TUGAS AKHIR (RC14 - 1501)

PERENCANAAN ULANG GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA TOWER EMERALD MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
NRP : 3113100083

Dosen Pembimbing 1
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Dosen Pembimbing 2
Harun Alrasyid, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR (RC14-1501)

PERENCANAAN ULANG GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA TOWER EMERALD DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
NRP. 3113 100 083

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Dosen Pembimbing II
Harun Alrasyid ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

FINAL PROJECT (RC14-1501)

DESIGN OF PRECAST CONCRETE METHOD AT GRAND DHIKA CITY APARTEMENT PROJECT

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
NRP. 3113 100 083

Academic Supervisor I
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.

Academic Supervisor II
Harun Alrasyid ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

PERENCANAAN ULANG GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
NRP. 3112 100 083

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA ..... (Pembimbing I)

2. Harun Alrasyid, ST., MT., PhD ..... (Pembimbing II)

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

SURABAYA
JANUARI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

PERENCANAAN ULANG GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA TOWER EMERALD MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

Nama Mahasiswa : Febrijayanto Dony Saputra
Nrp : 3113100083
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Prof Dr. Ir. Triwulan, DEA.
: Harun Alrasyid, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Gedung Apartemen Grand Dhika City (Tower Emerald) di Bekasi merupakan gedung yang difungsikan sebagai hunian vertikal yang dibangun di kawasan mixed used Grand Dhika City Jatiwarna. Tower Emerald sendiri merupakan gedung dengan struktur 22 lantai dengan ketinggian bangunan 76 meter yang memiliki tipe tipikal sehingga mulai dari lantai 4 ke atas mempunyai konfigurasi denah yang sama. Gedung ini dibangun dengan beton bertulang menggunakan metode cor ditempat sehingga memerlukan waktu pengerjaan yang relative lama. Dalam pengerjaannya pun, seringkali kurang memerhatikan ketelitian sehingga hasil pengerjaan tidak rapi dan kurang presisi.

Pengumpulan data dilakukan untuk merencanakan ulang struktur gedung dan menentukan kriteria desain. Desain awal (preliminary design) serta pembebanan adalah input pemodelan struktur gedung untuk mendapatkan hasil analisa strukturnya. Gaya dalam yang didapat dari hasil analisa struktur digunakan untuk perhitungan perencaaan setiap elemen struktur gedung. Perhitungan perencanaan setiap elemen menghasilkan gambar teknik serta kesimpulan dan saran.

Penulis mengharapkan agar perencanaan ulang menggunakan metode beton pracetak dapat diterapkan dalam perencanaan struktur gedung Apartemen Grand Dhika City (Tower Emerald). Perencanaan ulang menghasilkan output perhitungan yang akurat dan dapat dipertanggung-jawabkan, serta gambar design yang rinci dan jelas.

Kata kunci: Beton bertulang, beton pracetak, pemodelan, gaya dalam

DESIGN OF PRECAST CONCRETE METHOD AT GRAND DHIKA CITY APARTMENT PROJECT

Student Name : Febrijayanto Dony Saputra
Nrp : 3113100083
Department : Teknik Sipil FTSP-ITS
Academic Supervisor : Prof Dr. Ir. Triwulan, DEA.
: Harun Alrasyid, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Grand Dhika City Jatiwarna (Tower Emerald) apartment building on Bekasi, Jawa Barat is a vertical residential building constructed in mix used area Grand Dhika City Jatiwarna. The Tower Emerald itself is a building in form of 22-floor structure with 76 meters in height and built in typical fashion, hence its floor plan from 4th floor upwards is same. This building built with reinforced concrete using cast in place method. Consequentially the working time is long and during its practice it accuracy was often dismissed, so it led to messy and fewer precision results.

Collecting data were done to redesigning building structure and determine design criteria. Preliminary design and loading is used as input in structural modeling to obtain structural analysis results. Internal forces which were obtained from structural analysis used to design each element in the building's structure. Design calculation of each element will have detailed engineering drawing, also conclusion and suggestion.

As writer desire, that the redesigning using pre-cast concrete method could be applied in designing process of building's structure of Grand Dhika City Jatiwarna Bekasi (Emerald Tower). This redesign process is expected an accurate output calculation and can be accounted. The detail and clear engineering drawing design are needed also.

Key Words : precast concrete method, cast in-situ, modelling, internal force

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan petunjuk dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka kita tidak akan tersesat dan barang siapa yang disesatkan maka kitapun tidak akan mendapatkan petunjuk itu. Pada akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang mendukung dan membantu atas proses penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA. dan Bapak Harun Alrasyid, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Ir. Retno Indryani, M.S. selaku dosen wali.
3. Bapak Trijoko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.
5. Rekan – rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas akhir ini.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Dengan rasa hormat penulis mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2017

(Penulis)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
TITLE PAGE iii
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xii
DAFTAR GAMBAR xviii
DAFTAR TABEL xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.2.1 Masalah utama 3
1.2.2 Detail masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.3.1 Tujuan utama 3
1.3.2 Tujuan detail 3
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Manfaat 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Umum 5
2.2 Beton Pracetak 5

2.2.1 Perkembangan Balok Pracetak di Indonesia 6
2.3 Tinjauan Elemen Pracetak 7
2.3.1 Pelat Pracetak 7
2.3.2 Balok Pracetak 8
2.3.3 Kolom Pracetak 9
2.4 Sambungan Beton Pracetak 10
2.4.1 Sambungan Cor Setempat 11
2.4.2 Sambungan Las 12
2.4.3 Sambungan Baut 12
2.5 Struktur Basement 13
2.6 Titik-Titik Angkat dan Sokongan 14
2.6.1 Pengangkatan Pelat / Dinding Pracetak 14
2.6.2 Pengangkatan Balok / Kolom Pracetak 16
2.6.3 Geser Horizontal 17
2.6.4 Detail Penulangan 18
2.7 Metode Konstruksi Sistem Pracetak 20
2.8 Tinjauan Parameter Perhitungan Gempa 21
2.8.1 Faktor Keutamaan Gempa 21
2.8.2 Definisi Kelas Situs 22
2.8.3 Parameter Respon Spectral 24
2.8.4 Koefisien Situs 25
2.8.5 Respon Spektra Desain 26
2.8.6 Kategori Desain Seismik 26
2.8.7 Sistem Penahan Gaya Seismik 27

BAB III METODOLOGI 29
3.1 Bagan Alir Perencanaan 29
3.2 Pencarian dan Pengumpulan Literatur serta Data..... 30
3.4 Pemilihan Kriteria Desain 31
3.5 Preliminary Design Bangunan Atas 32
3.5.1 Pengaturan Denah..... 32
3.5.2 Penentuan Dimensi Elemen Struktur..... 32
3.6 Pembebanan dan Pemodelan Struktur 33
3.6.1 Kombinasi Pembebanan 37
3.6.2 Pemodelan Struktur 37
3.7 Kontrol Pemodelan Struktur..... 37
3.7.1 Kontrol Partisipasi Massa..... 37
3.7.2 Kontrol Perioda Fundamental Struktur..... 38
3.7.3 Kontrol Base Shear..... 39
3.7.4 Kontrol Drift (Defelksi Bangunan)..... 39
3.8 Analisa Struktur..... 40
3.8.1 Perhitungan Gaya Dalam..... 40
3.9 Perencanaan Struktur Sekunder..... 41
3.9.1 Perencanaan Tulangan Tangga..... 41
3.9.2 Perencanaan Tulangan Balok Anak..... 41
3.9.3 Perencanaan Lift..... 41
3.10 Perencanaan Struktur Utama 42
3.10.1 Perencanaan Tulangan Pelat..... 42
3.10.2 Perencanaan Tulangan Balok 44

3.10.3 Perencanaan Tulangan Kolom 46
3.10.4 Perencanaan Struktur Dinding Geser 46
3.11 Perencanaan Sambungan 47
3.11.1 Sambungan Base Plate – Kolom / Kolom – Kolom . 47
3.11.2 Perencanaan Sambungan Pada Balok dan Kolom 48
3.11.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak 49
3.11.4 Perencanaan Sambungan Balok dengan Pelat 50
3.11.5 Sambungan Dinding Pracetak 51
3.12 Design Bangunan Bawah 52
3.12.1 Perencanaan Basement 52
3.12.2 Perencanaan Pondasi 52
3.13 Gambar Rencana 55
3.14 Kesimpulan dan Saran 55
BAB IV PEMBAHASAN 57
4.1 Preliminary Design 57
4.1.1 Umum 57
4.1.2 Data Perencanaan 57
4.1.3 Perencanaan Dimensi Balok dan Pelat 57
4.1.4 Perencanaan Dimensi Kolom 59
4.1.5 Perencanaan Tebal Dinding Geser dan Basement 67
4.2 Perencanaan Struktur Sekunder 69
4.2.1 Perancanaan Struktur Pelat 69
4.2.2 Perencanaan Tangga 92

4.2.3 Perencanaan Ramp 106
4.2.4 Perencanaan Balok Lift 115
4.3 Pemodelan Struktur 124
4.3.1 Umum 124
4.3.2 Pemodelan Struktur 124
4.3.3 Pembebanan Gravitasi 125
4.3.4 Pembebanan Gempa Dinamis 129
4.3.5 Kontrol Pemodelan Struktur 133
4.4 Perencanaan Struktur Utama 144
4.4.1 Perencanaan Struktur Balok 144
4.4.2 Perencanaan Struktur Kolom 186
4.4.3 Perencanaan Struktur Dinding Geser 194
4.4.4 Perencanaan Dinding *Basement* 201
4.5 Perencanaan Sambungan 206
4.5.1 Konsep Desain Sambungan 206
4.5.2 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom 207
4.5.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak 215
4.5.4 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok 224
4.5.5 Perencanaan Sambungan Tangga / Ramp dengan Balok / Shearwall 225
4.5.6 Perencanaan Sambungan Kolom – Kolom dan Kolom - Poer 229
4.6 Perencanaan Pondasi 231
4.6.1 Umum 231

4.6.2 Beban Struktur 232
4.6.3 Kriteria Design 234
4.7 Metode Pelaksanaan Konstruksi 260
4.7.1 Fabrikasi Beton Pracetak 260
4.7.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane 260
4.7.3 Transportasi Elemen Beton Pracetak 261
4.7.4 Metode Pekerjaan Elemen Beton Pracetak 262
BAB V PENUTUP 267
5.1 Kesimpulan 267
5.2 Saran 269
DAFTAR PUSTAKA 271

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Hollow Core Slab* 8
Gambar 2. 2 Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Slab*)..... 8
Gambar 2. 3 Pelat pracetak *Single Tee* dan *Double Tees*..... 8
Gambar 2. 4 Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*). 9
Gambar 2. 5 Balok berpenampang L (*L-Shape Beam*) 9
Gambar 2. 6 Balok T terbalik (*Inverted Tee Beam*)..... 9
Gambar 2. 7 Penampang Kolom Pracetak 10
Gambar 2. 8 Sambungan Cor Setempat 12
Gambar 2. 9 Sambungan Las 12
Gambar 2. 10 Sambungan Baut 13
Gambar 2. 11 Tekanan tanah yang terjadi di basement..... 14
Gambar 2. 12 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) 15
Gambar 2. 13 Posisi titik angkat pelat / dinding (8 buah titik angkat)..... 15
Gambar 2. 14 Pengangkatan balok / kolom pracetak 16
Gambar 2. 15 Model pembebanan balok / kolom pracetak saat pengangkatan..... 16
Gambar 2. 16 Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok / kolom..... 17
Gambar 2. 17 Detail kaitan untuk penyaluran kait standar 19
Gambar 2. 18 Ss (parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek 0.2 detik)..... 24
Gambar 2. 19 S1 (parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik) 24
Gambar 2. 20 Respon Spektra Desain 26

Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan 29
Gambar 3. 2 Perhitungan simpangan tiap lantai 40
Gambar 3. 3 Diagram alir penulangan komponen lentur..... 42
Gambar 3. 4 Gaya Aksial dan Gaya Geser Kolom 48

Gambar 3. 5 Sambungan balok dengan kolom 49
Gambar 3. 6 Parameter geometri konsol pendek 49
Gambar 3. 7 Sambungan balok induk dengan balok anak 50
Gambar 3. 8 Sambungan Balok induk denga Pelat..... 51
Gambar 3. 9 Sambungan Antara Komponen Dinding Pracetak 52

Gambar 4. 1 Area yang membebani kolom (pembebanan 1 – 4) 60
Gambar 4. 2 Area yang membebani kolom (pembebanan 5) 61
Gambar 4. 3 Denah Basement Wall..... 67
Gambar 4. 4 Denah Shearwall 68
Gambar 4. 5 Pelat yang Ditinjau..... 70
Gambar 4. 6 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)..... 79
Gambar 4. 7 Diagram Gaya Geser Horizontal *Encamping* Komposit 86
Gambar 4. 8 Penulangan Pelat Lantai..... 88
Gambar 4. 9 Potongan Pelat Lantai 88
Gambar 4. 10 Titik Angkat Pelat dan Momen yang Terjadi..... 89
Gambar 4. 11 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL . 91
Gambar 4. 12 *JENKA LIFTER* 91
Gambar 4. 13 Desain Perencanaan Tangga 93
Gambar 4. 14 Detail Perencanaan Tangga..... 94
Gambar 4. 15 Bidang N,D,M pada Tangga 98
Gambar 4. 16 Desain Tulangan Pelat Tangga 102
Gambar 4. 17 Desain Tulangan Pelat Bordes 102
Gambar 4. 18 Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes 102
Gambar 4. 19 Desain Perencanaan Ramp..... 107
Gambar 4. 20 Detail Perencanaan Ramp 108
Gambar 4. 21 Beban Hidup dan Mati pada Ramp 109
Gambar 4. 22 Bidang N,D,M pada ramp 110
Gambar 4. 23 Desain Tulangan Pelat Ramp..... 113
Gambar 4. 24 Penulangan Pelat Ramp 114
Gambar 4. 25 Denah Ruang Lift..... 117

Gambar 4. 26 Potongan Ruang Lift 118
Gambar 4. 27 Denah Pembalokan Ruang Mesin Lift 119
Gambar 4. 28 Beban yang bekerja pada balok lift 121
Gambar 4. 29 Penulangan Balok Penumpu Lift 123
Gambar 4. 30 Detail Penulangan Balok Penumpu Lift..... 123
Gambar 4. 31 Pemodelan Gedung Apartemen Grand Dhika City 124
Gambar 4. 32 Beban Mati 125
Gambar 4. 33 Gaya Dalam Momen Akibat Beban Mati (1D) . 126
Gambar 4. 34 Beban Hidup 126
Gambar 4. 35 Gaya Dalam Momen Akibat Beban Hidup (1L) 127
Gambar 4. 36 Beban Struktur Sekunder Tangga dan Ramp 128
Gambar 4. 37 Beban Struktur Sekunder Lift 129
Gambar 4. 38 Grafik Respon Spektrum Desain..... 132
Gambar 4. 39 Gaya Momen Akibat Pembebanan Gempa Dinamis (1Ex) 132
Gambar 4. 40 Elevasi Tiap Lantai untuk Menghitung Batas Simpangan Gedung 142
Gambar 4. 41 Balok Induk BI L6 145
Gambar 4. 42 Penulangan Lentur Balok BI L8 155
Gambar 4. 43 Penulangan Lentur Balok BI L6 155
Gambar 4. 44 Penulangan Balok Lentur BI L4 156
Gambar 4. 45 Penulangan Balok Lentur BI L3 156
Gambar 4. 46 Penulangan Lentur Balok BA L8..... 157
Gambar 4. 47 Penulangan Balok Lentur BA L6..... 157
Gambar 4. 48 Penulangan Balok Lentur BA L4..... 158
Gambar 4. 49 Penulangan Geser Balok Induk..... 164
Gambar 4. 50 Penulangan Geser Balok Anak..... 165
Gambar 4. 51 Konfigurasi Pemasangan Balok 172
Gambar 4. 52 Pembebanan BA L8 Sebelum Overtopping 173
Gambar 4. 53 Penulangan Balok Induk sebelum komposit 177
Gambar 4. 54 Penulangan Balok Anak sebelum komposit..... 178
Gambar 4. 55 Momen saat pengangkatan BI L6 178

Gambar 4. 56 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL 182
Gambar 4. 57 *JENKA Lifter* 182
Gambar 4. 58 Rekapitulasi Penulangan Balok 185
Gambar 4. 59 Kolom yang ditinjau 186
Gambar 4. 60 Output spColumn K4 Arah X 187
Gambar 4. 61 Output spColumn K4 Arah Y 188
Gambar 4. 62 Output spColumn (setelah Mpr) K4 Arah X..... 189
Gambar 4. 63 Output spColumn (setelah Mpr) K4 Arah Y..... 189
Gambar 4. 64 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL 192
Gambar 4. 65 Denah Shearwall 194
Gambar 4. 66 Diagram Geser Shearwall Arah X 195
Gambar 4. 67 Diagram Geser Shearwall Arah Y 195
Gambar 4. 68 Diagram Momen Shearwall Arah X 196
Gambar 4. 69 Diagram Momen Shearwall Arah Y 196
Gambar 4. 70 Output spColumn Arah X 200
Gambar 4. 71 Output spColumn Arah Y 200
Gambar 4. 72 Rekapitulasi Penulangan Kolom dan Shearwall 201
Gambar 4. 73 Diagram Tegangan pada Dinding *Basement*..... 201
Gambar 4. 74 Detail Penulangan Dinding Basement..... 205
Gambar 4. 75 Penyaluran Gaya Pada Sambungan Kolom..... 207
Gambar 4. 76 Detail Konsol Pendek 208
Gambar 4. 77 Detail konsol pada kolom 213
Gambar 4. 78 Detail Penyaluran Tulangan..... 215
Gambar 4. 79 Detail Sambungan Balok Induk - Kolom..... 215
Gambar 4. 80 Pemasangan BECO Beam Shoe..... 219
Gambar 4. 81 Sambungan Kuat Balok 220
Gambar 4. 82 Dimensi BECO Beam Shoe 221
Gambar 4. 83 Dimensi COPRA Anchor..... 222
Gambar 4. 84 Detail Sambungan Balok Anak ke Balok Induk 223
Gambar 4. 85 Detail panjang penyaluran pelat..... 225
Gambar 4. 86 Detail Sambungan Tangga dan Ramp..... 229
Gambar 4. 87 Detail sambungan Kolom - Kolom 231

Gambar 4. 88 Denah Pondasi Lower Ground 232
Gambar 4. 89 Denah Pondasi Basement 233
Gambar 4. 90 Pembagian segmen tiang pancang 236
Gambar 4. 91 Grafik Daya Dukung Tiang Pancang vs Kedalaman 238
Gambar 4. 92 Group Tiang Pondasi Kolom 239
Gambar 4. 93 Group Tiang Pondasi Shearwall..... 240
Gambar 4. 94 Diagram Gaya Lateral Tiang..... 244
Gambar 4. 95 grafik *Immediate Settlement of Isolate Footing* 245
Gambar 4. 96 grafik *Influence Value fot Laterally Loaded Pile* 246
Gambar 4. 97 grafik *Influence Value fot Laterally Loaded Pile* 247
Gambar 4. 98 Area Kritis Geser pons dua arah pondasi kolom250
Gambar 4. 99 Area Kritis Geser pons dua arah pondasi shearwall 251
Gambar 4. 100 Area Kritis Geser pons satu arah pondasi 252
Gambar 4. 101 Area Geser Akibat tiang pancang Individu 253
Gambar 4. 102 Jarak Tiang Pancang ke Kolom..... 254
Gambar 4. 103 Penulangan Pondasi Kolom 2 258
Gambar 4. 104 Penulangan Pondasi Shearwall 1 259
Gambar 4. 105 Penulangan Pondasi Shearwall 2 259
Gambar 4. 106 Pemasangan Profil Sambungan Kolom..... 262
Gambar 4. 107 Pemasangan Balok Induk..... 263
Gambar 4. 108 Detail Sambungan Kolom – Balok..... 264
Gambar 4. 109 Detail Sambungan Balok Induk -Balok Anak. 264
Gambar 4. 110 Detail Penyambungan Beam Shoe 265
Gambar 4. 111 Pengecoran Topping..... 265

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Sistem Konvensional & Sistem Pracetak 5
Tabel 2. 2 Perbedaan Metode Penyambungan..... 11
Tabel 2. 3 Angka pengali beban statis ekivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis 17
Tabel 2. 4 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik 18
Tabel 2. 5 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait 19
Tabel 2. 6 Kategori Resiko Gedung Apartemen..... 22
Tabel 2. 7 Faktor Keutamaan Gempa 22
Tabel 2. 8 Kelas Situs 23
Tabel 2. 9 Koefisien Situs Fa..... 25
Tabel 2. 10 Koefisien Situs Fv 25
Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek 26
Tabel 2. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik 26
Tabel 2. 13 Faktor R, Cd dan Ωo Sistem Penahan Gaya Gempa 27

Tabel 3. 1 Tinggi minimum balok 33
Tabel 3. 2 Beban mati pada struktur**Error! Not a valid link.** ... 34
Tabel 3. 3 Beban hidup pada struktur..... 34
Tabel 3. 4 Koefisien *Cu* 38
Tabel 3. 5 Koefisien *Ct* dan *x* 39
Tabel 3. 6 Simpangan ijin struktur 40

Tabel 4. 1 Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung 58
Tabel 4. 2 Preliminary Design Dimensi Pelat Pracetak..... 58
Tabel 4. 3 Preliminary Design Dimensi Balok Induk..... 59
Tabel 4. 4 Preliminary Design Dimensi Balok Anak 59

Tabel 4. 5 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 22-17) 62
Tabel 4. 6 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 16-11) 63
Tabel 4. 7 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 10-4) 64
Tabel 4. 8 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 3-Lower Ground) 65
Tabel 4. 9 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai Lowerground-Basement) 66
Tabel 4. 10 Preliminary Design Dinding Geser & Basement 68
Tabel 4. 11 Perhitungan Momen Pelat Sesudah Overtopping 76
Tabel 4. 12 Data Perencanaan Pelat Sesudah Overtopping 77
Tabel 4. 13 Perhitungan Tulangan Pelat Sesudah Overtopping.. 78
Tabel 4. 14 Perhitungan Momen Pelat Sebelum Overtopping.... 84
Tabel 4. 15 Data Perencanaan Pelat Sebelum Overtopping..... 84
Tabel 4. 16 Perhitungan Tulangan Pelat Sebelum Overtopping . 85
Tabel 4. 17 Data Perencanaan Tangga..... 94
Tabel 4. 18 Pembebanan pada Tangga 96
Tabel 4. 19 Gaya dalam tangga kombinasi 1.2D + 1.6L 99
Tabel 4. 20 Perhitungan tulangan lentur pelat tangga dan bordes 103
Tabel 4. 21 Perhitungan tulangan geser pelat tangga dan bordes 105
Tabel 4. 22 Data Perencanaan Ramp 108
Tabel 4. 23 Pembebanan pada ramp 109
Tabel 4. 24 Perhitungan Gaya Dalam Ramp 111
Tabel 4. 25 Perhitungan tulangan lentur pelat ramp 114
Tabel 4. 26 Perhitungan tulangan geser pelat ramp 115
Tabel 4. 27 Spesifikasi Lift (*Plan of Hoistway*) 116
Tabel 4. 28 Spesifikasi Lift (*Section of Hoistway*) 117
Tabel 4. 29 Koefisien Batas Atas Perioda Gedung..... 133
Tabel 4. 30 Modal Periode dan Frekuensi 134

Tabel 4. 31 Berat Efektif Struktur 137
Tabel 4. 32 Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y 137
Tabel 4. 33 Reaksi Perletakan dan Persentase Gaya Geser yang Dipikul akibat Gempa Arah X dan Arah Y 138
Tabel 4. 34 Modal Partisipasi Massa 138
Tabel 4. 35 Batas Simpangan Gedung..... 141
Tabel 4. 36 Simpangan Lantai Akibat Gempa Arah X..... 143
Tabel 4. 37 Simpangan Lantai Akibat Gempa Arah Y..... 144
Tabel 4. 38 Perhitungan Tul. Lentur Balok sesudah Overtopping 152
Tabel 4. 39 Perhitungan Mpr Balok 160
Tabel 4. 40 Perhitungan Tul. Geser Balok Sesudah Overtopping 163
Tabel 4. 41 Perhitungan Tulangan Torsi Balok Sesudah Overtopping..... 169
Tabel 4. 42 Perhitungan Beban Balok Sebelum Overtopping .. 174
Tabel 4. 43 Perhitungan Tulangan Balok Sebelum Overtopping 176
Tabel 4. 44 Data Perencanaan Kolom 186
Tabel 4. 45 Perhitungan Perencanaan Kolom..... 193
Tabel 4. 46 Spesifikasi BECO BEAM SHOE 220
Tabel 4. 47 Brosur *NMB Splice Sleeve* 230
Tabel 4. 48 Beban Pada K1 Saat Service (Tipe 1)..... 233
Tabel 4. 49 Spesifikasi Tiang Pancang WIKA 234
Tabel 4. 50 Perhitungan Daya Dukung Tanah..... 237
Tabel 4. 51 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang (Tipe Kolom 1) 241
Tabel 4. 52 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok..... 243
Tabel 4. 53 Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral .. 248
Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer 256

Tabel 5. 1 Dimensi Struktur Sekunder 267
Tabel 5. 2 Dimensi Struktur Primer..... 268

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada perkembangan pembangunan sekarang ini, beton merupakan bahan yang paling banyak digunakan pada pembangunan dalam bidang teknik sipil, baik bangunan gedung, jembatan, bendung, maupun konstruksi yang lain (Asroni, 2010). Dalam penerapannya terdapat dua metode yang umum digunakan pada konstruksi suatu bangunan struktur beton bertulang yaitu penggunaan beton dengan metode cor di tempat (beton konvensional) dan metode beton pracetak. Pada sistem beton konvensional, elemen struktur dicor langsung dilokasi dimana elemen tersebut akan diletakkan. Sedangkan pada sistem pracetak elemen struktur dicor terlebih dahulu di pabrik atau di tempat yang berbeda dengan tempat atau lokasi dimana elemen struktur tersebut akan digunakan kemudian dirakit hingga menjadi satu kesatuan dalam sebuah bangunan (Ervianto, 2006).

Dalam banyak kasus, tuntutan terhadap pekerjaan konstruksi yang cepat dan efisien sering kali terjadi, terlebih pada kasus bangunan bertingkat. Kebutuhan akan bangunan bertingkat mendorong timbulnya kebutuhan akan suatu rancangan struktur yang ekonomis, dapat dilaksanakan dengan cepat dan efisien tanpa mengurangi kekakuan antar komponen struktur bangunan (Tjahyono dan Purnomo, 2004). Menanggapi hal tersebut, metode beton pracetak merpakan alternatif yang dinilai tepat untuk dilaksanakan karena memiliki beberapa keunggulan.

Keunggulan penerapan beton pracetak dari segi waktu pelaksanaan proyek bisa lebih cepat. Contohnya pada suatu proyek gedung bertingkat, ketika pekerjaan struktur masih dalam tahap pondasi, pelaksanaannya bisa bersamaan dengan produksi beton pracetak untuk elemen-elemen lain seperti kolom, balok dan pelat. Keunggulan-keunggulan metode pracetak lainnya antara lain, pemakaian bekisting yang lebih sedikit, mutu yang terjamin karena

pada beton pracetak metode percetakan komponen dilakukan secara mekanisasi dalam pabrik dengan memberi waktu pengerasan serta perawatan yang baik dan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang menjadi struktur bangunan yang utuh, mereduksi biaya konstruksi karena upah pekerja pabrik pembuat pracetak lebih murah daripada upah pekerja di proyek, tidak berpengaruh pada kondisi cuaca karena pembuatan dilaksanakan di dalam pabrik dan lebih ramah lingkungan karena lokasi proyek hanya tercemar oleh kotoran dari sisa beton dan bekisting.

Penerapan sistem pracetak akan efektif dan efisien bila diterapkan pada pekerjaan yang sifatnya berulang dan massal (Tjahyono dan Purnomo, 2004). Pada gedung yang memiliki tipe tipikal akan sangat tepat bila alternatif metode beton pracetak ini diterapkan. Gedung tipe tipikal memudahkan fabrikasi beton pracetak dalam jumlah banyak dan seragam sehingga akan menghemat waktu dan biaya.

Gedung Apartemen Grand Dhika City (Tower Emerald) di Bekasi merupakan gedung yang difungsikan sebagai hunian vertikal yang dibangun di kawasan mixed used Grand Dhika City Jatiwarna. Tower Emerald sendiri merupakan gedung dengan struktur 22 lantai dengan ketinggian bangunan 76 meter yang memiliki tipe tipikal sehingga mulai dari lantai 4 ke atas mempunyai konfigurasi denah yang sama. Gedung ini dibangun dengan beton bertulang menggunakan metode cor ditempat sehingga memerlukan waktu pengerjaan yang relative lama. Dalam pengerjaannya pun, seringkali kurang memerhatikan ketelitian sehingga hasil pengerjaan tidak rapi dan kurang presisi. Karena tuntutan pekerjaan konstruksi dengan hasil pekerjaan yang rapi tetapi tetap cepat dalam pengerjaan karena mendesaknya kebutuhan akan gedung tersebut, maka atas dasar itulah penulis akan memodifikasi gedung apartemen Grand Dhika City (Tower Emerald) dengan menggunakan metode beton pracetak.

