ N} \\ &= 5669,331 \text{ kN} > V_u = 1583,005 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

- Untuk arah Y

$$V_u = 1150,516 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}d &= 0,8 \times 6000 \\ &= 4800 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,75 \times 0,83 \sqrt{40} \times 600 \times 4800 \\ &= 5669331 \text{ N} \\ &= 5669,331 \text{ kN} > V_u = 1150,516 \text{ kN} \dots(\text{OK})\end{aligned}$$

4.4.4.4. Kuat Geser Beton

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton dihitung berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 11.9.6.

$$V_c = 0,27 \lambda \sqrt{f'_c} \times h \times d + \frac{Nu \times d}{4 \times \ell_w}$$

- Untuk arah X

$$Nu = Pu = 25761,633 \text{ kN}$$

$$\ell_w = 6000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}d &= 0,8 \times 6000 \\ &= 4800 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$V_c = 0,27 \times 1 \times \sqrt{40} \times 300 \times 4800 + \frac{25761,633 \times 4800}{4 \times 6000}$$

$$= 2464139 \text{ N}$$

$$= 2464,139 \text{ kN}$$

$$Vu > 0,5\phi V_c$$

$$1150,516 \text{ kN} > 0,5 \times 0,75 \times 2464,139 \text{ kN}$$

$$1150,516 \text{ kN} > 923,7112 \text{ kN}$$

Karena $Vu > 0,5\phi V_c$, maka $\phi V_n > Vu$.

Di mana:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.1})$$

A_v = luas tulangan horizontal

s = jarak tulangan horizontal

- Untuk arah Y

$$N_u = P_u = 21213,1684 \text{ kN}$$

$$\ell_w = 6000 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 \times 6000$$

$$= 4800 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,27 \times 1 \times \sqrt{40} \times 300 \times 4800 + \frac{21213,1684 \times 4800}{4 \times 6000}$$

$$= 2463230 \text{ N}$$

$$= 2463,230 \text{ kN}$$

$$V_u > 0,5\phi V_c$$

$$1150,516 \text{ kN} > 0,5 \times 0,75 \times 2463,230 \text{ kN}$$

$$1150,516 \text{ kN} > 923,7112 \text{ kN}$$

Karena $V_u > 0,5\phi V_c$, maka $\phi V_n > V_u$.

Di mana:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.1})$$

A_v = luas tulangan horizontal

s = jarak tulangan horizontal

4.4.4.5. Penulangan Geser Dinding Geser

Sedikitnya harus dipakai dua lapis tulangan bila gaya geser di dalam bidang dinding di antara 2 komponen batas melebihi $0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c} \times \lambda$, di mana A_{cv} adalah luas *netto* yang dibatasi oleh tebal dan panjang penampang dinding (SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2)

- Arah X

$$V_u = 1583,005 < 0,17 \times (6000 \times 300) \times \sqrt{40}$$

$$= 1583,005 \text{ kN} < 1935314 \text{ N}$$

$$= 1583,005 \text{ kN} < 1935,314 \text{ kN}$$

Maka diperlukan minimal dua lapis tulangan

- Arah Y

$$\begin{aligned} V_u &= 1150,516 \text{ kN} < 0,17 \times (6000 \times 300) \times \sqrt{40} \\ &= 1150,516 \text{ kN} < 1935314 \text{ N} \\ &= 1150,516 \text{ kN} < 1935,314 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka diperlukan minimal dua lapis tulangan

4.4.4.6. Penulangan Geser Horizontal

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.9.9 rasio tulangan geser horizontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal tidak boleh kurang dari 0,0025

- Untuk arah X

Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $\ell_w / 5 = 6000 / 5 = 1200 \text{ mm}$
- $3h = 3 \times 300 = 900 \text{ mm}$
- 450 mm.

Maka, dipakai jarak tulangan $s = 450 \text{ mm}$.

Dipakai tulangan horizontal dua lapis 2D10 ($A_s = 157,0796327 \text{ mm}^2$)

$$\rho_t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{157,0796327}{300 \times 450} = 0,00116355$$

$$\rho_t = 0,00116355 < \rho_{\min} = 0,004054 \dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v f_y d}{s} \\ &= \frac{157,079633 \times 390 \times 4800}{450} \end{aligned}$$

$$= 653451,27 \text{ N} = 653,45127 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 2464,139 + 653,4512719$$

$$= 3117,590707 \text{ kN} > V_u = 1583,0054 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

Maka, digunakan tulangan geser horizontal 2D10 – 450 mm.

- Untuk arah Y

Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$a) \ell_w / 5 = 6000 / 5 = 1200 \text{ mm}$$

$$b) 3h = 3 \times 300 = 900 \text{ mm}$$

$$c) 450 \text{ mm.}$$

Maka, dipakai jarak tulangan $s = 450 \text{ mm}$.

Dipakai tulangan horizontal dua lapis 2D10 ($A_s = 157,0796327 \text{ mm}^2$)

$$\rho_t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{157,0796327}{300 \times 450} = 0,00116353$$

$$\rho_t = 0,00116353 < \rho_{\min} = 0,004054 \dots \text{OK}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$= \frac{157,079633 \times 390 \times 4800}{450}$$

$$= 653451,2719 \text{ N} = 653,4512719 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 2463,23 + 653,4512719$$

$$= 3116,681014 \text{ kN} > V_u = 1150,5161 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

Maka, digunakan tulangan geser horizontal 2D10 – 450 mm.

4.5. Perencanaan Sambungan

4.5.1. Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan pada sistem pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Bagian ini berfungsi untuk meneruskan gaya antar setiap elemen pracetak yang disambung. Kelemahan konstruksi sistem pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit sehingga lemah dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit. Elemen pracetak dengan tuangan beton di atasnya, diharapkan sambungan elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur yang monolit. Gaya dapat disalurkan antara komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat atau kombinasi dengan cara-cara tersebut. Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok pracetak, sambungan balok induk pracetak dengan dengan balok anak pracetak, sambungan balok pracetak dengan dengan kolom.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Dalam pelaksanaan kontruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan, dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-

beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Di mana L_n = bentang bersih elemen pracetak

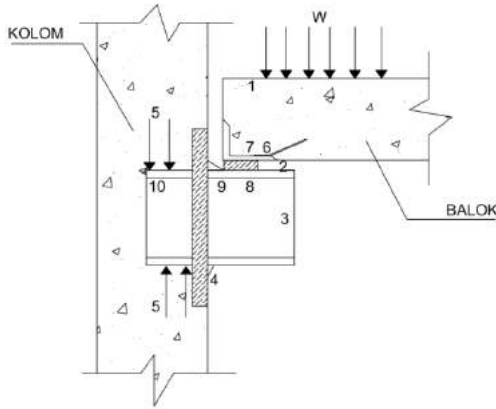


Gambar 4.36 Panjang Tumpuan pada Tumpuan

4.5.2. Konsep Desain Sambungan

4.5.2.1. Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti gambar 4.37 di mana pemindahan beban diteruskan ke kolom dengan melalui tahap sebagai berikut:



Gambar 4.37 Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan / ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

4.5.2.2. Klasifikasi Sistem dan Sambungannya

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan :

a. Lokasi penyambungan

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

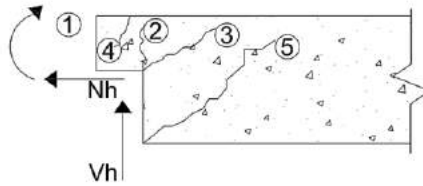
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktail*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

b. Jenis alat penyambung

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, di mana bagian *joint* di-*grout*.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, di mana bagian *joint* tidak di-*grout*.
- Sambungan-sambungan mekanik

4.5.2.3. Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 4.38

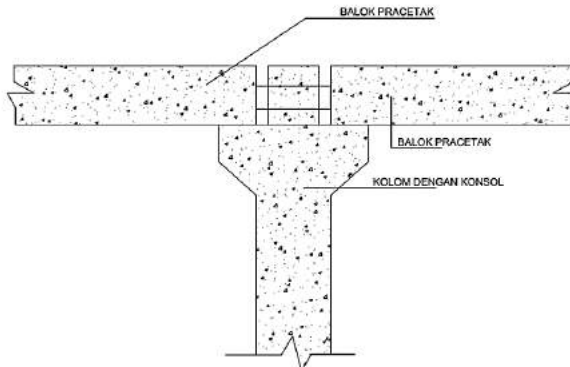


Gambar 4.38 Model keruntuhan

PCI Design Handbook memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut

- 1) Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada tugas akhir ini direncanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 4.39 berikut ini :



Gambar 4.39 Model sambungan balok pada konsol kolom

4.5.3. Penggunaan *Topping* Beton

Penggunaan *topping* beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah :

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata.
- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau *camber* mereduksi kebocoran air.

Tebal *topping* umumnya berkisar antara 40 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui 5,50 kg/cm². Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka *topping* beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada *topping* dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf} \text{ min}$$

Di mana :

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal < 0,2 $f_c A_c$ (Newton)

< 5,5 A_c (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

f_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

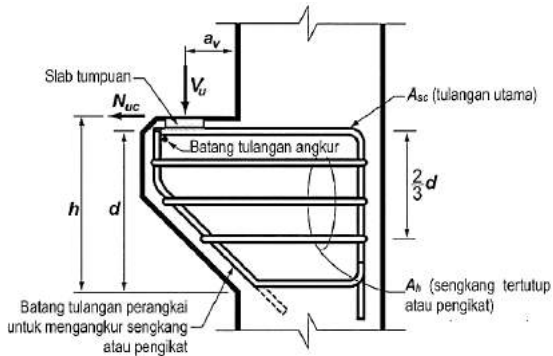
$A_{vf} \text{ min} = 0,018 A_c$ untuk baja tulangan mutu $f_y < 400$ MPa

= 0,018 \times 400/ f_y untuk tulangan $f_y > 400$ MPa diukur pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari 0,0014 A_c

4.5.4. Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

4.5.4.1. Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.40 berikut ini:



Gambar 4.40 Geometrik konsol pendek

Ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc} , tidak lebih besar daripada V_u . Tinggi efektif d harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari $0,5d$
3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan V_u suatu momen terfaktor $V_{ua} + N_{uc} (h-d)$, dan gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}
 - 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8, \emptyset harus diambil sama dengan 0,75

- 2) Desain tulangan geser-friksi A_{vf} untuk menahan V_u harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.6:
- Untuk beton berat normal, V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari $0,2 \times f'_c \times b_w \times d$, $(3,3+0,08f'_c) b_w d$, dan $11 b_w d$.
 - Untuk beton ringan atau ringan pasir, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $\left(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}\right) f'_c b_w d$ dan $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}\right) b_w d$
 - Tulangan A_f untuk menahan terfaktor $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3
 - Tulangan A_n untuk menahan gaya tarik terfaktor N_{uc} harus ditentukan dari $\phi A_n f_y \geq N_{uc}$. Gaya tarik terfaktor, N_{uc} tidak boleh diambil kurang dari $0,2V_u$ kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya tarik. N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkang, susut, atau perubahan suhu.
 - Luas tulangan Tarik utama A_{sc} tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari $(A_f + A_n)$ dan $\left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n\right)$
4. Luas total A_h , sengkang tertutup atau pengikat paralel terhadap tulangan tarik utama tidak boleh kurang dari $0,5(A_{sc} - A_n)$, Distribusikan A_h secara merata dalam $(2/3)d$ bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5. $\frac{A_{sc}}{bd}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f'_c}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkur dengan salah satu dari berikut:
- Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan f_y tulangan tarik utama;
 - Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal; atau
 - Dengan suatu cara pengankuran baik lainnya

7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan).

4.5.4.2. Perhitungan Konsol pada Kolom

a. Data perencanaan

Vu *output* analisis dengan *software* ETABS 2015 = 589251,3 N

Dimensi Balok = 60/80

Dimensi konsol :

bw = 600 mm

h = 400 mm

d = 400 - 40 - 25 = 335 mm

f'c = 35 MPa

fy = 390 MPa

a = 200 mm

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a/d = 200 / 335 = 0,597 < 1$ (OK)

- $N_{uc} \leq V_u$

$$N_{uc} = 0,2 \times 589251,3 = 117850,3 \text{ N} \leq 589251,3 \text{ N (OK)}$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{589251,3}{0,75} = 785668,4 \text{ N}$$

a. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$0,2 f'c \times bw \times d = 0,2 \times 35 \times 600 \times 335$$

$$= 1407000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$11 bw d = 11 \times 460 \times 335$$

$$= 2211000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$$

$$= \frac{785668,4}{390 \times 1,4}$$

$$= 2820,348 \text{ lmm}^2$$

b. Luas tulangan lentur :

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengizinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$M_u = V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d)$$

$$= (589251,3 \times 200) + (117850,3 \times (400-335))$$

$$= 125510526,9 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,85 \times b \times d \times dx^2} = \frac{1255105269}{0,85 \times 600 \times 335^2} = 1,54$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,54}{390}} \right) = 0,00405$$

$\rho = 0,00405 > \rho_{min} = 0,00379$, maka dipakai $\rho = 0,00405$ (menentukan)

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{125510527}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 335} = 1506,92 \text{ lmm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,00405 \times 600 \times 335$$

$$A_{f2} = 814,35 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai $A_f = 814,35 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok A_s :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{117850,3}{0,75 \times 390} = 402,90687 \text{ mm}^2$$

c. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$A_s = A_f + A_n = 814,35 + 402,90687 = 1217,256 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 2820,3481}{3} \right) + 402,90687 = 2283,1389 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

$$A_{s_{\min}} = 0,04 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left(\frac{35}{390} \right) 600 \times 335 = 721,54 \text{ mm}^2$$

$A_s = 2283,1389 \text{ mm}^2$ menentukan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$A_n = 0,5 (A_s - A_n) = 0,5 (2283,13894 - 402,9068718) = 940,1160342 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 5D25 ($A_s = 2454,369 \text{ mm}^2$)

Dipasang sepanjang $(2/3)d = 2/3 \times 335 = 233,33 \text{ mm}$

Dipasang 200 mm (vertikal)

dipasang 2D13 dengan spasi $250/5 = 50 \text{ mm}$

d. Luas pelat landasan :

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{589251,3}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 26409,02 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $200 \times 300 \text{ mm}^2 = 60000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

4.5.4.3. Perhitungan Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$\begin{aligned} d_b &= 25 \text{ mm} \\ A_s \text{ perlu} &= 2283,1389 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ terpasang} &= 2454,369 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a. Panjang penyaluran tulangan deform dalam tekan

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$\begin{aligned} l_{dc} &\geq (0,24 f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) d_b \\ &\geq (0,24 \times 390 / 1 \sqrt{35}) 25 \\ &\geq 395,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{dc} &\geq (0,043 f_y) d_b \\ &\geq (0,043 \times 390) 25 \\ &\geq 419,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai $l_d = 419,25 \approx 420 \text{ mm}$.

b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

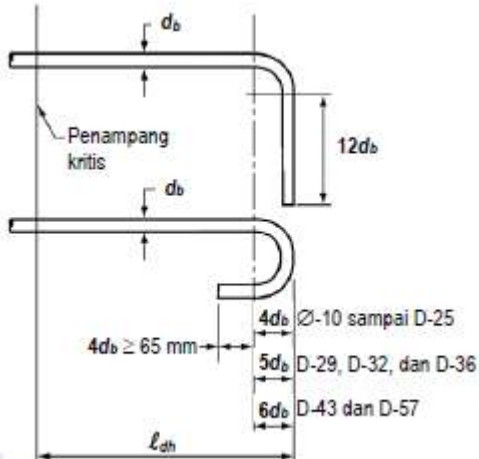
Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1, maka :

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$

$$\bullet \ell_{dh} = (0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'c}) / d_b$$

$$= (0,24 \times 1 \times 390 / 1 \times \sqrt{35}) / 25 = 22,1498 \text{ mm}$$

Maka dipakai $\ell_{dh} = 2000 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$



Gambar 4.41 Detail batang tulangan dengan kait standar

4.5.5. Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak digunakan sambungan dengan konsol pendek. Balok anak diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek.

4.5.5.1. Perencanaan Konsol pada Balok Induk

Dari analisis struktur sekunder didapatkan :

$$V_u = 187574,2 \text{ N}$$

Data Perencanaan :

Dimensi Balok Anak 40/60

Dimensi konsol :

$$b_w = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 40 - 25 = 335 \text{ mm}$$

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

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$a = 150 \text{ mm}$$

$$a/d = 150 / 335 = 0,4477612 < 1 \dots \text{OK}$$

$$V_n = \frac{187574,2}{0,75} = 250098,93 \text{ N}$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2 (a), syarat nilai kuat geser

V_n untuk beton normal adalah

$$0,2 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot d = 0,2 \times 35 \times 300 \times 335 \\ = 703500 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$11 b_w d = 11 \times 300 \times 335 \\ = 1105500 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

Luas tulangan geser friksi :

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien gesek $\mu = 1,4$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \text{ (SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2)} \\ = \frac{250098,93}{390 \times 1,4} = 897,79104 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan lentur :

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengizinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u = 0,2 \times 49215,013 = 9843 \text{ N}$$

$$M_u = V_{ua} \times a + N_{uc} (h - d) \\ = (187574,2 \times 150) + (37514,84 \times (400 - 335)) \\ = 30574594,6 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109244$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times 300 \times dx^2} = \frac{30574594,6}{0,8 \times 300 \times 400^2} = 0,7493773 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,109244} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109244 \times 0,7493773}{390}} \right)$$

$$\rho = 0,0019463 < \rho_{\min} = 0,0036, \text{ maka dipakai } \rho = 0,0019463$$

$$Af_1 = \frac{Mu}{0,85 \times \emptyset \times f_y \times d}$$

$$Af_1 = \frac{30574594,6}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 335} = 367,0888 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

$$Af_2 = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0019463 \times 300 \times 335 = 195,6042 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi dipakai } Af = 367,0888 \text{ mm}^2$$

Tulangan pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\emptyset \times f_y} = \frac{37514,84}{0,75 \times 390} = 128,25586 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\min}} = 0,04 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) b \cdot d = 0,04 \left(\frac{35}{390} \right) \times 300 \times 335$$

$$= 360,76923 \text{ mm}^2$$

$$A_s = (A_f + A_n)$$

$$= (195,6042 + 128,25586)$$

$$= 323,86002 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \left(\frac{2Av_f}{3} + A_n \right)$$

$$A_s = \left(\frac{2 \times 897,79104}{3} + 128,2559 \right) = 726,78323 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

$$\text{Jadi dipakai tulangan 2D25 (} A_s = 981,7477 \text{ mm}^2)$$

$$A_h = 0,5(A_s - A_n) = 0,5 \times (726,7832251 - 128,25586) \\ = 299,2636809 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2D13 = 265,46 mm²

Dipasang sepanjang (2/3) d = (2/3) x 335 = 250 mm (vertikal)

Luas pelat landasan :

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f'_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{187574,2}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 8406,686835 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan 150 x 150 mm² = 22500 mm² (tebal 15 mm)

4.5.5.2. Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

db = 22 mm

a. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$l_{dc} \geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'_c})db \\ \geq (0,24 \times 390/1\sqrt{35})22 \\ \geq 348,07 \text{ mm}$$

$$l_{dc} \geq (0,043fy)db \\ \geq (0,043 \times 390)22 \\ \geq 368,94 \text{ mm}$$

Maka dipakai $l_d = 368,94 \approx 370 \text{ mm}$.

b. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1, maka :

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y}{1,7\lambda} \frac{\Psi_t \Psi_e}{\sqrt{f'c}} \right) \times d_b \\
 &= \left(\frac{390}{1,7 \times 1} \frac{1,3 \times 1}{\sqrt{35}} \right) \times 22 \\
 &= 1109,04 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$l_d > 300 \text{ mm} \dots \text{OK}$

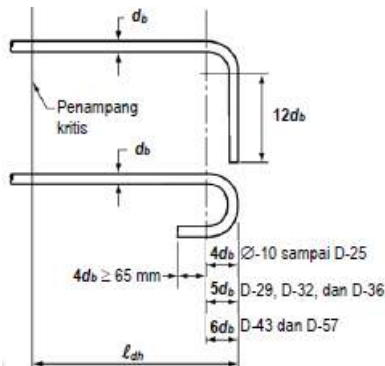
Maka dipakai panjang penyaluran tulangan tarik $l_d = 1109,04 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$

c. Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5, maka :

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $l_{dh} = (0,24 \psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'c}) / d_b$
 $= (0,24 \times 1 \times 390 / 1 \times \sqrt{35}) / 22 = 25,17023035 \text{ mm}$

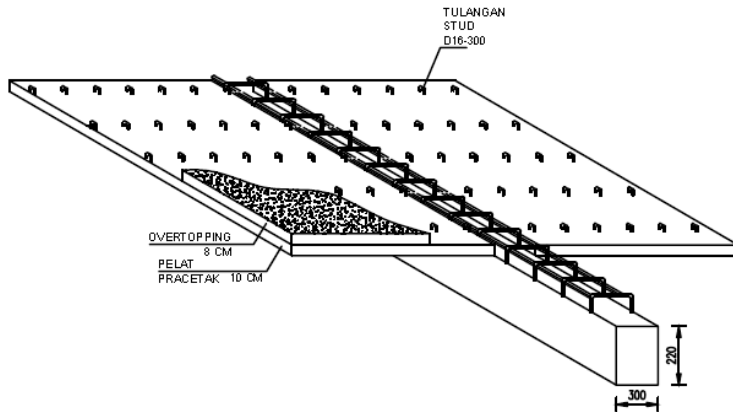
Maka dipakai $l_{dh} = 180 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 d_b = 12 \times 22 = 264 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$



Gambar 4.42 Detail batang tulangan dengan kait standar

4.5.6. Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintang tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.



Gambar 4.43 Panjang Penyaluran Pelat

4.5.6.1. Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Tipe P1

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat tipe P1 sebagai berikut:

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

Arah X	– As perlu	: 315,41 mm ²
	As terpasang	: 392,7 mm ²

Tulangan bagi	– As perlu	: 290 mm ²
	As terpasang	: 314,16 mm ²

a. Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

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

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \dots \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{35}}$$

$$\ell_d = 379,7109 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 380 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 390 = 167,7 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{10 \times 390}{4 \times \sqrt{35}} = 164,81 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 200 \text{ mm}$

b. Penyaluran Tulangan Bagi

- Kondisi tarik

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

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \dots \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{35}}$$

$$\ell_d = 420,651 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 450 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 390 = 167,7 \text{ mm}$$

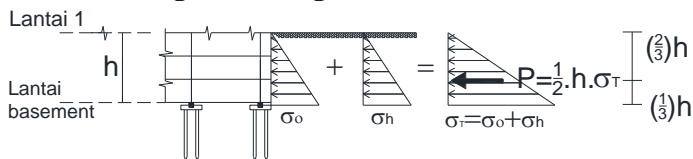
$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{10 \times 390}{4 \times \sqrt{35}} = 164,81 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 200 \text{ mm}$

4.6. Perencanaan Basement

Perencanaan Basement menggunakan dinding geser yang juga difungsikan sebagai penahan tanah. Tinggi *basement* yang direncanakan memiliki ketinggian 4 m.

4.6.1 Penulangan Dinding Basement



Gambar 4.44 Diagram tegangan yang terjadi pada dinding *basement*

Data perencanaan basement adalah sebagai berikut :

Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
Mutu Baja (f_y)	= 390 MPa
Tebal dinding basement (t)	= 30 cm

Diameter Tulangan	= 22 mm
Tinggi Dinding basement	= 4 m
Panjang besmen	= 10,2 m
Tebal selimut beton	= 40 mm

$$d = t - \text{decking} - 1/2 D - D$$

$$= 300 - 40 - 11 - 22 = 227 \text{ mm}$$

Hasil analisa perhitungan, didapatkan $M_u \text{ max} = 106666667 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1066666667}{0,8} = 133333333,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bdx^2} = \frac{1333333333}{10200 \times 227^2} = 0,253680363 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,1092437$$

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

$$= \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,25}{390}} \right) = 0,00065326$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00358 \times 10200 \times 227$$

$$= 8311,692308 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{8311,692308}{379,94} = 21,8763 \text{ buah} \approx 22 \text{ buah}$$

$$S_{\max} = \frac{10200 - 2 \times 40}{22 - 1} = 481,9047619 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 22 \times 379,94 = 8358,68 \text{ mm}^2$$

Jadi dipasang tulangan **D22-450**

- **Kontrol ketebalan minimum dinding basement**

Menurut SNI 2847:2013 pasal 15.5.3.2 yang menyatakan bahwa tebal dinding *basement* eksterior dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.

Dinding basement yang dipakai 300 mm.

- **Kontrol Rasio Tulangan**

Menurut SNI 2847:2013 pasal 14.3.3 menyatakan bahwa rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto, ρ_t , harus 0,0020 untuk bentang ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa

$$\rho_t = \frac{379,94 \times 22}{(10200 \times 300)} = 0,002731595 > 0,0020 \text{ (OK)}$$

4.6.1 Penulangan Pelat Lantai *Basement*

- **Pelat Lantai**

Perhitungan pelat P1 *basement* dengan dimensi 10200 mm \times 4500 mm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya. Untuk pelat lantai *basement* tidak menggunakan beton *precast* melainkan menggunakan beton cor setempat. Beban-beban untuk lantai gudang berdasarkan SNI 1727:2012 dengan beban hidup sebesar 400 kg/m².

Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah

$$D_f = 4 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$t = 0,18 \text{ m}$$

σ_h = tekanan hidrostatis oleh air tanah

$$= \gamma_w \times \text{volume } \textit{basement}$$

$$= 1 \times \text{Luas} \times (D_f + t)$$

$$= 1 \times (10,2 \times 4,5) \times (4 + 0,18) = 191,86 \text{ ton/m}^2$$

Beban Mati

$$\begin{aligned}
 q_d &= \text{berat sendiri pelat} + \text{spesi 3 cm} + \text{ducting \& plumbing} \\
 &= (0,18 \times 2400) + (0,03 \times 2100) + (40) \\
 &= 535 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 q_l &= \text{beban hidup untuk lantai gudang} \\
 &= (0,8 \times 400) \\
 &= 320 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Kombinasi beban pelat

$$q_u = 1,2q_d + 1,6q_l = 1,2 \times 535 + 1,6 \times 320 = 1154 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 180 - 40 - (\frac{1}{2} \times 10) = 135 \text{ mm}$$

$$d_y = 180 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 10) = 125 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{78,54 \times 390}{0,85 \times 35 \times 300} = 1,03$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,03}{0,8} = 1,29$$

$$\epsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{125}{1,29} - 1 \right) 0,003 = 0,288$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat $\phi = 0,9$

- **Perhitungan penulangan tumpuan arah X**

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{9600}{3900} = 2,46 < 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$M_{lx}^{(+)} = M_{tx}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \times x \rightarrow x = 83$$

$$M_{lx}^{(+)} = M_{tx}^{(-)} = 0,001 \times 1154 \times 3,9^2 \times 83 = 1456,84 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{14568442,2}{0,9} = 16187158 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bdx^2} = \frac{16187158}{1000 \times 135^2} = 0,888 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1 \times 13,109 \times 0,888}{390}} \right) \\ &= 0,00115 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 135 \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jika dipakai tulangan D10 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{270}{78,54} = 3,43 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 4 \times 78,54 = 314,159 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan lentur **D10-200**

- **Perhitungan penulangan tumpuan arah Y**

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{9600}{3900} = 2,46 < 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$M_{\text{uly}}^{(+)} = M_{\text{uly}}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_y^2 y \rightarrow y = 57$$

$$M_{\text{uly}}^{(+)} = M_{\text{uly}}^{(-)} = 0,001 \times 1154 \times 9,6^2 \times 57 = 6062,1 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6062,1}{0,9} = 67356672 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bdx^2} = \frac{67356672}{1000 \times 125^2} = 4,31 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 4,31}{390}} \right) \\ &= 0,0137\end{aligned}$$

Dipakai $\rho_{\text{min}} = 0,002$

$$\begin{aligned}A_s_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jika dipakai tulangan D10 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{250}{78,54} = 3,18 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 4 \times 78,54 = 314,159 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan lentur **D10-200**

4.7. Perencanaan Pondasi

4.7.1. Umum

Pada umumnya pondasi merupakan komponen struktur pendukung bangunan yang terletak di bagian terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perencanaannya, pondasi terdiri dari dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif kecil, sedangkan untuk pondasi dalam dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif besar seperti pada gedung yang berlantai banyak.

Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *Spun Pile* produk dari PT. Wijaya Karya Beton. Pada bab perencanaan pondasi pembahasan meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (*pile cap*) dan perencanaan sloof (*tie beam*).

4.7.2. Data Tanah

Sebelum merencanakan pondasi yang akan digunakan, perlu dilakukan penyelidikan tanah yang berfungsi untuk mengetahui jenis dari tanah tersebut sehingga dapat dilakukan perencanaan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah. Perencanaan pondasi pada gedung ini sesuai dengan penyelidikan tanah di lapangan. Adapun data tanah yang telah tersedia di lapangan meliputi data penyelidikan tanah hasil SPT.

Data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung ini adalah data tanah pembangunan gedung di Balikpapan, Kalimantan Timur hasil Uji Tanah PT Kalimantan Soil Engineering.

4.7.3. Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Spun Pile* Produk dari PT. Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang K-600 (*concrete cube compressive strength is 600 kg/cm² at 28 days*).

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan :

- *Diameter outside (D)* : 1000 mm
- *Thickness* : 140 mm
- *Bending momen crack* : 75 tm
- *Bending momen ultimate* : 112,5 tm
- *Allowable axial* : 613,52 ton

4.7.4. Daya Dukung

4.7.4.1. Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_r). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang ditanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung izin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Di mana :

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_P = *Resistance ultime* di dasar pondasi

Q_S = *Resistance ultime* akibat lekatan lateral

Q_p = $q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$

Di mana :

A_p = Luas penampang ujung tiang

N_p = Harga rata-rata *SPT* 4B di atas dasar pondasi dan 4B di bawah dasar pondasi.

K = Koefisien karakteristik tanah

$12 \text{ t/m}^2 = 117,7 \text{ kPa}$, (untuk lempung)

$20 \text{ t/m}^2 = 196 \text{ kPa}$, (untuk lanau berlempung)

$25 \text{ t/m}^2 = 245 \text{ kPa}$, (untuk lanau berpasir)

$40 \text{ t/m}^2 = 392 \text{ kPa}$, (untuk pasir)

Q_p = Tegangan di ujung tiang

Q_s = $q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Di mana :

qs = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m²

Ns = Harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam,
dengan batasan ; $3 \leq N \leq 50$

As = Keliling x panjang tiang yang terbenam
Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi
N' berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Di mana:

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah
muka air tanah.

4.7.4.2. Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi kelompok, terlebih dahulu
dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi Ce.

$$QL (\text{group}) = QL (\text{1 tiang}) \times n \times \eta$$

dengan n = jumlah tiang dalam group

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre
adalah :

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left(\frac{(m-1).n + (n-1).m}{90.m.n} \right) \right\}$$

Di mana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam grup

n = jumlah kolom tiang pancang dalam grup

4.7.4.3. Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan
oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V),
horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertikal
ekuivalen (Pv) yang bekerja pada sebuah tiang adalah

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}$$

Di mana :

- P_i = total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau
 y_{max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y
 x_{max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x
 $\sum x_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah x
 $\sum y_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah y

nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negatif bila berlawanan dengan arah e.

4.7.5. Perhitungan Tiang Pancang

Untuk perancangan pondasi kolom diambil gaya-gaya dalam paling minimum pada kolom K1. Sehingga untuk pondasi kolom yang lain direncanakan tipikal.

Dari analisa struktur ETABS 2015 pada kaki kolom dengan kombinasi **1,0D+1,0L** didapat gaya-gaya dalam sebagai berikut :

- P = 1520,36812 ton
 M_{ux} = 895,26 kg.m
 M_{uy} = 14478,66 kg.m
 H_x = 10320,03 kg
 H_y = 199,56 kg

4.7.5.1. Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari hasil data tanah yang didapatkan dari PT Kalimantan Soil Engineering digunakan contoh untuk kedalaman 24 m dengan diameter tiang pancang 1000 mm (lihat Tabel 4.32).

Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *Luciano Decourt* : $Q_N = Q_p + Q_s$

Di mana:

- Q_p = $(N_p \cdot K) \cdot A_p$
 = $(32,5 \times 20 \times 0,785398) = 510,5088062 \text{ t}$
 Q_s = $(N_s/3 + 1) \cdot A_s$
 = $(31,95/3 + 1) \times 37,69911184 = 439,2517728 \text{ t}$
 Q_N = $Q_p + Q_s$
 = $510,5088062 + 439,2517728 = 949,761 \text{ t}$
 Q_U = Pijin 1 tiang = 316,586 t

Tabel 4.32 Hasil SPT

D (m)	N-SPT	N'	Jenis	Np	K t/m ²	qp t/m ²	Ns	Ns/3	qs t/m ²	Qp ton	Qs ton	Ql ton	Qijin ton	n min tiang
			Tanah											
0	26	20,5	lempung	27,25	20	428	20,50	6,83	7,83	336,2	0,0	336,2	112,1	13,6
1	39,5	27,25	lempung	29,00	20	580	23,88	7,96	8,96	455,5	28,1	483,7	161,2	9,4
2	53	34	lempung	30,10	20	602	27,25	9,08	10,08	472,8	63,4	536,2	178,7	8,5
3	53,5	34,25	lempung	32,70	20	654	29,00	9,67	10,67	513,7	100,5	614,2	204,7	7,4
4	54	34,5	lempung	33,75	20	675	30,10	10,03	11,03	530,1	138,6	668,8	222,9	6,8
5	52	33,5	lempung	33,10	20	662	30,67	10,22	11,22	519,9	176,3	696,2	232,1	6,6
6	50	32,5	lempung	32,05	20	641	30,93	10,31	11,31	503,4	213,2	716,6	238,9	6,4
7	46,5	30,75	Batubara	31,30	20	626	30,91	10,30	11,30	491,7	248,5	740,2	246,7	6,2
8	43	29	Batubara	31,10	20	622	30,69	10,23	11,23	488,5	282,3	770,8	256,9	5,9
9	46,5	30,75	lempung	31,10	20	622	30,70	10,23	11,23	488,5	317,6	806,1	268,7	5,7
10	50	32,5	lempung	31,45	20	629	30,86	10,29	11,29	494,0	354,6	848,6	282,9	5,4
11	50	32,5	pasir kerikil berlempung	32,15	40	1286	31,00	10,33	11,33	1010,0	391,7	1401,7	467,2	3,3
12	50	32,5	pasir kerikil berlempung	32,50	40	1300	31,12	10,37	11,37	1021,0	428,7	1449,7	483,2	3,1
13	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,21	10,40	11,40	510,5	465,8	976,3	325,4	4,7
14	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,30	10,43	11,43	510,5	502,9	1013,4	337,8	4,5

15	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,38	10,46	11,46	510,5	540,0	1050,5	350,2	4,3
16	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,44	10,48	11,48	510,5	577,1	1087,6	362,5	4,2
17	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,50	10,50	11,50	510,5	614,2	1124,7	374,9	4,1
18	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,55	10,52	11,52	510,5	651,3	1161,8	387,3	3,9
19	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,60	10,53	11,53	510,5	688,4	1198,9	399,6	3,8
20	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,64	10,55	11,55	510,5	725,6	1236,1	412,0	3,7
21	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,68	10,56	11,56	510,5	762,7	1273,2	424,4	3,6
22	50	32,5	lempung	32,50	20	650	31,72	10,57	11,57	510,5	799,8	1310,3	436,8	3,5
23	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,75	10,58	11,58	510,509	836,9	1347,4	449,1	3,3849
24	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,78	10,59	11,59	510,509	874,1	1384,6	461,5	3,2941
25	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,81	10,60	11,60	510,509	911,2	1421,7	473,9	3,208
26	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,83	10,61	11,61	510,509	948,4	1458,9	486,3	3,1264
27	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,86	10,62	11,62	510,509	985,5	1496,0	498,6	3,0487
28	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,88	10,63	11,63	510,509	1022,7	1533,2	511,0	2,9748
29	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,90	10,63	11,63	510,509	1059,8	1570,3	523,4	2,9045
30	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,92	10,64	11,64	510,509	1097,0	1607,5	535,8	2,8373
31	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,94	10,65	11,65	510,509	1134,1	1644,6	548,2	2,7732
32	50	32,5	lempung	32,50	20	650,00	31,95	10,65	11,65	510,509	1171,3	1681,8	560,6	2,712

Berdasarkan Tabel 4.33, daya dukung 1 pondasi berdiameter 100 cm pada kedalaman 12 m (tanah keras) adalah :

$$P_{\text{izin 1 tiang rata-rata}} = 483,2 \text{ ton}$$

Daya dukung izin pondasi satu tiang diameter 100 cm berdasarkan mutu bahan adalah :

$$\text{Diameter} = 100 \text{ cm}$$

$$P_{\text{tiang}} = 613,52 \text{ ton (Produksi PT. Wijaya Karya Beton)}$$

(menentukan)

$$P_{\text{izin}} = 483,2 \text{ ton} = 483200 \text{ kg}$$

4.7.5.2. Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk menentukan jumlah tiang yang diperlukan dalam menahan beban reaksi kolom dapat dihitung dengan pendekatan jumlah tiang perlu adalah beban aksial *ultimate* dasar kolom (Hasil dari analisa struktur dengan program bantu ETABS 2015) dibagi dengan daya dukung izin satu tiang.

Jumlah tiang yang minimum yang diperlukan

$$n = \frac{P_n}{p_{\text{ijin}}} = \frac{1520,37}{483,2} = 3,15 \approx 4 \text{ tiang}$$

Dengan adanya beban akibat gaya lateral maka dicoba dengan 4 tiang pancang dengan susunan 2 x 2.

Jumlah Tiang pancang didesain jaraknya sesuai yang diizinkan. Tebal poer yang direncanakan pada tiang pacang grup ini sebesar 1,2 meter.

➤ Jarak antar tiang :

$$2,5 D \leq S \leq 3 D$$

$$2,5 \times 100 \leq S \leq 3 \times 100$$

$$250 \text{ cm} \leq S \leq 300 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 300 cm

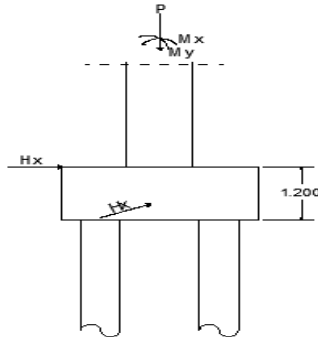
➤ Jarak tepi tiang pancang :

$$1 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1 \times 100 \leq S_1 \leq 2 \times 100$$

$$100 \text{ cm} \leq S_1 \leq 200 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 100 cm



Gambar 4.45 Pengaturan Jarak Tiang Pancang Pondasi Kolom

➤ Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok:

Untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan apa yang disebut koefisien efisiensi (η). Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre.

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left(\frac{(m-1).n + (n-1).m}{90.m.n} \right) \right\}$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam grup = 2

n = jumlah kolom tiang pancang dalam grup = 2

Perhitungan :

$$(\eta) = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{1000}{3000} \right) \left(\frac{((3-1) \times 3) + ((3-1) \times 3)}{90 \times 3 \times 3} \right) \right\} = 0,726$$

Sehingga :

$$Q_{ijin\ grup} = \eta \times Q_{ijin\ 1\ tiang} \times n$$

$$= 0,795167235 \times 483,2 \text{ ton} \times 4$$

$$= 1537,03089 \text{ ton} > P_u = 1520,36812 \text{ ton}$$

➤ Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pondasi Kelompok Momen yang bekerja pada poer akibat adanya gaya horisontal :

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}$$

Dimana :

P_i = Total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

y_{\max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y

x_{\max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x

$\sum x_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah x

$\sum y_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah y

$\sum x_i^2 = 4 \cdot (15)^2 = 9 \text{ m}^2$

$\sum y_i^2 = 4 \cdot (15)^2 = 9 \text{ m}^2$

Momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{\text{poer}}) = 895,26 + (199,56 \times 1,2) \\ &= 1134,732 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= M_{uy} + (H_x \times t_{\text{poer}}) = 14478,66 + (10320,03 \times 1,2) \\ &= 26862,696 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

a. Reaksi kolom = 1520368,12 kg

b. Berat poer = $7 \times 7 \times 1,2 \times 2400 = \underline{141120 \text{ kg}}$

Berat total (ΣV) = 1661488,12 kg

Sehingga didapatkan :

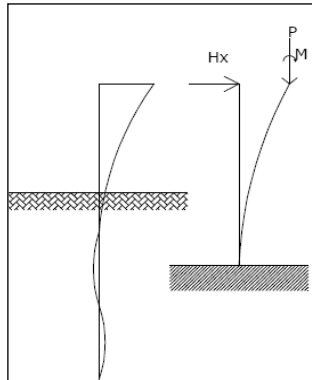
$$P_{\max} = \frac{415372,03}{6} + \frac{1134,732 \times 2,3}{21,16} + \frac{26862,696 \times 2,3}{21,16} = 418415,2287 \text{ kg}$$

Jadi beban maksimal yang diterima 1 tiang adalah 418415,2287 Kg

Kg

$$P_{\max} = 418415,2287 \text{ kg} < Q_{\text{all}} = 483200 \text{ kg} \dots \dots \dots \text{OK}$$

4.7.5.3. Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral Interior



Gambar 4.46 Diagram Gaya Lateral Tiang Pondasi

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat *multi layer*

$$L_e = \text{panjang penjepitan} \\ = 3 \times 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Dipakai } L_e = 3 \text{ m}$$

$$M_y = L_e \times H_y \\ = 3 \times 199,56 \text{ kg} \\ = 598,68 \text{ kgm} \\ = 0,59868 \text{ tm}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{0,59868}{4} = 0,14967 \text{ tm}$$

$$M_y < M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi Wika Beton)}$$

$$0,14967 \text{ tm} < 75 \text{ tm} \dots\dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned}
 M_x &= L_e \times H_x \\
 &= 3 \times 10320,03 \text{ kg} \\
 &= 30960,09 \text{ kgm} \\
 &= 30,96009 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$M_x \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{30,96009}{4} = 7,7400225 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned}
 M_x &< M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi Wika Precast)} \\
 7,7400225 \text{ tm} &< 75 \text{ tm} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.7.6. Perencanaan *Bored Pile*

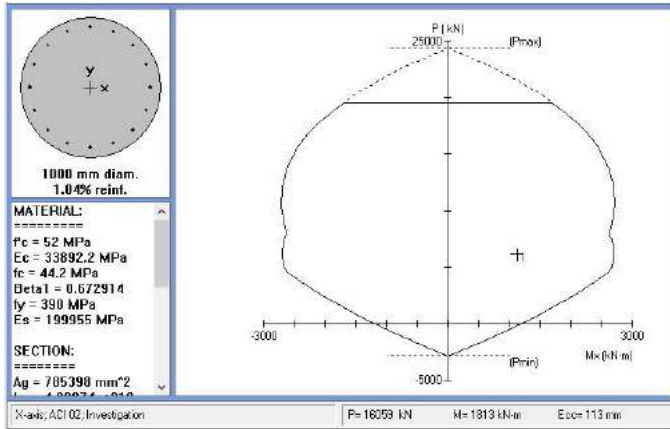
Untuk mengatasi retaknya tiang pancang akibat kondisi tanah keras pada lokasi gedung, maka tiang pancang (*spun pile*) diganti dengan menggunakan pondasi tiang bor (*bored pile*). Secara umum, *bored pile* merupakan pondasi yang dikonstruksi dengan cara mengecor beton segar ke dalam lubang yang telah dibor sebelumnya. Tulangan baja dimasukkan ke dalam lubang bor sebelum pengecoran beton. Desakan atau getaran yang ditimbulkan dari alat bor relatif lebih kecil dibandingkan dengan alat pancang.

Bored pile direncanakan memiliki diameter, *allowable axial load*, dan momen *ultimate* yang sama dengan *spun pile* yang dipakai dalam perencanaan sebelumnya. Perencanaan *bored pile* dijadikan alternatif pengganti pondasi untuk mengatasi keretakan pondasi akibat proses pemancangan.

Bored pile direncanakan menggunakan program bantu SpColumn dengan spesifikasi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 52 \text{ MPa} \\
 P_{\text{allow}} &= 613,52 \text{ ton} \\
 M_{\text{ultimate}} &= 112,5 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.47 adalah *output* dari program bantu SpColumn



Gambar 4.47 Output Program Bantu SpColumn

Dari hasil Sp Coloumn yang terlampir pada Lampiran 6, didapatkan kebutuhan tulangan *bored pile* sebanyak 16D25 ($\Phi M_n = 2604 \text{ kN}\cdot\text{m}$). Karena *bored pile* direncanakan sesuai spesifikasi *spun pile* yang dipakai pada perencanaan sebelumnya, maka perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok dan kontrol beban maksimum 1 tiang sama dengan perencanaan sebelumnya

4.7.7. Perencanaan Poer Kolom

Pada penulangan lentur poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q . perhitungan gaya dalam pada poer diperoleh dengan mekanika statis tertentu.

Data-data perencanaan :

- Dimensi poer ($B \times L$) = 7000 x 7000 mm
- Tebal poer (t) = 1200 mm
- Diameter tulangan utama = 32 mm
- Dimensi kolom = 1400 × 1400 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm

- Tinggi efektif balok poer

$$\text{Arah } x (d_x) = 1200 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 1144 \text{ mm}$$

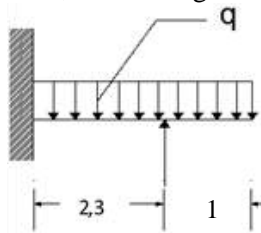
$$\text{Arah } y (d_y) = 1200 - 40 - 32 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 1112 \text{ mm}$$

4.7.7.1. Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$\text{Berat poer } (q_u) = 7 \times 1,2 \times 2400 = 20160 \text{ kg/m'}$$

$$P_t = 2P_{\text{maks}} = 2 \times 418,4152287 \text{ kg} = 836,8304574 \text{ kg/m'}$$



Gambar 4.48 Analisa Poer Sebagai Balok Kantilever

- a = jarak poer ke tepi kolom
 $= (300 - 140/2)/100 = 2,3 \text{ m}$
- b = jarak tepi tiang pancang = 1 m

Penulangan arah x

Penulangan lentur :

$$P_t = 836,83 \text{ t}$$

$$q = 7 \times 1,20 \times 2400 = 20160 \text{ kg/m'}$$

Momen – momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M &= (P_t \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (836,83 \times 2,3) - (1/2 \times 20,16 \times (2,3 + 1)^2) \\ &= 1814,939 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

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

$$\rho_b = \frac{0,85x 35x 0,8 \left(\frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,037$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

(SNI 2847:2013 pasal 12.3.3)

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f' c}}{4x f_y} = \frac{\sqrt{35}}{4 \times 390} = 0,003792$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

$$m = \frac{f_y}{0,85x f' c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_U}{\phi b d^2} = \frac{18149388520}{0,9 \times 7000 \times 1144^2} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x 13,11 x 2,2}{390}} \right) = 0,0059$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai $\rho = 0,0059$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0059 \times 1000 \times 1144 = 6715,38 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D32 – 100 (As pakai = 7238,23 mm²)

Penulangan arah y

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

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

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 35 \times 0,8 \left(\frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,037$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

(SNI 2847:2013 pasal 12.3.3)

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4x f_y} = \frac{\sqrt{35}}{4 \times 390} = 0,003792$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

$$m = \frac{f_y}{0.85 x f'_c} = \frac{390}{0.85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_U}{\phi b d^2} = \frac{18149388520}{0,9 \times 7000 \times 1144^2} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,2}{390}} \right) = 0,0059$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai $\rho = 0,0059$

Tulangan lentur yang dibutuhkan :

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,0059 \times 1000 \times 1144 = 6715,38 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D32 – 100 (As pakai = 7238,23 mm²)

4.7.7.2. Kontrol Geser Pons Kolom Interior

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

- $V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b.d$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.a

$$\bullet V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b.o.d$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.b

$$\bullet V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.c

Dengan :

Dimensi poer : 7 x 7 x 1,20 m³

Selimit beton : 40 mm

D tul utama : D32

Tinggi efektif : d = 1200 - 40 - ½ x 32 = 1144 mm

dimana :

$$\begin{aligned} \beta_c &= \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom} \\ &= \frac{1400}{1400} = 1,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis pada poer} \\ &= 2 (b_{\text{kolom}} + d) + 2 (h_{\text{kolom}} + d) \\ &= 2 \times (1400 + 1144) + 2 \times (1400 + 1114) = 10112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\alpha_s = 40$, untuk kolom interior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 10112 \times 1144 = 23268909,18 \text{ N}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{40 \times 1144}{10112} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 10112 \times 1144 = 25705387,48 \text{ N}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 10112 \times 1144 = 22584529,5 \text{ N}$$

(menentukan)

Diambil yang terkecil $V_c = 22584529,5 \text{ N}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 22584529,5 \text{ N} = 16938397,13 \text{ N}$$

$$= 1693,839713 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 1,52036812 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran poer mampu menahan gaya geser akibat beban reaksi aksial kolom.

4.7.7.3. Kontrol Geser Ponds Tiang Pancang Tepi

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$\bullet V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.a

$$\bullet V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.b

$$\bullet V_c = 0,333 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.c

Dengan :

Dimensi poer : 7 x 7 x 1,20 m³

Selimut beton : 40 mm

D tul utama : D32

Tinggi efektif : d = 1200 - 40 - ½ x 32 = 1144 mm

dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada pondasi tiang pancang

$$= \frac{1400}{1400} = 1,00$$

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$\begin{aligned} &= [2\pi \times (d + D_{\text{tiang}})] \\ &= [2\pi \times (1144 + 1000)] \\ &= 13471,1493 \text{ mm} \end{aligned}$$

α_s = 30, untuk kolom eksterior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 13471,1493 \times 1144 = 46498064,13 \text{ N}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{30 \times 1144}{13471,1493} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 13471,1493 \times 1144$$

$$= 19279040,61 \text{ N (menentukan)}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 13471,1493 \times 1144$$

$$= 30086982,67 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 19279040,61 \text{ N} = 14459280,46 \text{ N}$$

$$= 1445,928046 \text{ ton} > P_{u \text{ tiang}} = 1,52036812 \text{ ton (OK)}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran poer mampu menahan gaya geser akibat beban reaksi aksial tiang tepi.

4.7.8. Perencanaan Balok Sloof

Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi : berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

Dimensi <i>sloof</i> :	b	= 600 mm
	h	= 800 mm
	A _g	= 480000 mm ²
Mutu bahan:	f' _c	= 35 MPa
	f _y	= 390 MPa
Selimut beton		= 40 mm
Tul. sengkang		= 10
Tul. utama		= 25 mm
Tinggi efektif (d)		= 800 – (40 + 10 + ½ . 25)
		= 737,5 mm

- Beban-beban yang terjadi pada *sloof* :

Beban dinding	1,2 × 100 × 4	= 480,0 kg/m
Berat <i>sloof</i>	1,2 × 0,6 × 0,8 × 2400	= <u>1382,4 kg/m</u>
	Qu	= 1862,4 kg/m

Panjang *sloof* = 6.0 m

$$\begin{aligned} Mu &= 1/12 \times q_u \times L^2 \\ &= 1/12 \times 1862,4 \times 10,2^2 \\ &= 16147,008 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D (Vu) &= 1/2 \times q_u \times L \\ &= 1/2 \times 1862,4 \times 10,2 \\ &= 9498,24 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Penulangan tarik pada *sloof*

$$Mu = 61376,96 \text{ kgm} = 613769600 \text{ Nmm}$$

$$D (Vu) = 9498,24 \text{ kg} = 94982,4 \text{ N}$$

Tulangan tarik yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{V_u}{f_y} = \frac{94982,4}{390} \\ &= 243,5446154 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Tulangan tekan yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} A_s' &= 0.5A_s = 0.5 \times 243,5446154 \\ &= 121,7723077 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{613769600}{0.9} \\ &= 681966222,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85f_c'} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 35} \\ &= 13,109 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0.002$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{bd^2} \\
 &= \frac{6819662222}{600 \times 737,5^2} \\
 &= 2,089717429 \\
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,089717429}{390}} \right) \\
 &= 0,005560946
 \end{aligned}$$

dipakai $\rho = 0,005560946$

Tulangan tarik yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0,005560946 \times 600 \times 737,5 \\
 &= 2460,718478 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 A_{s1}' &= 0,50 \times A_s \\
 &= 1230,359239 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 A_s + A_{s1} &= 243,5446154 + 2460,718478 \\
 &= 2704,263093 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik 6 D22 ($A_s = 2945,24 \text{ mm}^2$)

Jumlah tulangan tekan :

$$\begin{aligned}
 A_s' + A_{s1}' &= 121,7723077 + 1230,359239 \\
 &= 1352,131547 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 3 D22 ($A_s = 1472,62 \text{ mm}^2$)

- Penulangan Geser *Sloof*

$$N_u = 3893433,94 \text{ N (dari ETABS 2015)}$$

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d \\
 &= \left(1 + \frac{3893433,94}{14 \times 480000} \right) \times \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 390 \times 737,5 \\
 &= 335936,5942 \text{ N} > V_u = 94982,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga tidak perlu tulangan geser. Jadi dipasang tulangan geser Ø12 – 200, sengkang 2 kaki.

Kontrol jarak sengkang

$$S \leq \frac{1}{2} \times d$$

$$S \leq \frac{1}{2} \times 743 \text{ mm} = 371,5 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan sengkang $\phi 6 - 300$

4.8. Metode Pelaksanaan

4.8.1. Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan pertimbangan penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item – item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material – material beton pracetak, proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;

- Proses pencetakan secara pabrikasi di industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah :
 - a. Perlunya standar khusus sehingga hasil parcetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
 - b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.

- c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

4.8.1.1. Pengangkatan dan Penempatan Crane

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain :

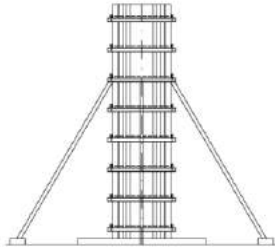
1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
 2. metode pengangkatan
 3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak
- hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan tidak angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.
- Tower crane Xuzhou Bob XCP330
 - Jarak jangkau maksimum 75 m dengan beban maksimum 18 ton
 - Tower crane yang digunakan 1 buah
 - Beban modular maksimum 11016 ton.