Dalam perencanaan ulang gedung Apartemen Grand Dhika (Tower Emerald) ini tidak akan mengubah jumlah lantai dan denah. Sistem gedung yang diigunakan pun tetap sama yaitu Sistem

Rangka Gedung (*Building Frame System)*. Dengan penggunaan Sistem Rangka Gedung, beban vertikal yang terjadi akibat gravitasi akan diterima oleh rangka sedangkan beban lateral yang terjadi akibat gempa maupun angin akan diterima oleh dinding geser.

1.2 Perumusan Masalah

1.2.1 Masalah utama

Bagaimana merencanakan ulang struktur gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald di Bekasi dengan menggunakan metode beton pracetak ?

1.2.2 Detail masalah

Detail masalah yang akan ditinjau pada perencanaan ini adalah :

1. Bagaimana merencanakan dimensi dari elemen beton pracetak (pelat, balok anak, balok induk, dan kolom) yang efisien sehingga mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur gedung apartemen?
2. Bagaimana merencanakan detail sambungan komponen-komponen beton pracetak?
3. Bagaimana merancang pondasi dari struktur tersebut sesuai dengan keadaan tanah di lokasi perencanaan?
4. Bagaimana membuat gambar teknik dari hasil perhitungan perencanaan sesuai dengan peraturan yang berlaku?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan utama

Tujuan utama perencanaan gedung Apartemen Grand Dhika (Tower Emerald) adalah :

Mampu merencanakan dan menerapkan metode beton pracetak dalam pebangunan seluruh komponen struktur sesuai dengan peraturan yang berlaku

1.3.2 Tujuan detail

Tujuan detail perencanaan gedung Apartemen Grand Dhika (Tower Emerald) adalah :

1. Merencanakan dimensi dari elemen beton pracetak (pelat, balok anak, balok induk, dan kolom) yang efisien sesuai dengan peraturan yang berlaku.
2. Merencanakan detail sambungan komponen-komponen beton pracetak
3. Merancang pondasi dari struktur sesudai dengan keadaan tanah
4. Menggambar teknik dari hasil perhitungan perencanaan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah perencanaan gedung Apartemen Grand Dhika (Tower Emerald) adalah:

1. Perencanaan elemen struktur pracetak hanya pada pelat, balok dan kolom.
2. Perencanaan tidak meninjau dari segi produksi beton pracetak, segi analisis anggaran biaya dan manajemen konstruksi, dan tidak memperhitungkan *electrical* dan *plumbing*.

1.5 Manfaat

Manfaat perencanaan gedung Apartemen Grand Dhika (Tower Emerald) adalah :

1. Memahami perancangan pada struktur gedung bertingkat dengan metode beton pracetak.
2. Menjadi acuan bagi para pembaca tentang pembangunan dengan metode beton pracetak dalam semua komponen struktur

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka ini akan membahas beberapa jurnal dan dasar teori menyangkut perencanaan Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerlad secara umum dan dengan menggunakan beton pracetak secara khusus.

2.2 Beton Pracetak

Sistem pabrikasi dalam pembuatan struktur beton bertulang dikenal dengan sistem pracetak. Definisi beton pracetak menurut SNI-2847-2013 adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Perhitungan beton pracetak pada umumnya sama dengan perhitungan bangunan beton konvensional pada umumnya. Perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Sistem Konvensional & Sistem Pracetak

Pembanding	Konvensional	Pracetak
Desain	Sederhana	Membutuhkan wawasan yang luas terutama yang ada kaitannya dengan fabrikasi, transportasi, pelaksanaan pemasangan komponen, sistem sambungan, dan sebagainya.
Bentuk dan ukuran	Efisien untuk bentuk bangunan yang tidak teratur dan panjang bentang yang tidak sama	Efisien untuk bentuk bangunan yan tipikal dengan panjang bentang yang mengulang

Waktu pelaksanaan	Lebih lama	Lebih cepat, karena dapat dilaksanakan secara paralel sehingga hemat waktu 20-25%
Teknologi pelaksanaan	Konvensional	Butuh tenaga yang memiliki keahlian
Koordinasi pelaksanaan	Kompleks	Lebih sederhana, karena semua pengecoran elemen struktur pracetak telah dilakukan di pabrik.
Pengawasan atau kontrol kerja	Bersifat kompleks, serta dilakukan dengan cara terus menerus	Sifatnya lebih mudah karena telah dilakukan pengawasan oleh *quality control* di pabrik
Kondisi lahan	Butuh area yang relatif luas karena butuh adanya penimbunan material dan ruang gerak	Tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung, sehingga lebih bersih terhadap lingkungan
Kondisi cuaca	Banyak dipengaruhi oleh keadaan cuaca	Tidak dipengaruhi cuaca karena dibuat di pabrik
Ketepatan akurasi ukuran	Sangat tergantung keahlian pelaksana	Karena dilaksanakan di pabrik, maka ketepatan ukuran lebih terjamin
Kualitas	Sangat tergantung banyak faktor, terutama keahlian pekerja dan pengawasan	Lebih terjamin kualitasnya karena dikerjakan di pabrik dengan menggunakan sistem pengawasan pabrik

(Sumber : M.Ali Affandi (2004))

2.2.1 Perkembangan Balok Pracetak di Indonesia

Sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang bisa dilakukan dengan lebih terkontrol, lebih ekonomis, serta mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan. Sistem tersebut cocok digunakan pada

bangunan modular, seperti rumah susun, asrama, rumah toko, ataupun kantor. Perkembangan teknologi tersebut masih sangat terbuka dengan membuat berbagai variasi sistem struktur dan penyempurnaan dari sistem struktur yang telah ada.

Balok pracetak memiliki kelebihan dibandingkan dengan balok konvensional diantaranya pengendalian mutu, waktu pelaksanaan yang lebih singkat, biaya yang lebih ekonomis, dan pengaruh cuaca dapat diminimalkan (Sianturi, 2012).

Saran untuk sistem struktur beton pracetak adalah sebagai berikut:

1. Perkembangan konstruksi beton pracetak bisa lebih dikembangkan sebagai alternatif pengganti sistem beton bertulang konvensional dengan mengaplikasikannya ke berbagai macam bangunan sesuai fungsinya.
2. Peningkatan kinerja struktur dengan inovasi perkuatan struktur baik dari segi konfigurasi baja tulangan, dimensi penampang sistem, maupun mutu bahan bangunan. Selain itu, pengontrolan kualitas pembangunan harus terjaga agar sistem struktur bisa bekerja sesuai dengan desain dan mampu menahan beban yang ada (Nurjannah, 2011).

2.3 Tinjauan Elemen Pracetak

2.3.1 Pelat Pracetak

Dalam *PCI Design Handbook 5th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga 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 inchi hingga 15 inchi.

Gambar 2. 1 *Hollow Core Slab*

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

Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat lebih tipis dibandingkan dengan 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.

Gambar 2. 2 Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Slab*)

3) Pelat Pracetak *Double Tees 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.

Gambar 2. 3 Pelat pracetak *Single Tee* dan *Double Tees*

2.3.2 Balok Pracetak

Untuk 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.

Gambar 2. 4 Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

2) Balok berpenampang L (*L-Shaped Beam*)

Gambar 2. 5 Balok berpenampang L (*L-Shape Beam*)

3) Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*)

Gambar 2. 6 Balok T terbalik (*Inverted Tee Beam*)

2.3.3 Kolom Pracetak

Berdasarkan SNI 2847:13, pasal 16.5.3 (a), kolom pracetak harus mempunyai kekuatan nominal dalam kondisi tarik tidak kurang dari 1,4Ag dalam N. Untuk kolom dengan penampang yang lebih besar dari yang diperlukan dengan tinjauan pembebanan, luas efektif tereduksi Ag, yang didasarkan pada penampang yang diperlukan tetapi tidak kurang dari setengah luas total, hal ini diizinkan.

Gambar 2. 7 Penampang Kolom Pracetak
(Sumber : *Peikko Group HPKM Colum Catalogue*)

2.4 Sambungan Beton Pracetak

Bagian yang rawan dari struktur pracetak adalah pada bagian sambungan (*joint*) yang menghubungkan elemen pracetak yang satu dengan elemen pracetak lainnya. Dalam sistem beton pracetak dikenal dua jenis sambungan, yaitu sambungan basah (*wet-joint*) dan sambungan kering (*dry-joint*). Untuk *wet-joint* (*in-situ concrete joint*), struktur yang terbentuk lebih monolit, toleransi dimensi lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dryjoint*, tetapi membutuhkan setting-time beton cukup lama yang berpengaruh pada waktu pelaksanaan konstruksi. Pada *dry-joint*, struktur yang terbentuk kurang monolit, setelah proses instalasi sambungan segera dapat berfungsi sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi, kelemahannya: toleransi dimensi rendah sehingga membutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan (Noorhidana, 2001).

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, 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 berikut ini.

Tabel 2. 2 Perbedaan Metode Penyambungan

Deskripsi	Sambungan 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 setting time	Segera dapat berfungsi
Ketinggian lantai	-	Maksimal 25 meter

(*Sumber : Wulfram I. Ervianto (2006)*)

2.4.1 Sambungan Cor Setempat

Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung /penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. 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 ditunjukan pada gambar 2.11 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. 8 Sambungan Cor Setempat

2.4.2 Sambungan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti gambar 2.13 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 untuk perlindungan terhadap korosi.

Gambar 2. 9 Sambungan Las

2.4.3 Sambungan Baut

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

Gambar 2. 10 Sambungan Baut

Sambungan direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit. Elemen pracetak dengan tuangan beton diatasnya, diharapkan sambungan elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Gaya dapat disalurkan antara komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi dari cara-cara tersebut. Panjang lekatan setidaknya harus sebesar tiga puluh kali diameter tulangan. Kait digunakan jika panjang penyaluran yang diperlukan terlalu panjang. Panjang pengangkuran yang didapatkan dari hasil eksperimen adalah 8 kali diameter sampai dengan 15 kali diameter pada sisi yang tidak mengalami retak guna mengatasi kondisi terburuk sebaiknya digunakan tiga puluh kali diameter tulangan *(Elliott, 2002).*

2.5 Struktur Basement

Perencanaan dinding basement juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Karena lantai basement berada didalam tanah maka seluruh dinding luar digunakan plat beton sebagai penahan tanah. Dinding basement mengalami tekanan horizontal yang diakibatkan oleh tanah dan tekanan akibat air di belakang dinding basement.

Gambar 2. 11 Tekanan tanah yang terjadi di basement

2.6 Titik-Titik Angkat dan Sokongan

2.6.1 Pengangkatan Pelat / Dinding Pracetak

Pemasangan pelat / dinding pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat / dinding dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalananmenuju 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 tersebit dijelaskan berikut ini :

a. Dua Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan) :

$+Mx = -My = 0{,}0107\ w\ a^2\ b$

$+My = -My = 0{,}0107\ w\ a\ b^2$

- Mx ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan 15t atau b/2
- My ditahan oleh penampang dengan lebar a/2

Gambar 2. 12 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)
(Sumber : *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 5th Edition*)

b. Empat Titik Angkat
   Maksimum Momen (pendekatan) :
   $+Mx = -My = 0{,}0054\ w\ a^2\ b$
   $+My = -My = 0{,}0027\ w\ a\ b^2$
   - Mx ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan 15t atau b/4
   - My ditahan oleh penampang dengan lebar a/2

Gambar 2. 13 Posisi titik angkat pelat / dinding (8 buah titik angkat)
(Sumber : *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 5th Edition*)

2.6.2 Pengangkatan Balok / Kolom Pracetak

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

Gambar 2. 14 Pengangkatan balok / kolom pracetak

Gambar 2. 15 Model pembebanan balok / kolom 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 berikut :

Gambar 2. 16 Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok / kolom
(Sumber : *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 5th Edition*)

Tabel 2. 3 Angka pengali beban statis ekivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis

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

(Sumber : *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 5th Edition*)

2.6.3 Geser Horizontal

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi:
  $V_{vh} = T = C = A_s\, f_y$
- Kuat geser horisontal menurut SNI 2847:13, pasal 17.5.4 adalah :
  $\varphi\, x V_{nh} = \varphi\, x\, 0{,}6\, x\, b_v x\, l_{vh}$
- Menurut SNI 2847:13, pasal 11.6.4. tulangan geser horisontal perlu :

$$A_{vh} = \frac{V_n}{f_y\ x\ \mu}$$

2.6.4 Detail Penulangan

2.6.4.1 Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Menurut SNI 2847:13, pasal 12.2.2 adalah sebagai berikut :

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

Untuk D ≤ 19 mm : $l_d = \left(\dfrac{f_y \psi_t \psi_e}{2{,}1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Untuk D ≥ 22 mm : $l_d = \left(\dfrac{f_y \psi_t \psi_e}{1{,}7\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Tabel 2. 4 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 (digalvanis)	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

2.6.4.2 Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik

Gambar 2. 17 Detail kaitan untuk penyaluran kait standar (SNI 2847:13, gambar S12.5)

Menurut SNI 2847:13, pasal 12.5.2 adalah sebagai berikut:

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

Panjang penyaluran dasar $\ell_{dh} = \left(0{,}24\Psi_e f_y / \lambda\sqrt{f'_c}\right) / d_b$

Tabel 2. 5 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait

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 90o 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 ldh dengan spasi tidak lebih dari 3db	0,80
Untuk kait 180 derajat dari batang tulangan D-36 dan yang lebih keil yang dilingkupi dalam atau sengkang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan tidak lebih besar dari $3d_b$	0,80

2.7 Metode Konstruksi Sistem Pracetak

Dalam pelaksanaan suatu konstruksi yang menggunakan beton pracetak, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

a. Serangkaian kegiatan yang dilakukan pada proses produksi adalah :

1. Pembuatan rangka tulangan
2. pembuatan cetakan
3. Pembuatan campuran beton
4. Pengecoran beton
5. Perawatan (curing)
6. Penyempurnaan akhir dan penyimpanan

b. Transportasi dan alat angkut

Transportasi adalah pengangkatan elemen pracetak dari pabrik ke lokasi pemasangan. Sistem transportasi berpengaruh terhadap waktu, efisiensi konstruksi dan biaya transport. Yang perlu diperhatikan dalam sistem transportasi adalah:

1. Spesifikasi alat transportasi
2. Route transport
3. Perijinan

Alat angkat yaitu memindahkan elemen dari tempat penumpukan ke posisi penyambungan (perakitan). Peralatan angkat untuk memasang beton pracetak dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Keran mobile
2. Keren teleskopis
3. Keran menara
4. Keran portal

c. Pelaksanaan Konstruksi (Ereksi)

Metode dan jenis pelaksanaan konstruksi precast diantaranya adalah :

1. Dirakit per elemen
2. *Lift - Slab System*

Lift - Slab System adalah pengikatan elemen lantai ke kolom dengan menggunakan dongkrak hidrolis. Prinsip konstruksinya sebagai berikut :

- Lantai menggunakan plat-plat beton bertulang yang dicor pada lantai bawah
- Kolom merupakan penyalur beban vertical dapat sebagai elemen pracetak atau cor di tempat.
- Setelah lantai cukup kuat dapat diangkat satu persatu dengan dongkrak hidrolis.

3. *Slip - Form System*

Pada system ini beton dituangkan diatas cetakan baja yang dapat bergerak memanjat ke atas mengikuti penambahan ketinggian dinding yang bersangkutan

4. *Push - Up / jack - Block System*

Pada system ini lantai teratas atap di cor terlebih dalu kemudian diangkat ke atas dengan hidranlic – jack yang dipasang di bawah elemen pendukung vertical.

5. *Box System*

Konstruksi menggunakan dimensional berupa modul-modul kubus beton.

2.8 Tinjauan Parameter Perhitungan Gempa

Lokasi Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerlad dengan metode beton pracetak yang akan dibangun adalah di Kota Bekasi. Ada beberapa tinjauan mengenai perhitungan gempa yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kriteria design yang paling cocok untuk perhitungan struktur yang tahan gempa. Menurut SNI 1726-2013, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2.8.1 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II dengan factor keutamaan gempa (*Ie)* 1,0.

Tabel 2. 6 Kategori Resiko Gedung Apartemen

Jenis Pemanfaatan	**Kategori Risiko**
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain; - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan. - Fasilitas Sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak diibatasi untuk; - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung Perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan Industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Tabel 2. 7 Faktor Keutamaan Gempa

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

2.8.2 Definisi Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data dimana gedung akan direncanakan.

Tabel 2. 8 Kelas Situs

Kelas situs	*Vs* (m/detik)	*N atau Nch*	*Su* (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, *PI* > 20, 2. Kadar air, *w* ≥ 40%, dan 3. Kuat geser niralir *Su* < 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti **Pasal 6.9.1**)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan *H* > 3m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan *H* > 7,5m dengan indeks plastisitas *PI* > 75) - Lapisan lempung lunak / setengah tegu dengan ketebalah *H* > 35m dengan *Su* < 50 kPa		

2.8.3 Parameter Respon Spectral

Gambar 2. 18 Ss (parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek 0.2 detik)

Gambar 2. 19 S1 (parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik)

Dalam penentuan respons spectral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu factor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi factor amplifikasi getaran terkait percepatan getaran perioda pendek (F_a) an perioda 1 detik (F_v), parameter spektrum

respons percepatan perioda pendeh (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang sesuai dengan pengaruh kalsifikasi situs. Dari perhotingan tersebut nantinya akan ditentukan kategori risiko dan sistem penahan gaya seismik untuk perencanaan gedung apartemen.

2.8.4 Koefisien Situs

Tabel 2. 9 Koefisien Situs Fa

Kelas situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, *Ss***				
	Ss ≤ 0,25	*Ss* = 0,5	*Ss* = 0,75	*Ss* = 1,0	*Ss* ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SSb				

Tabel 2. 10 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda 1 detik, *S*1**				
	S1 ≤0,1	*S1* = 0,2	*S1* = 0,3	*S1* = 0,4	*S1* ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SSb				

2.8.5 Respon Spektra Desain

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0{,}4 + 0{,}6 \cdot \frac{T}{T_0} \right)$$

Gambar 2. 20 Respon Spektra Desain

2.8.6 Kategori Desain Seismik

Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai *SDS*	**Kategori risiko**	
	I atau II atau III	**IV**
SDS < 0,167	A	A
0,167 ≤ *SDS* < 0,33	B	C
0,33 ≤ *SDS* < 0,50	C	D
0,50 ≤ *SDS*	D	D

Tabel 2. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik

Nilai *SD1*	**Kategori risiko**	
	I atau II atau III	**IV**
SD1 < 0,067	A	A
0,067 ≤ *SD1* < 0,133	B	C
0,133 ≤ *SD1* < 0,20	C	D
0,20 ≤ *SD1*	D	D

2.8.7 Sistem Penahan Gaya Seismik

Tabel 2. 13 Faktor R, Cd dan Ωo Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, *Ra*	Faktor kuat-lebih sistem, *Ω0g*	Faktor pembesaran defleksi, *Cdb*	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, *hn* (m)[c]				
				B	C	Dd	Ed	Fe
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing kosentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton koomposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton koomposit dengan bresing kosentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	TB	TB	TB	TB	TB

Penggunaan elemen beton yang termasuk diafragma tidak fleksibel harus memperhitungkan momen torsi bawaan (Mt) yang merupakan hasil dari eksentrisitas pusat masa ditambah momen torsi tak terduga (Mta) yang diakibatkan oleh perpindahan pusat massa dari lokas iaktual yang diasumsikan pada arah dengan jarak 5% dimensi struktur tegak lurus terhadap gaya gempa.

Jika gempa diterapkan di dua arah orthogonal secara serempak, perpindahan pusat massa sebesar 5% tidak perlu diterapkan ke dua arah secara bersamaan, tetapi diterapkan dalam arah yang pengaruhnya lebih besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

BAB III
METODOLOGI

3.1 Bagan Alir Perencanaan

Perencanaan Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald memiliki rencana yang berurutan dan keterangan yang jelas. Maka dari itu dibutuhkan suatu diagram alir guna memperjelas tahap perencanaan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan

Tahapan atau metode yang akan digunakan dalam perancangan gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald dengan metode pracetak adalah :

3.2 Pencarian dan Pengumpulan Literatur serta Data

1. Data Umum
   - Nama gedung : Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald
   - Lokasi : Jl. Raya Hankam, Exitoll Jatiwarna, Bekasi
   - Fungsi : Apartemen
   - Jumlah lantai : 22
   - Tinggi bangunan : + 75.1 m
   - Total luas area : ± 1807 m^2
   - Struktur utama : Struktur beton bertulang
2. Data Bahan :
   - Kekuatan tekan beton (fc') : 30 MPa
   - Tegangan leleh baja (fy) : 420 Mpa
   - Data Tanah : (Lampiran)
3. Data Gambar
   - Gambar Sruktur : (Lampiran)
   - Gambar arsitektur

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan yang direncanakan sebagai berikut :

1. Data Umum Bangunan
   - Nama gedung : Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald
   - Lokasi : Jl. Raya Hankam, Exitoll Jatiwarna, Bekasi
   - Fungsi : Apartemen
   - Jumlah lantai : 22
   - Tinggi bangunan : + 70.2 m
   - Total luas area : ± 1807 m^2
   - Struktur utama : Beton pracetak

2. Data Bahan :
   - Kekuatan tekan beton (f'c) : 40 MPa
   - Tegangan leleh baja (fy) : 420 Mpa
   - Data Tanah : (Lampiran)
3. Data Gambar
   - Gambar Sruktur : (Lampiran)
   - Gambar arsitektur

Beberapa literatur serta peraturan gedung tersebut antara lain :

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (RSNI 03-1727-2013)
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971)
- Kim S. Elliot. 2002. Precast Concrete Structure
- ACI 318-11 *Building Code Requirements for Structural Concrete*
- PCI Handbook 5th Edition. Precast and Prestress Concrete

3.4 Pemilihan Kriteria Desain

Metode precast dipilih karena konfigurasi struktur gedung adalah beraturan dan tipikal pada setiap lantainya. Sedangkan dalam pemilihan sistem struktur digunakan Sistem Ganda Dengan Rangka Pemikul Momen Khusus yang Mampu Menahan Paling Sedikit 25% Gaya Gempa yang Ditetapkan.

- Rangka Momen Khusus yang Dibangun Dengan Menggunakan Sistem Pracetak (SNI 2847:2013 pasal 21.5 - 21.8)
- Dinding Geser Beton Bertulang Khusus (SNI 2847:2013 pasal 21.9)

3.5 Preliminary Design Bangunan Atas

3.5.1 Pengaturan Denah

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

3.5.2 Penentuan Dimensi Elemen Struktur

3.5.2.1 Dimensi Pelat

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

1. Pelat yang digunakan dalam perencanaan dengan sistem pracetak adalah *one-way* (pelat satu arah)
2. Dimensi pelat minimum diatur dalam SNI 7833:2012 Pasal 7.11.6

   Tebal pelat beton dan pelat topping komposit yang berfungsi sebagai diafragma *structural* untuk menyalurkan gaya gempa tidak boleh kurang dari 50 mm. Tebal pelat topping yang ditempatkan di atas komponen lantai atau atap pracetak dan bekerja sebagai diafragma struktural serta tidak mengandalkan aksi komposit dengan elemen pracetak dalam memikul gaya gempa desain, tidak boleh diambil kurang dari 65 mm.

3.5.2.2 Dimensi Balok

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 03-2847-2013 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.

Tabel 3. 1 Tinggi minimum balok

$h_{min} = \frac{L}{16}$	Digunakan apabila fy = 420 Mpa
$h_{min} = \frac{L}{16}\left(0{,}4 + \frac{fy}{700}\right)$	Digunakan untuk fy selain 420 Mpa
$h_{min} = \frac{L}{16}\,(1{,}65 - 0{,}003\,wc)$	Digunakan untuk nilai Wc 1440 sampai 1840 kg/m^3

Dimana :

b = Lebar balok
h = Tinggi balok
Lb = Panjang balok

3.5.2.2 Dimensi Kolom

Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi **ϕ** = 0,65.

$$A = \frac{W}{\phi \times fc'} \qquad \text{(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2)} \qquad (3\text{-}1)$$

Dimana :

W = Beban aksial yang diterima kolom
f_c' = Kuat tekan beton karakteristik
A = Luas penampang kolom

3.6 Pembebanan dan Pemodelan 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 RSNI 03-1726-2012 dan ketentuan SNI 03-2847-2013.

1) **Beban Statis**

Beban Mati berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 2.1

Tabel 3. 2 Beban mati pada struktur**Error! Not a valid link.**

Beban Hidup berdasarkan SNI 1727 – 2013 Tabel 4-1

Tabel 3. 3 Beban hidup pada struktur

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (89)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (89)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	

Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 x 2 inch)		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan		200 (8,9)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/parkir	40 (1,92)	
Mobil penumpang saja		
Truk dan bus		

2) Beban Gempa

Analisa beban gempa beadasarkan SNI 03-1726-2012 meliputi :

- Penentuan respon spektrum, penentuaan wilayan gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI-03-1726-2012
- Respon seismik (C_s)

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

(Persamaan 7.8-2 SNI 03-1726-2012)
(3-2)

Dimana :
S_{DS}= percepatan spektrum respons dalam rentan periode pendek
R = faktor modifikasi respons (SNI 03-1726-2012 tabel 7.2-1)
Ie = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai Tabel 6.4

nilai Cs max tidak lebih dari:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

(3-3)

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral
  V = CS x W (3-4)

$$C_{\upsilon x} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

(3-5)

dimana :
C_S = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1
W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2

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

Berdasarkan berdasarkan SNI 1727 – 2013 Pasal 27.2.1
Parameter beban angina yang harus diperhitungkan

- Kecepatan angin dasar, V (Pasal 26.5

- Faktor arah angina, K_0 (Pasal 26.6)
- Kategori eksposur (Pasal 26.7)
- Faktor topografi, K_{zr} (Pasal 26.8)
- Faktor efek tiupan angin (Pasal 26.9)
- Klasifikasi ketertutupan (Pasal 26.10)
- Koefisien tekanan internal (Pasal 26.11)

3.6.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 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

Keterangan :
U : beban ultimate
D : beban mati
L : beban hidup
E : beban gempa

3.6.2 Pemodelan Struktur

Saat pemasangan balok dimodelkan sebagai balok sederhana di atas dua tumpuan. Pelat dimodelkan sebagai beban yang dipikul oleh elemen balok. Pada saat pemasangan distribusi beban adalah setengah dari kiri dan setengah dari kanan. Sedangkan pada akhir konstruksi distribusinya berupa beban segitiga ataupun trapesium. Pemodelan Struktur menggunakan program bantu SAP2000

3.7 Kontrol Pemodelan Struktur

Model harus memenuhi beberapa kriteria dibawah agar gaya gempa yang terjadi pada model dapat digunakan untuk perhitungan perencanaan.

3.7.1 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai SNI 1726-2002 pasal 7.9.1: Partisipasi Massa $\leq$ 90%

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa actual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model

3.7.2 Kontrol Perioda Fundamental Struktur

Sesuai SNI 1726-2002 pasal 7.8.2 : $Ta \leq T \leq Cu \times Ta$

Perioda fundamentak struktur, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamentak struktur, T, tidak boleh melebihi hasil koesien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (*Cu*) dari Tabel 14 dan periodan fundamental pendekatan, *Ta*, yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1. Sebagai alternative pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur, *T*, diijinkan ssecara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, *Ta*, yang dihitung sesuai dengan pasal 7.8.2.1

$Ta = Ct \times hn^x$

Keterangan:

hn = ketinggian struktur (m)
Ct = koefisien yang ditentukan dari Tabel 15
x = koefisien yang ditentukan dari Tabel 15

Tabel 3. 4 Koefisien *Cu*

Parameter percepatan respons spectral desai pada 1 detik, *SD1*	Koefisien *Cu*
$\geq$ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq$ 0,15	1,7

Tabel 3. 5 Koefisien *Ct* dan *x*

Tipe Struktur	*Ct*	*X*
Rangka Baja Pemikul Momen	0,0724	0,8
Rangka Beton Pemikul Momen	0,0466	0,9
Rangka Baja dengan Bresing Eksentris	0,0731	0,75
Rangka Baja dengan Bresing Terkekang Terhadap Tekuk	0,0731	0,75
Semua Sistem Struktur Lainnya	0,0488	0,75

3.7.3 Kontrol Base Shear

Sesuai SNI 1726-2002 pasal 7.9.4.1 : Gaya Dinamis $\geq$ 85% Gaya Statis

Bila Perioda fundamental yang dihitung melebihi *CuTa*, maka *CuTa* harus digunakan sebagai pengganti dati *T* dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (*Vt*) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (*V*) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan 0,85 V/Vt

3.7.4 Kontrol Drift (Defelksi Bangunan)

Sesuai SNI 1726-2002 pasal 7.8.6: Defleksi tiap lantai $\geq$ Defleksi ijin

Penentuan Simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan deffleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa terletak tidak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertika dari pusat massa tingkat diatasnya. Jika desain tegangan ijin digunkan, defleksi harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin

Gambar 3. 2 Perhitungan simpangan tiap lantai

Tabel 3. 6 Simpangan ijin struktur

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan system dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpanan antar lantai	0,025 h	0,02 h	0,015 h
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h	0,010 h	0,010 h
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h	0,007 h	0,007 h
Semua struktur lainnya	0,020 h	0,015 h	0,010 h

3.8 Analisa Struktur

3.8.1 Perhitungan Gaya Dalam

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

- Bentuk Gedung
- Dimensi elemen-elemen struktur dari preliminary design
- Wilayah gempa
- Pembebanan struktur
- Kombinasi pembebanan

3.9 Perencanaan Struktur Sekunder

Direncanakan terpisah dalam perencanaannya, karena struktur sekunder hanya meneruskan beban ke struktur utama.

3.9.1 Perencanaan Tulangan Tangga

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

- $64 \leq 2.t + i \leq 65$
- Syarat kemiringan tangga : $20 \leq \alpha \leq 40$

Dimana :
l = Lebar injakan
t = Tinggi tanjakan
α = Kemiringan tangga

3.9.2 Perencanaan Tulangan Balok Anak

Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

3.9.3 Perencanaan Lift

Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift. Ruang landasan diberi kelonggaran (lift pit) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini

mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.10 Perencanaan Struktur Utama

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.

3.10.1 Perencanaan Tulangan Pelat

3.10.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Pelat

Gambar 3. 3 Diagram alir penulangan komponen lentur

3.10.1.2 Pehitungan Tulangan Geser

Perhitungan kebutuhan tulangan geser berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.

1) Hitung Vu pada titik berjarak d dari ujung perletakan
2) Cek $Vu \leq \phi \left(Vc + \frac{2}{3}\sqrt{fc'} \,.\, bw.\, d\right)$
   Bila tidak memenuhi maka perbesaran penampang
3) Kriteria kebutuhan tulangan geser :

* $Vu \leq 0{,}5\ \boldsymbol{\phi}\ Vc$
  ➔ Tidak perlu penguatan geser
* $0{,}5\ \boldsymbol{\phi}\ Vc < Vu < \boldsymbol{\phi}\ Vc$
  ➔ Pakai tulangan geser min
* $\boldsymbol{\phi} Vc < Vu < \boldsymbol{\phi}\ (Vc + V_{s\ min})$
  ➔ Diperlukan tulangan geser
* $\boldsymbol{\phi}\ (Vc+V_{Smin}) < Vu\ \ \varphi(Vc + \frac{1}{3}\sqrt{fc'}.bw.d)$
  ➔ Diperlukan tulangan geser

dimana :

$$Vc = \frac{1}{6}\sqrt{fc'}\ bw\,.\,d \qquad (3\text{-}6)$$

$$Vs = \sqrt{\frac{f'c}{3}}\ bw\,.\,d \qquad (3\text{-}7)$$

$\boldsymbol{\phi}$ = 0,6 (untuk geser)

Keterangan :

Vc = Kekuatan geser Nominal yang diakibatkan oleh Beton
Vs = Kekuatan geser Nominal yang diakibatkan oleh Tulangan geser
Vn = Kekuatan geser Nominal (Vc + Vs)
Vu = Gaya geser Berfaktor

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari d/2sepanjang panjang komponen struktur. (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.4)

3.10.1.3 Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 03 2847-2013 Pasal 7.12.2.1

Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

(a) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir Mutu 280 atau 350……...0,0020

(b) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las Mutu 420……..0,0018

(c) Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen…….…… $0.0018\left(\frac{420}{fy}\right)$

3.10.1.4 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 03-2847-2013, Pasal 10.6.4.
dengan :

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_C A} \qquad (3\text{-}8)$$

3.10.2 Perencanaan Tulangan Balok

3.10.2.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Balok merupakan komponen struktur yang terkena beban lentur. Perhitungan penulangan lentur untuk komponen balok harus memenuhi ketentuan SRPMM yang tercantum dalam SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2.

3.10.2.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok (rumus dasar)

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi $\Phi Vn \geq Vu$,

dimana :

Vn = kuat geser nominal penampang
V u = kuat geser terfaktor pada penampang
Φ = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

(SNI 03-2847-2013, Pasal 9.3)

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

$$Vn = Vc + Vs \quad (3\text{-}9)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2)

Dan untuk

$$Vc = 0{,}17\alpha\sqrt{f'c}b_w d \quad (3\text{-}10)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3\text{-}11)$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 11.1)

Dimana :

Vu = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau
Vn = Kuat geser nominal
Vc = Kuat geser beton
Vs = Kuat geser nominal tulangan geser

3.10.2.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila :

$$T_u \leq \frac{\varphi\sqrt{f'c}}{12}\left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}{}^2}\right) \tag{3-12}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.1)

Perencanaan penampang terhadap torsi :

$$T_u \leq \phi T_n \tag{3-13}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20)

Tulangan sengkang untuk puntir :

$$T_n = \frac{2.A_0.A_t.f_y}{s}\cot\theta \tag{3-14}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21)

Dimana :

T_u = Momen torsi terfaktor

T_n = Kuat momen tosi

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 mm^2

3.10.3 Perencanaan Tulangan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 23.5.1.

3.10.4 Perencanaan Struktur Dinding Geser

3.10.4.1 Kuat Aksial Rencana

Dihitung berdasarkan (SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_{nw} = 0{,}55\phi f'c.Ag\left[1-\left(\frac{k.I_c}{32h}\right)^2\right] \quad (3\text{-}15)$$

3.10.4.2 Pemeriksaan Tebal Dinding

Tebal dinding dianggap cukup bila memenuhi (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3.)

$$\varphi x V_n = \varphi \frac{5}{6} x\sqrt{f'c}.h.d \geq V_u \quad (3\text{-}16)$$

Dimana : d = 0,8 Iw

3.10.4.3 Kuat Geser Beton

Dihitung Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.6.

3.10.4.4 Keperluan Penulangan Geser

Penulangan geser dihitung berdasarkan (SNI 03-2847-2013, pasal 13.9.8.)

3.10.4.5 Penulangan Geser Horisontal

Dihitung merdasarkan pada (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.9)

3.10.4.6 Penulangan Geser Vertikal

Dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002, pasal 11.9.9.4

3.11 Perencanaan Sambungan

3.11.1 Sambungan Base Plate – Kolom / Kolom – Kolom

Perencanaan smabungan antar kolom berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 21.8.3(d). Pada sambungan ini digunakan *HPKM Column Shoe* digunakan bersamaan dengan *HPM Rebar Anchor Bolts. Column shoe* berada pada kolom sedangkan *Rebar Anchor Bolt* berada pada struktur di bawah kolom. Instalasi sambungan kolom ini tidak perlu ditambahkan pengaku (*bracing*) karena *HPKM Column Shoe* dan *HPM Anchor Bolts* sendiri sudah berfungsi menahan beban saat tahap ereksi.

Gambar 3. 4 Gaya Aksial dan Gaya Geser Kolom

3.11.2 Perencanaan Sambungan Pada Balok dan Kolom

Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus besifat kaku atau monolit. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.

Gambar 3. 5 Sambungan balok dengan kolom

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan.

Gambar 3. 6 Parameter geometri konsol pendek

3.11.3 Perencanaan 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, tapi 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 SK SNI 03-2847-2013.

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

3.11.4 Perencanaan Sambungan Balok dengan Pelat

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada plat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan pelat pracetak dan beton pracetak dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.

Gambar 3. 8 Sambungan Balok induk denga Pelat

3.11.5 Sambungan Dinding Pracetak

Dalam perencanaan dinding beton pracetak segemental dibutuhkan perkuatan antar sambungan komponen struktur dinding untuk menjaga kekakuan struktur dinding tersebut, integritas antar struktur dinding harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 16.5.1.3(b) dan (c). Sambungan antara elemen dinding pracetak dan dengan komponen struktur dibawah dinding pracetak didesain dengan menggunakanan *SUMO Wall Shoe* seperti yang diperlihatkan Gambar 3.7 berikut

- Bila perilaku sistem mensyaratkan gaya-gaya dalam bidang untuk disalurkan antara komponen-komponen struktur sistem lantai atau dinding pracetak, 16.3.2.1 dan 16.3.2.2 berlaku.
- Untuk dinding pracetak, bukan prategang tulangan harus didesain sesuai denganketentuan dari Pasal 10 atau 14, kecuali bahwa luas setiap tulangan horisontal dan vertical tidak boleh kurang dari 0,001Ag, dimana Ag adalah luas penampang bruto panel dinding. Spasi tulangan tidak boleh melebihi 5 kali tebal dinding atau 750 mm untuk dinding interior atau 450 mm untuk dinding eksterior.

Gambar 3. 9 Sambungan Antara Komponen Dinding Pracetak (Sumber : *Peikko Group*)

3.12 Design Bangunan Bawah

3.12.1 Perencanaan Basement

- **Penulangan Dinding Basement**
  Penulangan dinding basement dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalan SNI 03-1729-2013.

- **Kontrol Ketebalan Dinding Basement**
  Ketebalan dinding basement dikontrol sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI03-1729-2013 pasal 22.6.6.3

- **Penulangan Pelat Lantai Basement**
  Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah. Penulangan pelat lantai basement dhitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013.

3.12.2 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas

- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam.

Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes sondir.

Nilai Konus diambil 4 D keatas & 4 D kebawah

P ijin 1 tiang $= \dfrac{A\ tiang \times Cn}{Sf_1} + \dfrac{JHP \times Q}{Sf_2}$ (3-17)

Sf_1 = (2 – 3)
Sf_2 = (5 – 8)

* **Jumlah tiang pancang yang diperlukan (n)**

$$n = \frac{\Sigma Pu}{Pijin} \qquad (3\text{-}18)$$

$$S \geq \frac{1{,}57(D)\min - 2D}{m + n - 2} \qquad (3\text{-}19)$$

Efisiensi tiang $(\eta) = 1 - \theta \dfrac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$ (3-20)

Dimana, θ = arc tg $\left(\dfrac{D}{S}\right)$

$$P\,maks = \frac{\Sigma Pu}{n} + \frac{My \times X\max}{\Sigma x^2} + \frac{Mx \times Y\max}{\Sigma y^2} \qquad (3\text{-}21)$$

P ult = Efisiensi tiang x Pu 1 tiang berdiri

∗ **Kontrol Kekuatan Tiang**

$Pult \geq P\ perlu$

$P\ perlu = P\,maks$

∗ **Kontrol Geser Ponds Pada Poer** :

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 :

- Vc = $0{,}17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_C}\,b_o d$ (3-22)

SNI 2847:13 pasal 11.11.12.1(a)

- Vc = $0{,}083\left(\frac{\alpha_s d}{b_o}+2\right)\lambda\sqrt{f'c}\,b_o d$ (3-23)

SNI 2847:13 pasal 11.11.12.1(b)

- Vc = $0{,}33\lambda\sqrt{fc'}\,b_o d$ (3-24)

SNI 2847:13 pasal 11.11.12.1(c)

Dimana :

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

b_o = keliling pada penampang kritis pada poer

= $2(b_{kolom}+d) + 2(h_{kolom}+d)$

α_s = ➔ 30, untuk kolom tepi

➔ 40, untuk kolom tengah

➔ 20, untuk kolom pojok

$\phi Vc > P_u$……OK (Ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser)

3.13 Gambar Rencana

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

3.14 Kesimpulan dan Saran

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

4.1.1 Umum

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

4.1.2 Data Perencanaan

Data perencanaan gedung beton bertulang menggunakan sistem beton pracetak sebagai berikut :

- Fungsi Bangunan : Gedung Apartemen
- Lokasi : Exittoll Jatiwarna – Jakarta
- Jumlah Lantai : 22 Lt.
- Tinggi Bangunan : 70,2 m
- Mutu Beton (f'c) : 40 Mpa
- Mutu Baja (fy) : 420 Mpa
- Letak Bangunan : Jauh Dari Pantai

4.1.3 Perencanaan Dimensi Balok dan Pelat

Dimensi Balok dan Pelat direncanakan dengan :

Tebal Pelat = L/28
Tinggi Balok Induk = L/16
Tinggi Balok Anak = L/21
(L = Panjang Balok atau Pelat)

Dasaran menentukan dimensi pelat dan balok berdasarkan SNI 7833-2012 Tabel 2 (Pasal 5.2.7.1.1)

Tabel 4. 1 Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, *h*			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	ℓ /20	ℓ /24	ℓ /28	ℓ /10
Balok atau pelat berusuk satu- arah	ℓ /16	ℓ /18,5	ℓ /21	ℓ /8

CATATAN:

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut.

a) Untuk struktur beton ringan dengan densitas w_c antara 1 440kg/m³ dan 1 840 kg/m³, nilai harus dikalikan dengan (1,65 – 0,0003w_c), tapi tidak kurang dari 1,09.

b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilai harus dikalikan dengan (0,4 + f_y/700)

(Sumber: SNI 7833 – 2012 Beton Pracetak dan Beton Pratekan)

4.1.3.1 Perencanaan Dimensi Pelat

Dimensi Pelat (Tebal Pelat Pracetak dan Topping) direncanakan sesuai dengan SNI 7833-2012 Pasal 7.11.6:

Tabel 4. 2 Preliminary Design Dimensi Pelat Pracetak

PRELIMINARY DESIGN (PELAT PRACETAK)								
No	Pelat	Dimensi Pelat (cm)						Lihat pada Gambar
		Panjang	Lebar	Tebal Minimal	Tebal Pakai	Tebal Pelat		
						Tebal	Topping	
1	P 1	800.0	250.00	8.93	14.00	9	5	Gambar 35-39
2	P 2	800.0	332.50	11.88	14.00	9	5	Gambar 35-39
3	P 3	800.0	280.00	10.00	14.00	9	5	Gambar 35-39
4	P 4	750.0	375.00	13.39	14.00	9	5	Gambar 35-39
5	P 5	750.0	332.50	11.88	14.00	9	5	Gambar 35-39
6	P 6	750.0	280.00	10.00	14.00	9	5	Gambar 35-39
7	P 7	560.0	280.00	10.00	14.00	9	5	Gambar 35-39
8	P 8	560.0	166.25	5.94	14.00	9	5	Gambar 35-39
9	P 9	332.5	166.25	5.94	14.00	9	5	Gambar 35-39

4.1.3.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk dan Balok Anak

Dimensi Balok direncanakan dengan :

Lebar balok, B = 2/3 Tinggi Balok

Tebal balok bagian pracetak = Tinggi Balok – Tinggi pelat

Tebal balok bagian topping = Tinggi Pelat

Tabel 4. 3 Preliminary Design Dimensi Balok Induk

PRELIMINARY DESIGN (BALOK INDUK)								
No	Balok	Panjang Bentang (m)	Dimensi Balok (cm)					Lihat pada Gambar
			Tinggi Minimal	Tinggi Pakai	Lebar Pakai	Tinggi Balok		
						Pracetak	Topping	
1	BI L3	2.800	18	50	30	36	14	Gambar 17-21
2	BI L4	3.325	21	50	30	36	14	Gambar 17-21
3	BI L6	5.600	35	50	30	36	14	Gambar 17-21
4	BI L8	7.500	47	50	30	36	14	Gambar 17-21
5	BI L8	8.000	50	50	30	36	14	Gambar 17-21

Tabel 4. 4 Preliminary Design Dimensi Balok Anak

PRELIMINARY DESIGN (BALOK ANAK)								
No	Balok	Panjang Bentang (m)	Dimensi Balok (cm)					Lihat pada Gambar
			Tinggi Minimal	Tinggi Pakai	Lebar Pakai	Tinggi Balok		
						Pracetak	Topping	
1	BA L4	3.325	15.83	30	20	16	14	Gambar 22-26
2	BA L6	5.600	26.67	30	20	16	14	Gambar 22-26
3	BA L8	7.500	35.71	40	30	26	14	Gambar 22-26
4	BA L8	8.000	38.10	40	30	26	14	Gambar 22-26

4.1.4 Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom harus direncanakan untuk mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Data - data yang diperlukan dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut :

- Tebal pelat = 12 cm
- Tinggi lantai = 3,0 m
- Dimensi Balok Induk = 35/50 cm
- Dimensi Balok Anak (Selain BA L8) = 20/30 cm
- Dimensi Balok Anak BA L8 = 30/40 cm

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=0.65).

Rencana Awal Luas Penampang Kolom

$A = \frac{W}{\emptyset f'c}$ $\qquad b = h$

Area yang membebani kolom (Pembebanan 1 - Pembebanan 4) dapat dilihat pada gambar berikut:

Gambar 4. 1 Area yang membebani kolom (pembebanan 1 – 4)

Area yang membebani kolom (Pembebanan 5) dapat dilihat pada gambar berikut:

Gambar 4. 2 Area yang membebani kolom (pembebanan 5)

Tabel 4. 5 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 22-17)

PEMBEBANAN 1				Lantai	21	-	16
BEBAN MATI							
Jenis Beban	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)	Volume (m^3)	Berat Jenis	Jumlah	Total Berat (kg)
Pelat	7.5	4.4625	0.14	4.68563	2400	6	67473
Balok Induk	11.9625	0.4	0.6	2.871	2400	6	41342.4
Balok Anak	0	0.2	0.3	0	2400	6	0
Balok Anak L8	0	0.3	0.4	0	2400	6	0
Plafond	7.5	4.4625	-	33.4688	11	6	2208.9375
Penggantung	7.5	4.4625	-	33.4688	7	6	1405.6875
Plumbing	7.5	4.4625	-	33.4688	25	6	5020.3125
Spesi (2cm)	7.5	4.4625	-	33.4688	42	6	8434.125
Dinding	11.9625	3	-	35.8875	250	6	53831.25
Sanitasi	7.5	4.4625	-	33.4688	20	6	4016.25
Tegel	7.5	4.4625	-	33.4688	22	6	4417.875
Beban Diatas							0
Total Beban Mati (DL)							188149.84
BEBAN HIDUP							
Jenis Beban		Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)	Beban (kg/m^2)	Jumlah	Total Berat (kg)
Beban Hidup Lantai		7.5	4.4625	33.4688	196	6	39359.25
Beban Diatas							0
Total Beban Hidup (LL)							39359.25
BEBAN ULTIMATE (1,2 DL + 1,6 LL)							288754.61
DIMENSI KOLOM							
Mutu Beton						40	Mpa
Faktor Reduksi						0.65	-
Luas Penampang Minimal Kolom						1088.4	cm^2
Sisi Kolom (b)						40	cm
Sisi Kolom (h)						40	cm
Luas Penampang Kolom						1600	cm^2
Keterangan							OK
BERAT KOLOM (DL)						6912	kg
Denah Kolom 1 Lihat Gambar 14							

Tabel 4. 6 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 16-11)

PEMBEBANAN 2				Lantai	15	-	10
BEBAN MATI							
Jenis Beban	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)	Volume (m^3)	Berat Jenis	Jumlah	Total Berat (kg)
Pelat	7.5	4.4625	0.14	4.68563	2400	6	67473
Balok Induk	11.9625	0.4	0.6	2.871	2400	6	41342.4
Balok Anak	0	0.2	0.3	0	2400	6	0
Balok Anak L8	0	0.3	0.4	0	2400	6	0
Plafond	7.5	4.4625	-	33.4688	11	6	2208.9375
Penggantung	7.5	4.4625	-	33.4688	7	6	1405.6875
Plumbing	7.5	4.4625	-	33.4688	25	6	5020.3125
Spesi (2cm)	7.5	4.4625	-	33.4688	42	6	8434.125
Dinding	11.9625	3	-	35.8875	250	6	53831.25
Sanitasi	7.5	4.4625	-	33.4688	20	6	4016.25
Tegel	7.5	4.4625	-	33.4688	22	6	4417.875
Beban Diatas							195061.84
Total Beban Mati (DL)							383211.68
BEBAN HIDUP							
Jenis Beban		Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)	Beban (kg/m^2)	Jumlah	Total Berat (kg)
Beban Hidup Lantai		7.5	5.6	42	196	6	49392
Beban Diatas							39359.25
Total Beban Hidup (LL)							88751.25
BEBAN ULTIMATE (1,2 DL + 1,6 LL)							601856.01
DIMENSI KOLOM							
Mutu Beton						40	Mpa
Faktor Reduksi						0.65	-
Luas Penampang Minimal Kolom						2268.5	cm^2
Sisi Kolom (b)						60	cm
Sisi Kolom (h)						60	cm
Luas Penampang Kolom						3600	cm^2
Keterangan							OK
BERAT KOLOM (DL)						15552	kg
Denah Kolom 2 Lihat Gambar 13							

Tabel 4. 7 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 10-4)

PEMBEBANAN 3				Lantai	9	-	3
BEBAN MATI							
Jenis Beban	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)	Volume (m^3)	Berat Jenis	Jumlah	Total Berat (kg)
Pelat	7.5	4.4625	0.14	4.68563	2400	7	78718.5
Balok Induk	11.9625	0.4	0.6	2.871	2400	7	48232.8
Balok Anak	0	0.2	0.3	0	2400	7	0
Balok Anak L8	0	0.3	0.4	0	2400	7	0
Plafond	7.5	4.4625	-	33.4688	11	7	2577.0938
Penggantung	7.5	4.4625	-	33.4688	7	7	1639.9688
Plumbing	7.5	4.4625	-	33.4688	25	7	5857.0313
Spesi (2cm)	7.5	4.4625	-	33.4688	42	7	9839.8125
Dinding	11.9625	3	-	35.8875	250	7	62803.125
Sanitasi	7.5	4.4625	-	33.4688	20	7	4685.625
Tegel	7.5	4.4625	-	33.4688	22	7	5154.1875
Beban Diatas							398763.68
Total Beban Mati (DL)							618271.82
BEBAN HIDUP							
Jenis Beban		Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)	Beban (kg/m^2)	Jumlah	Total Berat (kg)
Beban Hidup Lantai		7.5	5.6	42	196	7	57624
Beban Diatas							88751.25
Total Beban Hidup (LL)							146375.25
BEBAN ULTIMATE (1,2 DL + 1,6 LL)							976126.58
DIMENSI KOLOM							
Mutu Beton						40	Mpa
Faktor Reduksi						0.65	-
Luas Penampang Minimal Kolom						3679.2	cm^2
Sisi Kolom (b)						70	cm
Sisi Kolom (h)						70	cm
Luas Penampang Kolom						4900	cm^2
Keterangan							OK
BERAT KOLOM (DL)						24696	kg
Denah Kolom 3 Lihat Gambar 12							

Tabel 4. 8 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai 3-Lower Ground)

PEMBEBANAN 4				Lantai	2	-	0
BEBAN MATI							
Jenis Beban	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)	Volume (m^3)	Berat Jenis	Jumlah	Total Berat (kg)
Pelat	7.5	4.4625	0.14	4.68563	2400	3	33736.5
Balok Induk	11.9625	0.4	0.6	2.871	2400	3	20671.2
Balok Anak	0	0.2	0.3	0	2400	3	0
Balok Anak L8	0	0.3	0.4	0	2400	3	0
Plafond	7.5	4.4625	-	33.4688	11	3	1104.4688
Penggantung	7.5	4.4625	-	33.4688	7	3	702.84375
Plumbing	7.5	4.4625	-	33.4688	25	3	2510.1563
Spesi (2cm)	7.5	4.4625	-	33.4688	42	3	4217.0625
Dinding	11.9625	3	-	35.8875	250	3	26915.625
Sanitasi	7.5	4.4625	-	33.4688	20	3	2008.125
Tegel	7.5	4.4625	-	33.4688	22	3	2208.9375
Beban Diatas							642967.82
Total Beban Mati (DL)							737042.74
BEBAN HIDUP							
Jenis Beban		Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)	Beban (kg/m^2)	Jumlah	Total Berat (kg)
Beban Hidup Lantai		7.5	5.6	42	196	3	24696
Beban Diatas							146375.25
Total Beban Hidup (LL)							171071.25
BEBAN ULTIMATE (1,2 DL + 1,6 LL)							1158165.3
DIMENSI KOLOM							
Mutu Beton						40	Mpa
Faktor Reduksi						0.65	-
Luas Penampang Minimal Kolom						4365.4	s
Sisi Kolom (b)						80	cm
Sisi Kolom (h)						80	cm
Luas Penampang Kolom						6400	cm^2
Keterangan							OK
BERAT KOLOM (DL)						24576	kg
Denah Kolom 4 Lihat Gambar 10 dan 11							

Tabel 4. 9 Pembebanan dan Preliminary Design Dimensi Kolom (Lantai Lowerground-Basement)

PEMBEBANAN 5				Lantai	0	-	-1
BEBAN MATI							
Jenis Beban	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)	Volume (m^3)	Berat Jenis	Jumlah	Total Berat (kg)
Pelat	8	7.5	0.14	8.4	2400	2	40320
Balok Induk	15.5	0.4	0.6	3.72	2400	2	17856
Balok Anak	0	0.2	0.3	0	2400	2	0
Balok Anak L8	16	0.3	0.4	1.92	2400	2	9216
Plafond	8	7.5	-	60	11	2	1320
Penggantung	8	7.5	-	60	7	2	840
Plumbing	8	7.5	-	60	25	2	3000
Spesi (2cm)	8	7.5	0.02	1.2	11	2	26.4
Dinding	-	-	-	0	700	2	0
Sanitasi	8	7.5	-	60	20	2	2400
Tegel	8	7.5	-	60	22	2	2640
Beban Diatas							0
Total Beban Mati (DL)							77618.4
BEBAN HIDUP							
Jenis Beban		Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)	Beban (kg/m^2)	Jumlah	Total Berat (kg)
Beban Hidup Lantai		8	7.5	60	196	2	23520
Beban Diatas							0
Total Beban Hidup (LL)							23520
BEBAN ULTIMATE (1,2 DL + 1,6 LL)							130774.08
DIMENSI KOLOM							
Mutu Beton						40	Mpa
Faktor Reduksi						0.65	-
Luas Penampang Minimal Kolom						492.92	cm^2
Sisi Kolom (b)						40	cm
Sisi Kolom (h)						40	cm
Luas Penampang Kolom						1600	cm^2
Keterangan							OK
BERAT KOLOM (DL)						2688	kg
Denah Kolom 5 Lihat Gambar 9 dan 10							

4.1.5 Perencanaan Tebal Dinding Geser dan Basement

Bedasarkan peraturan SNI 2847:2013 pasal 14.5.3 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak kurang daripada 100 mm. Serta ketebalan dinding *basement* tidak boleh kurang dari 190 mm. Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser dan diniding *basement* direncanakan sebagai berikut :

Gambar 4. 3 Denah Basement Wall

Gambar 4. 4 Denah Shearwall

Tabel 4. 10 Preliminary Design Dinding Geser & Basement

PRELIMINARY DESIGN WALL						
DIMENSI SHEARWALL						
Lantai 4 - 22						
SW 1	Bentang	3.325	m	Tebal Minimum	13.3	cm
	Tinggi	3.3	m	Tebal Minimum	13.2	cm
	Tebal Pakai				30	cm
SW 2	Bentang	6.125	m	Tebal Minimum	24.5	cm
	Tinggi	3.3	m	Tebal Minimum	13.2	cm
	Tebal Pakai				30	cm
Lantai LG - 3						
SW 1	Bentang	3.325	m	Tebal Minimum	13.3	cm
	Tinggi	5	m	Tebal Minimum	20	cm
	Tebal Pakai				30	cm
SW 2	Bentang	6.125	m	Tebal Minimum	24.5	cm
	Tinggi	5	m	Tebal Minimum	20	cm
	Tebal Pakai				30	cm
REKAPITULASI						
Dinding				Tebal (cm)		
Shearwall 1				30		
Shearwall 2				30		
Basement-Wall				30		

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1 Perancanaan Struktur Pelat

Struktur pelat pracetak direncanakan menggunakan Pelat Sambungan balok dengan pelat menggunakan sistem overtopping. Peraturan yang digunakan untuk besar beban yang bekerja pada struktur pelat menggunakan SNI 2847:2013 dan PCI Handbook.

4.2.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan Half Slab menurut preliminary design :

- Tebal pelat = 14 cm (9 cm pracetak)
- Mutu beton (f'_c) = 40 MPa
- Mutu beton pengankatan = 18,4 MPa (3 hari)
- Mutu beton overtopping = 28 MPa (7 hari)
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Diameter tulangan rencana = 13 mm

4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

Pelat direncanakan menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) berdasarkan PBI 1983 sesuai dengan fungsi bangunan Apartemen dan kombinasi pembebanan yang dipakai sesuai dengan peraturan SNI 1727:2013.