Tabel 4.33 Kapasitas Angkat dan Radius Tower Crane

起重量 (m) 吊重	R _{max}	R (C _{max})	C _{max}	幅度 (m) Range												
				10	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	
75m	吊	3	35	6t	6000				5440	4370	4180	3720	3340	3020	2740	2500
	吊	3	13	12t	12000	11420	7280	6060	5170	4460	3910	3450	3070	2750	2470	2230
70m	吊	3	39	6t	6000				5890	5140	4540	4050	3640	3300	3000	
	吊	3	20	12t	12000	7800	6590	5620	4870	4270	3780	3370	3030	2730		
65m	吊	3	41	6t	6000				5430	4810	4290	3860	3500			
	吊	3	21	12t	12000	8320	6960	6050	5160	4540	4020	3690	3230			
60m	吊	3	42	6t	6000				5820	4970	4440	4000				
	吊	3	14	18t	18000	13210	8220	6880	5870	5080	4450	3940	3520	3150		
55m	吊	3	22	12t	12000	8580	7470	6160	5350	4700	4170	3730				
	吊	3	15	18t	18000	13350	8500	7300	6070	5270	4620	4090	3650			
50m	吊	3	44	6t	6000				5860	5140	4700					
	吊	3	23	12t	12000	9070	7600	6520	5660	4990	4430					
45m	吊	3	16	18t	18000	14100	8980	7520	6430	5580	4900	4350				
	吊	3	47	6t	6000				5600							
40m	吊	3	26	12t	12000	9630	8100	6940	6050	5330						
	吊	3	16	18t	18000	14920	9550	8020	6860	5970	5250					
40m	吊	3	45	6t	6000				5600							
	吊	3	28	12t	12000	10470	8810	7570	6600							
40m	吊	3	18	18t	18000	16170	10390	8720	7400	6520						
	吊	3	40	6t	6000				5600							
40m	吊	3	26	12t	12000	10640	9200	7700								
	吊	3	18	18t	18000	16440	10560	8800	7620							

4.8.1.2. Pekerjaan Elemen Kolom

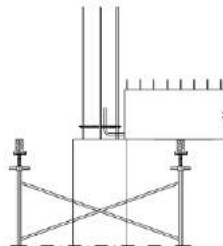
Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan *pile cap* dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian *pile cap*. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 4.49 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

4.8.1.3. Pemasangan Elemen Balok Induk

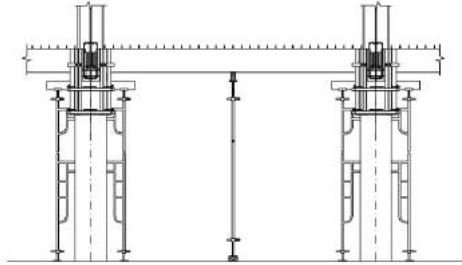
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan *crane* dan *scaffolding* untuk membantu menunjang balok pracetak. Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulang utama pada balok yaitu tulangan tarik pada tumpuan. Lalu setelah tulangan terpasang baru dilakukan pengecoran.



Gambar 4.50 Pemasangan Balok Induk Pracetak

4.8.1.4. Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak dengan balok. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang tiga buah perancah dengan posisi satu di tengah dan dua di tepi.

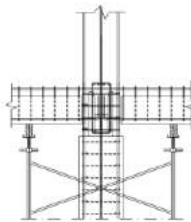


Gambar 4.51 Pemasangan Balok Anak Pracetak

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan tangga di tempat yang sudah disediakan. Pengangkatan tangga dilakukan dengan posisi tangga datar.

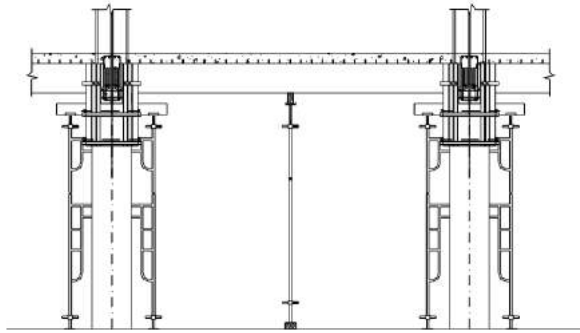
4.8.1.5. Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Pemasangan tulangan bagian atas, baik tulangan tumpuan maupun tulangan lapangan untuk pelat, balok anak dan balok induk.



Gambar 4.52 Pemasangan Tulangan Atas

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 8 cm.



Gambar 4.53 Pengecoran *Topping*

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

4.8.1.6. Transportasi Elemen Beton Pracetak

Sistem transportasi meliputi :

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m

dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di areal lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan *tower crane*.

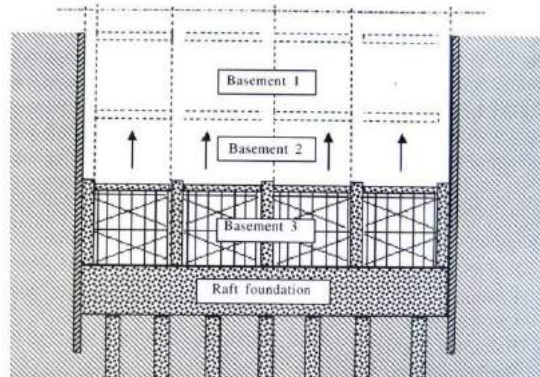
4.8.2. Metode Pelaksanaan *Basement*

Pada sistem ini, *sheet pile* dipasang terlebih dahulu sebelum pelaksanaan galian. Struktur basement dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai galian elevasi rencana (sistem konvensional). Pelat basement paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian *basement* diselesaikan dari bawah keatas, dengan menggunakan *scaffolding*. Kolom, balok dan pelat dicor ditempat (*cast in place*).

Secara garis besar kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada pelaksanaan konstruksi basement dengan metode *bottom up* ialah sebagai berikut :

1. Mobilisasi peralatan
2. Pelaksanaan pondasi tiang pancang
3. Pelaksanaan dinding penahan tanah (*sheet pile*)
4. Penggalian dan pembuangan tanah
5. *Dewatering*
6. Poer pondasi
7. *Waterproofing*
8. *Tie beam* dan pondasi rakit
9. Dinding *basement* dan struktur bertahap ke atas
10. Lantai *basement* bertahap ke atas

Secara umum, kegiatan-kegiatan pekerjaan tersebut diatas adalah item pekerjaan utama yang hampir dapat selalu ditemukan dalam suatu pelaksanaan pekerjaan *basement* dengan metode konvensional. Berikut adalah gambaran pelaksanaan pekerjaan berdasarkan urutan pekerjaan yang mana harus dimulai dari lantai dasar *basement*.



Gambar 4.54 Pelaksanaan *Basement* dengan Metode Konvensional

(Sumber : <http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/>)

Kemungkinan lain dapat saja terjadi, tetapi pada umumnya tata cara pelaksanaan metode *basement* konvensional akan mengikuti pola demikian. Beberapa hal yang dapat disebut merupakan ciri-ciri pelaksanaan *basement* dengan metode konvensional yang lazim dilaksanakan dari jабaran di atas adalah:

1. Metode *bottom up* tidak memerlukan tata cara manajemen proyek secara khusus, karena umumnya sudah menjadi hal yang biasa dilaksanakan.
2. Diperlukan pengendalian muka air tanah sekeliling secara intensif
3. Dinding penahan tanah dapat tetap atau sementara, tetapi yang pasti untuk pelaksanaannya tidak dapat dilakukan simultan dengan pekerjaan lain, dinding penahan tanah adalah awal dari pekerjaan *basement* yang mutlak dilakukan sebelum pekerjaan lainnya dimulai kecuali tiang pondasi.
4. Setiap usaha mempercepat waktu pelaksanaan, pada umumnya menyebabkan penambahan sumber daya baik manusia maupun peralatan yang tidak sebanding dengan produksinya.
5. Semakin dalam (semakin banyak jumlah *basement*) metode pelaksanaan ini akan semakin sulit.

6. Diperlukan luas lahan yang cukup untuk mengendalikan transportasi galian tanah vertical.
7. Akibat proses penggalian dan kebutuhan akan konstruksi sementara yang banyak, maka kondisi lingkungan proyek akan padat dan kotor.
8. Kemungkinan melakukan kombinasi pelaksanaan secara simultan dengan kegiatan lainnya amat minim karena metode kontruksi memberikan urutan kegiatan demikian.
9. Biaya pelaksanaan sampai dengan kedalaman tertentu relatif lebih murah.

4.8.2.1. Pekerjaan *Dewatering*

Pekerjaan galian untuk basement, seringkali terganggu oleh adanya air tanah. Oleh karena itu sebelum galian tanah untuk basement dimulai sudah harus dipersiapkan pekerjaan pengeringan (*dewatering*) agar air tanah yang ada tidak mengganggu proses pelaksanaan basement. Masalah galian dalam lebih kritis bila kondisi tanah merupakan tanah lunak atau pasir lepas dalam kondisi muka air tanah yang tinggi.

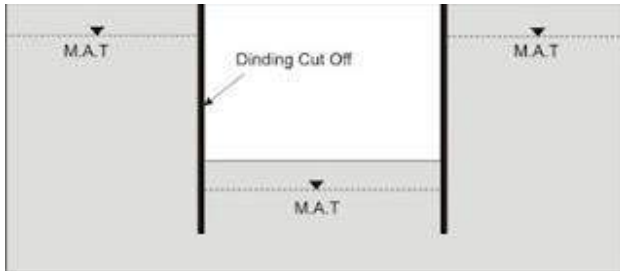
Metode *dewatering* yang dipilih tergantung beberapa factor, antara lain :

- Debit rembesan air
- Jenis tanah
- Kondisi lingkungan sekitarnya
- Sifat tanah
- Air tanah
- Ukuran dan dalam galian
- Daya dukung tanah
- Kedalaman dan tipe pondasi
- Desain dan fungsi dari struktur
- Rencana pekerjaan

Tujuan dari *dewatering* adalah :

1. Menjaga agar dasar galian tetap kering. Untuk mencapai tujuan tersebut biasanya air tanah diturunkan elevasinya 0,5 – 1 m di bawah dasar galian.
2. Mencegah erosi buluh. Pada galian tanah pasir (terutama pasir halus di bawah muka air tanah) rembesan air ke dalam galian dapat mengakibatkan tergerusnya tanah pasir akibat aliran air.
3. Mencegah resiko sand boil. Pada saat dilaksanakan galian, maka perbedaan elevasi air di dalam dan di luar galian semakin tinggi.
4. Mencegah resiko terjadinya kegagalan *upheave*. Bila tekanan air di bawah lapisan tanah lebih besar daripada berat lapisan tanah tersebut maka lapisan tanah tersebut dapat terangkat atau mengalami *failure*
5. Menjaga gaya *uplift* terhadap bangunan sebelum mencapai bobot tertentu. Pada bangunan-bangunan yang memiliki basement, maka pada saat bobot bangunan masih lebih kecil daripada gaya *uplift* dari tekanan air, *dewatering* harus tetap dijalankan hingga bobot mati dari bangunan melebihi gaya *uplift* tersebut.
6. Mencegah rembesan
7. Memperbaiki kestabilan tanah
8. Mencegah pengembangan tanah
9. Memperbaiki karakteristik dan kompaksi tanah terutama dasar
10. Pengeringan lubang galian
11. Mengurangi tekanan lateral

Metode *dewatering* yang dipilih adalah *cut off*. Prinsip *cut off* adalah memotong aliran bidang air tanah melalui cara mengurung daerah galian dengan dinding. Ditinjau dari pergerakan air tanah. Metode *dewatering cut off* ini paling baik, karena tidak terjadi aliran air tanah, dan tidak terjadi penurunan muka air tanah di sekeliling luar daerah galian. Metode ini perlu memperhitungkan dalamnya “D” tertentu agar tidak terjadi rembesan air masuk ke dalam daerah galian.



Gambar 4.55 Potongan Metode Cut Off

Dinding *cut off* dapat menggunakan :

- *Sheet pile* (tidak dipakai sebagai struktur dinding permanen)
- *Concrete diaphragm wall* (sebagai struktur dinding permanen)
- *Concrete secant pile* (dapat dipakai sebagai dinding permanen)

Metode *cut off* dipilih karena kondisi sama dengan pemilihan *predrainage*, dinding *cut off* difungsikan juga sebagai penahan tanah atau sebagai dinding basement, dan penurunan MAT akan mengganggu / merugikan lingkungan sekitarnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perancangan Modifikasi Gedung One East Residence di Balikpapan dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak” maka dapat disimpulkan di antaranya sebagai berikut :

1. Dimensi struktur utama didapatkan dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada tabel 9.5(a) dan dimensi kolom yang didapat dari perhitungan sebesar 140/140 cm. Dimensi struktur sekunder didapatkan dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada tabel 9.5(a). Sedangkan untuk dimensi pelat digunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2 dengan melihat tabel 9.5(c). adapun hasil modifikasi sebagai berikut :
 - a. Struktur Sekunder
 - Dimensi balok anak = 40/60 cm
 - Dimensi balok bordes = 20/30 cm
 - Dimensi penggantung lift = 40/60 cm
 - Dimensi penumpu lift = 40/60 cm
 - Tebal pelat = 18 cm
 - b. Struktur Primer
 - Dimensi balok induk = 60/80 cm
 - Dimensi kolom = 140/140 cm
 - *Pile cap* = 8,6 x 8,6 x 1,5 m
 - Bored Pile = D1000
 - Tebal *shear wall* = 30 cm
2. Menganalisa gaya-gaya dalam struktur gedung menggunakan program ETABS 2015 dengan memasukkan gaya-gaya yang bekerja pada pelat serta beban vertikal dan horizontal. Dari hasil gaya dalam yang didapatkan tulangan yang perlu dipakai.
3. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut

menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol pendek kolom adalah 400x400 mm. *Detailing* sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan *shear connector* yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

4. Pondasi direncanakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan menerima beban dari atas melalui *pile cap*.
5. Hasil analisa struktur yang telah dilakukan pada modifikasi Gedung One East Residence dituangkan pada gambar teknik yang ada pada lampiran.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah di antaranya :

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan dengan cor setempat agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan.
2. Sambungan tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminimal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan dan detail tulangan tulangan sehingga tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana.
3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien lagi dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam mengaplikasikannya.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien dalam penggunaannya, sehingga para pelaku dunia konstruksi lebih mudah dalam mengaplikasikan metode beton pracetak

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 2847:2013 Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 1727:2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)**. Jakarta: PU
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. **Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa**. Jakarta: PU
- Dora, M. S. 2006. **Perencanaan Tribun Stadion Utama Palaran Kota Samarinda dengan Beton Pracetak**. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Ervianto, Wulfram. 2006. **Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi**. Yogyakarta: CV. Andi
- Hasyim, A. R. 2015. **Apartemen Bukan Lagi Sekadar Gaya Hidup di Balikpapan,** <URL : <http://properti.kompas.com/read/2015/01/18/192014721/Apartemen.Bukan.Lagi.Sekadar.Gaya.Hidup.di.Balikpapan> >
- Imran, I., Yuliari, E., Suhelda, dan Kristianto, A. 2008. “Aplicability Metoda Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang”. **Proceeding Seminar dan Pameran Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia 2008**. HAKI
- Precast/Prestressed Concrete Institute. 2004. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete 6th Edition**. Chicago: PCI Industry Handbook Committee.
- Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya : ITS Press

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN

SKALA

1:500

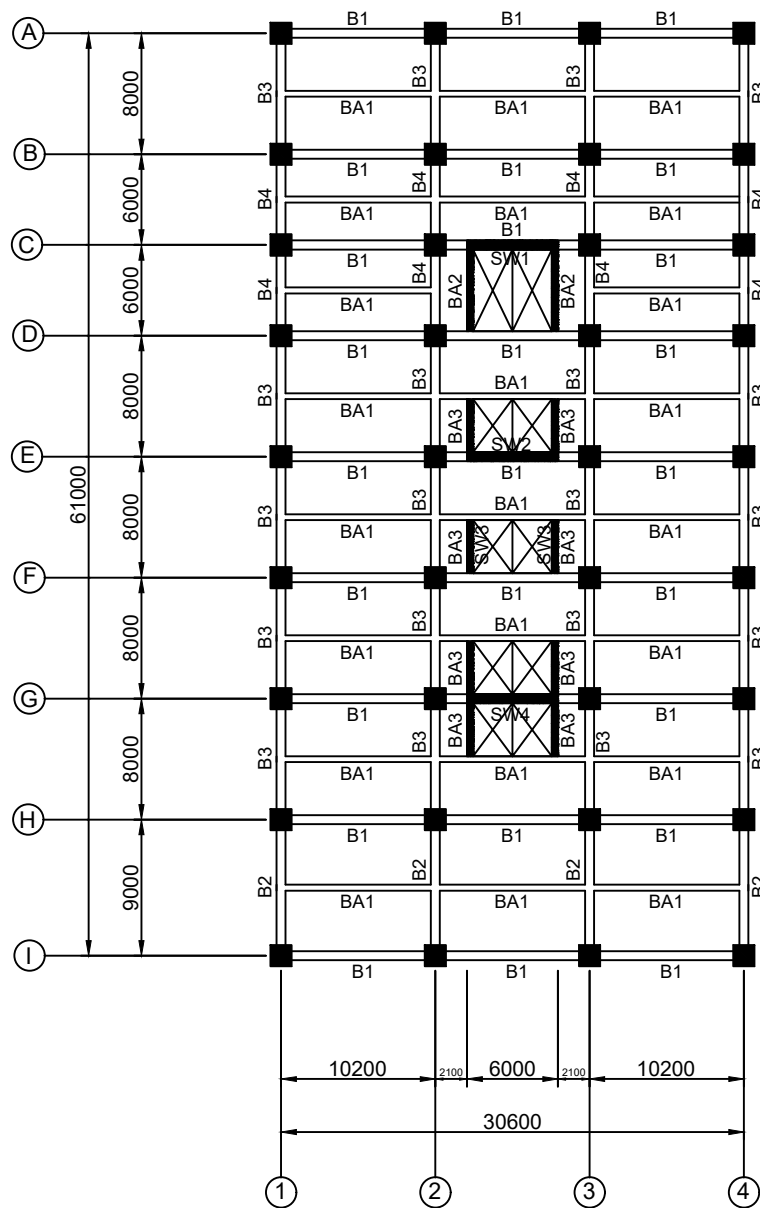
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

1

35

CATATAN



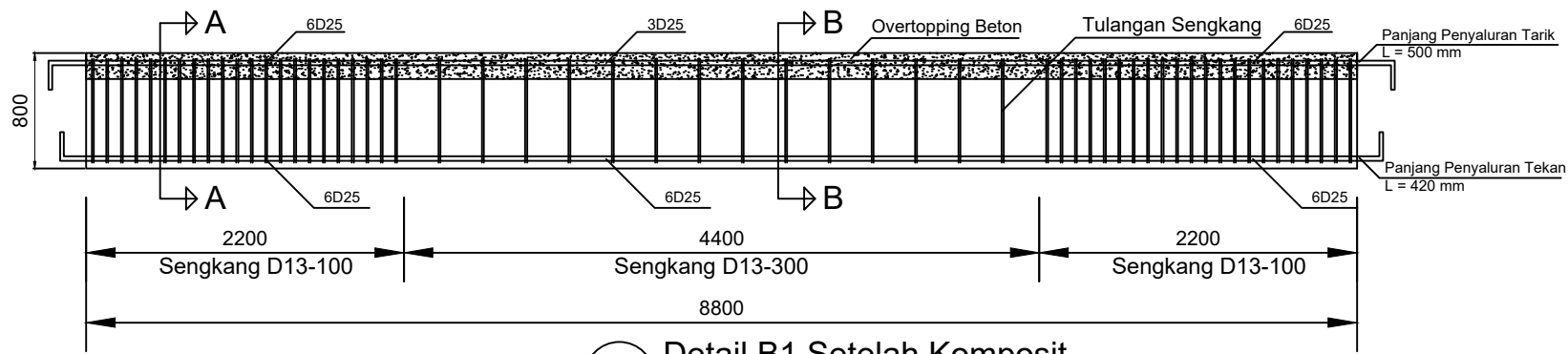
Tabel Pembalokan

No	Tipe Balok	Dimensi (cm)	Lb (cm)
1	B1	60/80	1020
2	B2	60/80	900
3	B3	60/80	800
4	B4	60/80	600
5	BA1	40/60	1020
6	BA2	30/40	600
7	BA3	30/40	400

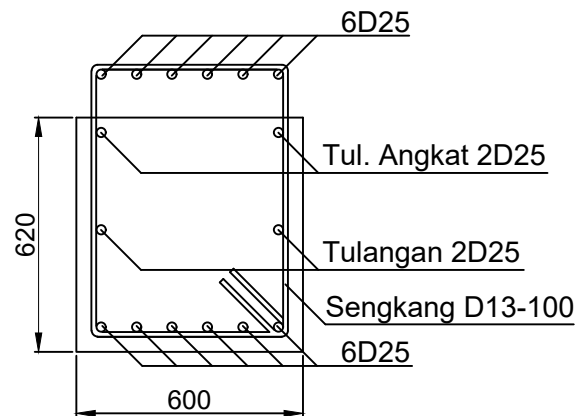
Tabel Dinding Geser

No	Tipe	Tebal (cm)
1	SW1	30
2	SW2	30
3	SW3	30
4	SW4	30

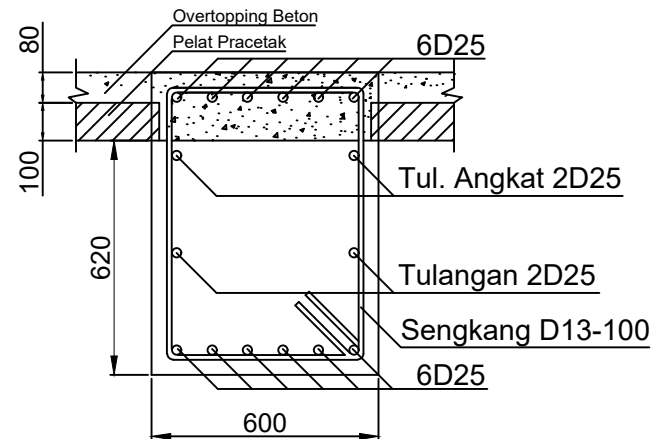
Denah Pembalokan dan Dinding Geser
Skala 1:500



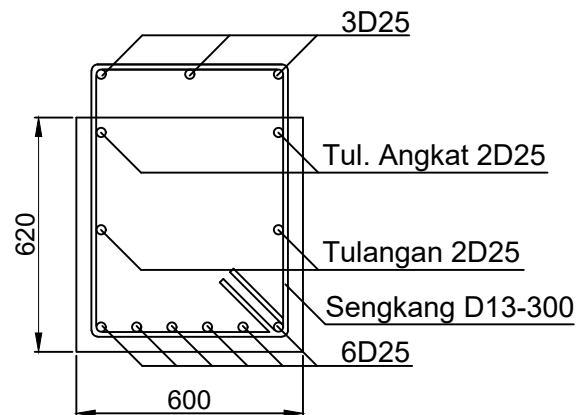
Detail B1 Setelah Komposit
Skala 1:50



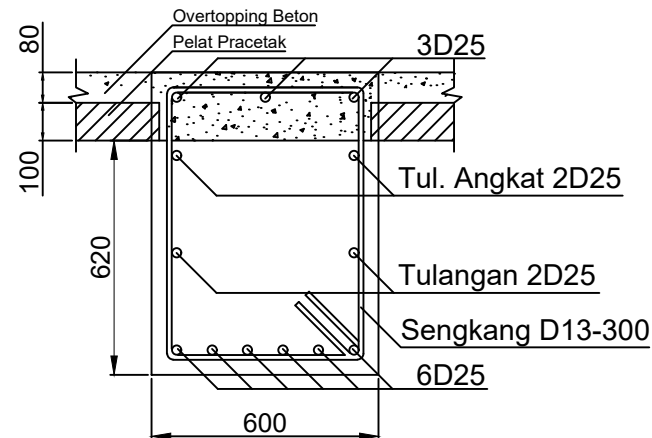
Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK INDUK B1
(PRACETAK)

SKALA

1:50
1:20

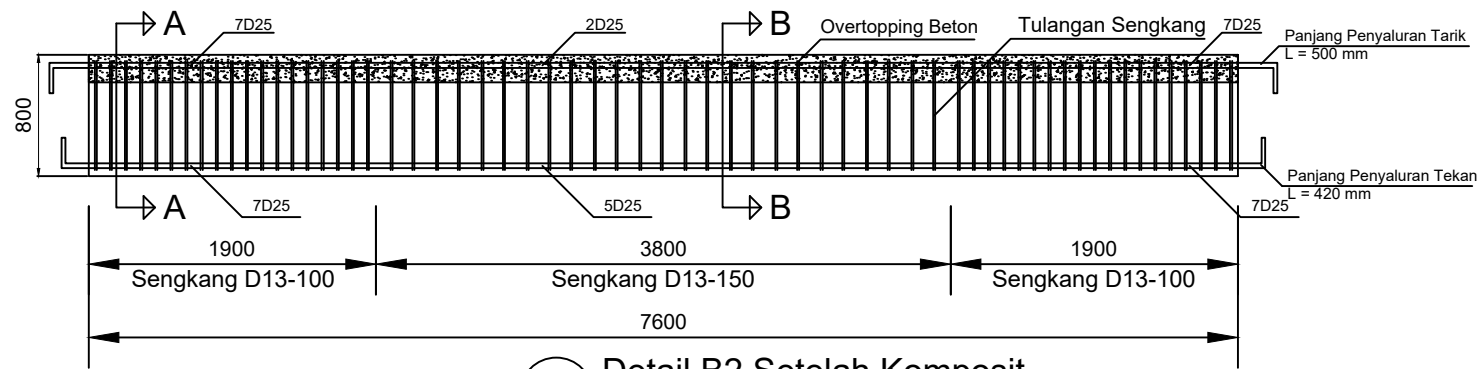
NO. LEMBAR

2

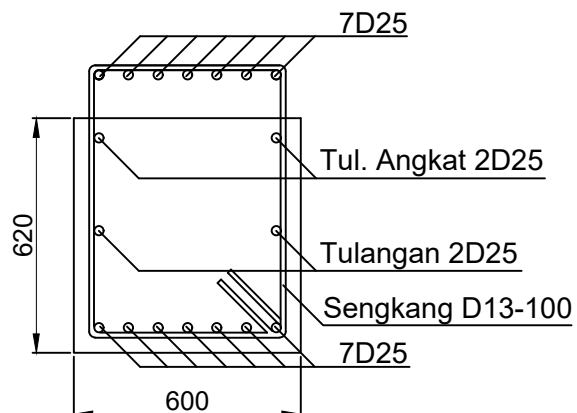
JUMLAH. LEMBAR

35

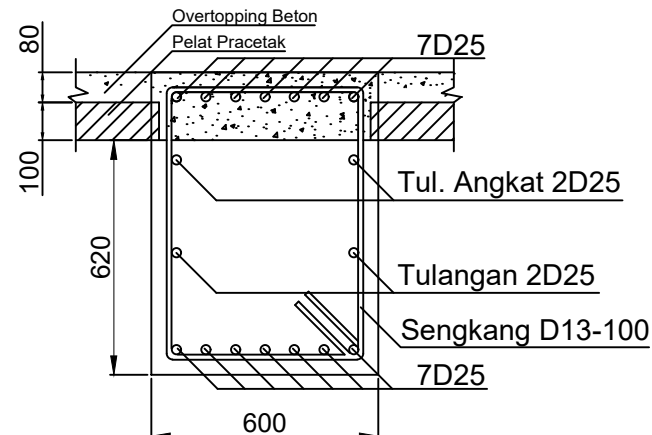
CATATAN



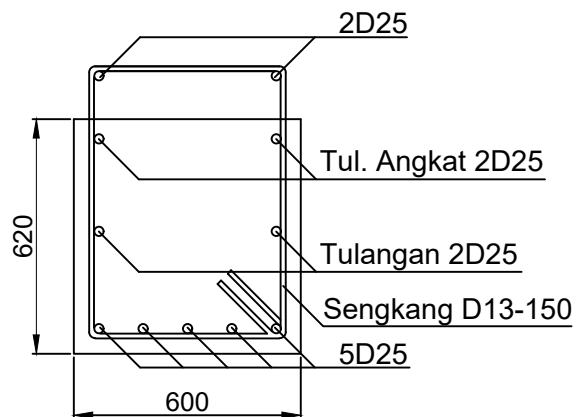
Detail B2 Setelah Komposit
Skala 1:50



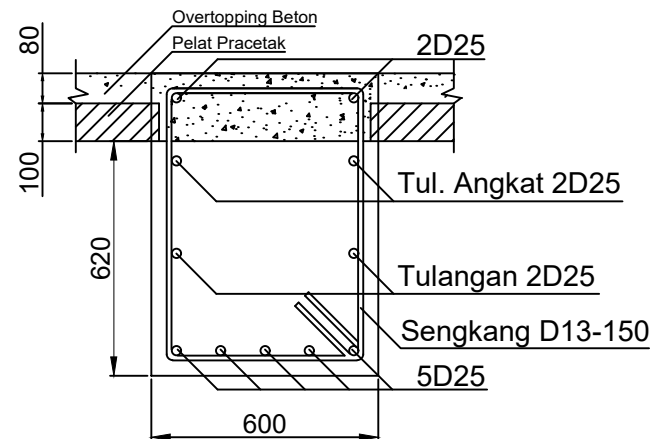
Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK INDUK B2
(PRACETAK)