Beban Mati (DL) :

- Pelat	: 0,14 m x 2400 kg/m^3	=	336 kg/m^2
- Spesi 2cm	: 2 x 21 kg/m^2	=	21 kg/m^2
- Tegel	: 1 x 24 kg/m^2	=	24 kg/m^2
- Plafon		=	11 kg/m^2
- Penggantung		=	7 kg/m^2
- Ducting + plumbing		=	25 kg/m^2
- Sanitasi		=	20 kg/m^2
	DL	**=**	**444 kg/m^2**

Beban Hidup :

Beban hidup apartemen **LL = 196 kg/m^2**
(SNI 1727:2013 Tabel 4-1)

Qu = 1,2 DL + 1,6 LL = 1,2 (444) + 1,6 (196) = **846.4 kg/m^2**
Qu = 1,4 DL = 1,4 (444) = **621.6 kg/m^2**

4.2.1.3 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan pelat untuk untuk pelat lantai tipe P2.6 persegi panjang 1120 x 2800 mm. Berikut merupakan langkah – langkah serta beberapa contoh perhitungan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat :

Gambar 4. 5 Pelat yang Ditinjau

• Menentukan data perencanaan untuk penulangan pelat :

Dimensi pelat	: 3325 mm x 7500 mm
Tebal pelat (sebelum overtopping)	: 90 mm
Tebal topping	: 50 mm
Tebal decking	: 20 mm
Diameter tulangan rencana	: 13 mm
Mutu tulangan baja (fy)	: 420 MPa
Mutu beton (f'c)	: 40 MPa

• Menentukan Jenis Pelat

Menentukan pelat termasuk pelat 1 arah atau 2 arah

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} (\beta => 2 \rightarrow pelat\ 1\ arah, \beta < 2 \rightarrow pelat\ 1\ arah)$$

Lx dan Ly diambil dari perhitungan preliminary pelat:

$Lx = 332{,}5\ cm$

$Ly = 750\ cm$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{750}{332{,}5} = 2{,}25 > 2 \rightarrow pelat\ 1\ arah$$

• Kondisi sebelum overtopping

$$dx = 90 - 20 - \frac{13}{2} = 63.5\ mm$$

$$dy = 90 - 20 - 13 - \frac{13}{2} = 50.5\ mm$$

• Kondisi sesudah overtopping

$$dx = 140 - 20 - \frac{13}{2} = 113.5\ mm$$

$$dx = 140 - 20 - 13 - \frac{13}{2} = 100.5\ mm$$

- Untuk mutu beton f'c = 40 MPa berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\frac{f'c-28}{7} = 0{,}764 \geq 0{,}65$$
$$\beta_1 = 0{,}764$$

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

  ρ_{min} = 0,0018 (Fy = 420 Mpa) SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1

  ρ_b = 0,85 $(\frac{\beta 1 \text{ x Fc}}{\text{Fy}})$ x $(\frac{600}{600+\text{Fy}})$ = 0,0364

  ρ_{max} = 0,75 x ρ_b = 0,0273

Penulangan pokok pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada derah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah.

4.2.1.3.1 Penulangan Pelat Sesudah Overtopping

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 untuk momen-momen di dalam pelat yang terjepit penuh dengan Ly/Lx = 2,25 didapat persamaan momen sebagai berikut :

$$M = 0{,}001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$Mulx\ (+) = X1 \rightarrow 41{,}56$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Mulx\ (+) = 0.001 \times 846.4 \times 3{,}325^2 \times 42 = 388{,}863\ kgm$$

$Muly\ (+) = X2 \rightarrow 11$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Muly\ (+) = 0.001 \times 846.4 \times 3{,}325^2 \times 10 = 102{,}932\ kgm$$

$Mutx\ (-) = X1 \rightarrow 83$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Mutx\ (-) = 0.001 \times 846.4 \times 3{,}325^2 \times 83 = 776{,}671\ kgm$$

$Muty\ (-) = X2 \rightarrow 57$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Muty\ (-) = 0.001 \times 846.4 \times 3{,}325^2 \times 57 = 533{,}376\ kgm$$

∗ **Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Arah X**

- Besaran momen yang digunakan:

Mulx (+) = Mutx (-) = 776,671 kgm = 7766710 Nmm

$m = \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12{,}353$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times dx^2} = \frac{7766710}{0.75 \times 1000 \times 113{,}5^2} = 0{,}8039\ N/mm^2$

- Rasio tulangan :

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.353}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}353 \times 0{,}8039}{420}}\right) = 0{,}0019$

$\rho_{perlu} > \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{perlu} = 0{,}0019$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0019 \times 1000 \times 113{,}5 = 219{,}87\ mm^2$

- Jumlah tulangan per meter

$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{219{,}87}{132{,}73} = 1{,}656 \approx 2$

- Jarak tulangan

$S_{max} = 450\ mm$ (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)

$S_{pakai} = \frac{1000}{2} = 500\ mm > S_{max}$ "NOT OK"

$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250\ mm$

$As_{pasang} = n \times\ As_{tulangan}$

$As_{pasang} = 4 \times\ 132{,}73 = 530{,}9\ mm^2 > As_{perlu} = 219{,}9\ mm^2$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times fc \times b} = 530.9 \times \frac{420}{0.85 \times 40 \times 1000} = 6{,}558\ mm$

$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{6,558}{0,764} = 8,584\ mm$

$\varepsilon t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{113,5-8,554}{8,554} \times 0,003 = 0,037 > 0,005$

$\therefore$ **Faktor Reduksi** $\emptyset = \mathbf{0,85}$ **"OK"**

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280\ MPa$

$Cc = 20 - \frac{13}{2} = 13,5\ mm$

$S_{maks} = 380\left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5Cc$

$S_{maks} = 380\left(\frac{280}{280}\right) - 2,5 \times 20 = 330\ mm$

Atau $S_{maks} = \mathbf{315}\ mm$

$S_{min} = d_b = 13\ mm$ atau $S_{min} = \mathbf{25}\ mm$ SNI 2847-2013 7.6.1

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur arah X** $= \mathbf{D13 - 250}$

$*$ **Perhitungan Penulangan Tumpuan dan Lapangan Arah Y**

- Besaran momen yang digunakan:

Mulx (+) = Mutx (-) = 533,576 kgm = 5335760 Nmm

$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12,353$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times dx^2} = \frac{5335760}{0.75 \times 1000 \times 113,5^2} = 0,7041\ N/mm^2$

- Rasio tulangan :

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.353}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,353 \times 0,7041}{420}}\right) = 0,0017$

$\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{min} = 0,0018$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0018 \times 1000 \times 113{,}5 = 180{,}9\ mm^2$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{180{,}9}{132{,}73} = 1{,}36 \approx 2$$

- Jarak tulangan

$S_{max} = 450\ mm$ (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)

$S_{pakai} = \frac{1000}{2} = 500\ mm > S_{max}$ "NOT OK"

$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250\ mm$

$As_{pasang} = n \times\ As_{tulangan}$

$As_{pasang} = 4 \times\ 132{,}73 = 530{,}9\ mm^2 > As_{perlu} = 180{,}9\ mm^2$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times fc \times b} = 530.9 \times \frac{420}{0.85 \times 40 \times 1000} = 6{,}558\ mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{6{,}558}{0{,}764} = 8{,}584\ mm$$

$$\varepsilon t = \frac{d-c}{c} \times 0{,}003 = \frac{100{,}5-8{,}554}{8{,}554} \times 0{,}003 = 0{,}032 > 0{,}005$$

$\therefore$ **Faktor Reduksi** $\emptyset = \mathbf{0{,}85}$ **"OK"**

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280\ MPa$

$Cc = 20 - \frac{13}{2} = 13{,}5\ mm$

$$S_{maks} = 380\left(\frac{280}{f_s}\right) - 2{,}5Cc$$

$S_{maks} = 380\left(\frac{280}{280}\right) - 2{,}5 \times 20 = 330\ mm$

Atau $S_{maks} = \mathbf{315}\ mm$

$S_{min} = d_b = 13\ mm$ atau $S_{min} = \mathbf{25}\ mm$ SNI 2847-2013 7.6.1

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur arah Y = D13 − 250**

Tabel 4. 11 Perhitungan Momen Pelat Sesudah Overtopping

PELAT			Panjang (m)	Lebar (m)	Ly / Lx	KOEF. MOMEN		BEBAN HIDUP (Kg/m2)	BEBAN MATI (Kg/m2)	MU HIDUP (Kgm)	MU MATI (Kgm)	KOMBINASI 1.2D + 1.6L
P1	Lapangan	x	8	2.5	3.2000	Mulx	42	196	444	51.450	116.550	222.180
	Lapangan	y	8	2.5	3.2000	Muly	8	196	444	9.800	22.200	42.320
	Tumpuan	x	8	2.5	3.200	Mutx	83	196	444	-101.675	-230.325	-439.070
	Tumpuan	y	8	2.5	3.200	Muty	57	196	444	-69.825	-158.175	-301.530
P2	Lapangan	x	8	3.325	2.406	Mulx	42	196	444	91.010	206.165	393.014
	Lapangan	y	8	3.325	2.406	Muly	10	196	444	21.669	49.087	93.575
	Tumpuan	x	8	3.325	2.406	Mutx	83	196	444	-179.853	-407.422	-776.671
	Tumpuan	y	8	3.325	2.406	Muty	57	196	444	-123.513	-279.796	-533.376
P3	Lapangan	x	8	2.8	2.857	Mulx	42	196	444	64.539	146.200	278.703
	Lapangan	y	8	2.8	2.857	Muly	8	196	444	12.293	27.848	53.086
	Tumpuan	x	8	2.8	2.857	Mutx	83	196	444	-127.541	-288.920	-550.769
	Tumpuan	y	8	2.8	2.857	Muty	57	196	444	-87.588	-198.415	-378.239
P4	Lapangan	x	7.5	3.75	2.000	Mulx	41	196	444	113.006	255.994	488.003
	Lapangan	y	7.5	3.75	2.000	Muly	12	196	444	33.075	74.925	142.830
	Tumpuan	x	7.5	3.75	2.000	Mutx	83	196	444	-228.769	-518.231	-987.908
	Tumpuan	y	7.5	3.75	2.000	Muty	57	196	444	-157.106	-355.894	-678.443
P5	Lapangan	x	7.5	3.325	2.256	Mulx	41.56	196	444	90.049	203.988	388.863
	Lapangan	y	7.5	3.325	2.256	Muly	11	196	444	23.836	53.996	102.932
	Tumpuan	x	7.5	3.325	2.256	Mutx	83	196	444	-179.853	-407.422	-776.671
	Tumpuan	y	7.5	3.325	2.256	Muty	57	196	444	-123.513	-279.796	-533.376
P6	Lapangan	x	7.5	2.8	2.679	Mulx	42	196	444	64.539	146.200	278.703
	Lapangan	y	7.5	2.8	2.679	Muly	8	196	444	12.293	27.848	53.086
	Tumpuan	x	7.5	2.8	2.679	Mutx	83	196	444	-127.541	-288.920	-550.769
	Tumpuan	y	7.5	2.8	2.679	Muty	57	196	444	-87.588	-198.415	-378.239
P7	Lapangan	x	5.6	2.8	2.000	Mulx	41	196	444	63.002	142.719	272.067
	Lapangan	y	5.6	2.8	2.000	Muly	12	196	444	18.440	41.772	79.629
	Tumpuan	x	5.6	2.8	2.000	Mutx	83	196	444	-127.541	-288.920	-550.769
	Tumpuan	y	5.6	2.8	2.000	Muty	57	196	444	-87.588	-198.415	-378.239
P8	Lapangan	x	5.6	1.6625	3.368	Mulx	42	196	444	22.752	51.541	98.254
	Lapangan	y	5.6	1.6625	3.368	Muly	8	196	444	4.334	9.817	18.715
	Tumpuan	x	5.6	1.6625	3.368	Mutx	83	196	444	-44.963	-101.855	-194.168
	Tumpuan	y	5.6	1.6625	3.368	Muty	57	196	444	-30.878	-69.949	-133.344
P9	Lapangan	x	3.325	1.6625	2.000	Mulx	41	196	444	22.211	50.314	95.914
	Lapangan	y	3.325	1.6625	2.000	Muly	12	196	444	6.501	14.726	28.072
	Tumpuan	x	3.325	1.6625	2.000	Mutx	83	196	444	-44.963	-101.855	-194.168
	Tumpuan	y	3.325	1.6625	2.000	Muty	57	196	444	-30.878	-69.949	-133.344

Tabel 4. 12 Data Perencanaan Pelat Sesudah Overtopping

Nama Pelat			Spesifikasi Bahan			Spesifikasi Penampang				Input Gaya	β1
			D Tul.	Fy Tul.	F'c Beton	Lebar (b)	Tebal (h)	Cover	d	Mu	
			(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Nmm)	
P1	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	2221800	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	423200	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	4390700	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	3015300	0.7643
P2	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	3930142	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	935748.1	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	7766709	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	5333764	0.7643
P3	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	2787026	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	530862.1	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	5507694	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	3782392	0.7643
P4	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	4880025	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	1428300	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	9879075	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	6784425	0.7643
P5	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	3888631	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	1029323	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	7766709	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	5333764	0.7643
P6	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	2787026	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	530862.1	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	5507694	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	3782392	0.7643
P7	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	2720668	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	796293.1	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	5507694	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	3782392	0.7643
P8	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	982535.5	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	187149.6	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	1941677	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	1333441	0.7643
P9	X	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	113.5	959141.8	0.7643
	Y	Lapangan	13	420	40	1000	140	20	100.5	280724.4	0.7643
	X	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	113.5	1941677	0.7643
	Y	Tumpuan	13	420	40	1000	140	20	100.5	1333441	0.7643

Tabel 4. 13 Perhitungan Tulangan Pelat Sesudah Overtopping

Nama Pelat			ρb	ρ max	ρ min	Rn	m	ρ perlu	ρ pakai	As Perlu	S Perlu	S Pakai
						(Mpa)				(mm2)	(mm)	(mm)
P1	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.2300	12.3529	0.0005	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.0559	12.3529	0.0001	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.4544	12.3529	0.0011	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.3980	12.3529	0.0010	0.0018	180.9	733.73	250
P2	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.4068	12.3529	0.0010	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1235	12.3529	0.0003	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.8039	12.3529	0.0019	0.0019	219.87	603.70	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.7041	12.3529	0.0017	0.0018	180.9	733.73	250
P3	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.2885	12.3529	0.0007	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.0701	12.3529	0.0002	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.5701	12.3529	0.0014	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.4993	12.3529	0.0012	0.0018	180.9	733.73	250
P4	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.5051	12.3529	0.0012	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1885	12.3529	0.0005	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	1.0225	12.3529	0.0025	0.0025	280.6	473.02	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.8956	12.3529	0.0022	0.0022	217.21	611.09	250
P5	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.4025	12.3529	0.0010	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1359	12.3529	0.0003	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.8039	12.3529	0.0019	0.0019	219.87	603.70	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.7041	12.3529	0.0017	0.0018	180.9	733.73	250
P6	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.2885	12.3529	0.0007	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.0701	12.3529	0.0002	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.5701	12.3529	0.0014	0.0018	204.3	649.69	200
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.4993	12.3529	0.0012	0.0018	180.9	733.73	250
P7	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.2816	12.3529	0.0007	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1051	12.3529	0.0003	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.5701	12.3529	0.0014	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.4993	12.3529	0.0012	0.0018	180.9	733.73	250
P8	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1017	12.3529	0.0002	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.0247	12.3529	0.0001	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.2010	12.3529	0.0005	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1760	12.3529	0.0004	0.0018	180.9	733.73	250
P9	X	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.0993	12.3529	0.0002	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Lapangan	0.0364	0.0273	0.0018	0.0371	12.3529	0.0001	0.0018	180.9	733.73	250
	X	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.2010	12.3529	0.0005	0.0018	204.3	649.69	250
	Y	Tumpuan	0.0364	0.0273	0.0018	0.1760	12.3529	0.0004	0.0018	180.9	733.73	250

4.2.1.3.2 Penulangan Pelat Sebelum Overtopping

Sebelum overtopping, pelat pracetak mengalami 2 kondisi pembebanan, yaitu saat pengangkatan dan saat sudah terletak bebas diatas balok.

∗ **Momen pelat yang terjadi saat pengangkatan**

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku "*Precast and Prestressed Concrete*" seperti yang ditunjukan pada gambar 5.3 dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :

Gambar 4. 6 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

$Mx = 0{,}0107 \times w \times a^2 \times b$
$My = 0{,}0107 \times w \times a \times b^2$

Pada segmen pelat : 750 × 332,5 cm
Dengan w = (0,09 × 2400) = 216 kg/m^2

Maka :
$Mx = 0{,}0107 \times 216 \times 3{,}325^2 \times 7{,}5 = 191{,}64$ Kgm
$My = 0{,}0107 \times 216 \times 3{,}325 \times 7{,}5^2 = 432{,}27$ Kgm

∗ **Momen pelat yang terjadi saat terletak diatas balok**

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 untuk momen-momen di dalam pelat yang terletak bebas dengan Ly/Lx = 2,25 didapat persamaan momen sebagai berikut :

$$M = 0{,}001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$Mulx\ (+) = X1 \rightarrow 107$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Mulx\ (+) = 0.001 \times 621{,}6 \times 3{,}325^2 \times 42 = 736{,}098\ kgm$$

$Muly\ (+) = X2 \rightarrow 34.4$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Muly\ (+) = 0.001 \times 621{,}6 \times 3{,}325^2 \times 8 = 236{,}703\ kgm$$

$Mutx\ (-) = X1 \rightarrow 0$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Mutx\ (-) = 0.001 \times 621{,}6 \times 3{,}325^2 \times 0 = 0\ kgm$$

$Muty\ (-) = X2 \rightarrow 0$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)

$$Muty\ (-) = 0.001 \times 621{,}6 \times 3{,}325^2 \times 0 = 0\ kgm$$

Maka, Momen pelat yang paling kritis adalah:
Mx = 736,098 Kgm
My = 432,27 Kgm

∗ **Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Arah X**

- Besaran momen yang digunakan:

Mulx (+) = Mutx (-) = 736,098 kgm = 7360980 Nmm

$$m = \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 28} = 17{,}647$$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times dx^2} = \frac{7360980}{0.75 \times 1000 \times 63{,}5^2} = 2{,}434\ N/mm^2$$

- Rasio tulangan :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.353}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 17{,}647 \times 2{,}434}{420}}\right) = 0{,}0061$$

$\rho_{perlu} > \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{perlu} = 0{,}0061$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0061 \times 1000 \times 63{,}5 = 389{,}033\ mm^2$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{389{,}033}{132{,}73} = 2{,}93 \approx 4$$

- Jarak tulangan

$S_{max} = 450\ mm$ (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)

$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250\ mm$

$As_{pasang} = n \times\ As_{tulangan}$

$As_{pasang} = 4 \times\ 132{,}73 = 530{,}92\ mm^2 > As_{perlu} = 389\ mm^2$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times fc \times b} = 530{,}92 \times \frac{420}{0.85 \times 28 \times 1000} = 9{,}37\ mm$

$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{9{,}37}{0{,}85} = 11{,}022\ mm$

$\varepsilon t = \frac{d-c}{c} \times 0{,}003 = \frac{63{,}5-11{,}022}{11{,}022} \times 0{,}003 = 0{,}0143 > 0{,}005$

$\therefore$ **Faktor Reduksi** $\emptyset = \mathbf{0{,}85}$ **"OK"**

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280\ MPa$

$Cc = 20 - \frac{13}{2} = 13{,}5\ mm$

$$S_{maks} = 380\left(\frac{280}{f_s}\right) - 2{,}5Cc$$

$S_{maks} = 380\left(\frac{280}{280}\right) - 2{,}5 \times 13{,}5 = 346{,}25\ mm$

Atau $S_{maks} = \mathbf{315}\ mm$

$S_{min} = d_b = 13\ mm$ atau $S_{min} = \mathbf{25}\ mm$ SNI 2847-2013 7.6.1

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur arah X** $= \mathbf{D13 - 250}$

∗ **Perhitungan Penulangan Tumpuan dan Lapangan Arah Y**

- Besaran momen yang digunakan:

Muly (+) = Muty (-) = 432,270 kgm = 432270 Nmm

$m = \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 28} = 17{,}647$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times dx^2} = \frac{4322700}{0.75 \times 1000 \times 50{,}5^2} = 2{,}26\ N/mm^2$

- Rasio tulangan :

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.353}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 17{,}647 \times 2{,}26}{420}}\right) = 0{,}0057$

$\rho_{perlu} > \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{perlu} = 0{,}0057$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0057 \times 1000 \times 50{,}5 = 286{,}033\ mm^2$

- Jumlah tulangan per meter

$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{286{,}033}{132{,}73} = 2{,}15 \approx 4$

- Jarak tulangan

$S_{max} = 450\ mm$ (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)

$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250\ mm$

$As_{pasang} = n \times\ As_{tulangan}$

$As_{pasang} = 4 \times\ 132{,}73 = 530{,}92\ mm^2 > As_{perlu} = 286\ mm^2$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times fc \times b} = 530{,}92 \times \frac{420}{0.85 \times 28 \times 1000} = 9{,}37\ mm$

$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{9{,}37}{0{,}85} = 11{,}022\ mm$

$\varepsilon t = \frac{d-c}{c} \times 0{,}003 = \frac{50{,}5-11{,}022}{11{,}022} \times 0{,}003 = 0{,}0107 > 0{,}005$

$\therefore$ **Faktor Reduksi** $\emptyset = \mathbf{0{,}85}$ **"OK"**

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280\ MPa$

$Cc = 20 - \frac{13}{2} = 13{,}5\ mm$

$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s}\right) - 2{,}5Cc$

$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{280}\right) - 2{,}5 \times 13{,}5 = 346{,}25\ mm$

Atau $S_{maks} = \mathbf{315}\ mm$

$S_{min} = d_b = 13\ mm$ atau $S_{min} = \mathbf{25}\ mm$ SNI 2847-2013 7.6.1

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur arah** $\mathbf{X = D13 - 250}$

Tabel 4. 14 Perhitungan Momen Pelat Sebelum Overtopping

NAMA PELAT		Panjang (m)	Lebar (m)	Ly / Lx	KOEF. MOMEN		BEBAN MATI (Kg/m2)	MU MATI (Kgm)	KOMBINASI 1.4D	Momen Pengangkatan	Momen Maks
P1	x	8	2.5	3.200	Mulx	125	444	346.875	485.625	115.560	485.625
	y	8	2.5	3.200	Muly	25	444	69.375	97.125	369.792	369.792
P2	x	8	3.325	2.406	Mulx	110	444	540.547	756.766	204.414	756.766
	y	8	3.325	2.406	Muly	32.9	444	161.692	226.368	491.823	491.823
P3	x	8	2.8	2.857	Mulx	125	444	435.120	609.168	144.958	609.168
	y	8	2.8	2.857	Muly	25	444	87.024	121.834	414.167	414.167
P4	x	7.5	3.75	2.000	Mulx	100	444	624.375	874.125	243.759	874.125
	y	7.5	3.75	2.000	Muly	37	444	231.019	323.426	487.519	487.519
P5	x	7.5	3.325	2.256	Mulx	107	444	525.784	736.098	191.638	736.098
	y	7.5	3.325	2.256	Muly	34.4	444	169.073	236.703	432.267	432.267
P6	x	7.5	2.8	2.679	Mulx	125	444	435.120	609.168	135.899	609.168
	y	7.5	2.8	2.679	Muly	25	444	87.024	121.834	364.014	364.014
P7	x	5.6	2.8	2.000	Mulx	100	444	348.096	487.334	101.471	487.334
	y	5.6	2.8	2.000	Muly	37	444	128.796	180.314	202.942	202.942
P8	x	5.6	1.6625	3.368	Mulx	125	444	153.397	214.756	35.772	214.756
	y	5.6	1.6625	3.368	Muly	25	444	30.679	42.951	120.497	120.497
P9	x	3.325	1.6625	2.000	Mulx	100	444	122.717	171.804	21.240	171.804
	y	3.325	1.6625	2.000	Muly	37	444	45.405	63.568	42.480	63.568

Tabel 4. 15 Data Perencanaan Pelat Sebelum Overtopping

Nama Pelat		Spesifikasi Bahan			Spesifikasi Penampang				Input Gaya	β1
		D Tul.	Fy Tul.	F'c Beton	Lebar (b)	Tebal (h)	Cover	d	Mu	
		(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Nmm)	
P1	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	4856250	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	3697920	0.8500
P2	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	7567661	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	4918234	0.8500
P3	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	6091680	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	4141670	0.8500
P4	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	8741250	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	4875188	0.8500
P5	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	7360979	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	4322666	0.8500
P6	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	6091680	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	3640140	0.8500
P7	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	4873344	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	2029418	0.8500
P8	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	2147555	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	1204967	0.8500
P9	X	13	420	28	1000	90	20	63.5	1718044	0.8500
	Y	13	420	28	1000	90	20	50.5	635676.3	0.8500

Tabel 4. 16 Perhitungan Tulangan Pelat Sebelum Overtopping

Nama Pelat		ρb	ρ max	ρ min	Rn	m	ρ perlu	ρ pakai	As Perlu	S Perlu	S Pakai
					(Mpa)				(mm2)	(mm)	(mm)
P1	X	0.0283	0.0213	0.0018	1.6058	17.6471	0.0040	0.004	251.577	527.60	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	1.9334	17.6471	0.0048	0.0048	242.761	546.76	250
P2	X	0.0283	0.0213	0.0018	2.5024	17.6471	0.0063	0.0063	400.639	331.30	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	2.5714	17.6471	0.0065	0.0065	327.971	404.71	250
P3	X	0.0283	0.0213	0.0018	2.0143	17.6471	0.0050	0.005	318.655	416.54	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	2.1654	17.6471	0.0054	0.0054	273.422	485.45	250
P4	X	0.0283	0.0213	0.0018	2.8904	17.6471	0.0074	0.0074	467.359	284.01	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	2.5489	17.6471	0.0064	0.0064	324.917	408.51	250
P5	X	0.0283	0.0213	0.0018	2.4340	17.6471	0.0061	0.0061	389.033	341.19	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	2.2600	17.6471	0.0057	0.0057	286.033	464.05	250
P6	X	0.0283	0.0213	0.0018	2.0143	17.6471	0.0050	0.005	318.655	416.54	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	1.9032	17.6471	0.0047	0.0047	238.795	555.84	250
P7	X	0.0283	0.0213	0.0018	1.6115	17.6471	0.0040	0.004	252.496	525.68	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	1.0610	17.6471	0.0026	0.0026	130.554	1016.68	250
P8	X	0.0283	0.0213	0.0018	0.7101	17.6471	0.0017	0.0018	114.3	1161.26	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	0.6300	17.6471	0.0015	0.0018	90.9	1460.20	250
P9	X	0.0283	0.0213	0.0018	0.5681	17.6471	0.0014	0.0018	114.3	1161.26	250
	Y	0.0283	0.0213	0.0018	0.3323	17.6471	0.0008	0.0018	90.9	1460.20	250

4.2.1.4 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan *overtopping* cor di tempat, transfer gaya regangan horizontal yang terjadi harus dipikul oleh seluruh penampang, baik elemen pracetak maupun *overtopping* cor di tempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor di tempat maka dipakai tulangan stud. Stud ini berfungsi sebagai pengikat antar elemen dan mentransfer gaya – gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit.

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

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan beton cor di tempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan beton cor di tempat

Gambar 4. 7 Diagram Gaya Geser Horizontal *Encamping* Komposit

Perhitungan stud pelat 3325 x 7500 mm^2

$C_c \quad = 0{,}85 \times f'c \times A_{topping}$

$\quad = 0{,}85 \times 28 \times 50 \times 1000$

$\quad = 1190000\ N$

Direncanakan menggunakan stud ø13 mm

$As = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132{,}73\ mm^2$

$Vn_h \quad = C = T$

$\quad = As \times f_y$

$\quad = 132{,}73 \times 420$

$\quad = 55746{,}6\ N$

$0{,}55A_c = 0{,}55 \times b_v \times d$

$\quad = 0{,}55 \times 1000 \times 113{,}5$

$\quad = 62425\ N > Vnh = 55746{,}6\ N$ (OK)

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 17.5.3.2, bila pengikat minimum disediakan sesuai dengan 17.6, dan permukaan kontak bersih dan bebas kapur permukaan (*laitance*), tetapi tidak dengan sengaja dikasarkan, Vnh tidak boleh diambil lebih besar dari $0{,}55.\ b_v.\ d$. Dan menurut pasal 17.6.1 bila pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horizontal, luas pengikat tidak boleh kurang dari yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh

melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$S_{maks} = 4h = 4 \times 50 = \mathbf{200}\ mm$ atau $S_{maks} = 500\ mm$

Maka dipakai S = 200

$Av_{min} = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{b_v.S}{f_{yt}} = 0{,}062\sqrt{28}\frac{1000\times200}{420} = \mathbf{156{,}23}\ mm^2$

Atau $Av_{min} = \frac{0{,}35 b_w S}{f_{yt}} = \frac{0{,}35\times1000\times200}{420} = 166{,}67\ mm^2$

Maka direncanakan *stud* (*shear connector*) ø13-250 mm (Av=530,9 mm^2)

4.2.1.5 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tabel minimum pelat seperti yang disyaratkan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3, maka tidak perlu dilakukan kontrol terhadap lendutan.

4.2.1.6 Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 12.5

- l_{dh} > 8D = $8\times13 = 104$ mm
- l_{dh} > 150 mm
- Ihb $= \frac{100\times db}{\sqrt{f_c'}} \times \frac{fy}{400} = \frac{100\times13}{\sqrt{28}} \times \frac{420}{400} = 257{,}96$ mm

Maka dipakai panjang penyaluran 260 mm

Gambar 4. 8 Penulangan Pelat Lantai

Gambar 4. 9 Potongan Pelat Lantai

4.2.1.7 Pengangkatan Pelat

Titik Angkat Pelat Pracetak

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe P 5 dengan dimensi 3,325 m x 7,5 m yang menggunakan empat titik pengangkatan.

Gambar 4. 10 Titik Angkat Pelat dan Momen yang Terjadi
(*PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992*)

Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j. Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 90 cm. Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut (k = 1,2) pada saat pengangkatan.

Perhitungan Tulangan Angkat Pelat

k	$= 1{,}2$ (koefisien kejut)
DL (beban mati)	$= 0{,}09 \times 3{,}325 \times 7{,}5 \times 2400$
	$= 5386{,}5$ kg
LL (beban hidup)	$= 200$ kg (asumsi 2 orang pekerja)
Qu (beban ultimate)	$= 1{,}2(1{,}2DL + 1{,}6LL)$
	$= 1{,}2(1{,}2 \times 5386{,}5 + 1{,}6 \times 200)$
	$= 8140{,}56$ kg

Tu (beban tiap tulangan)= $\frac{Qu}{4} = \frac{8140,56}{4} = 2035,14$ kg

$\sigma_{tarik\ ijin}$ $= \frac{fy}{1,5} = \frac{420}{1,5} = 280$ N/mm^2 = 2800 kg/cm^2

A_{butuh} $= \frac{Tu}{\sigma_{tarik\ ijin}} = \frac{2035,14}{2800} = 0,7269$ cm^2

$= 72,69$ mm^2

Maka digunakan tulangan angkat D10 (A=78,54 mm^2)

Kontrol Tulangan Angkat

$f_{pelat} < f_{cr}$

f_{cr} untuk beton 3 hari adalah

f_{cr} $= 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7\sqrt{18.4} = 3,002$ MPa

yc $= 0,5 \times 0,09 = 0,045$ m

w $= \left(t_{pelat} \times 2400\right) + \frac{@_{pekerja}}{A_{pelat}}$

$= (0,09 \times 2400) + \frac{200}{3,325 \times 7,5}$

$= 224,02$ kg/m^2

Berdasarkan *PCI Design Handbook*, *Precast and Prestressed Concrete*, *7th Edition*, momen maksimum diperhitungkan dengan rumus :

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

$= 0,0107 \times 224,02 \times 3,325^2 \times 7,5 = 198,75$ kgm

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

$= 0,0107 \times 224,02 \times 3,325 \times 7,5^2 = 448,31$ kgm

Tu $= 2035,14$ kg

M $= \frac{P \times yc}{tg(45)} = \frac{2035,14 \times 0,045}{tg(45)} = 91,58$ kgm

My ditahan oleh penampang selebar a/2 = 3325/2 = 1662,5 mm

Z $= \frac{1}{6} \times 1662,5 \times 90^2 = 2244375$ mm^3

My_{total} $= 448,31 + 91,58 = 539,89$ kgm

$= 5398900$ Nmm

$f_t = f_b$ $= \frac{M_{total}}{Z} = \frac{5398900}{2244375} = 2,405$ MPa $< f_r = 3,002$ MPa

Mx ditahan oleh penampang selebar 150t = 13500 mm atau b/2 = 7500/2 = **3750 mm**

Z $= \frac{1}{6} \times 3750 \times 90^2 = 5062500$ mm^3

Mx_{total} $= 198{,}75 + 91{,}58 = 290{,}33$ kgm

$= 2903300$ Nmm

$f_t = f_b$ $= \frac{M_{total}}{Z} = \frac{2903300}{5062500} = 0{,}57$ MPa $< f_r = 3{,}002$ MPa

Pemilihan Profil Tulangan Angkat

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.

(1) (2)

Gambar 4. 11 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL

Gambar 4. 12 *JENKA LIFTER*

4.2.2 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga yang berupa pelat dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol. Struktur tangga ke atas memiliki 6 tipe dengan tinggi lantai yang berbeda.

4.2.2.1 Data Perencanaan Tangga

Perhitungan Data Perencanaan Tangga (Tipe 1):

- Panjang bentang tangga (L) : 750 cm (tipikal)
- Tinggi lantai : 300 cm
- Elevasi bordes : $\frac{\text{Tinggi lantai}}{2}$: 150 cm
- Tinggi tanjakan (t) : 15 cm (tipikal)
- Lebar injakan (i) : 30 cm (tipikal)
- Jumlah injakan (ni) : $\frac{\text{Elevasi Bordes}}{\text{Tinggi Tanjakan}}$: 10 buah
- Jumlah tanjakan (nt) : ni – 1 buah : 9 buah
- Panjang horizontal pelat tangga : i x nt : 270 cm
- Kemiringan tangga (α) : arc tan $\frac{\text{Elv. Bordes}}{\text{Panjang horizontal}}$
  : arc tan $\frac{150}{270}$: 29.055 ^{o}
- Tebal pelat tangga (tp) : 14 cm (tipikal)
- Tebal anak tangga rata-rata (tr) : (i/2) sin α : 7.285 cm
- Tebal pelat tangga rata-rata : tp + tr : 21.285 cm
- Panjang bordes : $\frac{\text{(L – Panjang horintal)}}{2}$
  : $\frac{750-270}{2}$: 240 cm
- Lebar Bordes : 332.5 cm (tipikal)
- Lebar tangga : 160 cm (tipikal)
- Cek syarat
  1. $60 \leq (2t+i) \leq 65$
     $60 \leq (30+30) \leq 65$ (**OK)**
  2. $25° \leq \alpha \leq 40°$
     $25° \leq 29.055° \leq 40°$ (**OK)**

Gambar 4. 13 Desain Perencanaan Tangga

Gambar 4. 14 Detail Perencanaan Tangga

Tabel 4. 17 Data Perencanaan Tangga

Data Perencanaan	TIPE TANGGA					
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5	Tipe 6
Panjang Bentang Tangga L (cm)	750	750	750	750	750	750
Tinggi Lantai (cm)	300	320	330	350	400	500
Tinggi Tanjakan t (cm)	15	15	15	15	15	17.5
Lebar Injakan I (cm)	30	30	30	30	30	30
Lebar Tangga (cm)	160	160	160	160	160	160
Tebal Pelat Tangga tp (cm)	14	14	14	14	14	14
Tebal Pelat Bordes (cm)	14	14	14	14	14	14
Elevasi Bordes (cm)	150	160	165	175	200	250
Jumlah Injakan nt (cm)	10	11	11	12	14	15
Jumlah Tanjakan ni (cm)	9	10	10	11	13	14
Lebar Bordes (cm)	240	225	225	210	180	165
Panjang Bordes (cm)	332.5	332.5	332.5	332.5	332.5	332.5
Panjang Horizontal Pelat Tangga (cm)	270	300	300	330	390	420
Kemiringan Tangga α (°)	29.055	28.072	28.811	27.937	27.150	30.763
Tebal Pelat Anak Tangga Rata-rata (cm)	7.285	7.059	7.229	7.028	6.845	7.672
Tebal Pelat Rata-rata (cm)	21.285	21.059	21.229	21.028	20.845	21.672
Cek Syarat						
$60 \leq (2t+i) \leq 65$	OK	OK	OK	OK	OK	OK
$25° \leq \alpha \leq 40°$	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber: Data Pribadi)

4.2.2.2 Pembebanan pada Tangga

Pada perhitungan pembebanan struktur tangga, beban hidup dan mati diberikan untuk lebar tangga setiap 1 m'.

Perhitungan Pembebanan pada Tangga (Tipe 1):

- **Pelat Tangga**

- Beban Mati

Pelat tangga	=	$\frac{0{,}21285\ x\ 2400\frac{kg}{m^3}\ x\ 1m}{\cos 29{,}055°}$	= 584,37	kg/m
Tegel	=	24 x 1m	= 24	kg/m
Spesi	=	21 x 1m	= 21	kg/m
Sandaran	=	50	= 50	kg/m
Tegel dan Spesi Vertikal				
	=	$\frac{(24+21)\ x\ 1m\ x\ 3m}{2{,}7m}$	= 25	kg/m +
		qd	**= 704,37**	**kg/m**

- Beban Hidup **ql** **= 489** **kg/m**

qu 1 = 1,2 qd + 1,6 ql
= 1,2 x 704,37 + 1,6 x 489 = **1627,64 kg/m**

- **Pelat Bordes**

- Beban Mati

Pelat bordes	=	0,14 x 2400	= 336	kg/m
Tegel	=	24 x 1m	= 24	kg/m
Spesi	=	21 x 1m	= 21	kg/m
Sandaran	=	50	= 50	kg/m +
		qd	**= 431**	**kg/m**

- Beban Hidup **ql** **= 489** **kg/m**

qu 2 = 1,2 qd + 1,6 ql
= 1,2 x 431 + 1,6 x 489 = **1299,6 kg/m**

Gambar 5. 1 Beban Hidup dan Mati Pada Tangga

Tabel 4. 18 Pembebanan pada Tangga

Pembebanan	TIPE TANGGA					
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5	Tipe 6
Pelat Tangga						
Beban Mati (kg/m')						
1. Berat Sendiri	584.37	572.80	581.47	571.23	562.22	605.30
2. Tegel	24	24	24	24	24	24
3. Spesi	21	21	21	21	21	21
4. Sandaran	50	50	50	50	50	50
5. Tegel & Spesi Vertikal	25	24	24.75	23.864	23.077	26.786
Total Beban Mati (qd)	704.37	691.80	701.22	690.09	680.30	727.09
Beban Hidup (kg/m')						
1. Beban Hidup pada Tangga	489	489	489	489	489	489
Total Beban Hidup (ql)	489	489	489	489	489	489
Beban Ultimate (kg/m')						
qu = 1.2 qd + 1.6 ql	1627.64	1612.56	1623.86	1610.51	1598.76	1654.91
Pelat Bordes						
Beban Mati (kg/m')						
1. Berat Sendiri	336	336	336	336	336	336
2. Tegel	24	24	24	24	24	24
3. Spesi	21	21	21	21	21	21
4. Sandaran	50	50	50	50	50	50
Total Beban Mati (qd)	431	431	431	431	431	431
Beban Hidup (kg/m')						
1. Beban Hidup pada Tangga	489	489	489	489	489	489
Total Beban Hidup (ql)	489	489	489	489	489	489
Beban Ultimate (kg/m')						
qu = 1.2 qd + 1.6 ql	1299.6	1299.6	1299.6	1299.6	1299.6	1299.6

4.2.2.3 Gaya Dalam Tangga

Perhitungan gaya dalam pada tangga adalah sebagai berikut:

Perhitungan Gaya Dalam Tangga (Tipe 1)

Reaksi Perletakan

qu1 = 1627,64 kg/m

qu2 = 1299,6 kg/m

- $\Sigma H = 0 \Rightarrow H_A = 0$
- $\Sigma Ma = 0$

  $RD\ (7.5) - q_2\ (2,4)\ (2,55) - 0,5\ q_1\ (1,35)^2 = 0$

  $RD = \frac{1299,6\ x\ 2,4\ x\ 2,55 + 1627,64\ x\ 0,5\ x\ 1,35\ x\ 1,35}{7,5}$

  RD = 5316,36 kg
- $\Sigma V = 0$

  $RA - q_1\ (2,7) - q_2\ (2,4 \times 2) + RD = 0$

  $RA = 1627,64\ x\ 2,7 + 1299,6\ x\ 4,8 - 5316,36$

  RA = 5316,36 kg

Gaya Dalam

- **Segmen A – B**

Bidang N	→ NAB	= 0 kg
Bidang D	→ DA	= RA = 5316,36 kg
	→ DB	= RA – q_2 (2,4)
		= 2197,32 kg
Bidang M	→ MA	= 0 kgm
	MB	= RA x 2,4 - 0,5 q_2 x $2,4^2$
		= 9016,415 kgm

- **Segmen B – C**

Bidang N	→ NB	= - (Ra – q_2 (2,4)) x sin α
		= -1067,11 kg
	→ NC	= (Ra – q_2 (2,4)) x sin α
		= 1067,11 kg
Bidang D	→ DB	= (RA – q_2 (2,4)) x cos α
		= 2047,44 kg
	→ DC	= (-RD + q_2 (2,4)) x cos α
		= -2047,44 kg

Bidang M → MB = RA x 2,4 - 0,5 q_2 x $2,4^2$
= 9016,415 kgm
→ MC = RD x 2,4 - 0,5 q_2 x $2,4^2$
= 9016,415 kgm
→ Mmax = Ra x 3,75 - q_2 x 2,4 x 2,55 – 0,5q_1 x 1.35^2 = 10499,61 kgm

❖ **Segmen C – D**

Bidang N → N CD = 0

Bidang D → DD = -RD = -5316,36 kg
→ DC = -RD + q_2 (2,4)
= -2197,32 kg

Bidang M → MC = RA x 2,4 - 0,5 q_2 x $2,4^2$
= 9016,415 kgm
→ MD = 0

Gambar 4. 15 Bidang N,D,M pada Tangga

Tabel 4. 19 Gaya dalam tangga kombinasi 1.2D + 1.6L

Perhitungan Gaya Dalam	TIPE TANGGA					
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5	Tipe 6
Reaksi Perletakkan						
Reaksi Perletakkan A (kg)	5316.36	5342.94	5359.89	5386.51	5456.86	5619.65
Reaksi Perletakkan D (kg)	5316.36	5342.94	5359.89	5386.51	5456.86	5619.65
Gaya Normal						
NA (kg)	0	0	0	0	0	0
NB kiri (kg)	0	0	0	0	0	0
NB kanan (kg)	-1067.11	-1138.28	-1173.85	-1244.97	-1422.60	-1777.56
NC kiri (kg)	1067.11	1138.28	1173.85	1244.97	1422.60	1777.56
NC kanan (kg)	0	0	0	0	0	0
ND (kg)	0	0	0	0	0	0
Gaya Geser						
DA (kg)	5316.36	5342.94	5359.89	5386.51	5456.86	5619.65
DB kiri (kg)	2197.32	2418.84	2435.79	2657.35	3117.58	3475.31
DB kanan (kg)	2047.44	2257.29	2270.50	2480.39	2913.53	3229.64
DC kiri (kg)	-2047.44	-2257.29	-2270.50	-2480.39	-2913.53	-3229.64
DC kanan (kg)	-2197.32	-2418.84	-2435.79	-2657.35	-3117.58	-3475.31
DD (kg)	-5316.36	-5342.94	-5359.89	-5386.51	-5456.86	-5619.65
Gaya Momen						
MA (kgm)	0	0	0	0	0	0
MB (kgm)	9016.415	8732.003	8770.142	8446.048	7716.991	7503.339
MC (kgm)	9016.415	8732.003	8770.142	8446.048	7716.991	7503.339
MD (kgm)	0	0	0	0	0	0
Mmax (kgm)	10499.61	10546.13	10596.99	10638.36	10756.63	11152.41

(Sumber: Data Pribadi)

4.2.2.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

Tulangan pelat tangga dan bordes dibuat sama agar lebih mudah dalam pelaksanaan. Perhitungan tulangan tangga adalah sebagai berikut:

Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes (Tipe 1):

- Fc = 40 Mpa
- Fy = 420 Mpa
- β_1 = 0,85 – $(\frac{0,05\ (Fc-28)}{7})$ = 0,764
- ρ_{min} = 0,0018 (Fy = 420 Mpa)
- ρ_{min} = 0,85 $(\frac{\beta 1 \text{ x } Fc}{Fy})$ x $(\frac{600}{600+Fy})$ = 0,0364

- ρ_{max} = 0,75 x 0,0364 = 0,0273
- $m = \frac{fy}{0.85\ f'c} = \frac{420}{0.85\ x\ 40}$ =12,3529
- Tebal pelat = 140 mm
- Direncanakan tulangan = D 16 mm (As = 201,06 mm^2)
- Tebal selimut beton (d') = 20 mm
- dx = 140 - 20 – 16 - (0,5 x 16) = 96 mm
- dy = 140 - 20 - (0,5 x 16) = 112 mm
- Mu = 10499,61 kg.m = 104,9961 KNm = 104996100 Nmm
- Vu = 5316,36 kg
- Nu = 1067,11 kg

Perhitungan Penulangan :

- **Penulangan Longitudinal** (SNI 2847:2013, Pasal 9.3.2.7)

  Penulangan terhadap momen positif

  $Rn = \frac{Mu}{\emptyset bd^2} = \frac{104996100}{0,75\ x\ 1000\ x\ 113,5^2} = 11,1603\ Mpa$

  $\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

  $\rho = \frac{1}{12,35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 7,4556}{420}}\right) = 0.0335$

  $0.0335 > \rho_{max}$
- ρ pakai = ρ_{max} = 0,0273

  $As\ perlu = \rho \times b \times d = 3057,143\ mm^2$

  Jarak tulangan maksimum :

  S perlu = $\frac{\text{b x As}}{\text{As Perlu}} = \frac{1000 \text{ x } 201,06}{3057,143}$ = 65,76 mm

  S pakai = 50 mm

  $\therefore$ **Digunakan tulangan lentur D16 − 50**

  Penulangan terhadap momen negatif

  Karena memakai perletakkan sendi-rol (beban gravitasi tidak ada momen negative), maka rasio tulangan untuk momen negatif memakai ρ_{min}

ρ pakai = 0.0018
$As\ perlu = \rho \times b \times d = 201{,}6\ mm^2$

Jarak tulangan maksimum :
S = $\frac{\text{b x As}}{\text{As Perlu}} = \frac{1000 \text{ x } 201{,}06}{201{,}6}$ = 997,33 mm
S pakai = 250 mm

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur D16 − 250**

- **Penulangan Geser** (SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.2)
  Komponen struktur dibebani tekan aksial.
  $Vc = 0{,}17x\left(1 + \frac{Nu}{Agx14}\right)x\sqrt{fc}\ xbw\ x\ d$
  $Vc = 0{,}17x\left(1 + \frac{10671{,}1}{1000x140x14}\right)x\sqrt{40}\ x1000\ x\ 113{,}5$
  Vc $= 122696{,}7\ N$
  $Vn = \frac{Vu}{\emptyset} = \frac{53163{,}6}{0{,}9} = 59070{,}67\ N$
  Vc > Vn → tidak perlu tulangan geser

- **Penulangan Susut** (SNI 2847:2013, Pasal 7.12.2.1)
  Tulangan susut menggunakan ρ_{min} = 0,0018
  ρ pakai = 0.0018
  $As\ perlu = \rho \times b \times d = 201{,}6\ mm^2$

  Jarak tulangan maksimum :
  S = $\frac{\text{b x As}}{\text{As Perlu}} = \frac{1000 \text{ x } 201.06}{201{,}6}$ = 997,31 mm
  S pakai = 250 mm

  $\therefore$ **Digunakan tulangan lentur D16 − 250**

Gambar 4. 16 Desain Tulangan Pelat Tangga

Gambar 4. 17 Desain Tulangan Pelat Bordes

Gambar 4. 18 Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Tabel 4. 20 Perhitungan tulangan lentur pelat tangga dan bordes

Nama Pelat			Spesifikasi Bahan			Spesifikasi Penampang			
			D Tul.	Fy Tul.	F'c Beton	Lebar (b)	Tebal (h)	Cover	d
			(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Tangga 1	X	ATAS	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	ATAS	16	420	40	1000	140	20	112
	X	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	112
Tangga 2	X	ATAS	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	ATAS	16	420	40	1000	140	20	112
	X	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	112
Tangga 3	X	ATAS	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	ATAS	16	420	40	1000	140	20	112
	X	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	112
Tangga 4	X	ATAS	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	ATAS	16	420	40	1000	140	20	112
	X	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	112
Tangga 5	X	ATAS	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	ATAS	16	420	40	1000	140	20	112
	X	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	112
Tangga 6	X	ATAS	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	ATAS	16	420	40	1000	140	20	112
	X	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	96
	Y	BAWAH	16	420	40	1000	140	20	112

Tabel 4. 20 Perhitungan tulangan lentur pelat tangga dan bordes (lanjutan)

Nama Pelat			Input Gaya Mu (KNm)	β1	ρb	ρ max	ρ min	Rn (Mpa)	m
Tangga 1	X	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1063	12.3529
	X	BAWAH	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	BAWAH	104.9961	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	11.1603	12.3529
Tangga 2	X	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1063	12.3529
	X	BAWAH	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	BAWAH	105.4613	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	11.2097	12.3529
Tangga 3	X	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1063	12.3529
	X	BAWAH	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	BAWAH	105.9699	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	11.2638	12.3529
Tangga 4	X	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1063	12.3529
	X	BAWAH	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	BAWAH	106.3836	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	11.3078	12.3529
Tangga 5	X	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1063	12.3529
	X	BAWAH	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	BAWAH	107.5663	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	11.4335	12.3529
Tangga 6	X	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	ATAS	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1063	12.3529
	X	BAWAH	1.0000	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.1447	12.3529
	Y	BAWAH	111.5241	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	11.8542	12.3529

Tabel 4.20 Perhitungan tulangan lentur pelat tangga dan bordes (lanjutan)

Nama Pelat			ρ perlu	ρ pakai	As Perlu	S Perlu	S Pakai	Tulangan Pakai
					(mm2)	(mm)	(mm)	
Tangga 1	X	ATAS	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0002535	0.0018	201.6	997.331	250	D16-250
	X	BAWAH	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	BAWAH	0.0335063	0.0272959	3057.1429	65.767921	50	D16-50
Tangga 2	X	ATAS	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0002535	0.0018	201.6	997.331	250	D16-250
	X	BAWAH	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	BAWAH	0.0337076	0.0272959	3057.1429	65.767921	50	D16-50
Tangga 3	X	ATAS	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0002535	0.0018	201.6	997.331	250	D16-250
	X	BAWAH	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	BAWAH	0.0339287	0.0272959	3057.1429	65.767921	50	D16-50
Tangga 4	X	ATAS	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0002535	0.0018	201.6	997.331	250	D16-250
	X	BAWAH	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	BAWAH	0.0341092	0.0272959	3057.1429	65.767921	50	D16-50
Tangga 5	X	ATAS	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0002535	0.0018	201.6	997.331	250	D16-250
	X	BAWAH	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	BAWAH	0.0346294	0.0272959	3057.1429	65.767921	50	D16-50
Tangga 6	X	ATAS	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0002535	0.0018	201.6	997.331	250	D16-250
	X	BAWAH	0.0003452	0.0018	172.8	1163.5528	200	D16-200
	Y	BAWAH	0.0364142	0.0272959	3057.1429	65.767921	50	D16-50

Tabel 4. 21 Perhitungan tulangan geser pelat tangga dan bordes

Nama Pelat	Spesifikasi Penampang				Input Gaya		Perhitungan		Tulangan Geser
	Lebar (b)	Tebal (h)	Cover	d	Vu	Nu	Vc	Vn	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(N)	(N)	(N)	
Tangga 1	1000	140	20	112	53163.6	10671.1	121075.2	59070.67	Tidak perlu
Tangga 2	1000	140	20	112	53429.4	11382.8	121118.9	59366	Tidak perlu
Tangga 3	1000	140	20	112	53598.9	11738.5	121140.7	59554.33	Tidak perlu
Tangga 4	1000	140	20	112	53865.1	12449.7	121184.4	59850.11	Tidak perlu
Tangga 5	1000	140	20	112	54568.6	14226	121293.6	60631.78	Tidak perlu
Tangga 6	1000	140	20	112	56196.5	17775.6	121511.6	62440.56	Tidak perlu

4.2.3 Perencanaan Ramp

Pada perencanaan ini, struktur ramp berupa pelat dimodelkan sebagai frame statis dengan kondisi pada kedua ujung perletakan berupa sendi dan rol.

4.2.3.1 Data Perencanaan Ramp

Pada perencanaan gedung apartemen terdapat 2 lantai parkir, sehingga terdapat 2 tipe ramp yang berbeda. Data perencanaan ramp adalah sebagai berikut:

Perhitungan Data Ramp (Tipe 1):

- Tinggi ramp : 320 cm
- Lebar ramp : 750 cm (tipikal)
- Tebal pelat ramp (tp) : 20 cm (tipikal)
- Panjang horizontal pelat ramp : 800 cm (tipikal)
- Kemiringan tangga (α) : arc tan $\frac{\text{Tinggi ramp}}{\text{Panjang horizontal}}$

  : arc tan $\frac{320}{800}$: 21.801 ^{o}
- Tebal vertikal pelat ramp : $\frac{tp}{\cos\alpha}$: $\frac{30}{\cos 21.8}$: 21.54cm

Gambar 4. 19 Desain Perencanaan Ramp

Gambar 4. 20 Detail Perencanaan Ramp

Tabel 4. 22 Data Perencanaan Ramp

Data Perencanaan	TIPE RAMP	
	Tipe 1	Tipe 2
Tinggi Lantai / Tinggi Ramp (cm)	320	350
Lebar Pelat Ramp (cm)	750	750
Tebal Pelat Ramp tp (cm)	20	20
Panjang Horizontal Pelat Ramp (cm)	800	800
Kemiringan Ramp α (°)	21.801	23.629
Tebal Vertikal Pelat Ramp (cm)	21.541	21.830

4.2.3.2 Pembebanan

Pada pemodelan struktur ramp, beban sendiri ditambahkan sebagai beban mati tambahan, sehingga untuk beban mati sendiri tidak dihitung. Beban hidup dan mati diberikan untuk lebar ramp setiap 1 m'.