SKALA

1:50
1:20

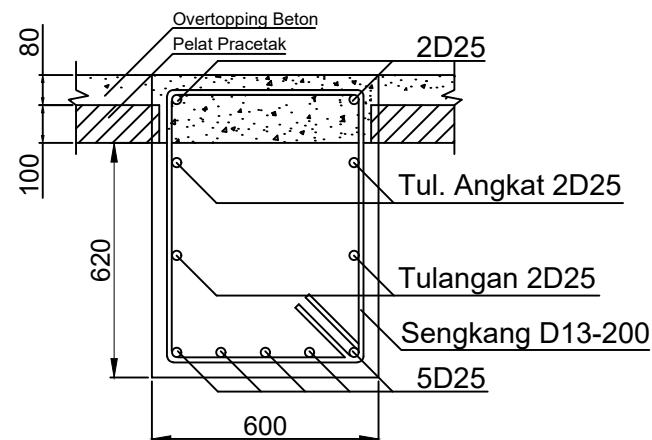
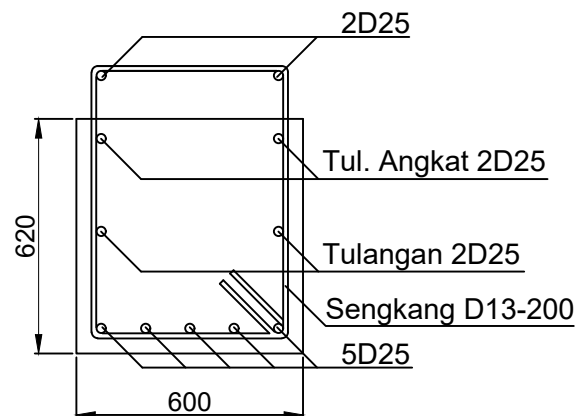
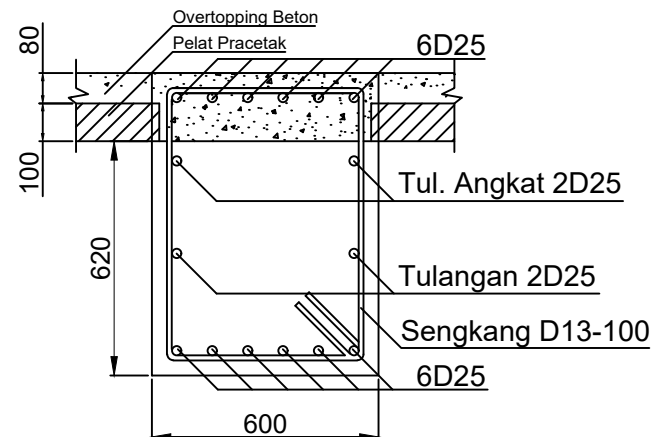
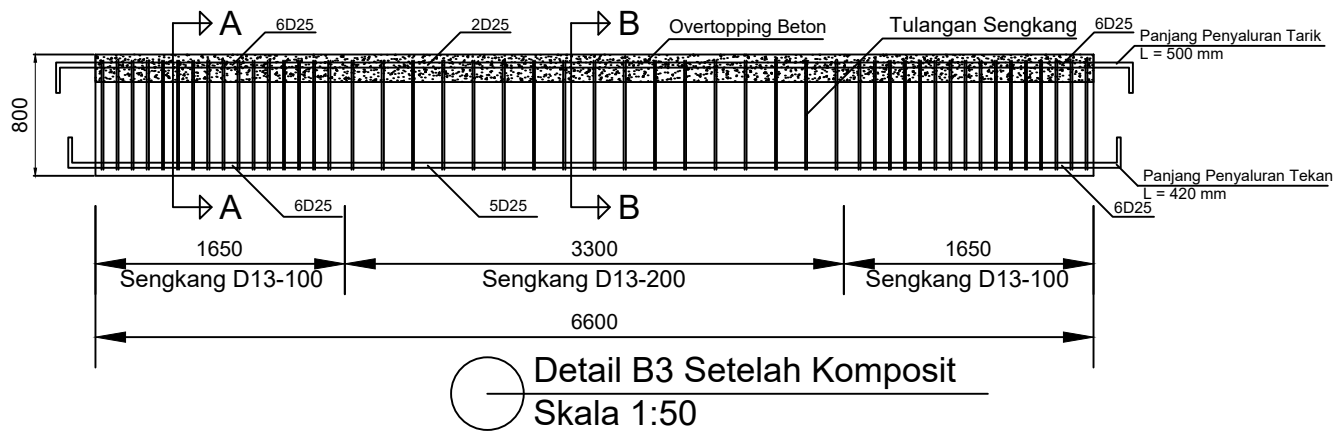
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

3

35

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK INDUK B3
(PRACETAK)

SKALA

1:50
1:20

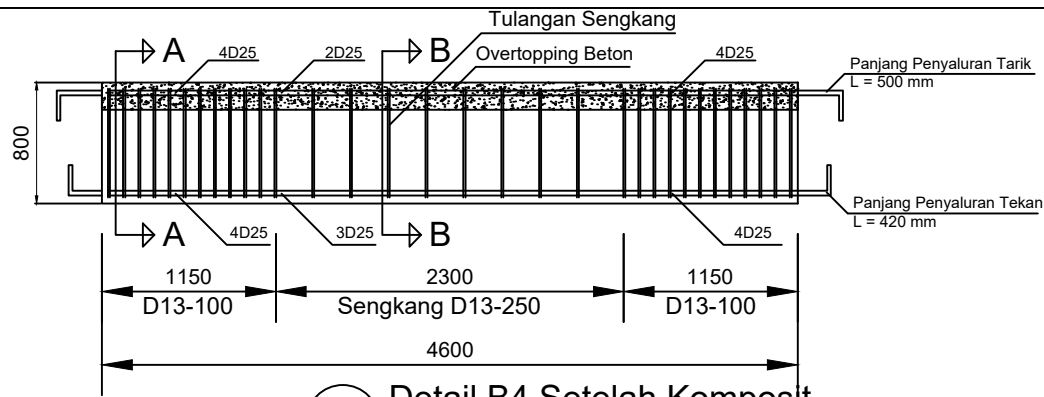
NO. LEMBAR

4

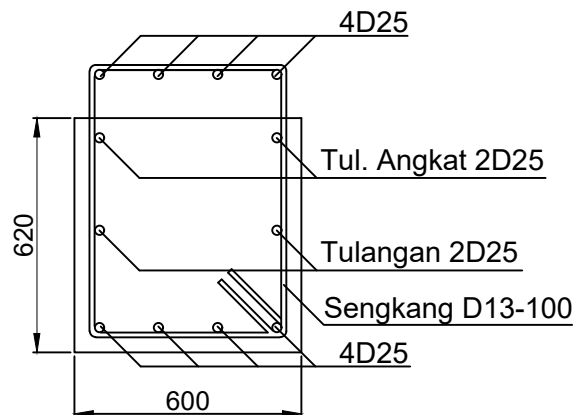
JUMLAH. LEMBAR

35

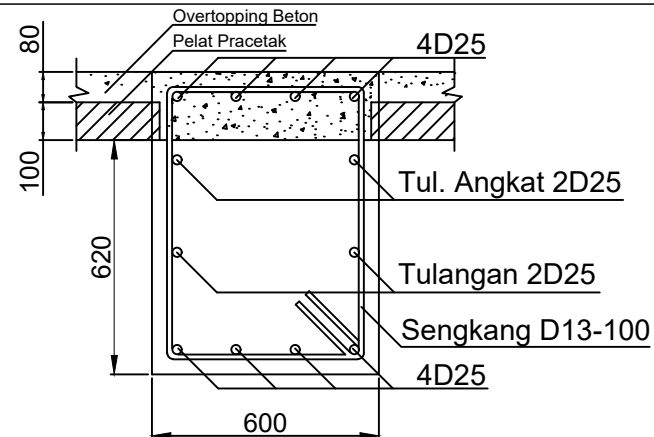
CATATAN



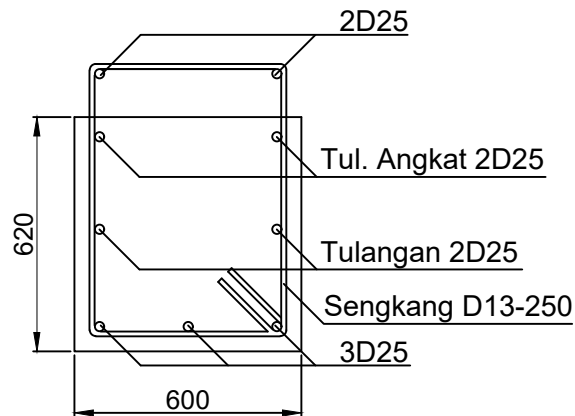
Detail B4 Setelah Komposit
Skala 1:50



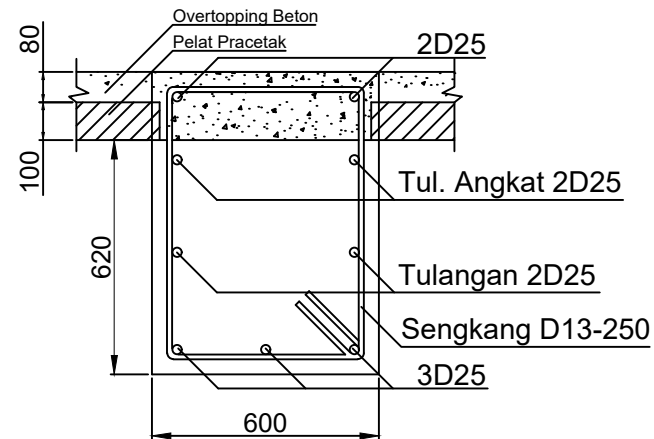
Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK INDUK B4
(PRACETAK)

SKALA

1:50
1:20

NO. LEMBAR

5

JUMLAH LEMBAR

35

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK ANAK BA1
(PRACETAK)

SKALA

1:50
1:20

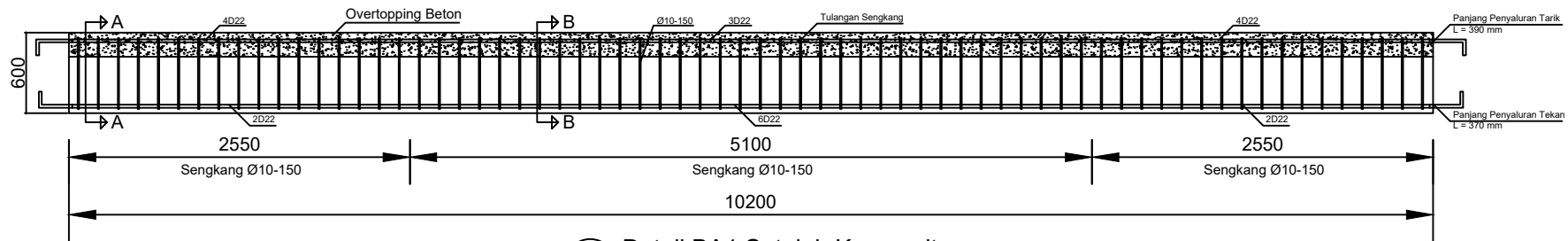
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

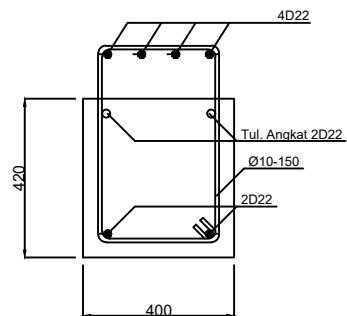
6

35

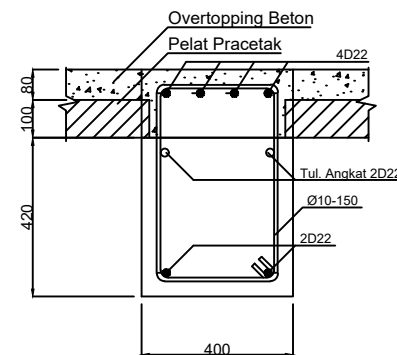
CATATAN



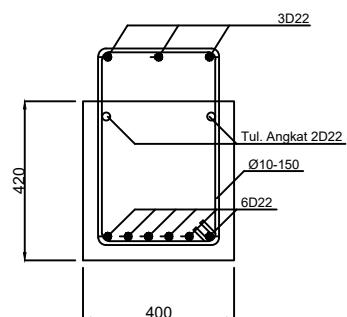
Detail BA1 Setelah Komposit
Skala 1:50



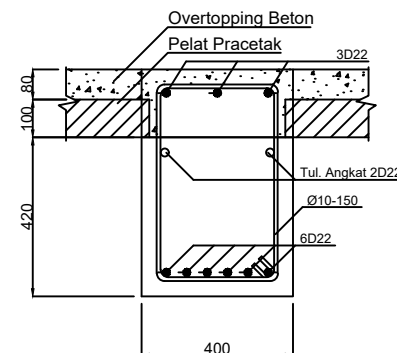
Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:20



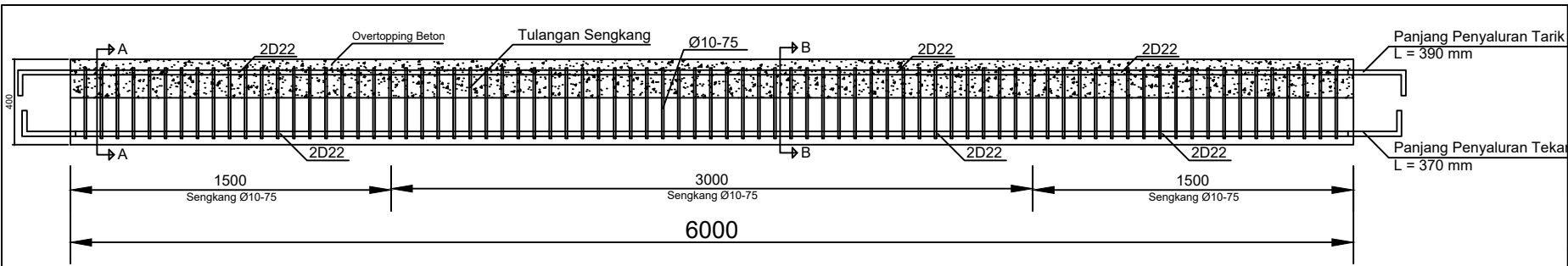
Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:20



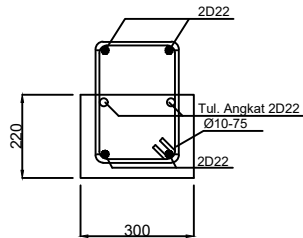
Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:20



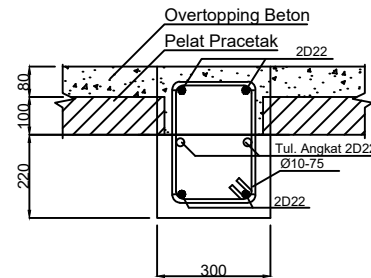
Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:20



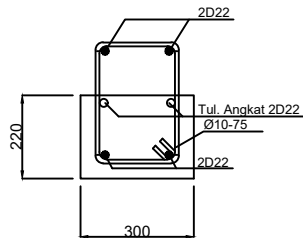
Detail BA2 Setelah Komposit
Skala 1:30



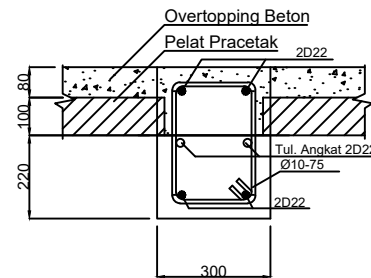
Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK ANAK BA2
(PRACETAK)

SKALA

1:30
1:20

NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

7

35

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL BALOK ANAK BA3
(PRACETAK)

SKALA

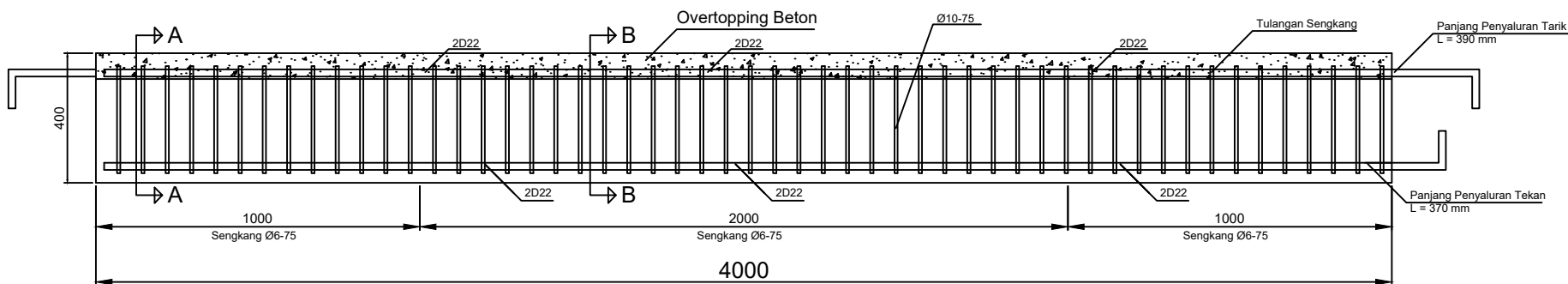
1:50
1:20

NO. LEMBAR JUMLAH. LEMBAR

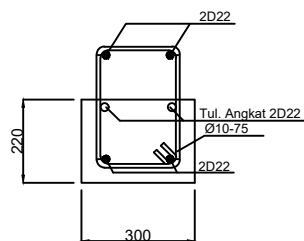
8

35

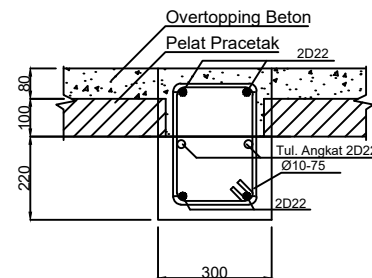
CATATAN



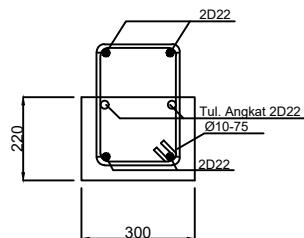
Detail BA3 Setelah Komposit
Skala 1:20



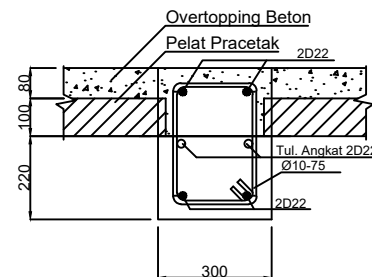
Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DINDING GESER
SW1 & SW2
(COR SETEMPAT)

SKALA

1:60

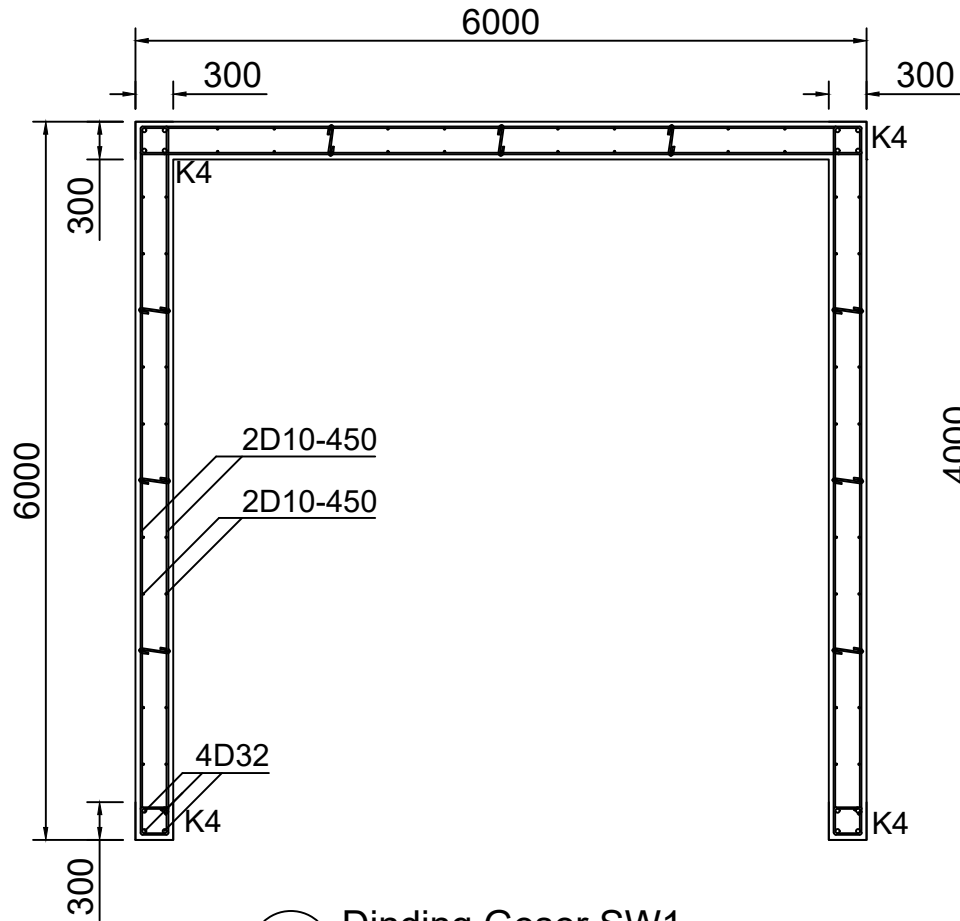
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

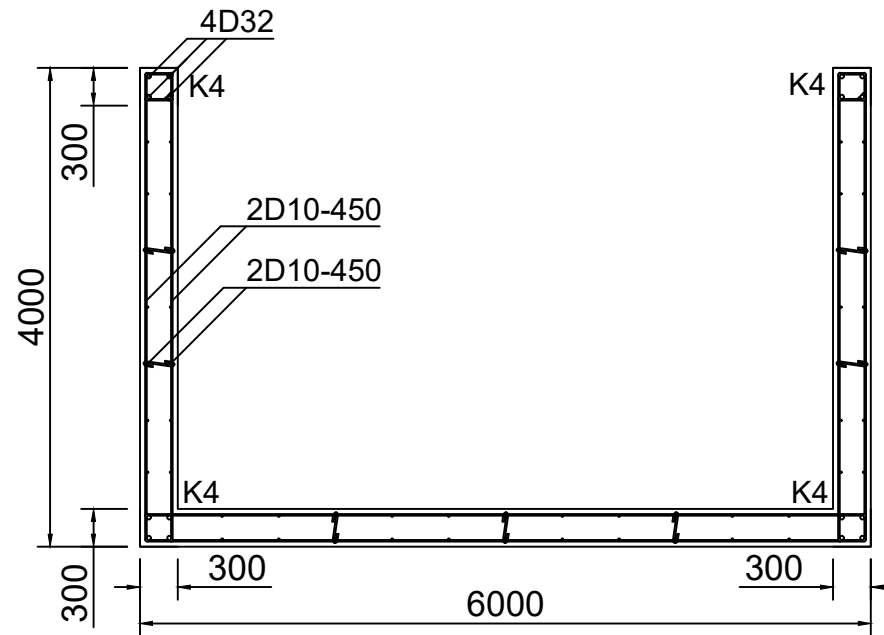
9

35

CATATAN



Dinding Geser SW1
Skala 1:60



Dinding Geser SW2
Skala 1:60



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DINDING GESER
SW3 & SW4
(COR SETEMPAT)

SKALA

1:60

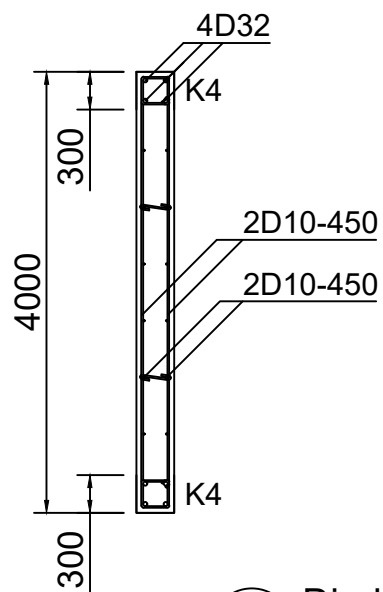
NO. LEMBAR

10

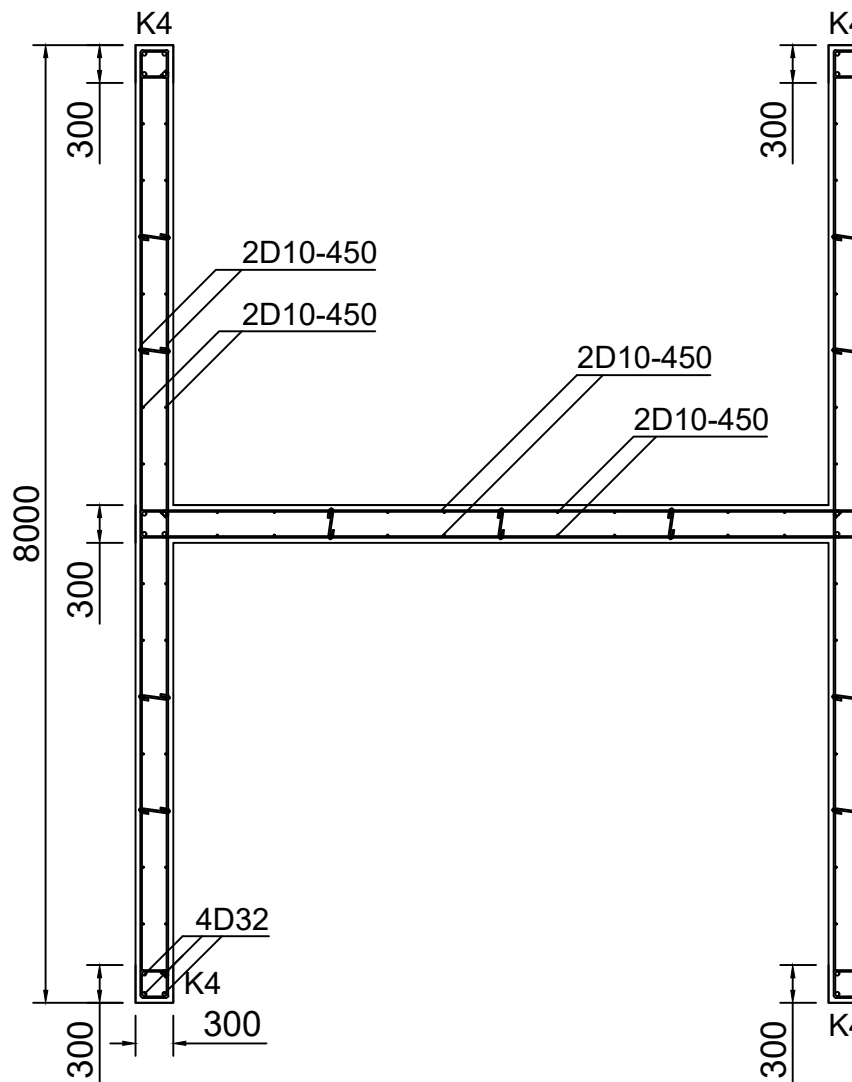
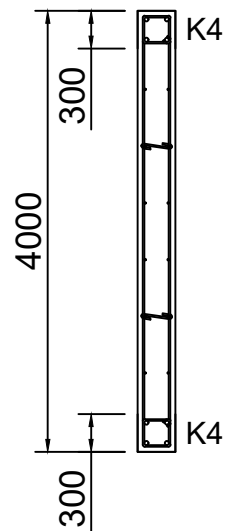
JUMLAH LEMBAR