Perhitungan Pembebanan Ramp (Tipe 1)

- Beban Mati

  Pelat ramp = $0{,}21541\ x\ 2400\,\frac{kg}{m^3}\ x\ 1m$ = 516,98 kg/m

  qd = 516,98 kg/m

- Beban Hidup **ql = 196 kg/m**

qu = 1,2 qd + 1,6 ql
= 1,2 x 516,98 + 1,6 x 196 = **973,17 kg/m**

Gambar 4. 21 Beban Hidup dan Mati pada Ramp

Tabel 4. 23 Pembebanan pada ramp

Pembebanan	TIPE RAMP	
	Tipe 1	Tipe 2
Beban Mati (kg/m')		
1. Berat Sendiri	516.98	523.93
Total Beban Mati (qd)	516.98	523.93
Beban Hidup (kg/m')		
1. Beban Hidup pada Tangga	196	196
Total Beban Hidup (ql)	196	196
Beban Ultimate (kg/m')		
qu = 1.2 qd + 1.6 ql	973.17	981.51

4.2.3.3 Perhitungan Gaya Dalam

Hasil perhitungan gaya dalam ramp adalah sebagai berikut:

Perhitungan Gaya Dalam pada Ramp (Tipe 1):

qu = 973,17 kg/m

- $\Sigma H = 0 \Rightarrow H_A = 0$
- $\Sigma Ma = 0$

  RB (8) – qu (8) (4) = 0

  $RB = \frac{973{,}17\ x\ 8\ x\ 4}{8}$

  RB = 3892,68 kg
- $\Sigma V = 0$

  RA - qu (8) + RB = 0

RA = $973{,}17\ x\ 8\ -3892{,}68$
RA = 3892,68 kg

Bidang N → NA = - (Ra) x sin α = - 1445,71 kg
→ NB = (Rb) x sin α = 1445,71 kg
Bidang D → DA = Ra x cos α = 3614,27 kg
→ DB = - Rb x cos α = - 3614,27 kg
Bidang M → MA = 0 kgm
→ MB = 0 kgm
→ Mmax = $\frac{qu\ x\ l\ x\ l}{8} = \frac{973{,}17\ \ x\ 8\ x\ 8}{8}$
= 7785,368 kgm

Gambar 4. 22 Bidang N,D,M pada ramp

Tabel 4. 24 Perhitungan Gaya Dalam Ramp

Perhitungan Gaya Dalam	TIPE RAMP	
	Tipe 1	Tipe 2
Reaksi Perletakkan		
Reaksi Perletakkan A (kg)	3892.68	3926.05
Reaksi Perletakkan B (kg)	3892.68	3926.05
Gaya Normal		
NA (kg)	-1445.71	-1573.64
NB (kg)	1445.71	1573.64
Gaya Geser		
DA (kg)	3614.27	3596.88
DB kanan (kg)	-3614.27	-3596.88
Gaya Momen		
MA (kgm)	0	0
MB (kgm)	0	0
Mmax (kgm)	7785.368	7852.104

4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Ramp

Perhitungan tulangan ramp adalah sebagai berikut:

Perhitungan Tulangan Pelat Ramp (Tipe 1):

- Fc = 40 Mpa
- Fy = 420 Mpa
- β_1 = 0,85 – $(\frac{0,05\ (Fc-28)}{7})$ = 0,764
- ρ_{min} = 0,0018 (Fy = 420 Mpa)
- ρ_{min} = 0,85 $(\frac{\beta 1 \text{ x } Fc}{Fy})$ x $(\frac{600}{600+Fy})$ = 0,0364
- ρ_{max} = 0,75 x 0,0364 = 0,0273
- $m = \frac{fy}{0.85\ f'c} = \frac{420}{0.85\ x\ 40}$ =12,3529
- Tebal pelat = 200 mm
- Direncanakan tulangan = D 16 mm (As = 201,06 mm^2)
- Tebal selimut beton (d') = 20 mm
- dx = 200 - 20 - (0,5 x 16) = 172 mm
- Mu = 7785,368 kg.m = 77,85368 KNm

- Vu = 3614,27 kg
- Nu = 1445,71 kg

Perhitungan Penulangan :

- **Penulangan Longitudinal** (SNI 2847:2013, Pasal 9.3.2.7)

  Penulangan terhadap momen positif

  $Rn = \frac{Mu}{\emptyset bd^2} = \frac{77853680}{0{,}75\ x\ 1000\ x\ 172^2} = 3{,}5088\ Mpa$

  $\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

  $\rho = \frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 3{,}5088}{420}}\right) = 0.0088366$

  $\rho_{min} < 0.0088366 < \rho_{max}$

  ρ pakai = 0.0088366

  $As\ perlu = \rho \times b \times d = 1519{,}9\ mm^2$

  Jarak tulangan maksimum :

  S = $\frac{\text{b x As}}{\text{As Perlu}} = \frac{1000 \text{ x } 201{,}06}{1519{,}9}$ = 132,2863 mm

  S pakai = 100 mm

  $\therefore$ **Digunakan tulangan lentur D16 − 100**

  Penulangan terhadap momen negatif

  Karena memakai perletakkan sendi-rol (beban gravitasi tidak ada momen negative), maka rasio tulangan untuk momen negatif memakai ρ_{min}

  ρ pakai = 0.0018

  $As\ perlu = \rho \times b \times d = 309{,}6\ mm^2$

  Jarak tulangan maksimum :

  S = $\frac{\text{b x As}}{\text{As Perlu}} = \frac{1000 \text{ x } 201{,}06}{309{,}6}$ = 649,425 mm

  S pakai = 250 mm

  $\therefore$ **Digunakan tulangan lentur D16 − 250**

- **Penulangan Geser** (SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.2)
  Komponen struktur dibebani tekan aksial.
  $Vc = 0{,}17x\left(1 + \frac{Nu}{Agx14}\right)x\sqrt{fc}\ xbw\ x\ d$
  $Vc = 0{,}17x\left(1 + \frac{14457{,}1}{1000x200x14}\right)x\sqrt{40}\ x1000\ x\ 172$
  Vc = $185884{,}8\ N$
  $Vn = \frac{Vu}{\emptyset} = \frac{36142{,}7}{0{,}9} = 40158{,}56\ N$
  Vc > Vn → tidak perlu tulangan geser

- **Penulangan Susut** (SNI 2847:2013, Pasal 7.12.2.1)
  Tulangan susut menggunakan ρ_{min} = 0,0018
  ρ pakai = 0.0018
  $As\ perlu = \rho \times b \times d = 309{,}6\ mm^2$

  Jarak tulangan maksimum :
  S = $\frac{\text{b x As}}{\text{As Perlu}} = \frac{1000 \text{ x } 201{,}06}{309{,}6}$ = 649,425 mm
  S pakai = 250 mm

  $\therefore$ **Digunakan tulangan lentur D16 − 250**

Gambar 4. 23 Desain Tulangan Pelat Ramp

Gambar 4. 24 Penulangan Pelat Ramp

Tabel 4. 25 Perhitungan tulangan lentur pelat ramp

Nama Pelat			Spesifikasi Bahan			Spesifikasi Penampang			
			D Tul.	Fy Tul.	F'c Beton	Lebar (b)	Tebal (h)	Cover	d
			(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ramp 1	X	ATAS	16	420	40	1000	200	20	172
		BAWAH	16	420	40	1000	200	20	172
	Y	ATAS	16	420	40	1000	200	20	172
		BAWAH	16	420	40	1000	200	20	172
Ramp 2	X	ATAS	16	420	40	1000	200	20	172
		BAWAH	16	420	40	1000	200	20	172
	Y	ATAS	16	420	40	1000	200	20	172
		BAWAH	16	420	40	1000	200	20	172

Tabel 4. 25 Perhitungan tulangan lentur pelat ramp (lanjutan)

Nama Pelat			Input Gaya Mu (KNm)	β1	ρb	ρ max	ρ min	Rn (Mpa)	m
Ramp 1	X	ATAS	1	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.0451	12.3529
		BAWAH	1	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.0451	12.3529
	Y	ATAS	1	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.0451	12.3529
		BAWAH	77.85368	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	3.5088	12.3529
Ramp 2	X	ATAS	1	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.0451	12.3529
		BAWAH	1	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.0451	12.3529
	Y	ATAS	1	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	0.0451	12.3529
		BAWAH	78.52104	0.7643	0.0364	0.0273	0.0018	3.5389	12.3529

Tabel 4. 25 Perhitungan tulangan lentur pelat ramp (lanjutan)

Nama Pelat			ρ perlu	ρ pakai	As Perlu (mm2)	S Maks (mm)	S Pakai (mm)	Tulangan Pakai
Ramp 1	X	ATAS	0.0001074	0.0018	309.6	649.42484	250	D16-250
		BAWAH	0.0001074	0.0018	309.6	649.42484	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0001074	0.0018	309.6	649.42484	250	D16-250
		BAWAH	0.0088366	0.0088366	1519.8999	132.2863	100	D16-100
Ramp 2	X	ATAS	0.0001074	0.0018	309.6	649.42484	250	D16-250
		BAWAH	0.0001074	0.0018	309.6	649.42484	250	D16-250
	Y	ATAS	0.0001074	0.0018	309.6	649.42484	250	D16-250
		BAWAH	0.0089171	0.0089171	1533.7344	131.09306	100	D16-100

Tabel 4. 26 Perhitungan tulangan geser pelat ramp

Nama Pelat	Spesifikasi Penampang			Input Gaya		Perhitungan		Tulangan Geser
	Lebar (b) (mm)	Tebal (h) (mm)	d (mm)	Vu (N)	Nu (N)	Vc (N)	Vn (N)	
Ramp 1	1000	200	172	36142.7	14457.1	185884.8	40158.56	Tidak perlu
Ramp 2	1000	200	172	39260.5	15736.4	185969.3	43622.78	Tidak perlu

4.2.4 Perencanaan Balok Lift

4.2.4.1 Data Perencanaan

Perencanaan balok lift meliputi balok lift depan dan balok lift belakang. Pada bangunan ini digunakan lift yang diproduksi oleh Hyundai Elevator dengan data spesifikasi sebagai berikut :

Tipe Lift : Machine Room-Less Type
Model : 2 Panel Side Open
Kapasitas : 1750 kg
Kecepatan : 1,75 m/detik

Lebar pintu (*clear opening*) : 1200 mm
Dimensi sangkar (*car size*) :
- *Car wide* (CA) : 1600 mm
- *Car depth* (CB) : 2300 mm

Dimensi ruang luncur (*hoistway size*)
- *Hoistway width* (A) : 1700 mm
- *Hoistway depth* (B) : 2507 mm

Beban reaksi ruang mesin
- R_1 : 8600 kg
- R_2 : 4300 kg
- R_1 : 2900 kg
- R_2 : 1300 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel :

Tabel 4. 27 Spesifikasi Lift (*Plan of Hoistway*)

Manufacturer Standard

(Unit : mm)

Speed (m/sec)	Capacity		Opening Type	Clear Opening	Car		Hoistway Size		M/C Room Reaction (kg)				Pit Reaction (kg)	
	Persons	kg		OP	CA × CB	A × B	X	Y	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1.0	8	550	2 Panel Side Open	800	1100 x 1300	1160 x 1492	1800	1850	4000	2100	1500	600	7000	1600
	9	600		800	1100 x 1400	1160 x 1592	1800	1900	4100	2300	1600	600	7300	1600
	10	700		800	1200 x 1400	1260 x 1592	1900	1900	4500	2300	1700	650	7800	1600
	11	750		800	1300 x 1400	1360 x 1592	2000	1900	4800	2300	1750	700	8100	1700
	13	900		900	1300 x 1600	1360 x 1792	2000	2100	5100	2500	1800	750	9200	1900
1.5	15	1000		900	1100 x 2100	1160 x 2292	1800	2550	5400	2700	1900	800	9800	2000
				1200	2100 x 1100	2160 x 1292	2800	1750	5400	2700	1900	800	9800	2000
1.75	17	1150		1000	1200 x 2200	1300 x 2407	2000	2700	6300	3400	2100	900	12500	2500
	20	1350		1000	1300 x 2300	1400 x 2507	2200	2800	7700	4300	2500	1100	13900	3000
	24	1600		1100	1500 x 2300	1600 x 2507	2400	2800	7900	4600	2600	1200	15200	3200
	27	1750		1200	1600 x 2300	1700 x 2507	2500	2800	8600	4300	2900	1300	16700	2800
	30	2000		1200	1500 x 2700	1600 x 2907	2400	3200	9100	4700	3100	1300	19800	3300
	38	2500		1300	1800 x 2700	1900 x 2907	2900	3200	10300	5200	3300	1600	24000	3700
2.0	13	900		900	1300 x 1600	1400 x 1807	2200	2250	5900	3700	1800	900	11200	2300
	15	1000		900	1300 x 1750	1400 x 1957	2200	2450	6100	3900	2200	900	11800	2500
	17	1150		1000	1200 x 2200	1300 x 2407	2100	2700	6600	4200	2300	900	14200	2700
	20	1350		1000	1300 x 2300	1400 x 2507	2200	2800	8200	4600	2600	1200	16500	3100
	24	1600		1100	1500 x 2300	1600 x 2507	2400	2800	8300	4900	2700	1200	17800	3300
2.5	13	900		900	1300 x 1600	1400 x 1807	2200	2250	5900	3700	1800	900	11200	2300
	15	1000		900	1300 x 1750	1400 x 1957	2200	2450	6100	3900	2200	900	11800	2500
	17	1150		1000	1200 x 2200	1300 x 2407	2100	2700	6600	4200	2300	900	14200	2700
	20	1350		1000	1300 x 2300	1400 x 2507	2200	2800	8200	4600	2600	1200	16500	3100
	24	1600		1100	1500 x 2300	1600 x 2507	2400	2800	8300	4900	2700	1200	17800	3300

Tabel 4. 28 Spesifikasi Lift (*Section of Hoistway*)

Overhead & Pit Depth

(Unit : mm)

Duty Load (kg)	Speed (m/s)	Overhead (OH)		Pit Depth (PP)	Control Panel (CP)*
		2 Panel Center Open	2 Panel Side Open		
550~1150	1.0	3800	4300	1500	530
	1.5	3900	4400	1800	
	1.75	4000	4500	2100	
900~1150	2.0	4300	4800	2200	530
	2.5	5100	5600	2400	630
1350~1600	1.0	4200	4700	1500	530
	1.5	4300	4800	1800	630
	1.75	4500	5000	2100	
	2.0	4800	5300	2200	
	2.5	5100	5600	2400	
1750~2000	1.0	4400	4900	1750	630
	1.5	4500	5000	1900	
	1.75	4600	5100	2100	
2250~2500	1.0	5000	5500	1750	630
	1.5	5100	5600	1900	
	1.75	5300	5800	2100	

Gambar 4. 25 Denah Ruang Lift

Gambar 4. 26 Potongan Ruang Lift

Lift dipasang 3 buah bersejajar yang akan ditumpu oleh balok lift, untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar berikut:

Gambar 4. 27 Denah Pembalokan Ruang Mesin Lift

4.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift

Panjang Balok Lift $= 7500$mm

$h_{min} = \frac{1}{16} \times 7500$ $= 469$ mm

h_{pakai} $= 600$ mm

b $= 400$ mm

Digunakan dimensi Balok Lift 40/60

4.2.4.3 Pembebanan Lift

Beban Hidup Terpusat

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu
   Beban yang bekerja pada balok penumpu adalah beban mati (pelat, aspal, ducting, dll) dan beban hidup
2. Koefisien kejut beban hidup keran
   Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri ditambah muatan yang diangkat. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1{,}15$$

Dimana :

Ψ = koefisien kejut yang nilainya idak boleh 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 :

- R_1 = 8600 kg x Ψ = 8600 kg x 1,15 = 9890 kg
- R_2 = 4300 kg x Ψ = 4300 kg x 1,15 = 4945 kg
- R_3 = 2900 kg x Ψ = 2900 kg x 1,15 = 3335 kg
- R_4 = 1300 kg x Ψ = 1300 kg x 1,15 = 1495 kg

Beban Merata

Beban mati:

Berat pelat	$= 0{,}14 \times 2400 \times 1{,}4m =$	470,4	kg/m
Aspal (t=2cm)	$= 0{,}02 \times 2200 \times 1{,}4m =$	61,6	kg/m
Ducting	$= 30 \times 1{,}4m =$	42	kg/m
Akibat balok	$= 0{,}3 \times 0{,}4 \times 2400 =$	576	kg/m+
	qd	$= 1150$	kg/m

Beban hidup:

Beban pekerja $= 100 \times 1{,}4m$ $= 140$ kg/m

ql $= 140$ kg/m

Beban berfaktor

qu $= 1{,}2qd + 1{,}6ql$

$= 1{,}2(1150) + 1{,}6(140)$

$= 1604$ kg/m

4.2.4.4 Perhitungan Gaya Dalam Balok Lift

Dari perhitungan pembebanan, dapat dilihat beban yang bekerja pada balok adalah sebagai berikut:

Gambar 4. 28 Beban yang bekerja pada balok lift

Gaya Geser

Vu $= \frac{1}{2} \times qu \times L + (R1 + R4)$

$= \frac{1}{2} \times 1604 \times 7{,}5 + 11385$

$= 17400$ kg

Gaya Momen

Mu $= \frac{1}{12} \times qu \times L^2 + \frac{2}{9}(R1 + R4)L$

$= \frac{1}{12} \times 1604 \times 7{,}5^2 + \frac{2}{9} \times 11385 \times 7{,}5$

$= 26493{,}75$ kgm

4.2.4.5 Perhitungan Tulangan Balok Lift

Data Perencanaan :

f'c $= 40$ MPa

fy $= 420$ MPa

Tulangan utama $= D22$ mm

Tulangan sengkang		$= D13$ mm
Clear cover		$= 40$ mm
b		$= 400$ mm
h		$= 600$ mm
d	$= 600 - 40 - 13 - \frac{1}{2} x\ 22$	$= 536$ mm
β_1	$= 0{,}85 - \frac{0{,}05(40-28)}{7}$	$= 0{,}764$
ρ_{min}	$= \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{420}$	$= 0{,}0033$
atau	$= \frac{0{,}25\sqrt{f'c}}{fy} = \frac{0{,}25\sqrt{40}}{420}$	$= 0{,}0037$
m	$= \frac{fy}{0{,}85f'c} = \frac{420}{0{,}85\times 40}$	$= 12{,}35$

Perhitungan Tulangan Lentur

Mu		$= 26493{,}75$ kgm
		$= 264937500$ Nmm
φ		$= 0{,}9$
Mn	$= \frac{Mu}{\varphi} = \frac{264937500}{0{,}9}$	$= 294375000$ Nmm
Rn	$= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{294375000}{400\times 534{,}5^2}$	$= 2{,}57$
ρ_{perlu}	$= \frac{1}{m}(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}})$	$= 0{,}0064$
As_{perlu}	$= \rho_{perlu} \times b \times d$	$= 1367{,}6$ mm^2
A_{D25}		$= 380{,}13$ mm^2
n	$= \frac{As_{perlu}}{A_{D22}} = \frac{1367{,}6}{380{,}13}$	$= 3{,}6 \approx 4$

Maka digunakan tulangan lentur 4D22 (2945,28 mm^2)

Perhitungan Tulangan Geser

Vu	$= 17400$ kg	$= 174000$ N
φ		$= 0{,}75$
Vc	$= \frac{1}{6}\sqrt{f'c}bd = \frac{1}{6}\sqrt{40} \times 400 \times 536$	
	$= 225997$ N	
φVc	$= 0{,}75 \times 225997$	$= 169478$ N

Karena $\phi Vc \leq Vu = 174000$ N maka dibutuhkan tulangan geser

Vn $= \frac{Vu}{\varphi} = \frac{174000}{0,75}$ $= 2332000$ N

Vs_{butuh} $= Vn - Vc = 232000 - 225997 = 6003$ N

Syarat S_{max} $= \frac{d}{2} = \frac{536}{2}$ $= 268$ mm

Atau $= 600$ mm

Pakai s $= 250$ mm

Av $= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi d^2 = \frac{1}{2}\pi 13^2$ $= 265,4$ mm^2

Vs $= Av \times fy \times \frac{d}{s} = 265,4 \times 420 \times \frac{536}{250} = 238987\ N \geq$ $Vs_{butuh} = 6003\ N$

Maka digunakan tulangan geser D13-250 mm

Gambar 4. 29 Penulangan Balok Penumpu Lift

Gambar 4. 30 Detail Penulangan Balok Penumpu Lift

4.3 Pemodelan 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 1727:2013, PPIUG 1983 dan SNI 2847:2013, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2 Pemodelan Struktur

Dalam perhitungan analisis beban gempa perlu suatu pemodelan struktur. Struktur pemodelan gedung memiliki total 22 Lantai dengan tinggi total gedung ±76.7.m. Pemodelan gedung berlokasi di Jakarta Timur.

Gambar 4. 31 Pemodelan Gedung Apartemen Grand Dhika City

4.3.3 Pembebanan Gravitasi

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

1. Beban Mati (PPIUG 1983)

○ Berat sendiri pelat beton (2400 x 0.14)	: 336	Kg/m^2
○ Spesi 1cm	: 21	Kg/m^2
○ Tegel	: 24	Kg/m^2
○ Plafond	: 11	Kg/m^2
○ Penggantung	: 7	Kg/m^2
○ Plumbing +ducting	: 25	Kg/m^2
○ Sanitasi	: 20	Kg/m^2
TOTAL	: 444	Kg/m^2

Gambar 4. 32 Beban Mati

Gambar 4. 33 Gaya Dalam Momen Akibat Beban Mati (1D)

2. Beban Hidup (SNI 1727 : 2013)
   - Lantai Atap : 98 Kg/m^2
   - Lantai Apartement : 196 Kg/m^2
   - Lantai Parkir : 196 Kg/m^2

Gambar 4. 34 Beban Hidup

Gambar 4. 35 Gaya Dalam Momen Akibat Beban Hidup (1L)

3. Beban Akibat Struktur Sekunder

   Beban akibat struktur sekunder berupa beban garis terpusat sebesar reaksi perletakkan pada struktur sekuder (kg/m')

   - Beban Tangga

Tangga 1	: 3558.36 Kg/m
Tangga 2	: 3584.94 Kg/m
Tangga 3	: 3601.89 Kg/m
Tangga 4	: 3628.51 Kg/m
Tangga 5	: 3698.86 Kg/m
Tangga 6	: 3861.65 Kg/m

   - Beban Ramp

Ramp 1	: 3892.68 Kg/m
Ramp 2	: 3926.05 Kg/m

   - Beban Ruang Mesin Lift

R 1	: 9890 Kg
R 4	: 1495 Kg
R1 + R4	: 11385 Kg

Gambar 4. 36 Beban Struktur Sekunder Tangga dan Ramp

Gambar 4. 37 Beban Struktur Sekunder Lift

4.3.4 Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.4.1 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa seperti yang telah di bahas pada Subab 2.9.1 ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II dengan faktor keutamaan gempa (*I)* **1,0.**

4.3.4.2 Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan gedung Apartemen Grand Dhika City didapatkan nilai N (tes Nspt) sampai kedalaman 20 meter diantara 15 sampai 50 jadi dapat dikatakan tanah termasuk dalam kelas situs **SD**.

4.3.4.3 Parameter Respons Spectral

Ss, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaikan (MCE_R). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g, (5% redaman kritis), Kelas situs SD. Untuk wilayah Jakarta Timur didapatkan nilai Ss = **0.75** g.

S_1, Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaikan (MCE_R) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SB. Untuk wilayah Jakarta Timur didapatkan nilai S_1 = **0,35** g.

4.3.4.4 Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spektra disain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) adalah sebagai berikut

$$S_{MS} = F_a\, S_s = 1{,}2 \text{ x } 0{,}75 = 0{,}900$$

$$S_{M1} = F_v\, S_1 = 1.7 \text{ x } 0{,}35 = 0{,}595$$

sehingga

$$S_{DS} = \frac{2}{3}\, S_{MS} = \frac{2}{3} \times\ 0{,}900 = 0{,}600$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}\, S_{M1} = \frac{2}{3} \times\ 0{,}595 = 0{,}397$$

Untuk perioda pendek 0.2 detik (Ss) sebesar 0,75g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1) sebesar 0,35g dengan kelas situs SD didapatkan daerah Jakarta Timur memiliki S_{DS} sebesar **0,600** dan S_{D1} sebesar **0,397**.

4.3.4.5 Kategori Desain Seismik

Seperti yang telah di bahas pada subab 2.3.6, kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel 2.6 dan tabel 2.7 untuk S_{DS} sebesar 0,600 dan S_{D1} sebesar 0,397 dan kategori resiko II kategori desain seismik tergolong kategori D. Untuk kategori D tipe struktur menggunakan Sistem Ganda yaitu Dinding Geser Beton Bertulang Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.3.4.6 Respon Spectrum Desain

Untuk perioda yang lebih kecil dari To , respons percepatan desain, Sa , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0{,}4 + 0{,}6.\frac{T}{T_0}\right)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan To dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts , spectrum respons percepatan desain

$$S_a = S_{DS}$$

Untuk perioda lebih besar dari Ts , respons percepatan desain, Sa , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dimana :

$$To = 0{,}2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0{,}132\ dt\ ;\ Ts = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0{,}661\ dt$$

Sehingga didapatkan respon spektrum desain sebagai berikut

Gambar 4. 38 Grafik Respon Spektrum Desain

Gambar 4. 39 Gaya Momen Akibat Pembebanan Gempa Dinamis (1Ex)

4.3.5 Kontrol Pemodelan Struktur

4.3.5.1 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental (T)

$$T = C_u \times T_a$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 15, tipe struktur system rangka pemikul momen menggunakan nilai parameter periode pendekatan Ct adalah 0,466, nilai x digunakan 0,9 daan ketinggian gedung 60,5m.

$T_a = C_t \times h_n^x$
$T_a = 0{,}0466 \times 76{,}9^{0{,}9}$ a
$T_a = 2{,}321\ dt$

Dimana :
Ta = periode fundamental pendekatan
Ct = koefisien pendekatan
hn = ketinggian struktur

Tabel 4. 29 Koefisien Batas Atas Perioda Gedung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Perhitungan waktu getar alami fundamental menggunakan rumusan berikut :

$T = C_u \times T_a$
$T = 1{,}4 \times 2{,}321\ dt$
$T = 3{,}249\ dt$

Perioda fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (Cu)

$$T < C_u \times T_a$$

Nilai T didapat dari pemodelan SAP2000 yang telah diinput gaya gempa dinamik.

Tabel 4. 30 Modal Periode dan Frekuensi

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**SumUX**	**SumUY**	**SumUZ**
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.9480	0.675	2.453E-08	9.101E-10
MODAL	Mode	2	2.3468	0.675	0.622	3.476E-07
MODAL	Mode	3	2.2127	0.676	0.622	3.476E-07
MODAL	Mode	4	1.6068	0.771	0.622	3.522E-07
MODAL	Mode	5	1.1678	0.771	0.622	3.835E-06
MODAL	Mode	6	1.0702	0.771	0.724	7.233E-06
MODAL	Mode	7	1.0592	0.771	0.724	7.233E-06
MODAL	Mode	8	1.0473	0.771	0.724	7.249E-06
MODAL	Mode	9	0.8326	0.771	0.749	2.579E-05
MODAL	Mode	10	0.7871	0.805	0.749	2.579E-05
MODAL	Mode	11	0.7780	0.805	0.75	2.769E-05
MODAL	Mode	12	0.7199	0.805	0.75	2.769E-05
MODAL	Mode	13	0.7092	0.805	0.75	2.771E-05
MODAL	Mode	14	0.7016	0.805	0.769	3.469E-05
MODAL	Mode	15	0.6471	0.805	0.778	0.0000349
MODAL	Mode	16	0.6366	0.806	0.778	3.498E-05
MODAL	Mode	17	0.6145	0.812	0.778	3.505E-05
MODAL	Mode	18	0.6034	0.821	0.778	3.508E-05
MODAL	Mode	19	0.5610	0.821	0.782	0.0000352
MODAL	Mode	20	0.5177	0.821	0.782	3.521E-05
MODAL	Mode	21	0.5065	0.88	0.782	3.664E-05
MODAL	Mode	22	0.4965	0.88	0.791	3.666E-05
MODAL	Mode	23	0.4873	0.88	0.791	3.786E-05
MODAL	Mode	24	0.4823	0.88	0.791	4.292E-05
MODAL	Mode	25	0.4776	0.88	0.809	9.974E-05
MODAL	Mode	26	0.4662	0.889	0.809	9.981E-05
MODAL	Mode	27	0.4561	0.891	0.809	0.0001005
MODAL	Mode	28	0.4560	0.891	0.809	0.0002173
MODAL	Mode	29	0.4447	0.891	0.818	0.0002181
MODAL	Mode	30	0.4412	0.891	0.818	0.0002191

MODAL	Mode	31	0.4237	0.891	0.818	0.0002197
MODAL	Mode	32	0.4114	0.891	0.818	0.0002351
MODAL	Mode	33	0.4112	0.891	0.823	0.001131
MODAL	Mode	34	0.4095	0.891	0.823	0.001132
MODAL	Mode	35	0.4040	0.897	0.823	0.001132
MODAL	Mode	36	0.3989	0.901	0.823	0.001144
MODAL	Mode	37	0.3964	0.901	0.841	0.001462
MODAL	Mode	38	0.3830	0.902	0.841	0.001464
MODAL	Mode	39	0.3763	0.902	0.841	0.001681
MODAL	Mode	40	0.3760	0.902	0.841	0.298
MODAL	Mode	41	0.3707	0.902	0.841	0.298
MODAL	Mode	42	0.3681	0.902	0.841	0.298
MODAL	Mode	43	0.3673	0.902	0.841	0.299
MODAL	Mode	44	0.3638	0.902	0.857	0.299
MODAL	Mode	45	0.3635	0.902	0.857	0.299
MODAL	Mode	46	0.3594	0.902	0.862	0.357
MODAL	Mode	47	0.3537	0.902	0.862	0.357
MODAL	Mode	48	0.3496	0.902	0.862	0.357
MODAL	Mode	49	0.3463	0.902	0.864	0.403
MODAL	Mode	50	0.3448	0.902	0.865	0.434
MODAL	Mode	51	0.3427	0.902	0.866	0.487
MODAL	Mode	52	0.3308	0.902	0.867	0.495
MODAL	Mode	53	0.3294	0.902	0.871	0.498
MODAL	Mode	54	0.3232	0.906	0.871	0.498
MODAL	Mode	55	0.3213	0.908	0.871	0.498
MODAL	Mode	56	0.3167	0.908	0.871	0.498
MODAL	Mode	57	0.3143	0.908	0.871	0.498
MODAL	Mode	58	0.3126	0.908	0.871	0.498
MODAL	Mode	59	0.3113	0.908	0.871	0.498
MODAL	Mode	60	0.3113	0.908	0.888	0.499
MODAL	Mode	61	0.3005	0.908	0.904	0.5
MODAL	Mode	62	0.2992	0.908	0.904	0.5
MODAL	Mode	63	0.2902	0.908	0.904	0.5
MODAL	Mode	64	0.2853	0.908	0.906	0.501
MODAL	Mode	65	0.2841	0.91	0.906	0.501
MODAL	Mode	66	0.2700	0.91	0.906	0.502
MODAL	Mode	67	0.2700	0.91	0.906	0.507
MODAL	Mode	68	0.2697	0.913	0.906	0.507
MODAL	Mode	69	0.2691	0.913	0.906	0.507
MODAL	Mode	70	0.2691	0.913	0.906	0.507
MODAL	Mode	71	0.2665	0.913	0.906	0.507
MODAL	Mode	72	0.2650	0.913	0.906	0.507

Periode fundamental struktur terbesar yang didapat dari analisis SAP2000 = 2,948 dt, maka:

$$T_a < T_{a\,SAP} < C_u \times T_a$$

$$2{,}321\ dt < 2{,}948\ dt < 3{,}249\ dt \ldots \text{"}\boldsymbol{OK}\text{"}$$

4.3.5.2 Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Koefisien respons seismik, *Cs*, harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1.

$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_0}\right)}$; S_{DS} = 0,600 ; I_0 =1 ; R = 7

$$C_s = \frac{0{,}578}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0{,}0857$$

Nilai R yang dipakai yaitu R untuk sistem ganda dengan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus = 7. (SNI 1726:2012 Tabel 9)

Dan nilai Cs tidak lebih dari

$C_s = \frac{S_{D1}}{T.\left(\frac{R}{I_0}\right)}$; S_{D1} = 0,397 ; I_0 = 1 ; R = 7 ; T = 2.948 *dt*

$$C_s = \frac{0{,}397}{2{,}948\,.\left(\frac{7}{1}\right)} = 0{,}0192$$

Dan nilai Cs tidak kurang dari

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

$$C_s = 0{,}044 \times 0{,}600 \times 1$$

$$C_s = 0{,}0264$$

Maka nilai Cs diambil $\mathbf{0{,}0192}$

Untuk perhitungan gempa faktor reduksi beban hidup untuk bangunan apartemen sebesar 0,3, sehingga didapatkan berat seismic efektif bangunan (W) sebagai berikut

Tabel 4. 31 Berat Efektif Struktur

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	**CaseType**	**GlobalFX**	**GlobalFY**	**GlobalFZ**
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
Wt 1D + 0.3L	Combination	-1.725E-09	-0.000000066	52781780

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan di atas akan didistribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 1726:2012.

Cs = 0,0192

W = 52781780 Kg

$V = C_s \times W$

$V = 0{,}0192 \times 52781780\ Kg$

$V = 1015428\ Kg$

$0{,}85\ V = 863114\ Kg$

Kombinasi respons untuk geser dasar (Vt) harus melebihi 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen (SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1). Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000 didapatkan gaya geser dasar ragam (Vt) sebagai berikut :

Tabel 4. 32 Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	**CaseType**	**GlobalFX**	**GlobalFY**	**GlobalFZ**
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
GEMPA X	LinRespSpec	968621.67	341438.85	6166.83
GEMPA Y	LinRespSpec	252305.73	987981.51	17280.93

Vt Gempa X = 968621.67 Kg > 863114 Kg (OK!)
Vt Gempa Y = 987981.51 Kg > 863114 Kg (OK!)

4.3.5.3 Kontrol Dual System

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Berikut total reaksi perletakan SRPM dan shearwall

Tabel 4. 33 Reaksi Perletakan dan Persentase Gaya Geser yang Dipikul akibat Gempa Arah X dan Arah Y

TABLE: Joint Reactions					
OutputCase	**CaseType**	**F Shearwall**	**Vt**	**Prosentase (%)**	
Text	Text	Kgf	Kgf	Shearwall	SRPM
GEMPA X	LinRespSpec	676277.62	968621.67	69.818552	30.181448
GEMPA Y	LinRespSpec	670201.38	987981.51	67.835417	32.164583

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa persentase total dari SRPM memiliki nilai lebih **besar** dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur dual system.

4.3.5.4 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2012, Perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sekurang kurangnya adalah 90%.

Tabel 4. 34 Modal Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**SumUX**	**SumUY**
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.685254	0.675	2.453E-08
MODAL	Mode	2	2.139433	0.675	0.622
MODAL	Mode	3	2.012792	0.676	0.622
MODAL	Mode	4	0.998066	0.771	0.622

MODAL	Mode	5	0.88923	0.771	0.622
MODAL	Mode	6	0.756713	0.771	0.724
MODAL	Mode	7	0.665532	0.771	0.724
MODAL	Mode	8	0.633411	0.771	0.724
MODAL	Mode	9	0.592441	0.771	0.749
MODAL	Mode	10	0.576056	0.805	0.749
MODAL	Mode	11	0.555764	0.805	0.75
MODAL	Mode	12	0.506989	0.805	0.75
MODAL	Mode	13	0.498541	0.805	0.75
MODAL	Mode	14	0.485761	0.805	0.769
MODAL	Mode	15	0.454632	0.805	0.778
MODAL	Mode	16	0.433616	0.806	0.778
MODAL	Mode	17	0.388502	0.812	0.778
MODAL	Mode	18	0.383139	0.821	0.778
MODAL	Mode	19	0.373408	0.821	0.782
MODAL	Mode	20	0.369712	0.821	0.782
MODAL	Mode	21	0.359346	0.88	0.782
MODAL	Mode	22	0.354395	0.88	0.791
MODAL	Mode	23	0.350519	0.88	0.791
MODAL	Mode	24	0.319152	0.88	0.791
MODAL	Mode	25	0.30904	0.88	0.809
MODAL	Mode	26	0.308611	0.889	0.809
MODAL	Mode	27	0.304619	0.891	0.809
MODAL	Mode	28	0.30161	0.891	0.809
MODAL	Mode	29	0.295819	0.891	0.818
MODAL	Mode	30	0.29163	0.891	0.818
MODAL	Mode	31	0.283502	0.891	0.818
MODAL	Mode	32	0.281959	0.891	0.818
MODAL	Mode	33	0.2743	0.891	0.823
MODAL	Mode	34	0.26758	0.891	0.823
MODAL	Mode	35	0.250371	0.897	0.823
MODAL	Mode	36	0.24636	0.901	0.823
MODAL	Mode	37	0.24501	0.901	0.841
MODAL	Mode	38	0.240445	0.902	0.841

MODAL	Mode	39	0.238913	0.902	0.841
MODAL	Mode	40	0.234947	0.902	0.841
MODAL	Mode	41	0.231977	0.902	0.841
MODAL	Mode	42	0.229988	0.902	0.841
MODAL	Mode	43	0.226256	0.902	0.841
MODAL	Mode	44	0.220748	0.902	0.857
MODAL	Mode	45	0.220642	0.902	0.857
MODAL	Mode	46	0.218775	0.902	0.862
MODAL	Mode	47	0.218324	0.902	0.862
MODAL	Mode	48	0.218083	0.902	0.862
MODAL	Mode	49	0.216266	0.902	0.864
MODAL	Mode	50	0.216153	0.902	0.865
MODAL	Mode	51	0.215894	0.902	0.866
MODAL	Mode	52	0.215639	0.902	0.867
MODAL	Mode	53	0.21476	0.902	0.871
MODAL	Mode	54	0.211926	0.906	0.871
MODAL	Mode	55	0.208585	0.908	0.871
MODAL	Mode	56	0.206966	0.908	0.871
MODAL	Mode	57	0.201308	0.908	0.871
MODAL	Mode	58	0.200905	0.908	0.871
MODAL	Mode	59	0.197915	0.908	0.871
MODAL	Mode	60	0.197295	0.908	0.888
MODAL	Mode	61	0.196871	0.908	0.904
MODAL	Mode	62	0.196332	0.908	0.904
MODAL	Mode	63	0.19315	0.908	0.904
MODAL	Mode	64	0.188286	0.908	0.906
MODAL	Mode	65	0.186679	0.91	0.906
MODAL	Mode	66	0.186382	0.91	0.906
MODAL	Mode	67	0.18626	0.91	0.906
MODAL	Mode	68	0.185564	0.913	0.906
MODAL	Mode	69	0.183976	0.913	0.906
MODAL	Mode	70	0.183154	0.913	0.906
MODAL	Mode	71	0.182761	0.913	0.906
MODAL	Mode	72	0.182594	0.913	0.906

Dari tabel diatas didapatkan bahwa dalam penjumlahan respon ragam menghasilkan respon total telah mencapai 90% untuk arah X dan arah Y. maka ketentuan menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 terpenuhi.

4.3.5.5 Kontrol Drift

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

Nilai dari simpangan antar lantai ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan dinyatakan dengan perumusan seperti berikut ini:

Untuk kontrol drift pada SNI 03-1726-2012, dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta_X = \frac{C_d \; x \; \delta_{XE}}{I}$$

Dimana:

δx = defleksi pada lantai ke-x

Cd = faktor pembesarandefleksi (=5.5) (SNI tabel 9)

I = faktor keutamaan gedung (= 1)

Tabel 4. 35 Batas Simpangan Gedung

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]	$0{,}020\,h_{sx}$	$0{,}015\,h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata[d]	$0{,}010\,h_{sx}$	$0{,}010\,h_{sx}$	$0{,}010\,h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0{,}007\,h_{sx}$	$0{,}007\,h_{sx}$	$0{,}007\,h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0{,}020\,h_{sx}$	$0{,}015\,h_{sx}$	$0{,}010\,h_{sx}$

Gambar 4. 40 Elevasi Tiap Lantai untuk Menghitung Batas Simpangan Gedung

Simpangan yang terjadi didapat dari hasil program bantu SAP2000. Berdasarkan persyaratan besarnya kinerja layan yang terjadi pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.3, yaitu:

$$\Delta n = \frac{(\delta 2 - \delta 1)Cd}{I} < \Delta a$$

Berikut adalah hasil perhitungan simpangan tiap lantai pada gedung:

Tabel 4. 36 Simpangan Lantai Akibat Gempa Arah X

Lantai			Elevasi (m)			Tinggi Lantai (m)	Δ Ijin (mm)	Δ SAP (mm)	Δ Lantai (mm)	Pembesaran Δ (mm)	Ket
Basement	s/d	LG	-6.7	s/d	-3.5	3.2	64	0.014	0.014	0.077	OK
LG	s/d	Ground	-3.5	s/d	0	3.5	70	0.667	0.653	3.592	OK
Ground	s/d	2	0	s/d	4	4.0	80	4.098	3.431	18.871	OK
2	s/d	3	4	s/d	7.5	3.5	70	7.753	3.655	20.103	OK
3	s/d	4	7.5	s/d	12.5	5.0	100	12.940	5.187	28.529	OK
4	s/d	5	12.5	s/d	15.5	3.0	60	15.663	2.723	14.977	OK
5	s/d	6	15.5	s/d	18.5	3.0	60	18.187	2.524	13.882	OK
6	s/d	7	18.5	s/d	21.5	3.0	60	20.646	2.459	13.525	OK
7	s/d	8	21.5	s/d	24.5	3.0	60	23.062	2.416	13.288	OK
8	s/d	9	24.5	s/d	27.5	3.0	60	25.444	2.382	13.101	OK
9	s/d	10	27.5	s/d	30.7	3.2	64	28.000	2.556	14.058	OK
10	s/d	11	30.7	s/d	33.9	3.2	64	30.492	2.492	13.706	OK
11	s/d	12	33.9	s/d	36.9	3.0	60	32.946	2.454	13.497	OK
12	s/d	13	36.9	s/d	39.9	3.0	60	35.293	2.347	12.909	OK
13	s/d	14	39.9	s/d	42.9	3.0	60	37.538	2.245	12.348	OK
14	s/d	15	42.9	s/d	45.9	3.0	60	39.676	2.138	11.759	OK
15	s/d	16	45.9	s/d	48.9	3.0	60	41.705	2.029	11.160	OK
16	s/d	17	48.9	s/d	51.9	3.0	60	43.636	1.931	10.621	OK
17	s/d	18	51.9	s/d	54.9	3.0	60	46.564	2.928	16.104	OK
18	s/d	19	54.9	s/d	57.9	3.0	60	49.263	2.699	14.845	OK
19	s/d	20	57.9	s/d	60.9	3.0	60	51.672	2.409	13.250	OK
20	s/d	21	60.9	s/d	63.9	3.0	60	53.753	2.081	11.446	OK
21	s/d	22	63.9	s/d	66.9	3.0	60	55.481	1.728	9.504	OK
22	s/d	Crown	66.9	s/d	70.2	3.3	66	57.050	1.569	8.629	OK

Tabel 4. 37 Simpangan Lantai Akibat Gempa Arah Y

Lantai			Elevasi (m)			Tinggi Lantai (m)	Δ Ijin (mm)	Δ SAP (mm)	Δ Lantai (mm)	Pembesaran Δ (mm)	Ket
Basement	s/d	LG	-6.7	s/d	-3.5	3.2	64	0.473	0.473	2.602	OK
LG	s/d	Ground	-3.5	s/d	0	3.5	70	0.807	0.334	1.837	OK
Ground	s/d	2	0	s/d	4	4	80	2.862	2.055	11.303	OK
2	s/d	3	4	s/d	7.5	3.5	70	5.152	2.290	12.595	OK
3	s/d	4	7.5	s/d	12.5	5	100	8.501	3.349	18.420	OK
4	s/d	5	12.5	s/d	15.5	3	60	10.216	1.715	9.433	OK
5	s/d	6	15.5	s/d	18.5	3	60	11.796	1.580	8.690	OK
6	s/d	7	18.5	s/d	21.5	3	60	13.355	1.559	8.575	OK
7	s/d	8	21.5	s/d	24.5	3	60	14.911	1.556	8.558	OK
8	s/d	9	24.5	s/d	27.5	3	60	16.471	1.560	8.580	OK
9	s/d	10	27.5	s/d	30.7	3.2	64	18.183	1.712	9.416	OK
10	s/d	11	30.7	s/d	33.9	3.2	64	19.886	1.703	9.367	OK
11	s/d	12	33.9	s/d	36.9	3	60	21.637	1.751	9.631	OK
12	s/d	13	36.9	s/d	39.9	3	60	23.345	1.708	9.394	OK
13	s/d	14	39.9	s/d	42.9	3	60	25.006	1.661	9.135	OK
14	s/d	15	42.9	s/d	45.9	3	60	26.611	1.605	8.828	OK
15	s/d	16	45.9	s/d	48.9	3	60	28.140	1.529	8.409	OK
16	s/d	17	48.9	s/d	51.9	3	60	29.586	1.446	7.953	OK
17	s/d	18	51.9	s/d	54.9	3	60	32.303	2.717	14.944	OK
18	s/d	19	54.9	s/d	57.9	3	60	34.849	2.546	14.003	OK
19	s/d	20	57.9	s/d	60.9	3	60	37.168	2.319	12.755	OK
20	s/d	21	60.9	s/d	63.9	3	60	39.194	2.026	11.143	OK
21	s/d	22	63.9	s/d	66.9	3	60	40.828	1.634	8.987	OK
22	s/d	Crown	66.9	s/d	70.2	3.3	66	42.166	1.338	7.359	OK

4.4 Perencanaan Struktur Utama

4.4.1 Perencanaan Struktur Balok

Penulangan balok dihitung dalam 2 kondisi yaitu kondisi sebelum komposit dan setelah komposit. Dari kedua kondisi tersebut diambil perhitungan penulangan dengan jumlah kebutuhan terbesar (kritis) yang akan digunakan untuk kebutuhan penulangan balok induk.

4.4.1.1 Perhitungan Tulangan Balok Sesudah Komposit

Data Perencanaan

- Mutu beton (fc’) = 40 MPa
- Mutu baja (fy) = 420 MPa
- Mutu beton pengangkatan = 18,4 Mpa (3 hari)
- Mutu beton overtopping = 28 Mpa (7 hari)
- Diameter tulangan utama = 19 mm

- Diameter tulangan sengkang = 13 mm
- Clear cover = 40 mm
- Dimensi balok = 30/50 cm (Balok Induk)
  = 30/40 cm (Balok Anak L8)
  = 20/30 cm (Balok Anak)

Contoh Perhitungan: Balok BI L8 Potongan 0m

Gambar 4. 41 Balok Induk BI L6

d = h – cc – Ø – ½ d_b
d = 500 – 40 – 13 – ½ (19) = 437,5 mm
d'= 40 + 13 + ½ (19) = 62,5 mm

$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$

$\rho_{min} = \frac{0,25\times\sqrt{f'c}}{fy} = \frac{0,5\times\sqrt{40}}{420} = 0,00376$

Digunakan ρ_{min} terbesar antara 2 perhitungan ρ_{min} di atas,
ρ_{min} = 0,00376
ρ_{max} = 0,025 (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{fy}{0,85\times f'c} = \frac{420}{0,85\times 40} = 12,35$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05\frac{f'c-28}{7} = 0,764 \geq 0,65$$
$$\beta_1 = 0,764$$

Momen yang terjadi sesudah komposit

Potongan	Momen Envelope	
	Max	Min
(m)	(KNm)	(KNm)
0.000	-44.515	-204.224
0.577	-21.213	-144.879
1.154	-0.552	-91.793
1.731	16.084	-41.538
2.308	34.904	-8.762
2.885	56.790	12.400
3.462	78.838	28.594
4.038	91.654	33.312
4.615	81.831	25.201
5.192	68.758	12.122
5.769	57.102	-5.924
6.346	37.030	-28.848
6.923	22.569	-68.239
7.500	7.351	-113.772

4.4.1.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur

Tulangan Atas

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{204{,}2 \times 10^6}{0{,}9 \times 300 \times 437{,}5^2} = 3{,}952 \frac{N}{mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 3{,}954}{420}}\right) = 0{,}01$$

ρ_{perlu} = 0,01 > ρ_{min} = 0,00376 (dipakai ρ_{perlu})

sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}01 \times 300 \times 437{,}5 = 1316{,}47\ mm^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{As\ perlu}{As\ \phi 19} = \frac{1316{,}47}{283{,}53} = 4{,}64 \approx 5\ buah$$

As pasang = jumlah tulangan × A D_{19} = 5 × 283,53 mm^2
= 1417,65 mm^2 > As perlu … OK

∴ **Digunakan tulangan lentur 5D19**

Tulangan Bawah

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{7{,}4 \times 10^6}{0{,}9 \times 300 \times 437{,}5^2} = 0{,}142 \frac{N}{mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 0{,}142}{420}}\right) = 0{,}0003$$

ρ_{perlu} = 0,0003 < ρ_{min} = 0,00376 (dipakai ρ_{min})
sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0376 \times 300 \times 437{,}5 = 494{,}11\ mm^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}\,\phi 19} = \frac{494{,}11}{283{,}53} = 1{,}74 \approx 2 \text{ buah}$$

As pasang = jumlah tulangan × A D_{19} = 2 × 283,53 mm^2
= 567,06 mm^2 > As perlu … OK

∴ Digunakan tulangan lentur 2D19

Kontrol Tarik Tulangan

$$a = \frac{As \times f_y}{0{,}85 \times b \times f_c'} = \frac{1417{,}65 \times 420}{0{,}85 \times 300 \times 40} = 58{,}37 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{58{,}37}{0{,}764} = 76{,}4\ mm$$

$$\varepsilon t = \frac{d-c}{c} \times 0{,}003 = \frac{437{,}5-76{,}4}{76{,}4} \times 0{,}003 = 0{,}014 > 0{,}005$$

∴ Faktor Reduksi $\emptyset = 0{,}9$ "OK"

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{As}{b \times d} = \frac{1417{,}65}{300 \times 437{,}5} = 0{,}0108$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \times d} = \frac{567{,}06}{300 \times 437{,}5} = 0{,}0043$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0{,}85 \times fc' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0{,}0108 - 0{,}0043 \geq \frac{0{,}85 \times 40 \times 0{,}764 \times 62{,}5}{420 \times 437{,}5} \times \frac{600}{600 - 420}$$

$0{,}0065 \leq 0{,}0307$ (Tulangan tekan belum leleh)

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0{,}85 \times \beta_1 \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0{,}85 \times 0{,}764 \times 40}{0{,}0065 \times 420} \times \frac{62{,}5}{437{,}5} \right| \leq 420$$

$$f'_s = 215{,}57 < 420 \text{ MPa}$$

Maka diambil f's = 215,57 MPa (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{As \times fy - A'_s \times f'_s}{0{,}85 \times b \times f'c} = \frac{1417{,}65 \times 215{,}57 - 567{,}06 \times 215{,}57}{0{,}85 \times 300 \times 40} = 17.98\,\text{mm}$$

$$M_n = (As \times fy - A'_s \times f's) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A's \times f's \times (d - d')$$

$$= (1417{,}65 \times 420 - 567{,}06 \times 215{,}57) \times \left(437{,}5 - \frac{17{,}98}{2}\right) + 567{,}06 \times 215{,}57 \times 375$$

$$= 248599302 \text{ Nmm}$$

$ØM_n$ = 0,9 × 248599302 = 223739371 Nmm = 223 KNm

$ØM_n$ > Mu = 204,2 KNm … OK

Kontrol Balok T

Lebar efktif balok T beam

be_1	= ¼ × L	= ¼ × 750	= 187,5 cm
be_2	= 8 × tp	= 8 × 14	= 112 cm
be_3	= ½ × b	= ½ × 300	= 150 cm

Be = 112 cm = 1120 mm

$$a = \frac{As \times f_y}{0{,}85 \times b \times f_c'} = \frac{567{,}06 \times 420}{0{,}85 \times 1120 \times 40} = 6{,}25\,\text{mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{6{,}25}{0{,}764} = 8{,}19\ mm$$

c = 8,19 mm < tf = 140 mm … OK

Cek Balok T Palsu

T = As × fy
= 567,06 × 420
= 238165,2 N

C = 0,85 × f'c × b_e × h_f
= 0,85 × 40 × 1120 × 140 = 5331200 N

Karena C > T, maka balok dianggap sebagai balok T palsu, berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar be.

$$a = 6{,}25mm$$

$$\phi Mn = \phi \times \text{As} \times \text{fy} \times \left(\text{d} - \frac{\text{a}}{2} \right)$$

$$= 0{,}9 \times 567{,}06 \times 420 \times \left(437{,}5 - \frac{6{,}25}{2} \right)$$

$$= 93107707\,\text{Nmm} = 93{,}1\,\text{KNm}$$

$ØM_n$ > Mu = 7,4 KNm … OK

Panjang Penyaluran Tulangan

Sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.2, panjang penyaluran tulangan dengan diameter 19mm tidak boleh kurang dari:

$$\left(\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{2{,}1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

Dimana,

Fy = 420 Mpa

Ψt = 1

Ψe = 1 (tulangan tidak dilapisi seng)

λ = 1 (beton berat normal)

f'c = 40 Mpa

db = 19 mm

Maka, panjang penyaluran (ld)

ld $= \frac{420\ x\ 1\ x\ 1}{2{,}1\ x\ 1\ x\ \sqrt{40}}$ x 19

= 600 mm

∴ Digunakan panjang penyaluran tulangan 600 mm

4.4.1.1.3 Hasil Perhitungan Tulangan Lentur

Hasil dari penulangan Balok BI L8 setelah overtopping adalah sebagai berikut,

Potongan	Momen Envelope		Jumlah tulangan	
	Max	Min	Atas	Bawah
(m)	(KNm)	(KNm)	(buah)	(buah)
0.000	-44.515	-204.224	2	5
0.577	-21.213	-144.879	2	4
1.154	-0.552	-91.793	2	3
1.731	16.084	-41.538	2	2
2.308	34.904	-8.762	2	2
2.885	56.790	12.400	2	2
3.462	78.838	28.594	3	2
4.038	91.654	33.312	3	2
4.615	81.831	25.201	2	2
5.192	68.758	12.122	2	2
5.769	57.102	-5.924	2	2
6.346	37.030	-28.848	2	3
6.923	22.569	-68.239	2	4
7.500	7.351	-113.772	2	5

Tabel 4. 38 Perhitungan Tul. Lentur Balok sesudah Overtopping

Balok	Dimensi Tulangan		Mutu Tulangan		Dimensi Balok				
	Lentur	Geser	Lentur	Geser	B	H	Cover	d'	d
	(mm)	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BALOK BI L3	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
BALOK BI L4	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
BALOK BI L6	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
BALOK BI L8	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
	19	13	420	420	300	500	40	62.5	437.5
BALOK BA L4	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
BALOK BA L6	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
	19	13	420	420	200	300	40	62.5	237.5
BALOK BA L8	19	13	420	420	300	400	40	62.5	337.5
	19	13	420	420	300	400	40	62.5	337.5
	19	13	420	420	300	400	40	62.5	337.5
	19	13	420	420	300	400	40	62.5	337.5
	19	13	420	420	300	400	40	62.5	337.5

Tabel 4. 39 Perhitungan Tul. Lentur Balok sesudah Overtopping (Lanjutan)

Balok	Mutu Beton		Batas Ratio Tulangan		m	Potongan	Momen	
	fc'	β1	ρ min	ρ max		(m)	Positif	Negatif
	(Mpa)						(KNm)	(KNm)
BALOK BI L3	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	30.2	89.3
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.56	24.4	53.4
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.12	16.5	21.2
BALOK BI L4	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	8.8	165.4
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.55417	24.4	97.4
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.10833	75.9	33.4
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.6625	123.6	11.0
BALOK BI L6	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	30.0	140.1
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.56	39.0	96.8
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.12	48.9	48.9
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.68	63.5	8.1
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.24	78.3	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.8	92.8	1.0
BALOK BI L8	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	7.4	204.2
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.57692	22.6	144.9
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.15385	37.0	91.8
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.73077	57.1	41.5
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.30769	68.8	8.8
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.88462	81.8	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	3.46154	91.7	1.0
BALOK BA L4	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	1.0	15.2
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.41563	1.0	7.7
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.83125	2.5	1.8
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.24688	5.8	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.6625	6.8	1.0
BALOK BA L6	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	1.0	48.8
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.7	1.0	15.4
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.4	14.7	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.1	32.0	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.8	37.9	1.0
BALOK BA L8	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0	1.0	88.1
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	0.9375	2.3	19.6
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	1.875	48.2	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	2.8125	80.7	1.0
	40	0.764	0.00376	0.025	12.353	3.75	90.6	1.0

Tabel 4. 39 Perhitungan Tul. Lentur Balok sesudah Overtopping (Lanjutan)

Balok	Perhitungan Tulangan Lentur											
	Tulangan Positif (Bawah)						Tulangan Negatif (Atas)					
	Rn	ρ perlu	ρ pakai	As Butuh	Jumlah Tulangan		Rn	ρ perlu	ρ pakai	As Butuh	Jumlah Tulangan	
	Mpa			(mm2)	Butuh	Pakai	Mpa			(mm2)	Butuh	Pakai
BALOK BI L3	0.584	0.0014	0.0038	494.11	1.74	2	1.728	0.0042	0.0042	554.58	1.96	2
	0.472	0.0011	0.0038	494.11	1.74	2	1.033	0.0025	0.0038	494.11	1.74	2
	0.319	0.0008	0.0038	494.11	1.74	2	0.409	0.0010	0.0038	494.11	1.74	2
BALOK BI L4	0.170	0.0004	0.0038	494.11	1.74	2	3.201	0.0080	0.0080	1052.27	3.71	4
	0.472	0.0011	0.0038	494.11	1.74	2	1.885	0.0046	0.0046	606.52	2.14	3
	1.469	0.0036	0.0038	494.11	1.74	2	0.647	0.0016	0.0038	494.11	1.74	2
	2.392	0.0059	0.0059	775.71	2.74	3	0.213	0.0005	0.0038	494.11	1.74	2
BALOK BI L6	0.580	0.0014	0.0038	494.11	1.74	2	2.710	0.0067	0.0067	883.61	3.12	4
	0.755	0.0018	0.0038	494.11	1.74	2	1.873	0.0046	0.0046	602.41	2.12	3
	0.946	0.0023	0.0038	494.11	1.74	2	0.946	0.0023	0.0038	494.11	1.74	2
	1.230	0.0030	0.0038	494.11	1.74	2	0.157	0.0004	0.0038	494.11	1.74	2
	1.516	0.0037	0.0038	494.11	1.74	2	0.019	0.0000	0.0038	494.11	1.74	2
	1.796	0.0044	0.0044	576.81	2.03	3	0.019	0.0000	0.0038	494.11	1.74	2
BALOK BI L8	0.142	0.0003	0.0038	494.11	1.74	2	3.952	0.0100	0.0100	1316.47	4.64	5
	0.437	0.0010	0.0038	494.11	1.74	2	2.803	0.0070	0.0070	915.51	3.23	4
	0.717	0.0017	0.0038	494.11	1.74	2	1.776	0.0043	0.0043	570.41	2.01	3
	1.105	0.0027	0.0038	494.11	1.74	2	0.804	0.0019	0.0038	494.11	1.74	2
	1.330	0.0032	0.0038	494.11	1.74	2	0.170	0.0004	0.0038	494.11	1.74	2
	1.583	0.0039	0.0039	506.72	1.79	2	0.019	0.0000	0.0038	494.11	1.74	2
	1.774	0.0043	0.0043	569.77	2.01	3	0.019	0.0000	0.0038	494.11	1.74	2
BALOK BA L4	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2	1.498	0.0036	0.0038	178.82	0.63	2
	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2	0.763	0.0018	0.0038	178.82	0.63	2
	0.246	0.0006	0.0038	178.82	0.63	2	0.176	0.0004	0.0038	178.82	0.63	2
	0.568	0.0014	0.0038	178.82	0.63	2	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2
	0.671	0.0016	0.0038	178.82	0.63	2	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2
BALOK BA L6	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2	4.806	0.0124	0.0124	588.62	2.08	3
	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2	1.514	0.0037	0.0038	178.82	0.63	2
	1.445	0.0035	0.0038	178.82	0.63	2	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2
	3.157	0.0079	0.0079	375.31	1.32	2	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2
	3.735	0.0094	0.0094	448.61	1.58	2	0.098	0.0002	0.0038	178.82	0.63	2
BALOK BA L8	0.033	0.0001	0.0038	381.17	1.34	2	2.865	0.0071	0.0071	722.52	2.55	3
	0.074	0.0002	0.0038	381.17	1.34	2	0.638	0.0015	0.0038	381.17	1.34	2
	1.566	0.0038	0.0038	386.66	1.36	2	0.033	0.0001	0.0038	381.17	1.34	2
	2.622	0.0065	0.0065	658.66	2.32	3	0.033	0.0001	0.0038	381.17	1.34	2
	2.945	0.0073	0.0073	743.71	2.62	3	0.033	0.0001	0.0038	381.17	1.34	2

0.0	0.6	1.2	1.7	2.3	2.9	3.5	4.0	4.6	5.2	5.8	6.3	6.9	7.5
-44.5	-21.2	-0.6	16.1	34.9	56.8	78.8	91.7	81.8	68.8	57.1	37.0	22.6	7.4
-204.2	-144.9	-91.8	-41.5	-8.8	12.4	28.6	33.3	25.2	12.1	-5.9	-28.8	-68.2	-113.8

Gambar 4. 42 Penulangan Lentur Balok BI L8

0	0.56	1.12	1.68	2.24	2.8	2.8	3.36	3.92	4.48	5.04	5.6
29.96	39.00	48.91	63.54	78.33	92.75	82.81	69.88	60.58	44.44	35.51	25.59
-133.15	-81.24	-36.60	-6.63	19.32	40.79	40.73	18.57	-8.14	-48.87	-96.76	-140.05

Gambar 4. 43 Penulangan Lentur Balok BI L6

Gambar 4. 44 Penulangan Balok Lentur BI L4

Gambar 4. 45 Penulangan Balok Lentur BI L3

0	0.9375	1.875	2.8125	3.75	4.6875	5.625	6.5625	7.5
-31.14	2.27	48.16	80.65	90.57	77.93	42.72	-0.63	-35.45
-77.23	-11.12	20.77	38.96	44.61	36.26	16.67	-19.63	-88.11

Gambar 4. 46 Penulangan Lentur Balok BA L8

0	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6
-19.22	-3.47	14.67	32.05	37.92	32.05	14.67	-3.47	-19.22
-48.80	-15.37	4.83	14.38	18.14	14.38	4.83	-15.37	-48.80

Gambar 4. 47 Penulangan Balok Lentur BA L6

0	0.41563	0.83125	1.24688	1.6625	2.07813	2.49375	2.90938	3.325
-4.58	-1.19	2.38	5.66	6.82	5.77	2.49	-0.61	-4.22
-11.32	-4.09	0.38	1.86	1.95	0.72	-1.79	-7.75	-15.21

Gambar 4. 48 Penulangan Balok Lentur BA L4

4.4.1.1.4 Penulangan Geser Balok

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 bab 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$\Phi Vn = Vu \quad \text{(SNI 2847:2013 Pasal 11.1)}$$

Dengan Vu merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan Vn merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari :

$$Vn = Vc + Vs$$

Dimana :

Vu = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau
Φ = Faktor reduksi geser (0,9)
Vn = Kuat Geser nominal
Vc = Kuat geser beton
Vs = Kuat Geser nominal tulangan geser

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 5.6 meter.
Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok:

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm (Vact)$$

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.