35

CATATAN



Dinding Geser SW3
Skala 1:60



Dinding Geser SW4
Skala 1:60



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DENAH KOLOM MELINTANG
AS H-H

SKALA

1:600

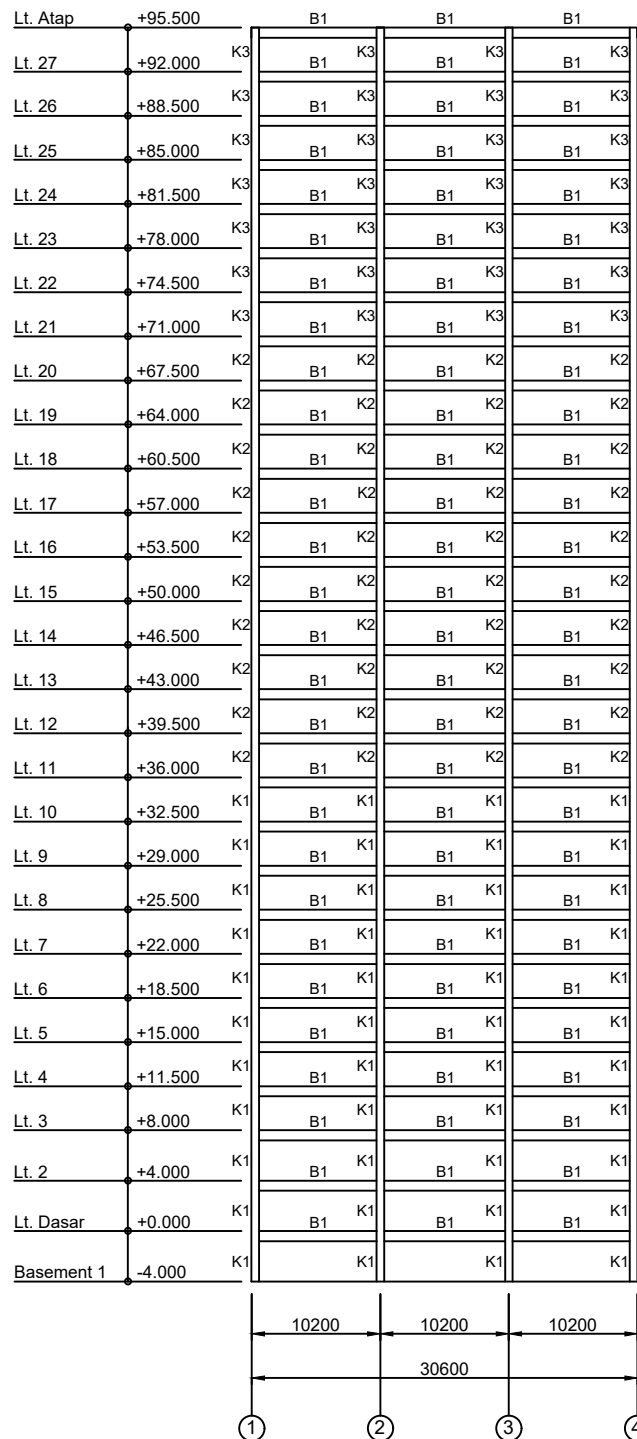
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

11

35

CATATAN



Tabel Ukuran Kolom

No	Tipe Kolom	Ukuran Kolom
1	K1	140 cm x 140 cm
2	K2	110 cm x 110 cm
3	K3	80 cm x 80 cm

Denah Kolom Melintang
Skala 1:600



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DENAH KOLOM MEMANJANG
AS 2-2

SKALA

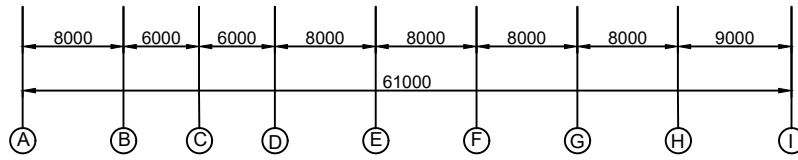
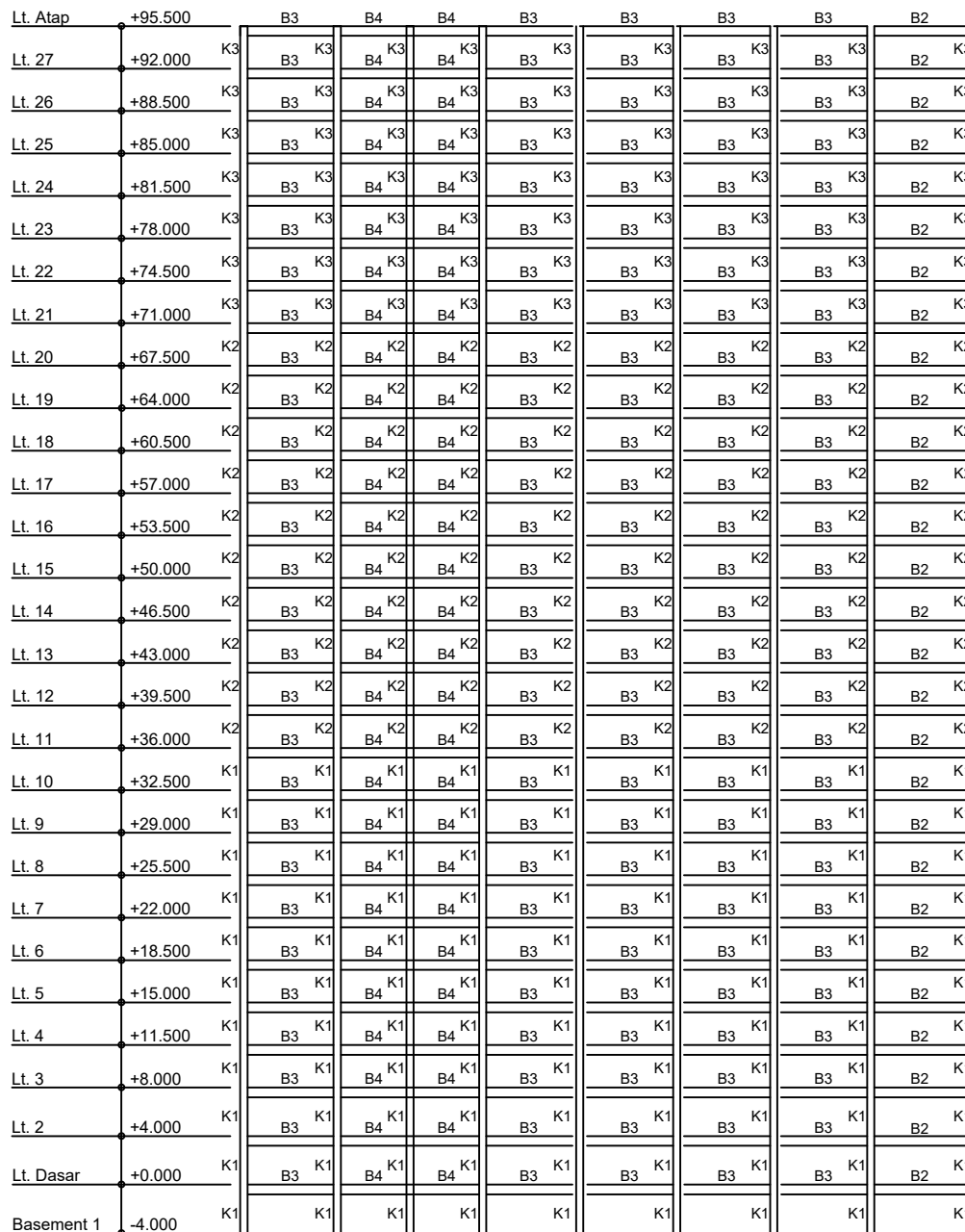
1:600

NO. LEMBAR	JUMLAH. LEMBAR
------------	----------------

12

35

CATATAN



Tabel Ukuran Kolom

No	Tipe Kolom	Ukuran Kolom
1	K1	140 cm x 140 cm
2	K2	110 cm x 110 cm
3	K3	80 cm x 80 cm

Denah Kolom Memanjang
Skala 1:600



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

PENULANGAN KOLOM TIPE K1
INTERIOR DAN EKSTERIOR
(COR SETEMPAT)

SKALA

1:50

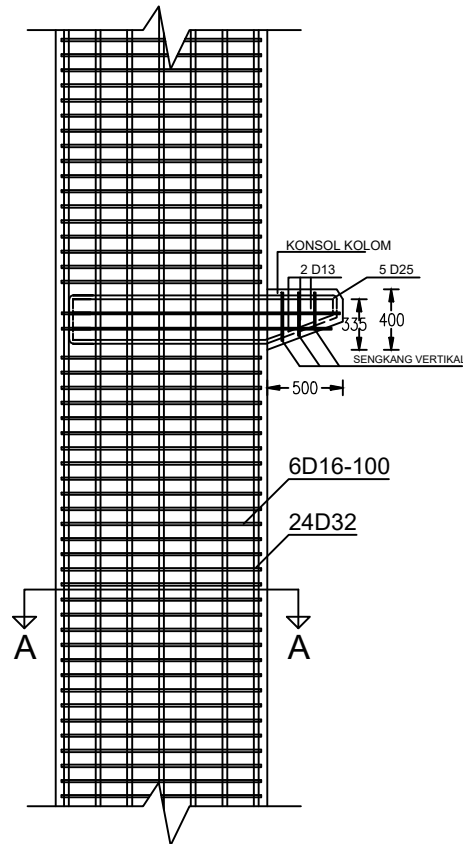
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

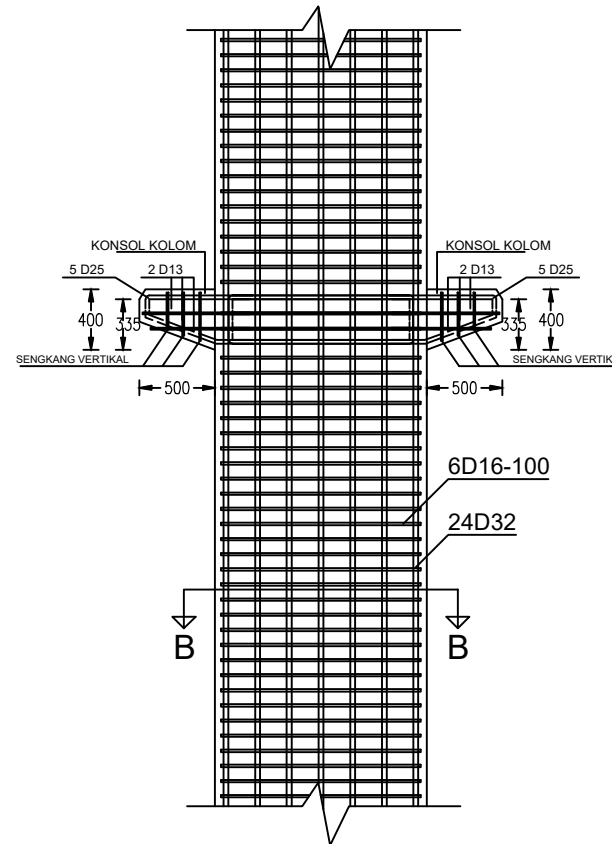
13

35

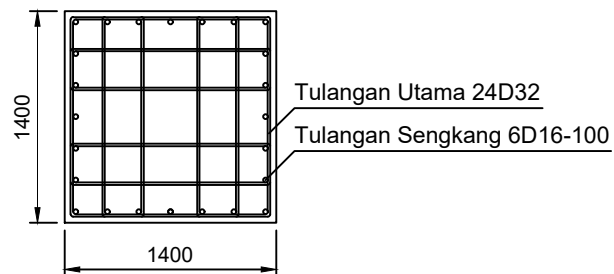
CATATAN



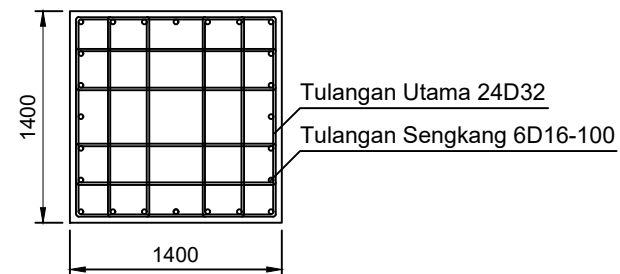
Penulangan Kolom Tipe K1 Eksterior
Skala 1:50



Penulangan Kolom Tipe K1 Interior
Skala 1:50



Potongan A-A
Skala 1:50



Potongan B-B
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

PENULANGAN KOLOM TIPE K2
INTERIOR DAN EKSTERIOR
(COR SETEMPAT)

SKALA

1:50

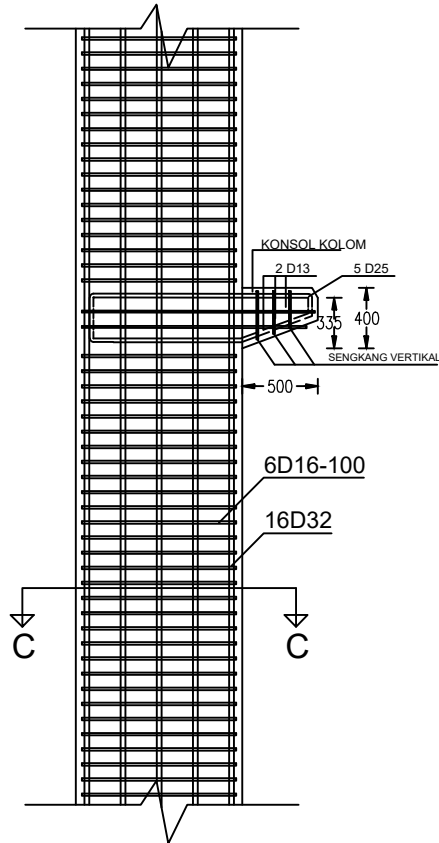
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

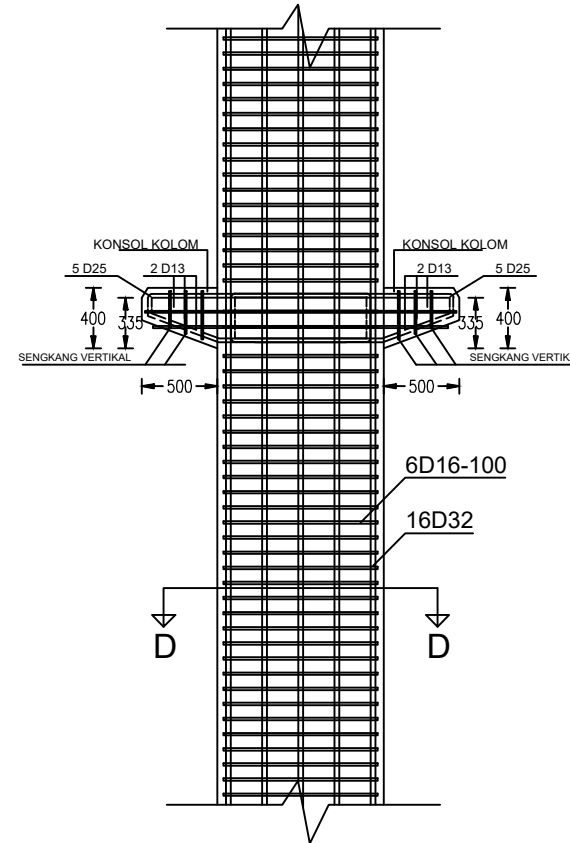
14

35

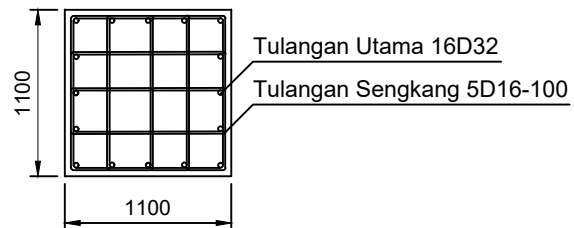
CATATAN



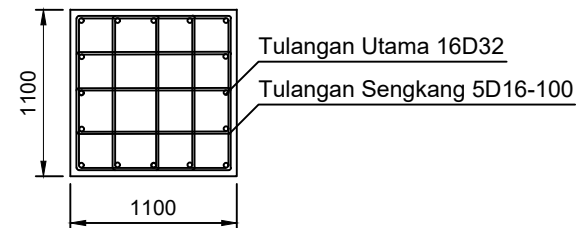
Penulangan Kolom Tipe K2 Eksterior
Skala 1:50



Penulangan Kolom Tipe K2 Interior
Skala 1:50



Potongan C-C
Skala 1:50



Potongan D-D
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

PENULANGAN KOLOM TIPE K3
INTERIOR DAN EKSTERIOR
(COR SETEMPAT)

SKALA

1:50

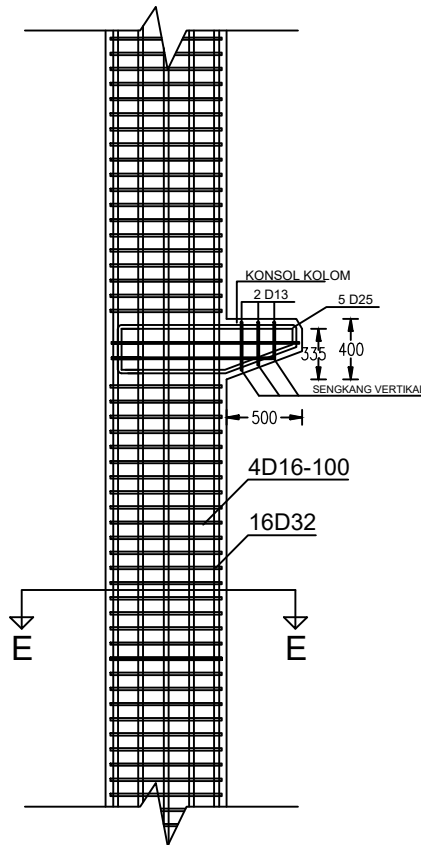
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

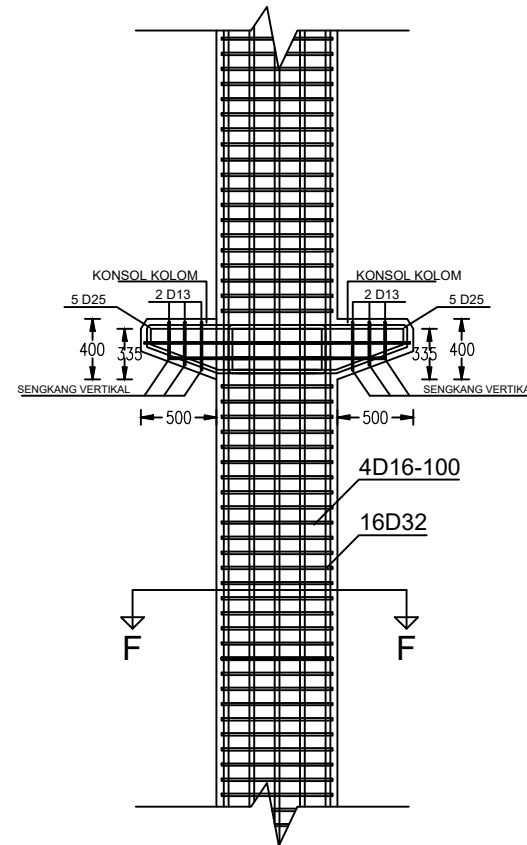
15

35

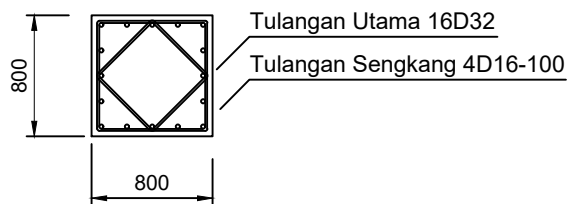
CATATAN



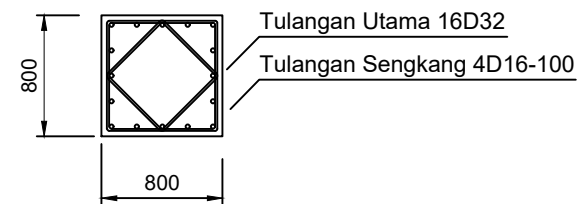
Penulangan Kolom Tipe K3 Eksterior
Skala 1:50



Penulangan Kolom Tipe K3 Interior
Skala 1:50



Potongan E-E
Skala 1:50



Potongan F-F
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI

SKALA

1:500

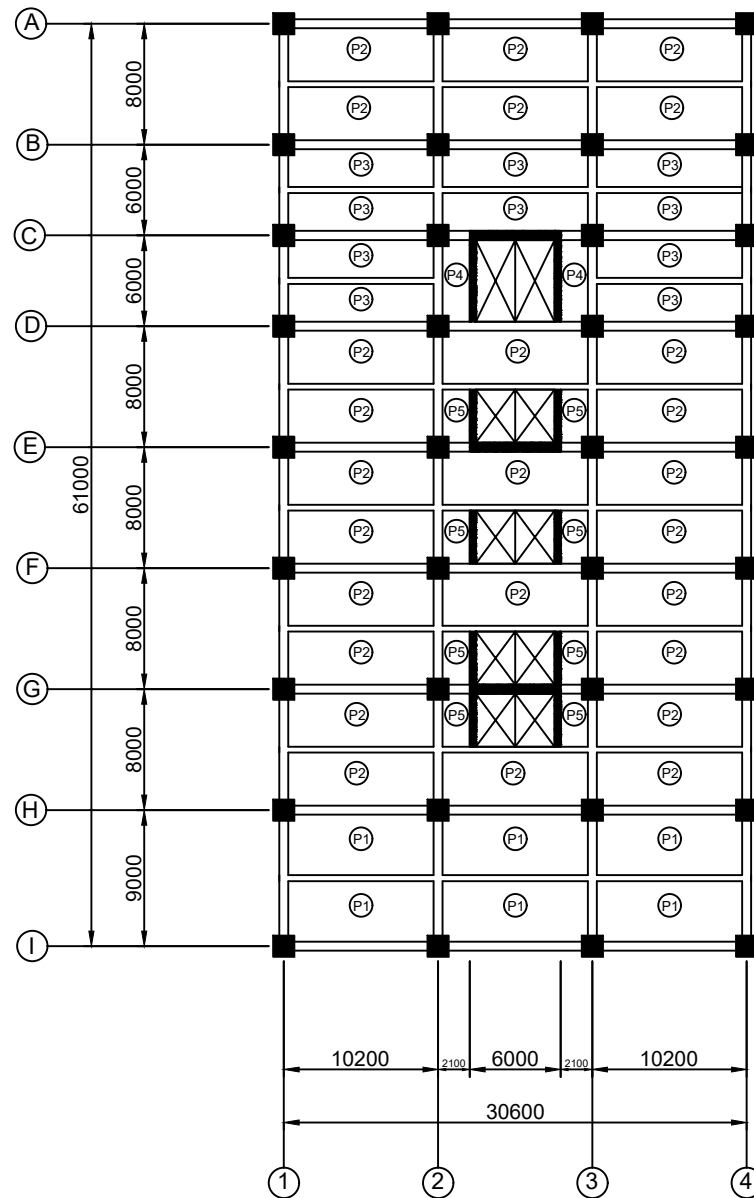
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

16

35

CATATAN



Denah Pelat Lantai
Skala 1:500

No	Tipe Pelat	P (cm)	L (cm)	Tebal (cm)
1	P1	1020	450	18
2	P2	1020	400	18
3	P3	1020	300	18
4	P4	600	210	18
5	P5	400	210	18



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL A PENULANGAN PELAT
(PRACETAK)

SKALA

1:100

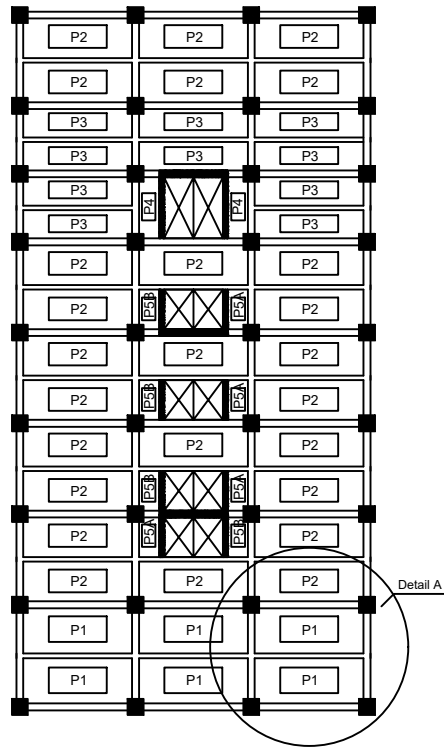
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

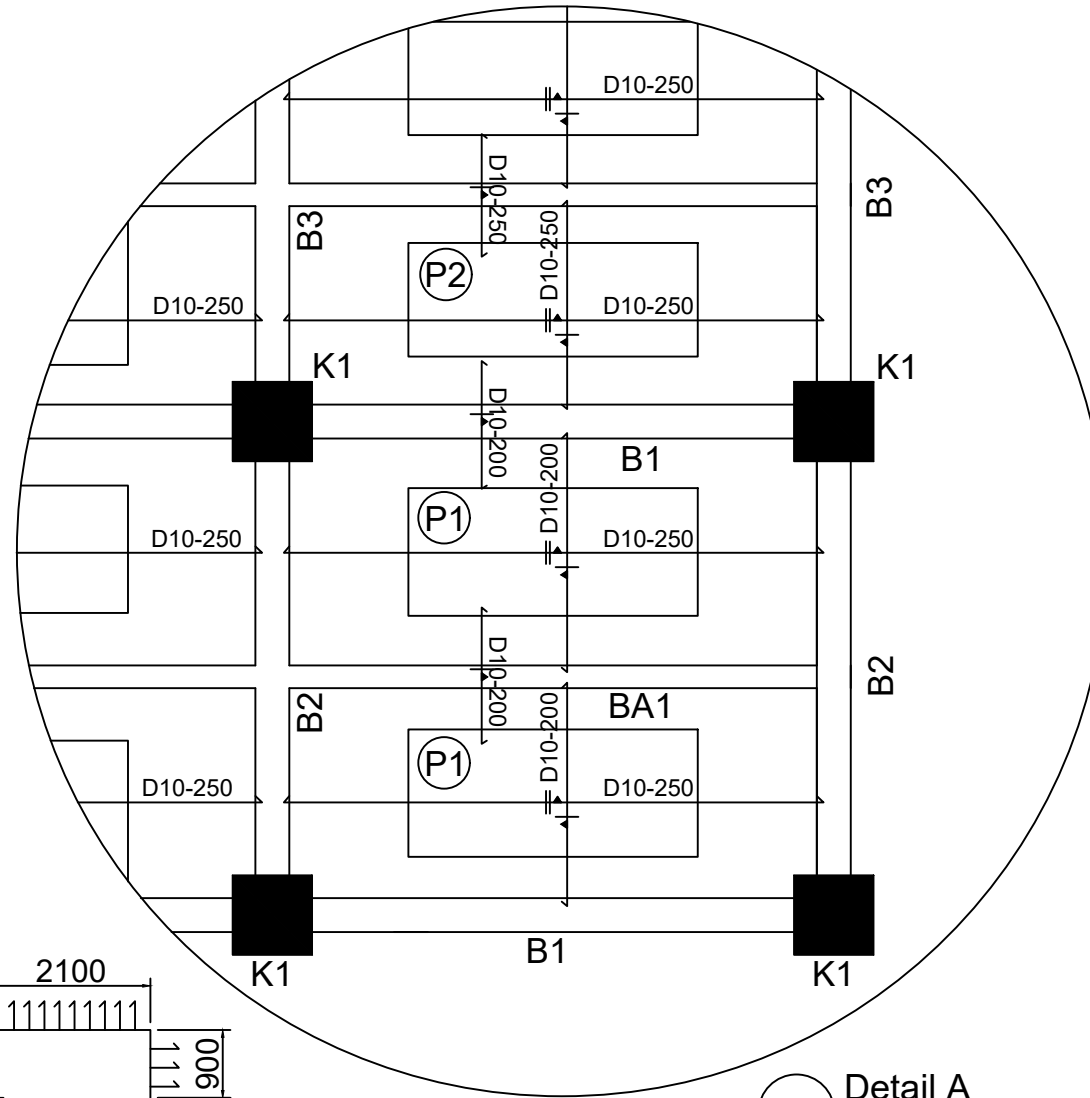
17

35

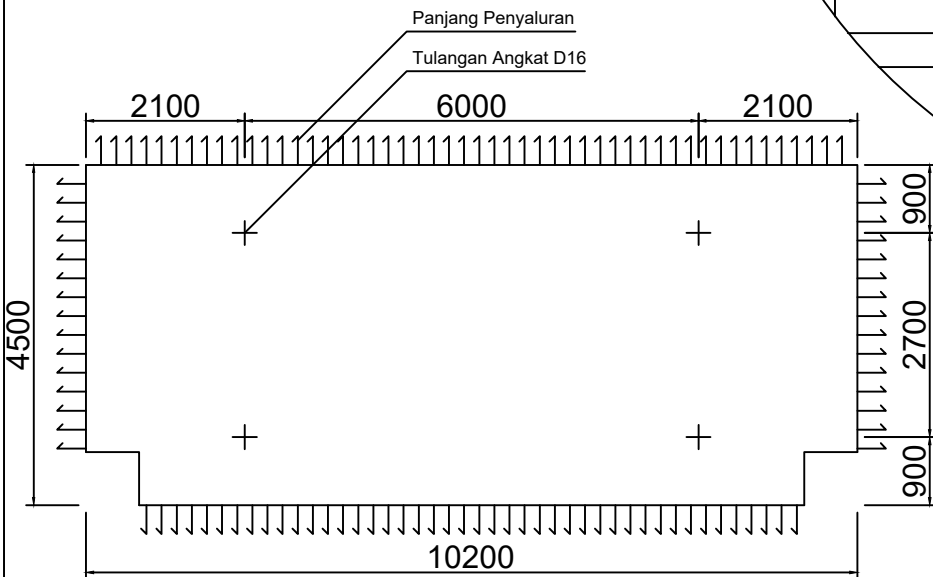
CATATAN



Detail A



Detail A
Skala 1:100



P1 Pracetak 10 cm
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL B PENULANGAN PELAT
(PRACETAK)

SKALA

1:100

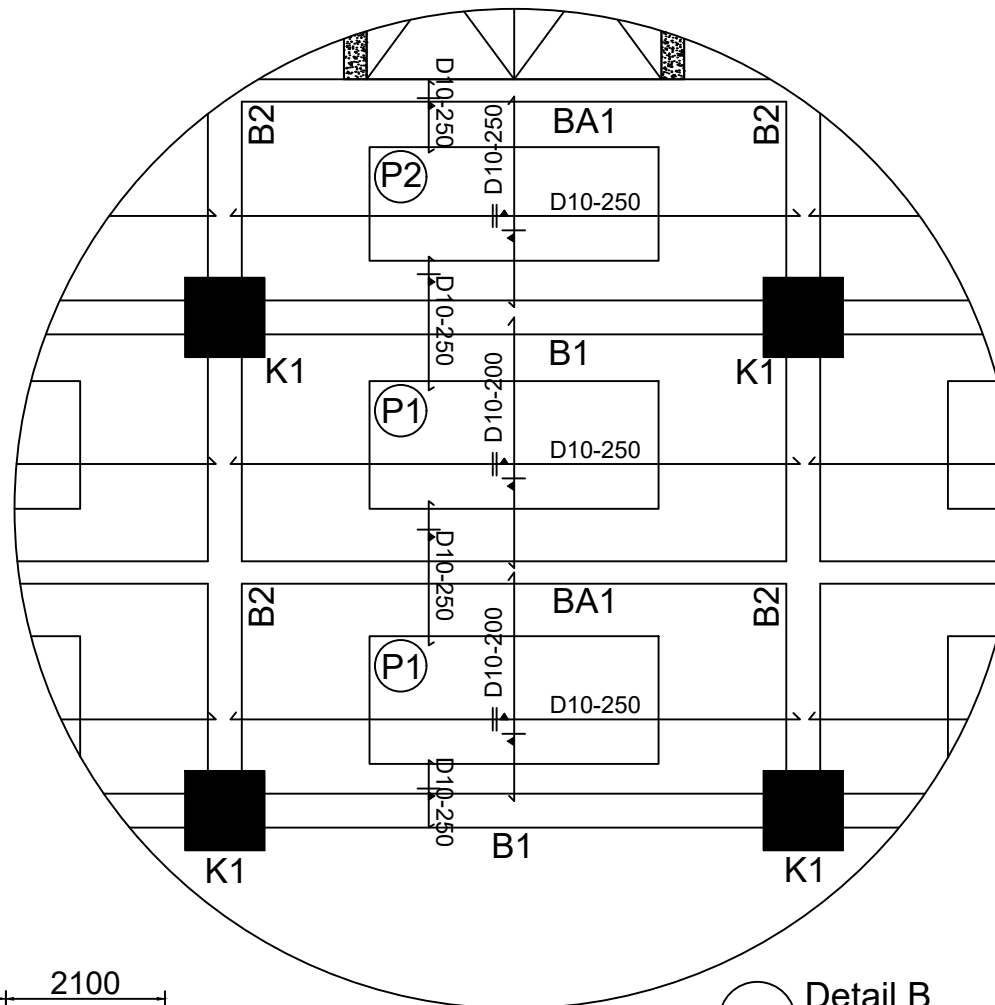
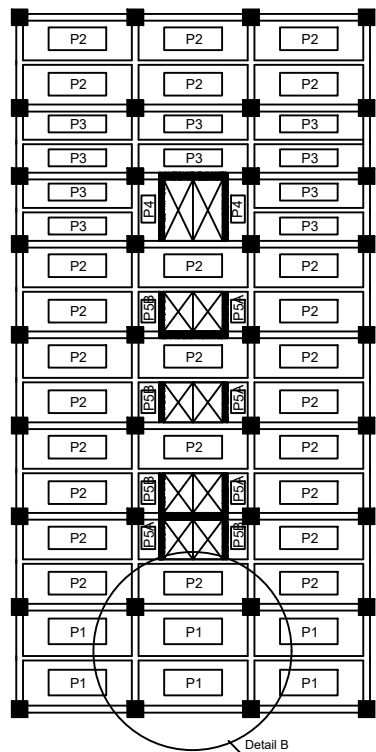
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

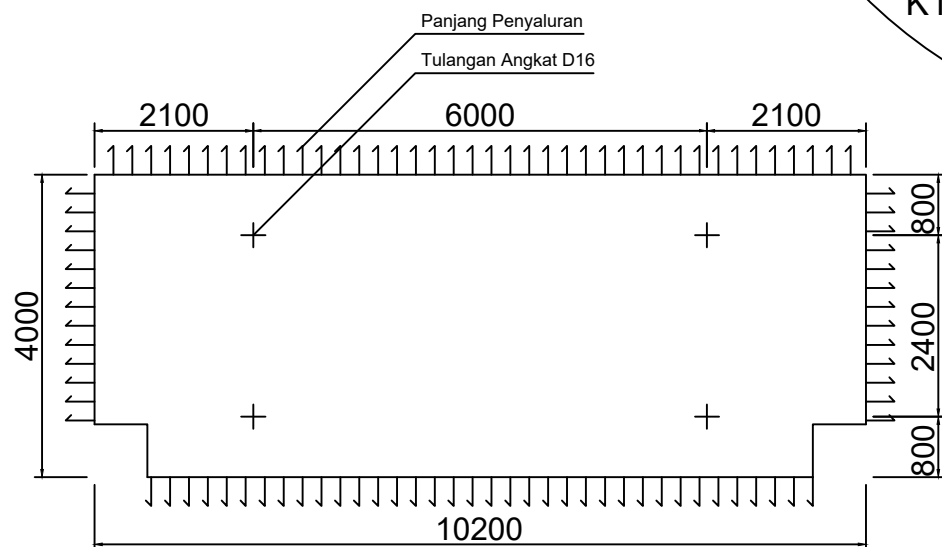
18

35

CATATAN



Detail B
Skala 1:100



P2 Pracetak 10 cm
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL C PENULANGAN PELAT
(PRACETAK)

SKALA

1:100

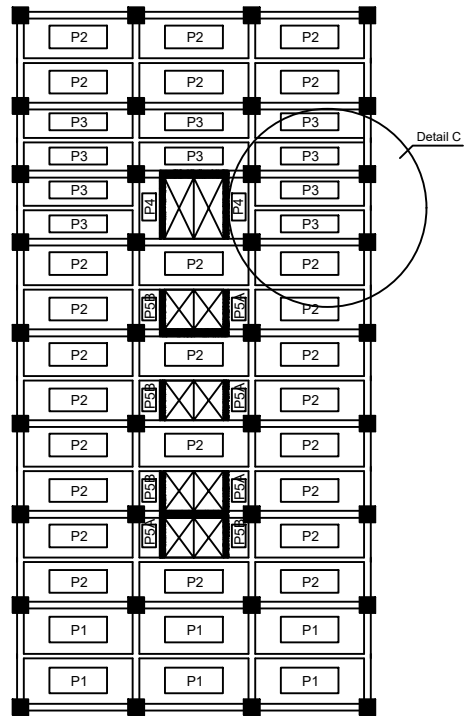
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

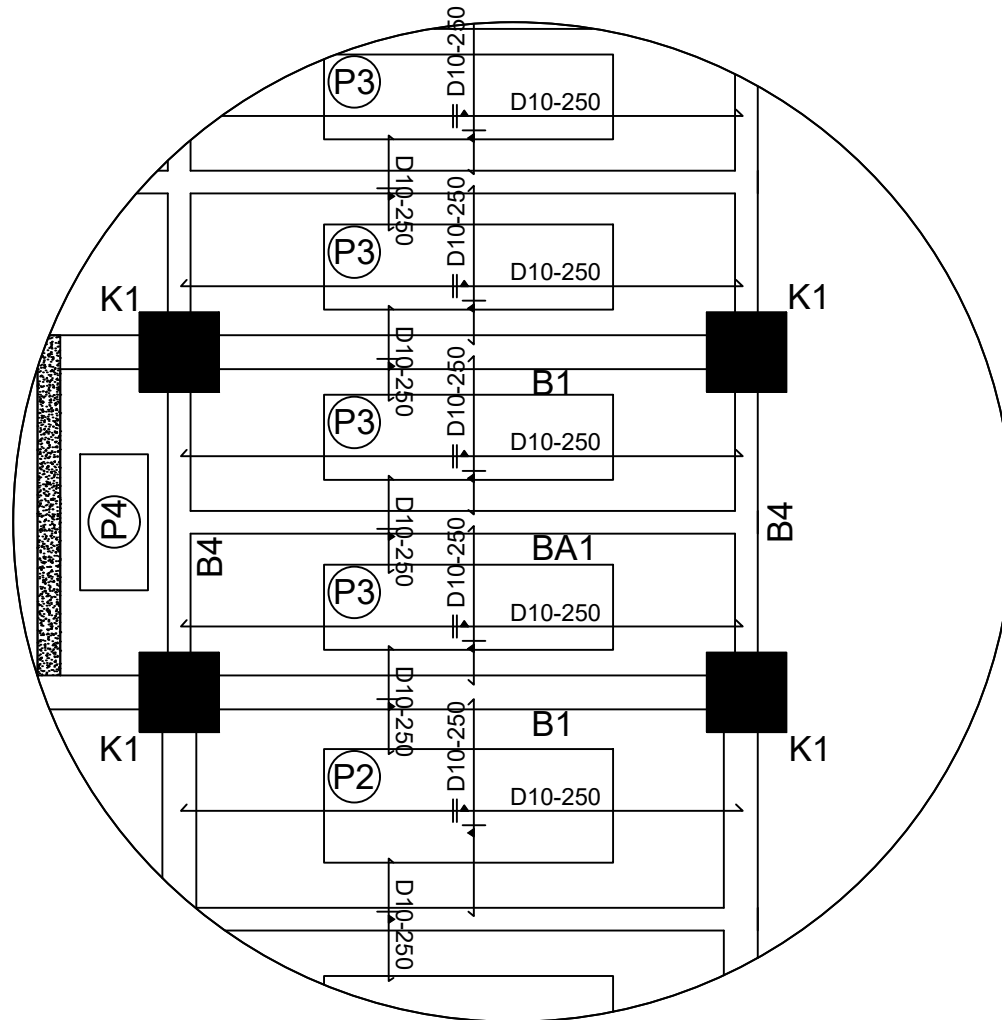
19

35

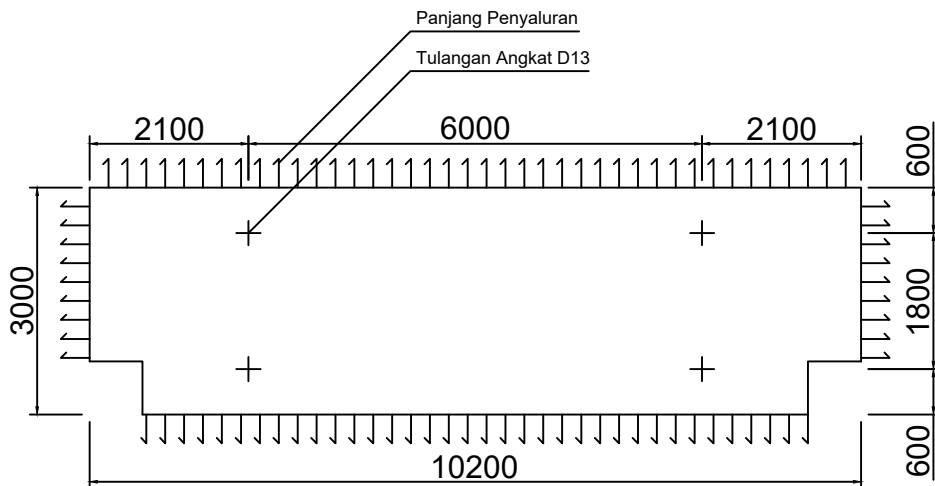
CATATAN



Detail C



Detail C
Skala 1:100



P3 Pracetak 10 cm
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL D PENULANGAN PELAT
(PRACETAK)

SKALA

1:100

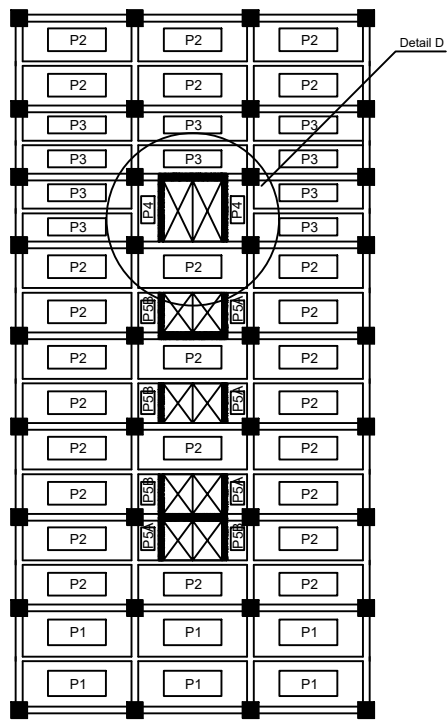
NO. LEMBAR

20

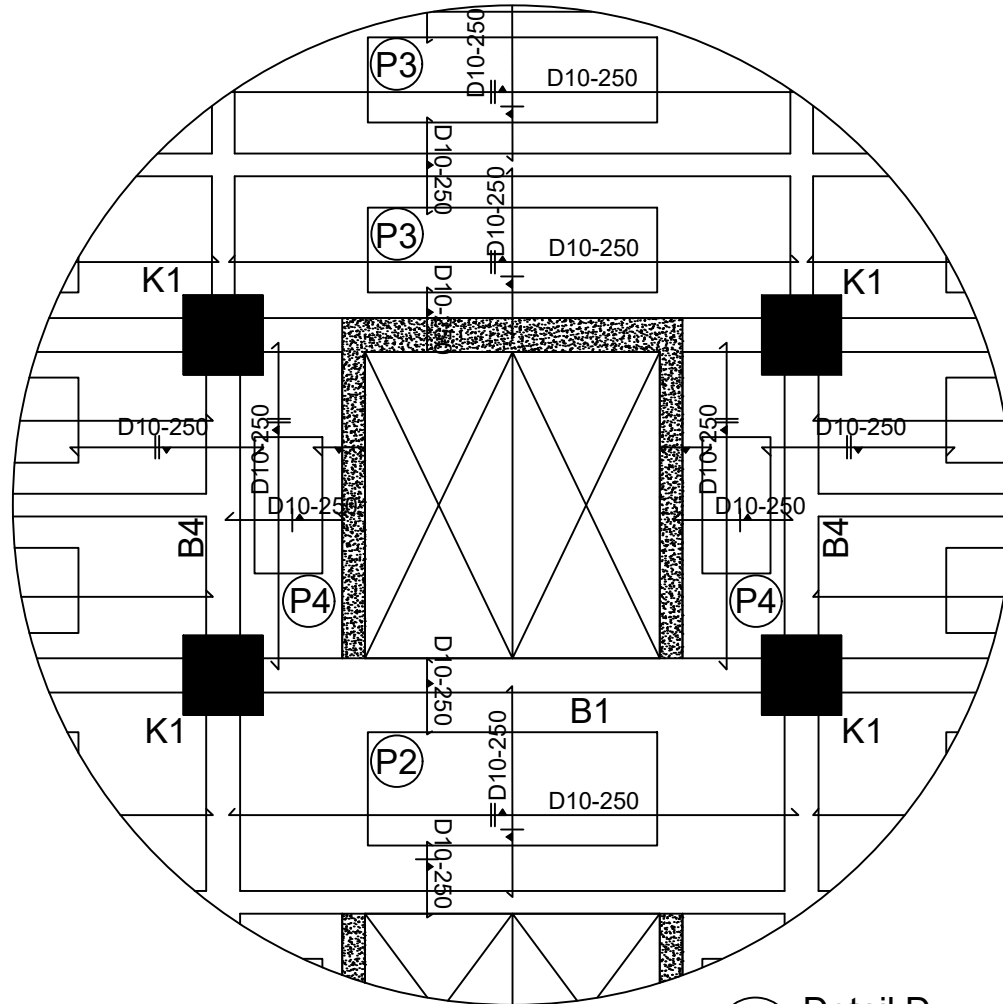
JUMLAH LEMBAR

35

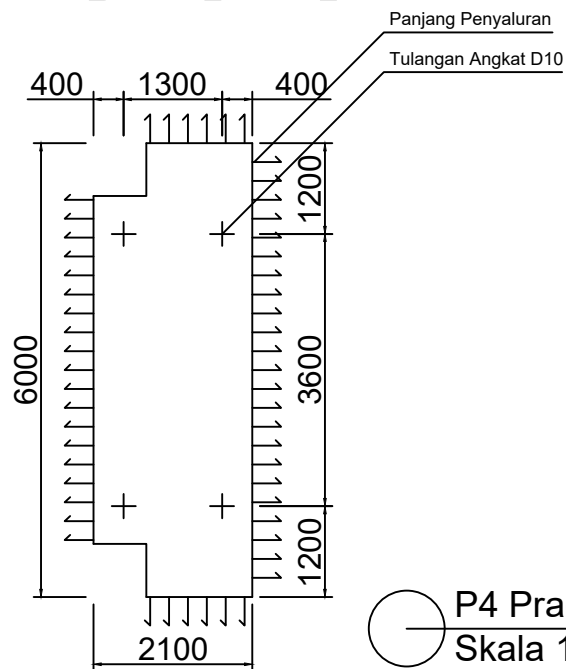
CATATAN



Detail D



Detail D
Skala 1:100



P4 Pracetak 10 cm
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL E PENULANGAN PELAT
(PRACETAK)

SKALA

1:100

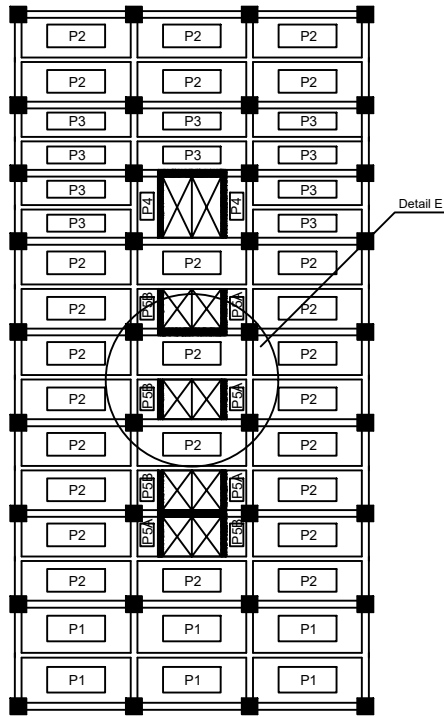
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

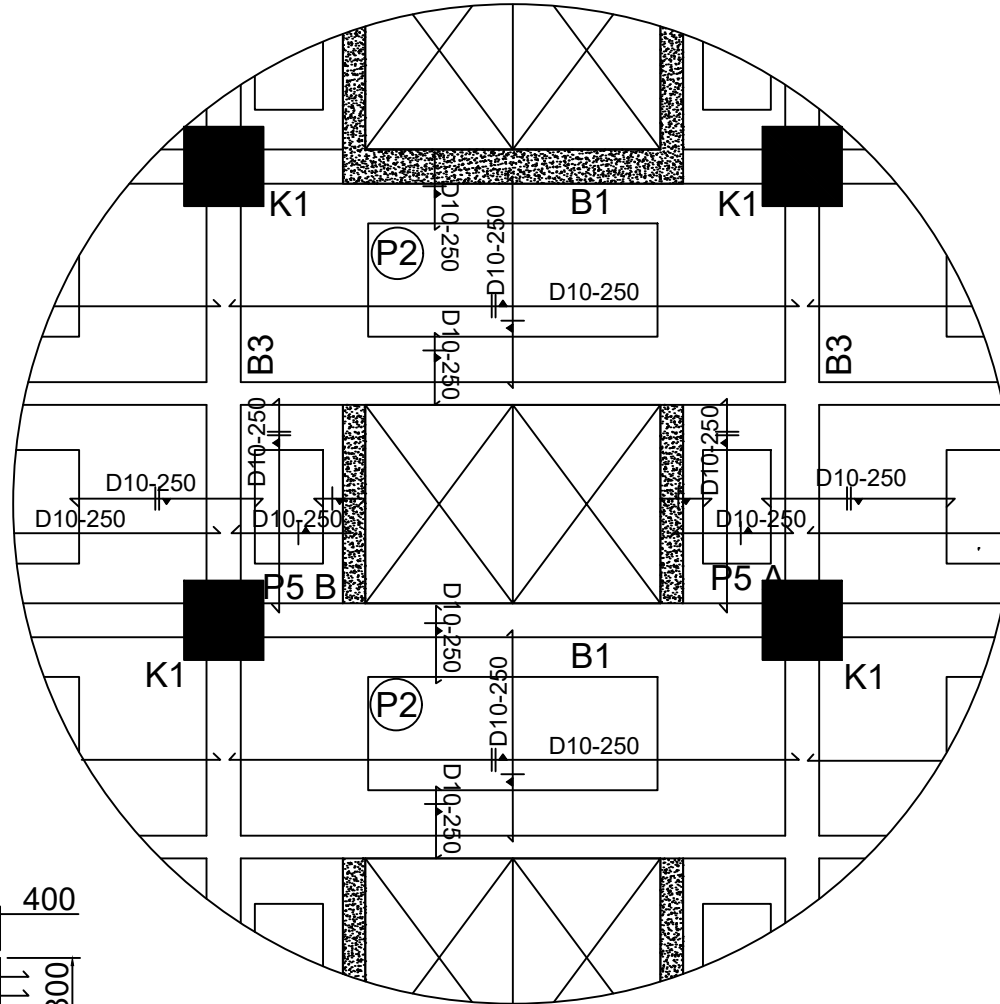
21

35

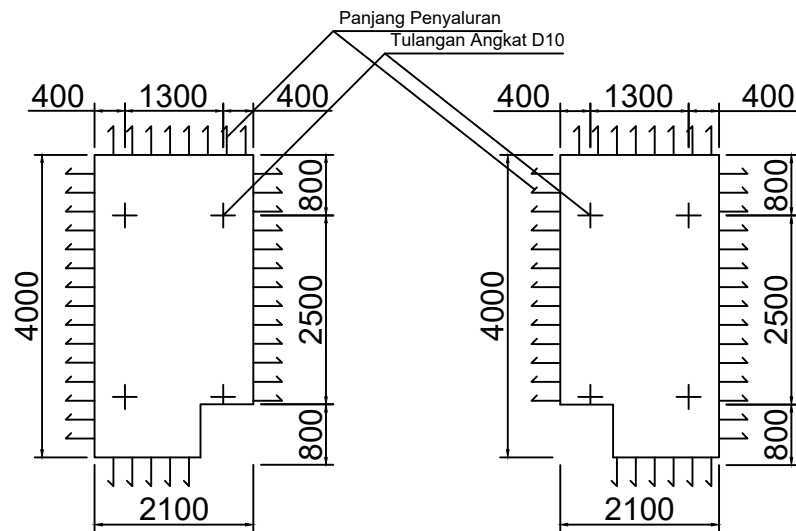
CATATAN



Detail E

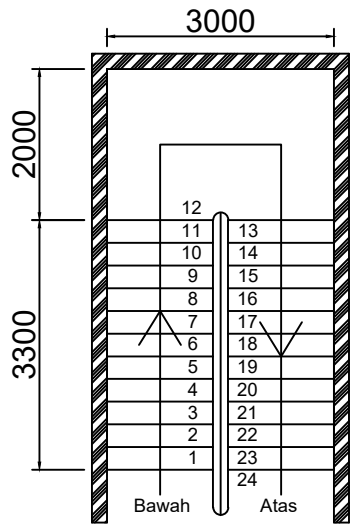


Detail E
Skala 1:100

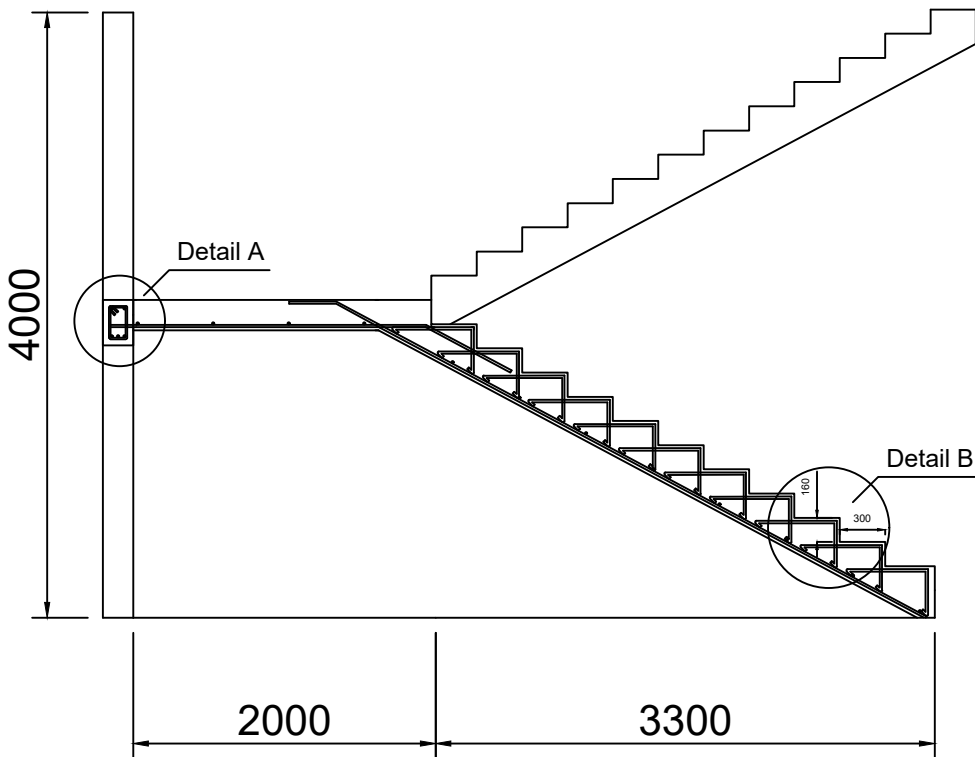


P5B Pracetak 10 cm
Skala 1:100

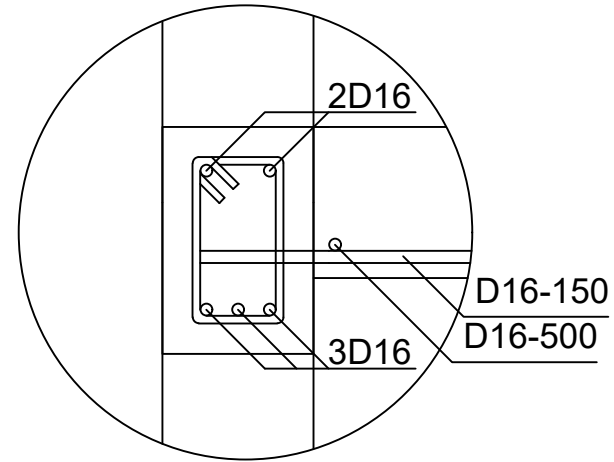
P5A Pracetak 10 cm
Skala 1:100



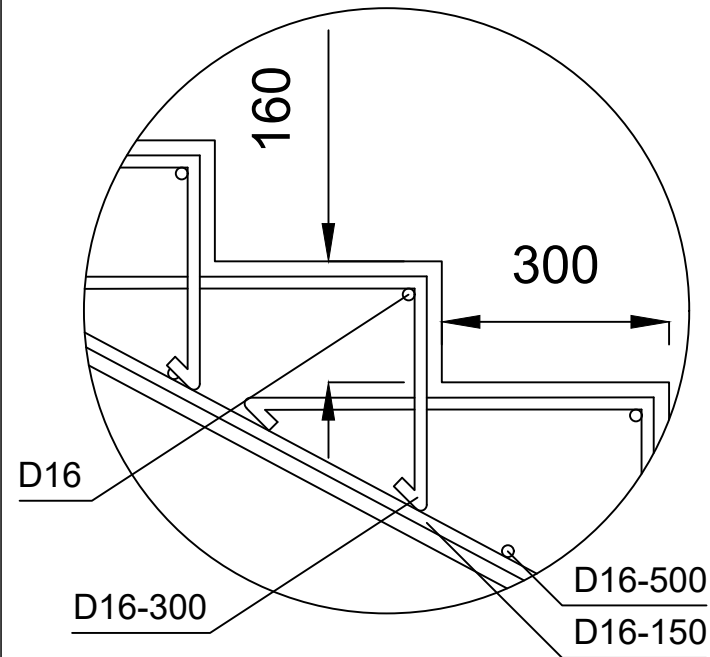
Tampak Atas Tangga
Skala 1:100



Potongan Tangga
Skala 1:50



Detail A
Skala 1:10



Detail B
Skala 1:10



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL PERENCANAAN TANGGA
(COR SETEMPAT)

SKALA

1:100
1:50 & 1:10

NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

22

35

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN BALOK
INDUK DAN KOLOM

SKALA

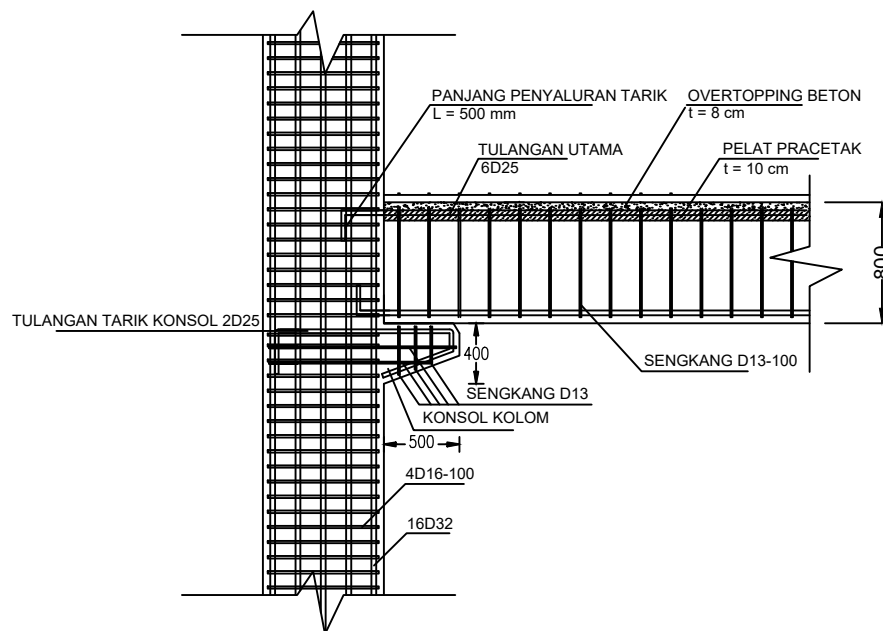
1:50

NO. LEMBAR JUMLAH. LEMBAR

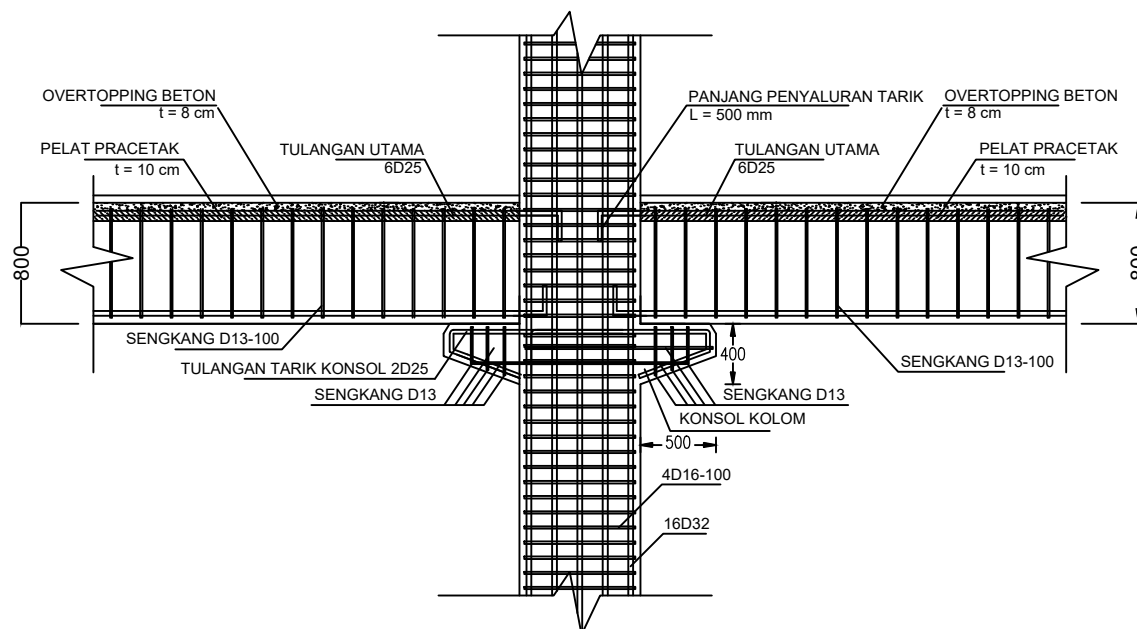
23

35

CATATAN



DETAIL SAMBUNGAN BALOK KOLOM EKSTERIOR
Skala 1:50



DETAIL SAMBUNGAN BALOK KOLOM INTERIOR
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN BALOK
INDUK DAN BALOK ANAK (BA1)

SKALA

1:50

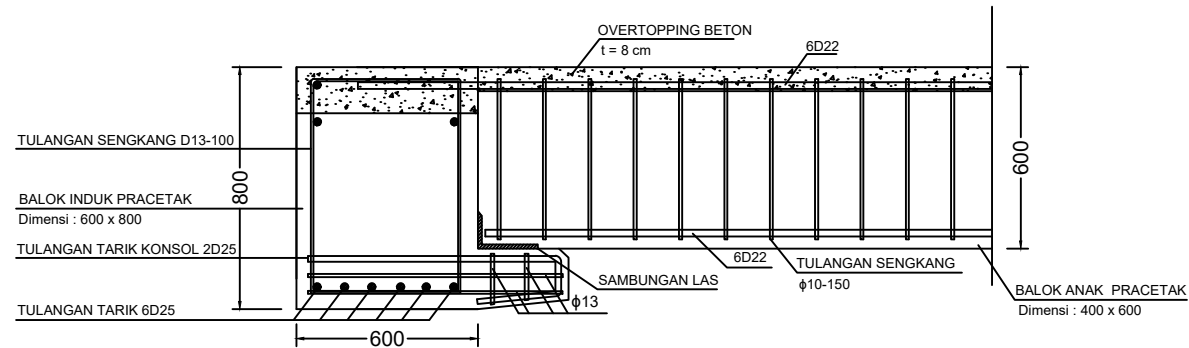
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

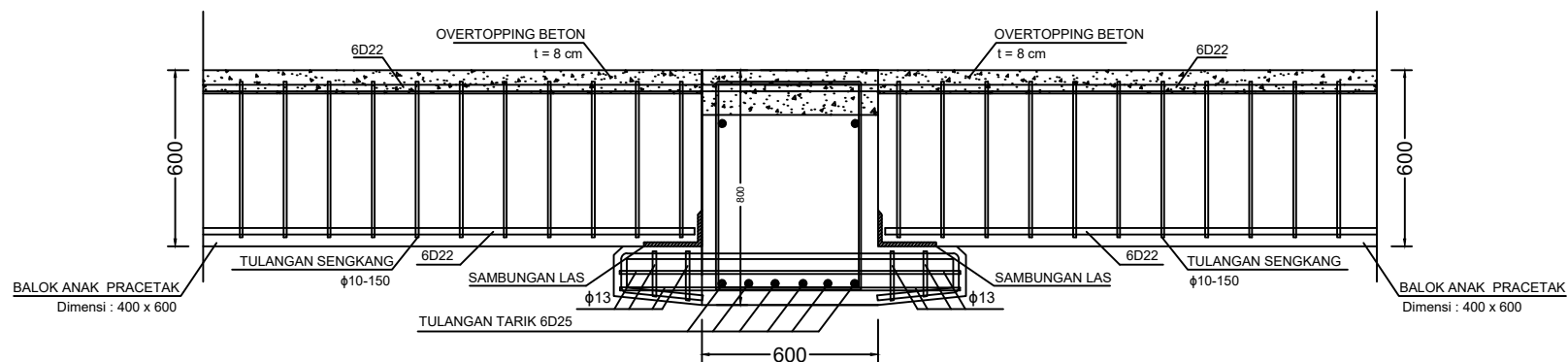
24

35

CATATAN



DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK EKSTERIOR DAN BALOK ANAK 1
SKALA 1 : 50



DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK INTERIOR DAN BALOK ANAK 1
SKALA 1 : 50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN BALOK
INDUK DAN BALOK ANAK
(BA2 & BA3)

SKALA

1:50

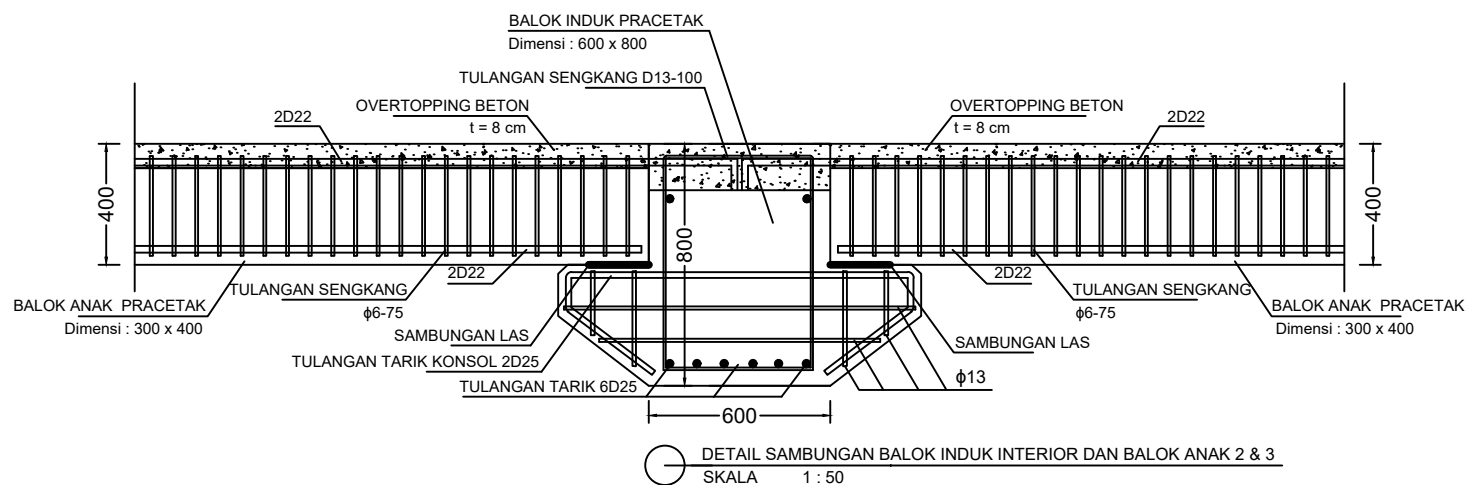
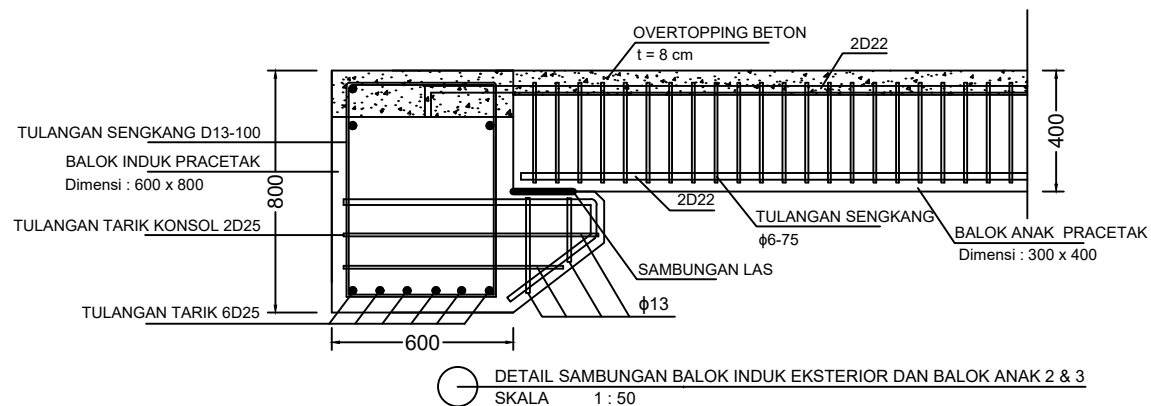
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

25

35

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN BALOK
PELAT

SKALA

1:40

1:20

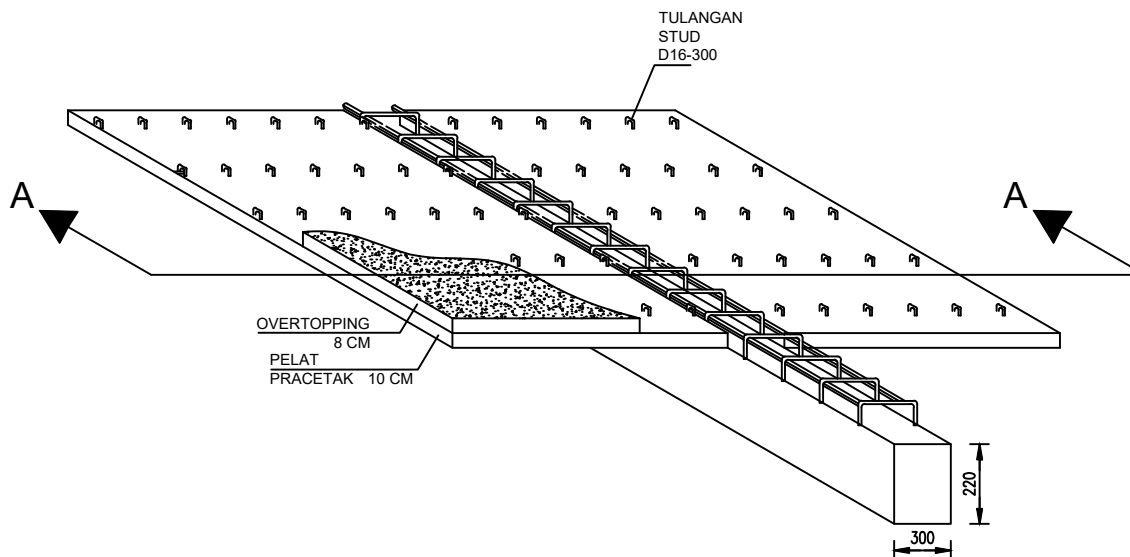
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

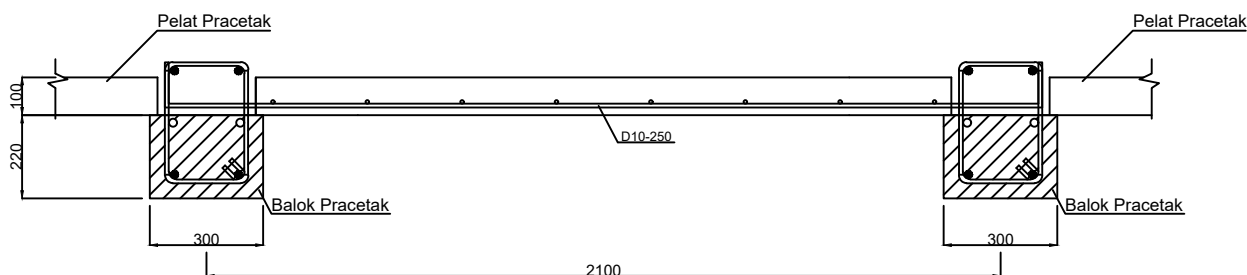
26

35

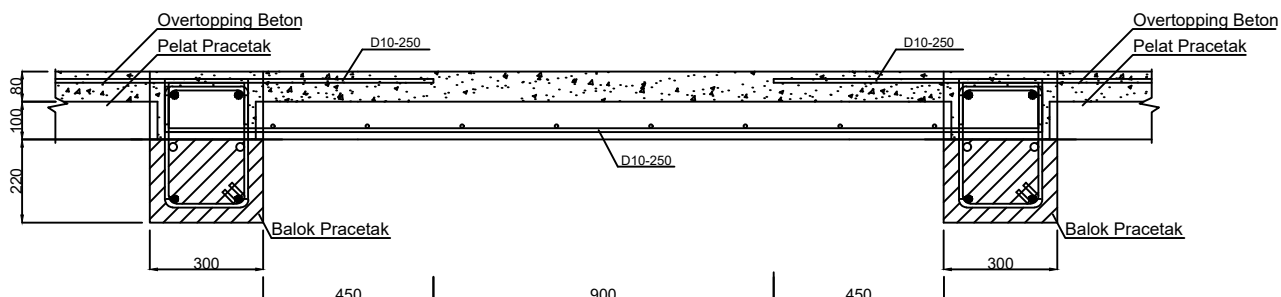
CATATAN



DETAIL SAMBUNGAN BALOK PELAT (B3-P4)
Skala 1:40



Potongan A-A Pelat (P4) Sebelum Komposit
Skala 1:20



Potongan A-A Pelat (P4) Setelah Komposit
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DENAH BORED PILE

SKALA

1:500

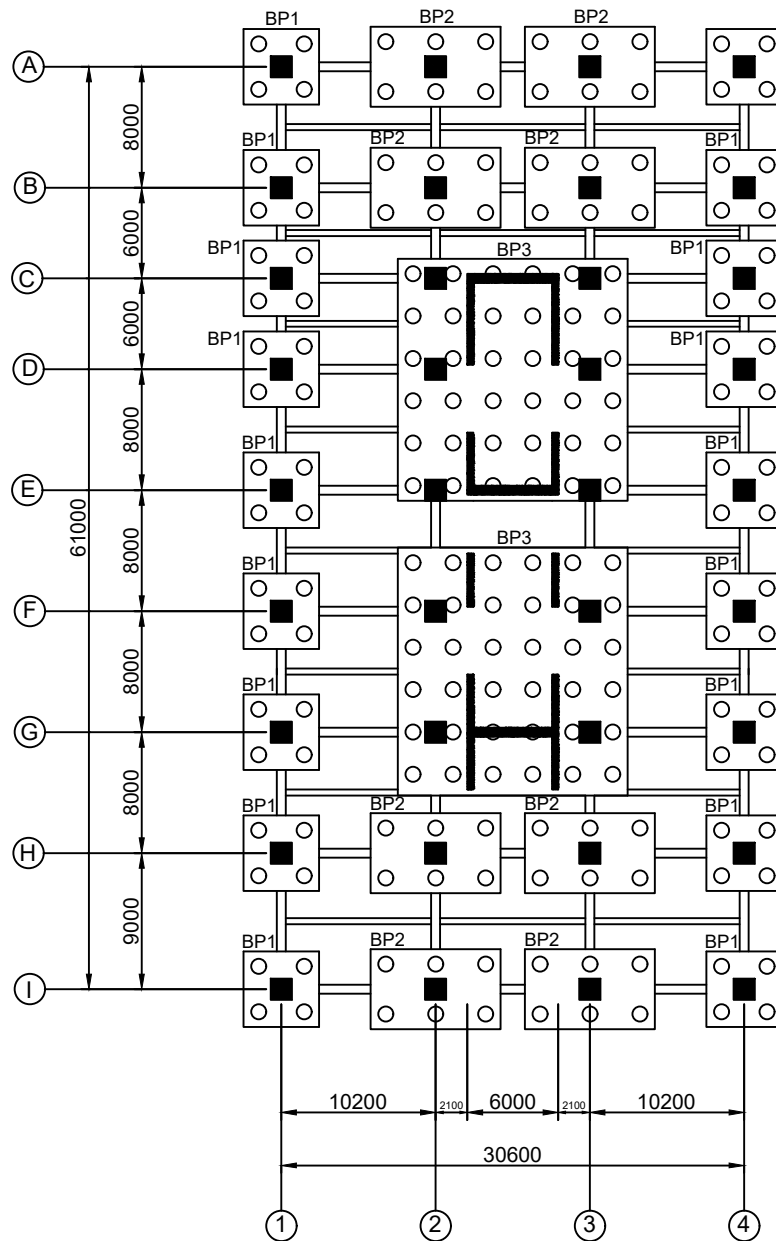
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

27

35

CATATAN



Tabel Bored Pile

No	Tipe	L (cm)
1	BP1 (4 D1000)	1200
2	BP2 (6 D1000)	1200
3	BP3 (36 D1000)	1200

Denah Bored Pile
Skala 1:500



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DENAH BORED PILE

SKALA

1:500

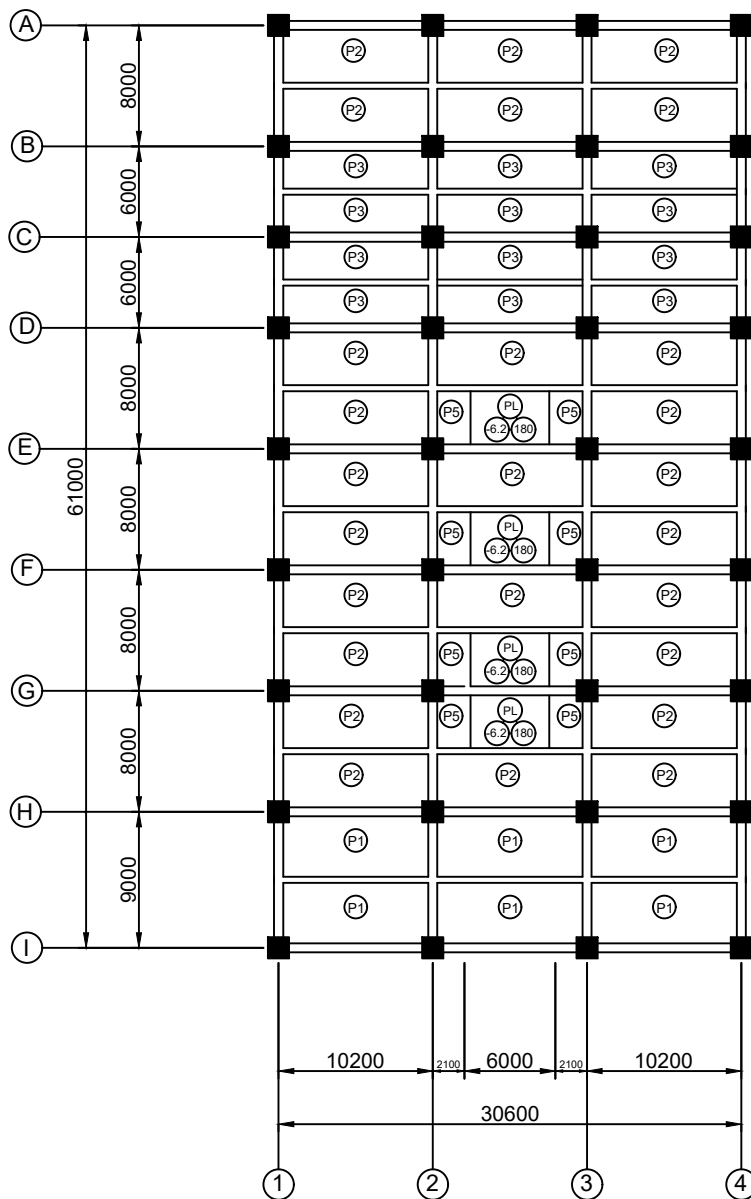
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

28

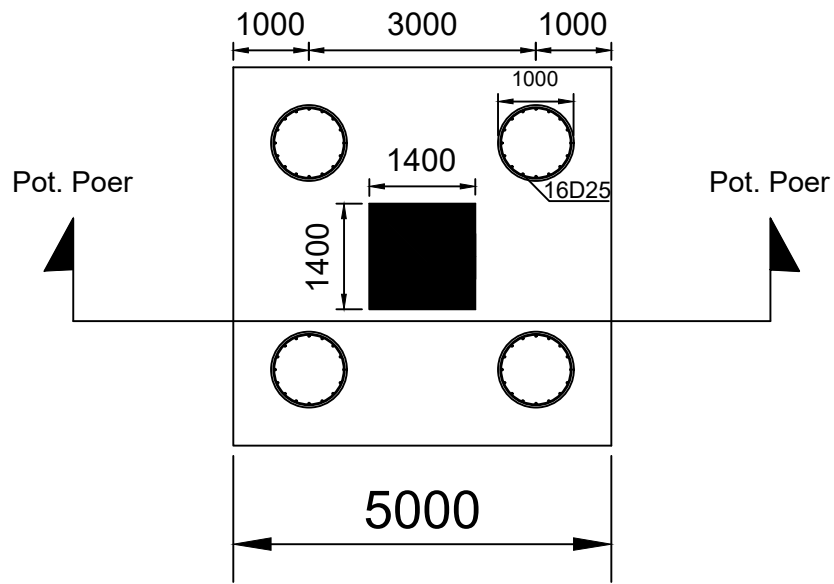
35

CATATAN

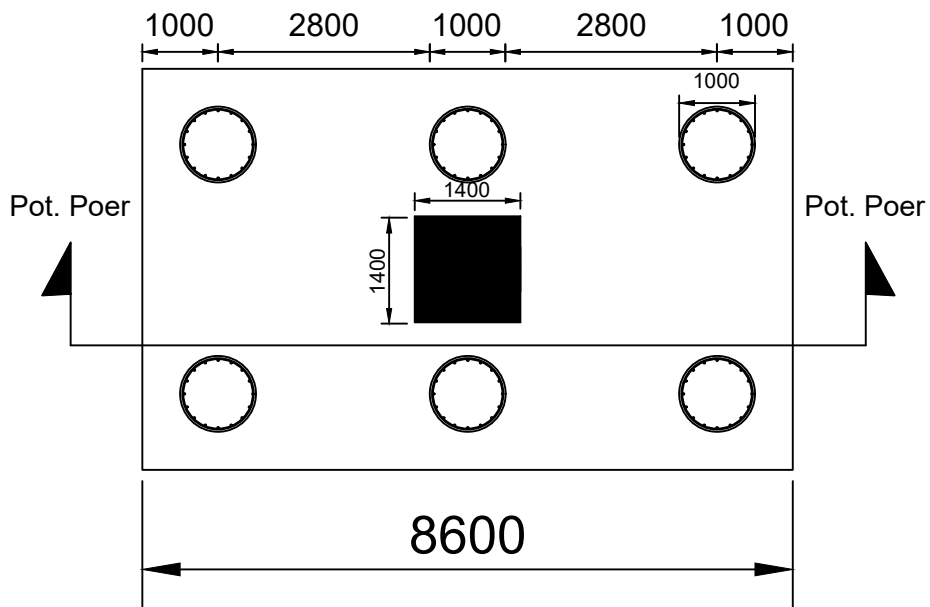


Denah Pelat Basement
Skala 1:500

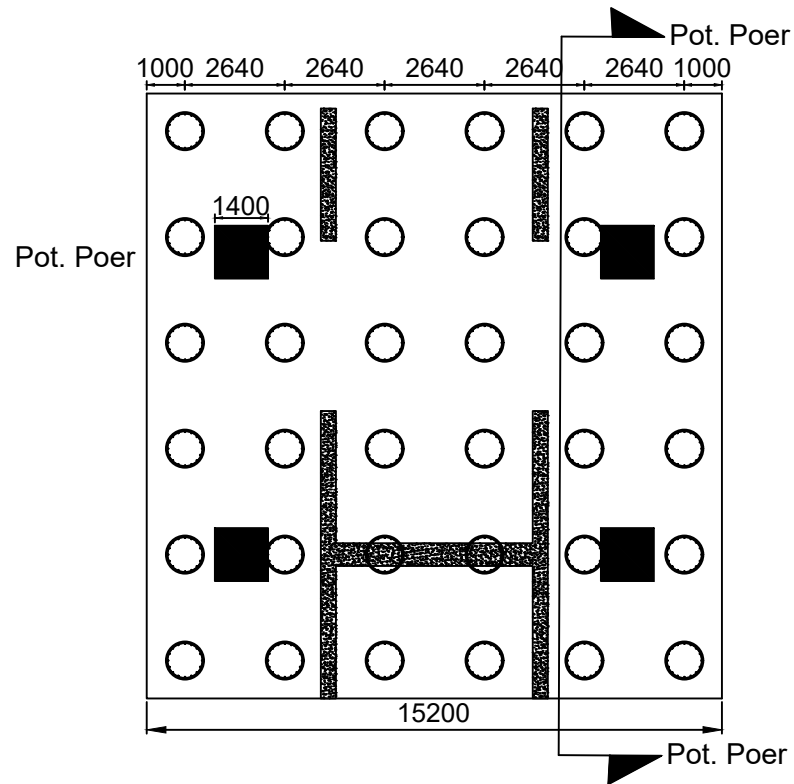
No	Tipe Pelat	P (cm)	L (cm)	Tebal (cm)
1	P1	1020	450	18
2	P2	1020	400	18
3	P3	1020	300	18
4	P4L	600	400	18
5	P5	400	210	18



○ Konfigurasi Tata Letak Bored Pile A (BP1)
Skala 1:100



○ Konfigurasi Tata Letak Bored Pile B (BP2)
Skala 1:100



○ Konfigurasi Tata Letak Bored Pile C (BP3)
Skala 1:200



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

KONFIGURASI TATA LETAK
BORED PILE

SKALA

1:100

NO. LEMBAR

29

JUMLAH LEMBAR

35

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN POER A

SKALA

1:100

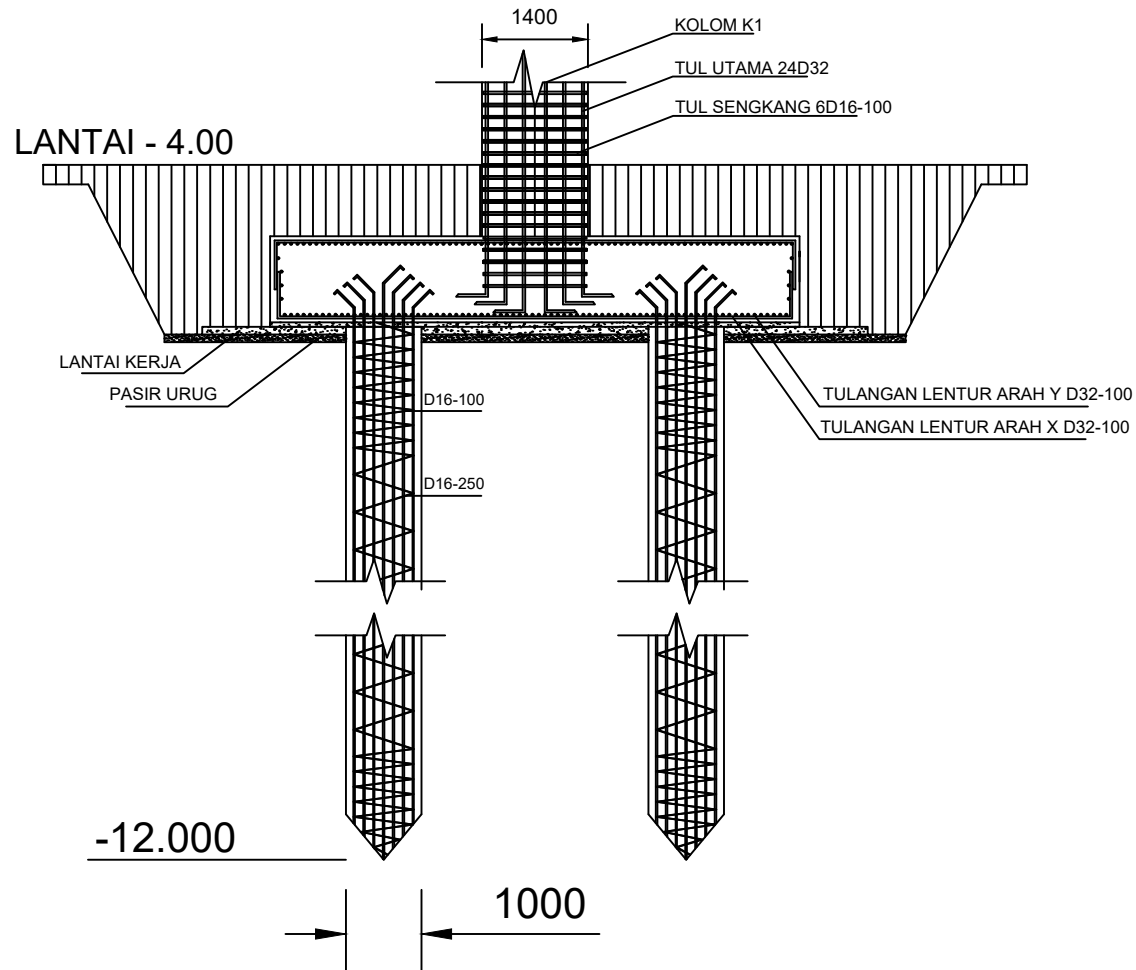
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

30

35

CATATAN



Detail Potongan Poer A (BP1)
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL HUBUNGAN SLOOF
DENGAN POER A

SKALA

1:100

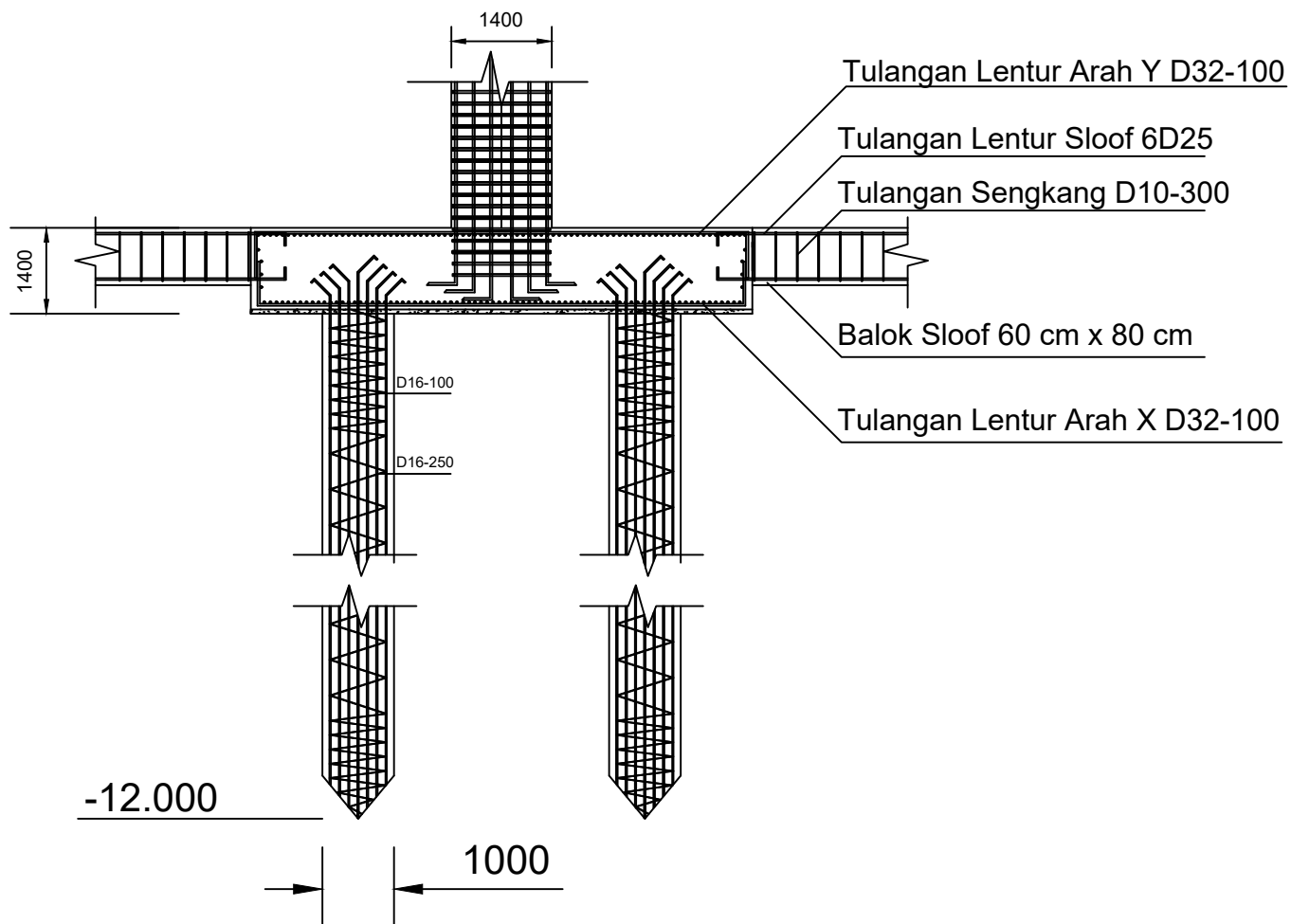
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

31

35

CATATAN



Detail Hubungan Sloof dengan Poer A (BP1)
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN POER B

SKALA

1:100

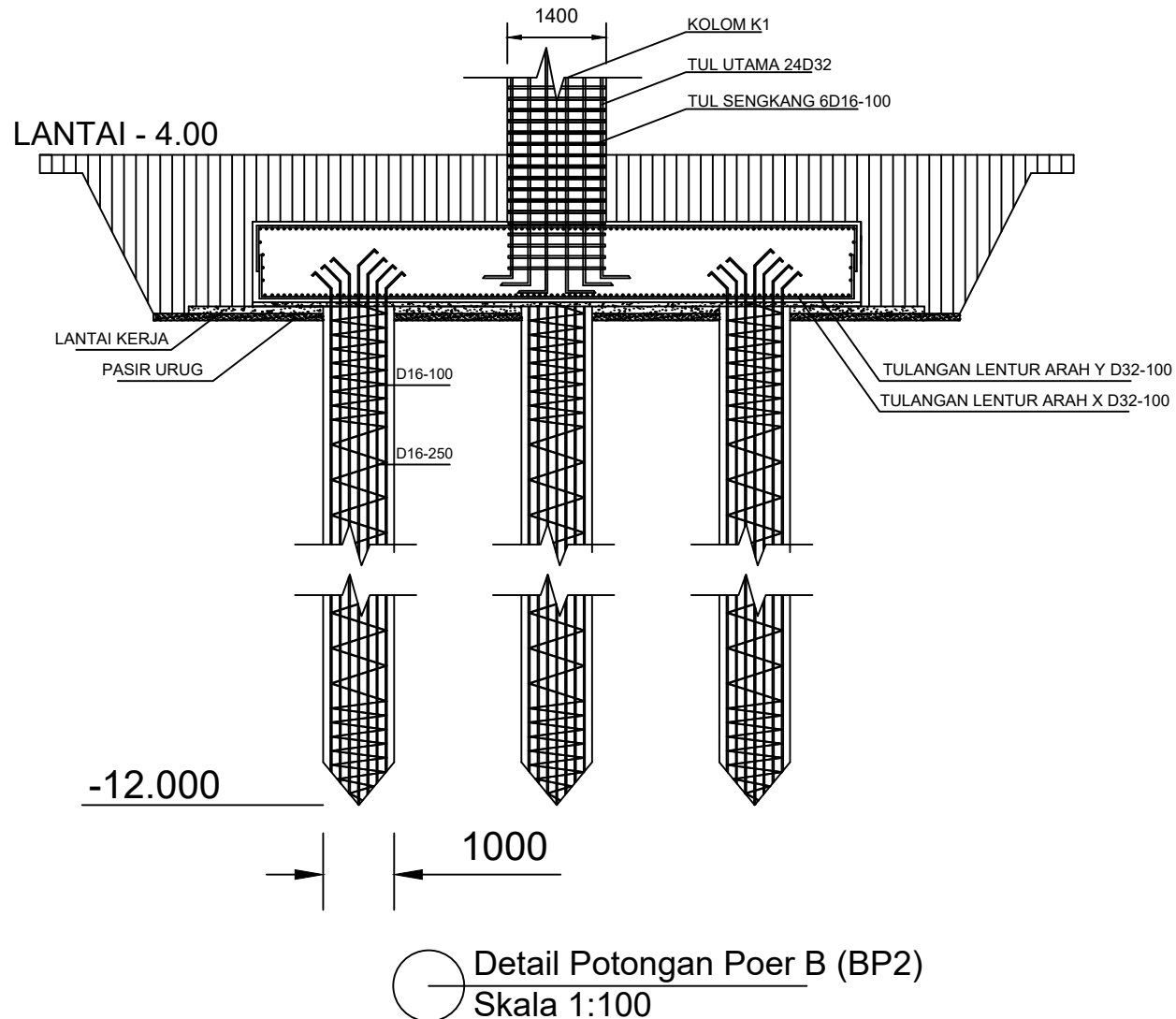
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

32

35

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL HUBUNGAN SLOOF
DENGAN POER B

SKALA

1:100

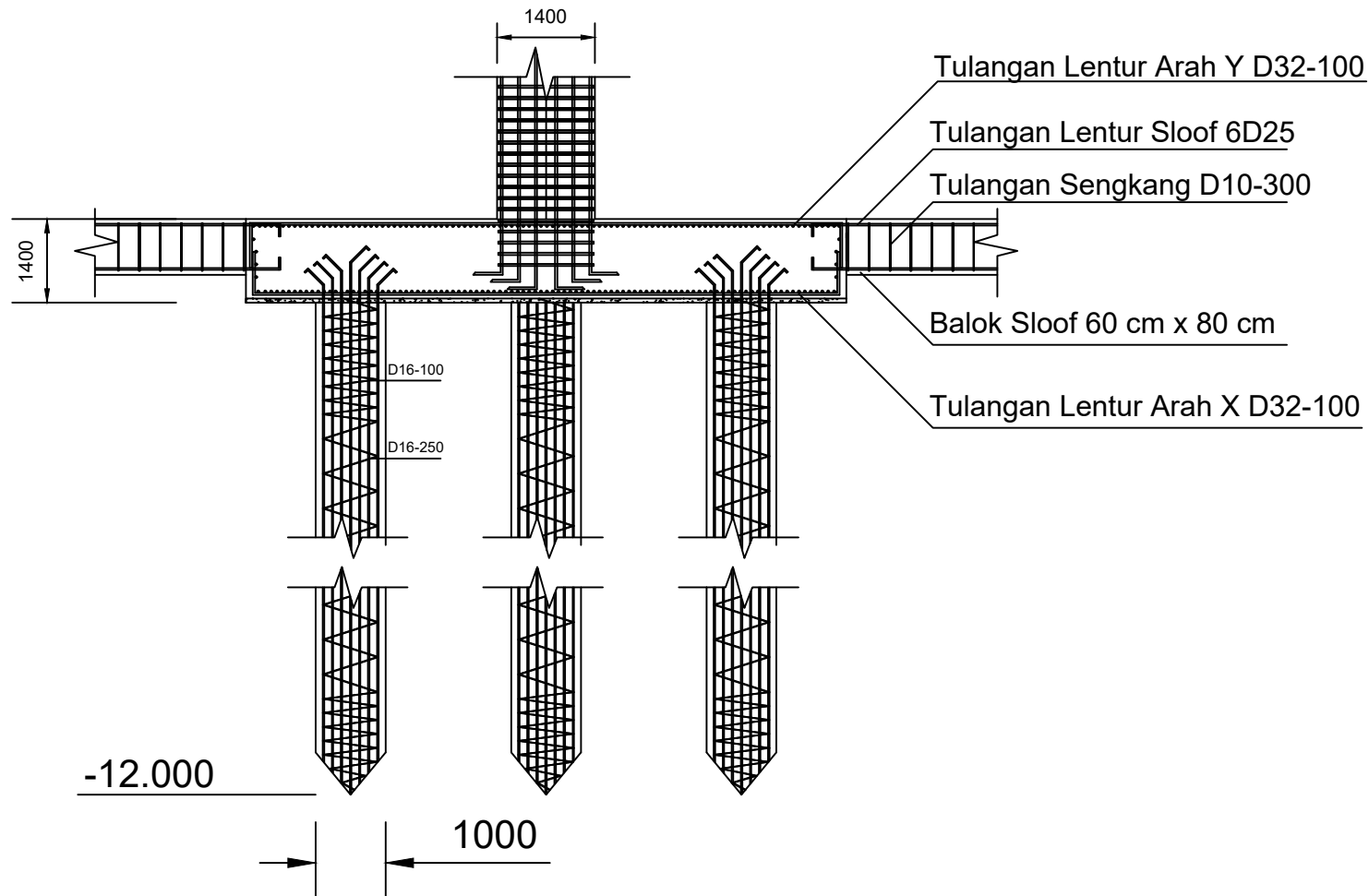
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

33

35

CATATAN



Detail Hubungan Sloof dengan Poer B (BP2)
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN POER C

SKALA

1:100

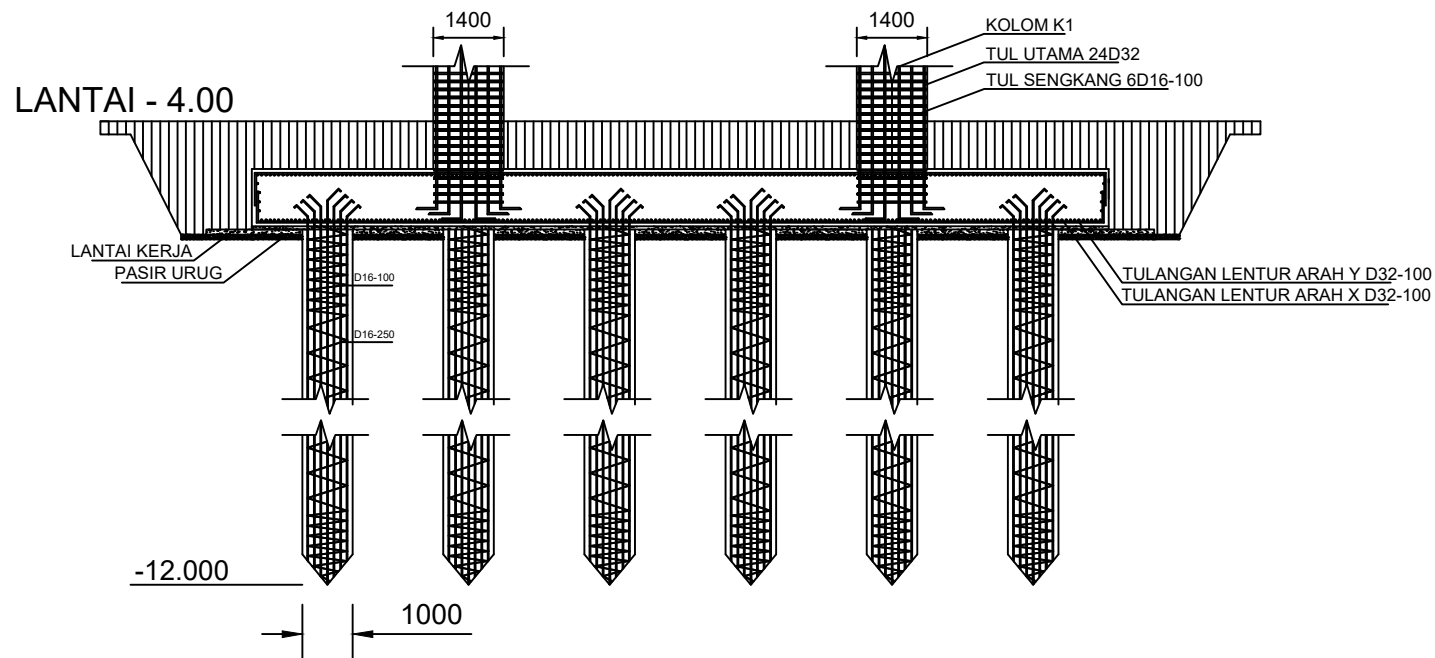
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

34

35

CATATAN



Detail Potongan Poer C (BP3)
Skala 1:150



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN MODIFIKASI
GEDUNG ONE EAST RESIDENCE DI
BALIKPAPAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE BETON
PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Muhammad Febrianto Ramadhan

GAMBAR

DETAIL HUBUNGAN SLOOF
DENGAN POER C

SKALA

1:150

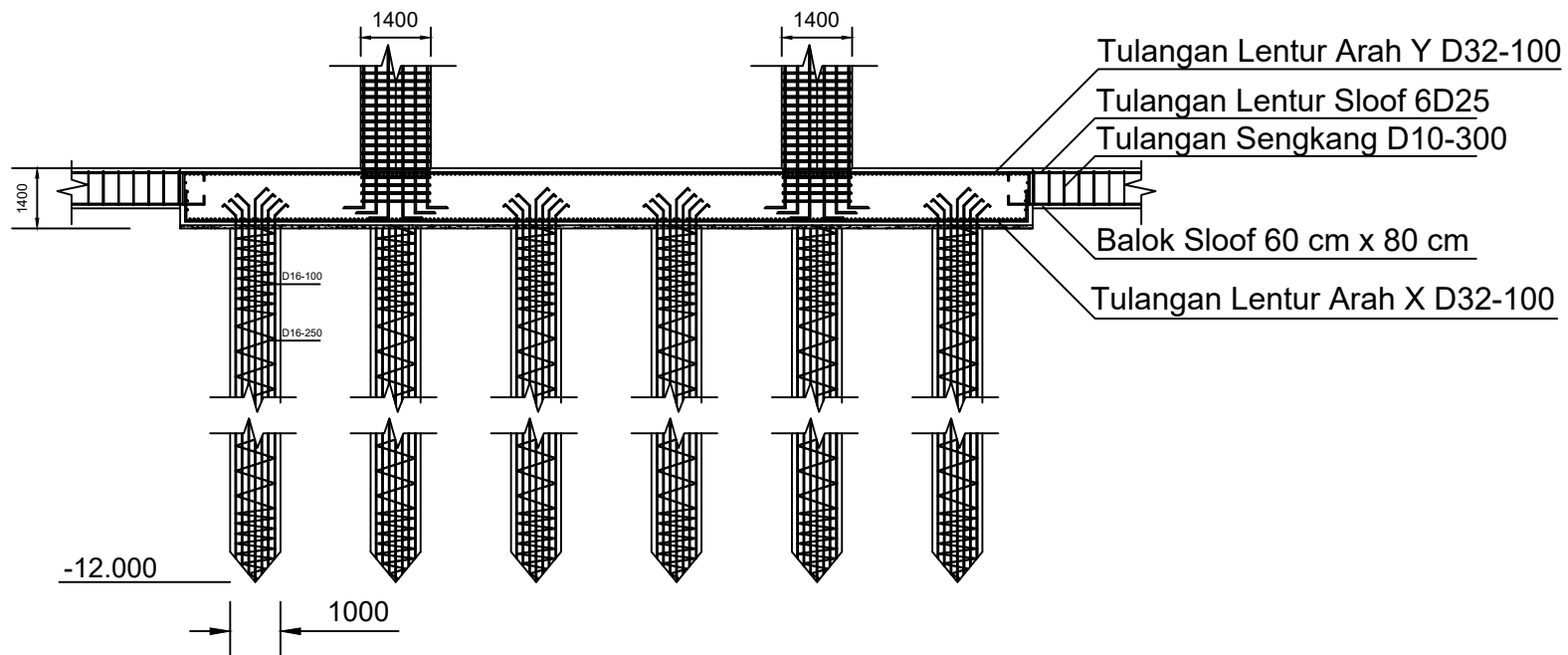
NO. LEMBAR

JUMLAH. LEMBAR

35

35

CATATAN



Detail Hubungan Sloof dengan Poer C (BP3)
Skala 1:150

BIODATA PENULIS



Muhammad Febrianto Ramadhan lahir pada tanggal 20 Februari 1994 di Bontang, Kalimantan Timur. Setelah menempuh pendidikan formal di SD YPVDP Bontang, SMP YPVDP Bontang, dan SMA YPVDP Bontang, penulis melanjutkan pendidikan di S1 Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112100094.

Penulis sempat aktif dalam beberapa organisasi selama menjalani masa kuliah seperti Ketua Himpunan Mahasiswa Sipil ITS periode 2014-2015, Ketua Himpunan Mahasiswa Bontang cab. Kota Surabaya periode 2015-2016. Penulis juga beberapa kali meraih penghargaan kompetisi ketekniksipilan nasional, seperti Juara 2 Kompetisi Rancang Bangun Universitas Udayana 2013, Juara Harapan 1 Lomba Estimasi Biaya Proyek Universitas Tarumanegara 2014, dan Finalis 8 Besar Kompetisi Jembatan Indonesia (KJI XI) DIKTI 2015 kategori Jembatan Busur Bentang Panjang. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan internasional di mancanegara yaitu Studi Ekskursi Teknik Sipil angkatan 2012 di Singapura pada tahun 2016.

Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: **ramadhan_fbi@yahoo.com** .