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 :

$$Mpr = As \times 1{,}25 \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{As \times 1{,}25 \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b}$$

Tabel 4. 39 Perhitungan Mpr Balok

LOKASI			n	As (mm^2)	a (mm)	Mpr (kNm)
Tumpuan	Kiri	Atas	5	1417,64	72,97	298,46
		Bawah	2	567,06	29,19	125,9
	Kanan	Atas	5	1417,64	72,97	298,46
		Bawah	2	567,06	29,19	125,9

Mpr_1 = 298,46 kNm
Mpr_2 = 125,9 kNm
l_n = 7,5 m
Vact = 266,84 kN (Didapat dari program bantu SAP2000)

$$V_u = \frac{298{,}46 + 125{,}9}{7{,}5} + 266{,}84$$

$$V_u = 323{,}42 \text{ kN}$$

Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap Vc = 0, apabila:

- Mpr > 0,5 × Total geser kombinasi gempa dan gravitasi

$$\frac{298{,}46 + 125{,}9}{7{,}5} > 0{,}5 \times 266{,}84$$

$$56{,}58\ kN > 132{,}14\ kN \ldots \text{ NOT OK}$$

- Gaya Aksial Tekan < 0,2 × Ag × *fc*'
  Karena Gaya aksial terlalu kecil, maka memenuhi

Karena syarat pertama tidak terpenuhi, maka Vc tidak dianggap 0

Vc $= 0{,}75\ x \frac{1}{6}\ x \sqrt{fc'}\ x\ b\ x\ d$

$= 0{,}75\ x \frac{1}{6}\ x \sqrt{40}\ x\ 300\ x\ 437{,}5$ = 169972 N = 103,76 KN

$$Vs = \frac{Vu - Vc}{\phi} = \frac{323{,}42\text{-}103{,}76}{0{,}9} = 244{,}06\,\text{kN}$$

Direncanakan tulangan geser 2ϕ13 mm (A_v = 265,46 mm^2)

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265{,}46 \times 420 \times 437{,}5}{244060} = 199{,}86\,\text{mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 bahwa syarat jarak antar sengkang untuk sendi plastis tidak boleh melebihi :

- 6 D = 6 × 19 = 114 mm
- 150 mm

Maka, Smax = 114 mm

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang = 100 mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh sebagai berikut :

$$Vs = \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{265{,}46 \times 420 \times 437{,}5}{100} = 487783\,\text{N} = 487{,}78\,\text{kN}$$

$$\phi Vs = 0{,}9 \times 487{,}78 = 439\,\text{kN}$$

Sengkang yang dipasang 2D13 mm sejarak 100 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{max} sepanjang sendi plastis di ujung balok
  2h = 2×600= 1200 mm
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

Kontrol kuat geser balok induk interior tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9

$$Vs_{max} = \frac{2}{3} \times bw \times d \times \sqrt{f'c} = \frac{2}{3} \times 300 \times 437{,}5 \times \sqrt{40}$$
$$= 547864\,\text{N} = 547{,}86\,\text{kN}$$

547,86 kN > 487,78 kN

Sehingga sengkang 2D13 – 100 dapat digunakan

Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1000 mm dari ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur.

Vu = 266,84 kN

$$Vs = \frac{Vu}{\phi}$$

$$Vs = \frac{266{,}84}{0{,}9}$$

$$Vs = 296{,}49\,\text{kN}$$

Direncanakan tulangan geser 2ϕ13 mm (A_v = 265,46 mm^2)

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265{,}46 \times 420 \times 437{,}5}{296490} = 164{,}52\,\text{mm}$$

Syarat pemasangan begel di luar sendi plastis bedasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4 :

$$\text{Smaks} = \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 437{,}5 = 218{,}75\,mm$$

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang = 150 mm.

$$Vs = \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{265{,}46 \times 420 \times 437{,}5}{150} = 325188\,\text{N} = 325{,}18\,\text{kN}$$
$$\phi Vs = 0{,}9 \times 325{,}18 = 292{,}67\,\text{kN}$$

Tabel 4. 40 Perhitungan Tul. Geser Balok Sesudah Overtopping

No	Balok	Tulangan Atas			Tulangan Bawah			Mpr	
		Jumlah	As	a	Jumlah	As	a	Mpr1	Mpr2
		buah	mm2	mm	buah	mm2	mm	KNm	KNm
1	BI L3	2	567.06	29.19	2	567.06	29.19	125.90	125.90
2	BI L4	4	1134.11	58.37	2	567.06	29.19	243.11	125.90
3	BI L6	4	1134.11	58.37	3	850.59	43.78	243.11	185.59
4	BI L8	5	1417.64	72.97	2	567.06	29.19	298.46	125.90
5	BA L4	2	567.06	43.78	2	567.06	43.78	64.19	64.19
6	BA L6	3	850.59	65.67	2	567.06	43.78	91.39	64.19
7	BA L8	3	850.59	43.78	2	567.06	29.19	140.94	96.13

Tabel 4. 40 Perhitungan Tul. Geser Balok Sesudah Overtopping (Lanjutan)

Balok	Sendi Plastis									
	Panjang Balok	V	Vu	Mpr > 0,5V	Vc	Vs	Jumlah Kaki	S perlu	S maks	S Pakai
	m	KN	KN		KN	KN	buah	mm	mm	mm
BI L3	2.8	122.74	212.67	YA	0	236.30	2	206.43	114	100
BI L4	3.325	106.29	217.28	YA	0	241.42	2	202.05	114	100
BI L6	5.6	127.99	204.55	YA	0	227.27	2	214.63	114	100
BI L8	7.5	266.84	323.42	TIDAK	103.7622	244.06	2	199.86	114	100
BA L4	3.325	19.40	58.01	YA	0	64.45	2	410.83	114	100
BA L6	5.6	51.60	79.38	YA	0	88.20	2	300.22	114	100
BA L8	7.5	104.81	136.42	TIDAK	29.64635	118.64	2	317.18	114	100

Tabel 4. 40 Perhitungan Tul. Geser Balok Sesudah Overtopping (Lanjutan)

No	Balok	Diluar Sendi Plastis				
		Vu	Vs	Jumlah Kaki	S perlu	S Pakai
		KN	KN	buah	mm	mm
1	BI L3	122.74	136.38	2	357.68	200
2	BI L4	106.29	118.11	2	413.01	200
3	BI L6	127.99	142.21	2	343.00	200
4	BI L8	266.84	296.49	2	164.52	150
5	BA L4	19.40	21.56	2	1228.46	200
6	BA L6	51.60	57.33	2	461.86	200
7	BA L8	104.81	116.46	2	323.11	200

Gambar 4. 49 Penulangan Geser Balok Induk

Gambar 4. 50 Penulangan Geser Balok Anak

4.4.1.1.5 Penulangan Torsi

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut:

$\Phi Tn = Tu$ (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.5)

Tulangan sengkang untk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{s} \cot\theta$$

Dimana :

T_n = Kuat momen torsi ($Tc+Ts>Tu_{min}$)
T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser
T_c = Kuat torsi nominal yang disumbngkan oleh beton
A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm
A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan punter

dalam daerah sejarak s, mm^2

F_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor Tu kurang dari :

$$\phi 0{,}33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A^2{}_{cp}}{P_{cp}}\right)$$

Dimana:

Ø = Faktor reduksi kekuatan

Fc' = Kuat tekan beton, Mpa

Acp = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampan, mm^2

Pcp = Keliling luar penampang beton, mm^2

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:

$$Tu < \phi 0{,}33\sqrt{f'c}(\frac{Acp^2}{Pcp})$$

16500000 Nmm$< 0{,}75 \times 0{,}33 \times \sqrt{40}\left(\frac{(300\ x\ 500)^2}{2\ x\ (300+500)}\right)$

16500000 Nmm< 22234765 Nmm

Maka Tu yang digunakan adalah 16500000 Nmm

Torsi boleh diabaikan bila Tu lebih kecil dari:

$$\phi 0{,}083\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{pcp}\right)$$

$0{,}75 \times 0{,}083 \times \sqrt{40}\left(\frac{(300\ x\ 500)^2}{2\ x\ (300+500)}\right)$ = 5558691 Nmm

Dengan demikian tulangan torsi dibutuhkan.

Dimensi penampang harus sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A_{oh}^{\ 2}}\right)^2} \le \phi\left(0{,}83\sqrt{f'_c}\right)$$

Ph $= 2 \times (H + B - (2 \ \times (2 \times (Cover + Dsengkang))))$

$= 2 \times (500 + 300 - (2 \times (2 \times (40 + 13))))$

$= 1176$ mm

Aoh $= (H - (2(Cover + Dsengkang))) \times (B - (2(Cover + Dsengkang)))$

$= (500 - 2 \times (40 + 13)) \times (300 - 2 \times (40 + 13))$

$= 76436$ mm^2

$$\sqrt{\left(\frac{264280}{300 \times 437{,}5}\right)^2 + \left(\frac{16500000 \times 1176}{1{,}7 \times 76436^2}\right)^2} \le 0{,}75(0{,}83\sqrt{40})$$

$2{,}805 \le 3{,}953$ (OK)

Desain penampang harus berdasarkan pada

$$\phi T_n \ge T_u$$

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot\theta$$

Di mana :

A_o $= 0{,}85\ A_{oh}$

$= 0{,}85\ (76436)$

$= 64970{,}6$ mm^2

θ $= 45^o$ (struktur non-prategang)

maka,

$\frac{At}{s}$ $= \frac{\frac{Tu}{\phi}}{2Ao.fyt.\cot(45)} = \frac{16500000/0{,}75}{2 \times 64970{,}6 \times 420 \times 1}$

$= 0{,}403$ mm^2/mm

$\frac{At}{s} min$ $= 0{,}175 \times \frac{bw}{fyt} = 0{,}175 \times \frac{300}{420}$

$= 0{,}125$ mm2/m

- **Luas Minimum Tulangan Torsi**

$Av + 2At \quad \geq 0{,}062 \times \sqrt{f'c} \times bw \times \frac{s}{fyt}$

$\frac{Av}{s} + \frac{2At}{s} \quad \geq 0{,}062 \times \sqrt{f'c} \times \frac{bw}{fyt}$

Di sendi plastis

$\frac{Av}{s} \quad = \frac{Vs}{fy \times d} = \frac{487780}{420 \times 437{,}5}$

$= 2{,}65$ mm^2/mm

$(\frac{Av}{s} + 2 \times \frac{At}{s}) \quad = 2{,}65 + 0{,}8 = 3{,}45$ mm^2/mm

$0{,}062 \times \sqrt{40} \times \frac{300}{420} = 0{,}28$ mm^2/mm (OK)

Di luar sendi plastis

$\frac{Av}{s} \quad = \frac{Vs}{fy \times d} = \frac{296490}{420 \times 437{,}5}$

$= 1{,}61$ mm^2/mm

$(\frac{Av}{s} + 2 \times \frac{At}{s}) \quad = 1{,}61 + 0{,}8 = 2{,}41$ mm^2/mm

$0{,}062 \times \sqrt{40} \times \frac{300}{420} = 0{,}28$ mm^2/mm (OK)

Tulangan Longitudinal Torsi

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7 luas tulangan torsi longitudinal dihitung dengan:

$$Al = \left(\frac{At}{s}\right) \times Ph \times \left(\frac{fyt}{fy}\right) cot^2(\theta)$$

$= 0{,}403 \times 1176 \times \left(\frac{420}{420}\right) \times 1$

$= 474{,}06$ mm^2

AD19 $= 283{,}53$ mm^2

n $= \frac{474{,}96}{283{,}53} = 1{,}67 \approx$ pakai tulangan lentur

Dipasang 2D19 (A_l = 567,06 mm^2). Kontrol luas tulangan longitudinal total minimum menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3:

$$Almin = \frac{0{,}42\sqrt{f'c} \times Acp}{fy} - \left(\frac{At}{s}\right) Ph \times \frac{fyt}{fy}$$

$$567{,}06 \geq \frac{0{,}42\sqrt{40} \times 150000}{420} - 0403 \times 1176 \times \frac{420}{420}$$

567,06 ≥ 474,62 mm^2 (OK)

Maka dipakai tulangan torsi longitudinal 2D19

Tabel 4. 41 Perhitungan Tulangan Torsi Balok Sesudah Overtopping

Balok	Tu	$0{,}33\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$	Tu reduksi	$0{,}083\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{pcp}\right)$	Ket.
	KNm	KNm	KNm	KNm	
BI L3	15.76	22.23	15.76	5.56	dibutuhkan
BI L4	12.30	22.23	12.30	5.56	dibutuhkan
BI L6	8.21	22.23	8.21	5.56	dibutuhkan
BI L8	16.50	22.23	16.50	5.5586912	dibutuhkan
BA L4	0.30	5.69	0.30	1.42	diabaikan
BA L6	0.10	5.69	0.10	1.42	diabaikan
BA L8	0.53	16.26	0.53	4.07	diabaikan

Tabel 4. 41 Perhitungan Tulangan Torsi Balok Sesudah Overtopping (Lanjutan)

Balok	Ph	Aoh	At/s	At/s min	At/s pakai
	mm	mm2	mm2/m	mm2/m	mm2/m
BI L3	1176	76436	0.385	0.125	0.385
BI L4	1176	76436	0.301	0.125	0.301
BI L6	1176	76436	0.201	0.125	0.201
BI L8	1176	76436	0.403	0.125	0.403
BA L4	576	18236	0.031	0.083	0.083
BA L6	576	18236	0.010	0.083	0.083
BA L8	976	57036	0.017	0.125	0.125

Tabel 4. 42 Perhitungan Tulangan Torsi Balok Sesudah Overtopping (Lanjutan)

Balok	Av/s	Luas Tul. Torsi	Luas Minimum Tul. Torsi	Ket	Al	n	Ket
	mm2/m	mm2/m	mm2/m		mm2	buah	
BI L3	0.742	1.512	0.280087	OK	452.80	1.60	Tul. Lentur
BI L4	0.643	1.244	0.280087	OK	353.47	1.25	Tul. Lentur
BI L6	0.774	1.175	0.280087	OK	235.88	0.83	Tul. Lentur
BI L8	1.614	2.420	0.280087	OK	474.06	1.67	Tul. Lentur
BA L4	0.216	0.383	0.186725	OK	48.00	0.17	Tul. Lentur
BA L6	0.575	0.741	0.186725	OK	48.00	0.17	Tul. Lentur
BA L8	0.822	1.072	0.280087	OK	122.00	0.43	Tul. Lentur

4.4.1.1.6 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}

4.4.1.1.7 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 $\boldsymbol{M_{cr}}$ harus diperoleh menggunakan modulus hancur, $\boldsymbol{f_r}$, 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 (λ = 1,0 untuk beton berat normal)

$fr = 0{,}62 \times 1 \times \sqrt{40} = 3{,}92$ MPa

$Ig = \left(\frac{1}{12}\right) \times 300 \times 500^3 = 3125000000$ mm^4

$Mcr = \frac{3{,}92 \times 3125000000}{300} = 40833333{,}3$ Nmm

$\phi Mn = 0{,}9 \times 93100000 = 83790000$ Nmm

$\phi Mn \geq Mcr$ (OK)

4.4.1.2 Perhitungan Tulangan Sebelum Overtopping

4.4.1.2.1 Pembebanan pada Balok

Perhitungan Pembebanan pada Balok

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok menggunakan konsep menggunakan konsep tributari area. Berikut ini merupakan beban merata (q) yang terjadi pada balok:

Gambar 4. 51 Konfigurasi Pemasangan Balok

1. Balok Induk L8

Lx = (3,325+2,8) ÷ 2 = 3,063 m

Ly = 7500 mm = 7,5 m

- Beban Mati

q pelat = 0,14 × 2400 = 336 kg/m^2

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

$= \frac{336}{2} \times \left(\frac{3,063}{7,5^2}\right) \times \left(7,5^2 - \frac{3,063^2}{3}\right)$

= 485,97 kg/m

qu pelat = 485,97 x 1,4 = 680,36 kg/m

Reaksi perletakkan = 680,36 x 7,5 x 0,5 = 2551,4 kg

- Beban Balok Sendiri

q balok = 0,36 x 0,3 x 2400 = 259,2 kg/m

qu balok = 259,2 x 1,4 = 362,8 kg/m

Reaksi perletakkan = 362,8 x 7,5 x 0,5 = 1360,8 kg

qu total = 680,36 + 362,8 = 1042,96 kg/m

R total = 2551,4 + 1360,8 = 3912,17 kg

Mu = 3912,17 x 3,75 – 0,5 x 1042,96 x 3,75^2

= 7335,31 kgm = 71,89 kNm

Gambar 4. 52 Pembebanan BA L8 Sebelum Overtopping

Tabel 4. 42 Perhitungan Beban Balok Sebelum Overtopping

Balok	Akibat Berat Sendiri						Akibat Balok Menumpu			
	Dimensi Sebelum Overtopping			Berat	Reaksi	Momen	balok	Jumlah balok	Reaksi	Momen
	Panjang L	Lebar B	Tinggi H	Sendiri	Tumpuan	Maks	yang	yang menumpu	Tumpuan	Maks
	(m)	(m)	(m)	(kg/m')	(kg)	(kgm)	menumpu	(buah)	(kg)	(kgm)
BA L4	3.325	0.2	0.16	107.52	178.75	148.59	tidak ada	0	0.00	0.00
BA L6	5.6	0.2	0.16	107.52	301.06	421.48	tidak ada	0	0.00	0.00
BA L8	7.5	0.3	0.26	262.08	982.80	1842.75	tidak ada	0	0.00	0.00
BI L3	2.8	0.3	0.36	362.88	508.03	355.62	tidak ada	0	0.00	0.00
BI L4	3.325	0.3	0.36	362.88	603.29	501.48	tidak ada	0	0.00	0.00
BI L6	5.6	0.3	0.36	362.88	1016.06	1422.49	BA L8	1	982.80	2751.84
BI L8	7.5	0.3	0.36	362.88	1360.80	2551.50	tidak ada	0	0.00	0.00

Tabel 4. 42 Perhitungan Beban Balok Sebelum Overtopping (Lanjutan)

Balok	Akibat Pelat							Total			
	Dimensi Pelat yang Menumpu			Berat	Beban Pelat	Reaksi	Momen	Reaksi	Momen	Reaksi	Momen
	Sisi 1	Sisi 2	Tebal	Pelat	Ekivalen q	Tumpuan	Maks	Tumpuan	Maks	Tumpuan	Maks
	(m)	(m)	(m)	(Kg/m2)	(Kg/m')	(kg)	(kgm)	(kg)	(kgm)	(kN)	(kNm)
BA L4	3.325	1.6625	0.14	336	358.44	595.90	495.34	774.65	643.93	7.59	6.31
BA L6	5.6	2.8	0.14	336	603.68	1690.30	2366.43	1991.36	2787.90	19.52	27.32
BA L8	7.5	2.8	0.14	336	627.96	2354.86	4415.37	3337.66	6258.12	32.71	61.33
BI L3	2.8	7.5	0.14	336	439.04	614.66	430.26	1122.69	785.88	11.00	7.70
BI L4	3.325	7.5	0.14	336	521.36	866.76	720.50	1470.05	1221.98	14.41	11.98
BI L6	5.6	7.5	0.14	336	878.08	2458.62	3442.07	4457.49	7616.40	43.68	74.64
BI L8	7.5	3.063	0.14	336	680.36	2551.37	4783.81	3912.17	7335.31	38.34	71.89

4.4.1.2.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Data Perencanaan

- Mutu beton (fc') = 28 MPa
- Mutu baja (fy) = 420 MPa
- Diameter tulangan utama = 19 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm
- Clear cover = 40 mm
- Dimensi balok = 30/36 cm (Balok Induk)
  = 30/26 cm (Balok Anak L8)
  = 20/16 cm (Balok Anak)

Contoh Perhitungan: Balok BI L6

$d = h – cc – Ø – ½ d_b$

$d = 360 – 40 – 13 – ½ (19) = 297,5$ mm

$d' = 40 + 13 + ½ (19) = 62,5$ mm

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$\rho_{min} = \frac{0,25\times\sqrt{f'c}}{fy} = \frac{0,25\times\sqrt{28}}{420} = 0,0032$

Digunakan ρ_{min} terbesar antara 2 perhitungan ρ_{min} di atas,
ρ_{min} = 0,00333
ρ_{max} = 0,025 (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{fy}{0,85\times f'c} = \frac{420}{0,85\times 28} = 17,65$$

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

Momen yang terjadi sesudah komposit
Momen tumpuan
atas = 0 KNm
bawah = 0 KNm

Momen lapangan
atas = 0 KNm
bawah = 71,9 KNm

4.4.1.2.3 Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan
Tulangan Positif (Bawah)

$$Rn = \frac{Mu}{\phi\times b\times d^2} = \frac{71,9\times 10^6}{0,9\times 300\times 397,5^2} = 3,008\frac{N}{mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\times m\times Rn}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{12,35}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\times 12,35\times 3,008}{420}}\right) = 0,0077$$

ρ_{perlu} = 0,0077 < ρ_{min} = 0,0033 (dipakai ρ_{perlu})
sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :
$As_{perlu} = \rho\times b\times d$
As perlu = 0,0077 x 300 x 297,5 = 685,731

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}\,\phi 19} = \frac{685.731}{283{,}53} = 2{,}42 \approx 3\,\text{buah}$$

As pasang = jumlah tulangan × A D_{19} = 3 × 283,53 mm^2
= 850,59 mm^2 > As perlu … OK

∴ **Digunakan tulangan lentur 3D19**

Tabel 4. 43 Perhitungan Tulangan Balok Sebelum Overtopping

No.	Balok	Dimensi dan Mutu		Dimensi Balok					Mutu Beton		Gaya Dalam	
											Lapangan	
		Lentur	Lentur	B	H	Cover	d'	d	fc'	β1	Mu+	Mu-
		(mm)	(Mpa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Mpa)		(KNm)	(KNm)
1	BA L4	19	420	200	160	40	62.5	97.5	28	0.85	6.31	0.0
2	BA L6	19	420	200	160	40	62.5	97.5	28	0.85	27.32	0.0
3	BA L8	19	420	300	360	40	62.5	297.5	28	0.85	61.33	0.0
4	BI L3	19	420	300	360	40	62.5	297.5	28	0.85	7.70	0.0
5	BI L4	19	420	300	360	40	62.5	297.5	28	0.85	11.98	0.0
6	BI L6	19	420	300	360	40	62.5	297.5	28	0.85	74.64	0.0
7	BI L8	19	420	300	360	40	62.5	297.5	28	0.85	71.89	0.0

Tabel 4. 43 Perhitungan Tulangan Balok Sebelum Overtopping (Lanjutan)

No	Balok	Batas Ratio Tulangan		m	Tulangan Positif (Bawah)					
		ρ min	ρ max		Rn	ρ perlu	ρ pakai	As Butuh	Jumlah Tulangan	
					Mpa			(mm2)	Butuh	Pakai
1	BA L4	0.00333	0.025	17.6471	3.688	0.009592706	0.0096	187.058	0.66	2
2	BA L6	0.00333	0.025	17.6471	15.97	0.033127524	0.0250	487.5	1.72	2
3	BA L8	0.00333	0.025	17.6471	2.566	0.006481232	0.0065	578.45	2.04	3
4	BI L3	0.00333	0.025	17.6471	0.322	0.000772622	0.0033	297.5	1.05	3
5	BI L4	0.00333	0.025	17.6471	0.501	0.001206004	0.0033	297.5	1.05	3
6	BI L6	0.00333	0.025	17.6471	3.123	0.008001811	0.0080	714.162	2.52	3
7	BI L8	0.00333	0.025	17.6471	3.008	0.007683262	0.0077	685.731	2.42	3

Tulangan Negatif (Atas)

Karena tumpuan berupa sendi, maka balok tidak memiliki momen negative, sehingga dipasang tulangan praktis 2D19

∴ **Digunakan tulangan lentur 2D19**

Gambar 4. 53 Penulangan Balok Induk sebelum komposit

Gambar 4. 54 Penulangan Balok Anak sebelum komposit

4.4.1.3 Pengangkatan Balok

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. 55 Momen saat pengangkatan BI L6

Kondisi Pengangkatan Sebelum Overtopping

b = 30 cm
h = 36 cm
L = 750 cm

Dimana :

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

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

Perhitungan :

$$\mathrm{Yt} = \mathrm{Yb} = \frac{(50 - 14)}{2} = 18\,\mathrm{cm}$$

$$\mathrm{I} = \frac{1}{12} \times 30 \times 36^3 = 116640\,\mathrm{cm}^4$$

Yc = Yt + 5 = 23 cm

$$X = \frac{1 + \dfrac{4 \times 23}{750 \times tg45^0}}{2\left(1 + \sqrt{1 + \dfrac{18}{18}\left(1 + \dfrac{4 \times 23}{750 \times tg45}\right)}\right)} = 0{,}242$$

$$X \times L = 0{,}242 \times 750 = 181{,}5\,\mathrm{cm} = 1{,}815\,\mathrm{m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 7{,}5 - 2 \times 1{,}815 = 3{,}87\,\mathrm{m}$$

- **Pembebanan**

  Balok (0,3$\times$0,36$\times$7,5 $\times$2400) = 1944 kg

$$T\sin\phi = P = \frac{1{,}2 \times k \times W}{2}$$

$$= \frac{1{,}2 \times 1{,}2 \times 1944}{2}$$

$$= 1399{,}68 \text{ kg}$$

$$T = \frac{1399{,}68}{\sin 45^0} = 1979{,}44 \text{ kg}$$

- **Tulangan Angkat Balok Induk**

  Pu = 1979,44 kg

  Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu fy = 420 Mpa adalah fy/1,5

  $\sigma_{\text{tarik ijin}}$ = 4200/1,5 = 2800 kg/cm^2

$$Ø_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{4xPu}{\sigma_{ijin}\ x\ \pi}}$$

$$Ø_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{4x1979{,}44}{2800 \times \pi}}$$

$$Ø_{\text{tulangan angkat}} \geq 1{,}24 \text{ cm}$$

  Digunakan Tulangan D13 mm

- **Momen yang Terjadi**
  - Pembebanan

    Balok (0,3 $\times$0,36$\times$2400) = 259,2 kg/m = 2,592 KN/m

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

- Momen lapangan

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

$$+\mathrm{M} = \left(\frac{2{,}592 \times 7{,}5^2}{8}\left(1 - 4 \times 0{,}242 + \frac{4 \times 0{,}23}{7{,}5\ x\ tg45}\right)\right)$$

= 5,63 Knm

➢ **Tegangan yang terjadi**

$$\mathrm{f} = \frac{M}{Wt} = \frac{5{,}63}{\frac{1}{6} \times 0{,}3 \times 0{,}36^2}$$

f = 399,13 KN/m^2

f = 0,399 Mpa ≤ f'r = $0{,}7\sqrt{fc'}$ = 3,003 MPa … OK

- Momen tumpuan

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

$$-\mathrm{M} = \left(\frac{2{,}592 \times 0{,}242^2 \times 7{,}5^2}{2}\right) \times 1{,}2 = 8{,}73\mathrm{KNm}$$

$$\mathrm{f} = \frac{M}{Wt} = \frac{8{,}73}{\frac{1}{6} \times 0{,}3 \times 0{,}36^2}$$

f = 618,74 KN/m^2

f = 0,619 Mpa ≤ f'r = $0{,}7\sqrt{fc'}$ = 3,003 MPa … OK

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai f'r_{ijin} usia beton 3

hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

* **Pemilihan Profil Tulangan Angkat**

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkan beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.

(1) (2)

Gambar 4. 56 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL

Gambar 4. 57 *JENKA Lifter*

4.4.1.4 Rekap Penulangan Balok

BALOK	BALOK BIL8			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN C	POTONGAN D
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	5 D19	4 D19	3 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 200

BALOK	BALOK BI L6			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN C	POTONGAN D
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	4 D19	3 D19	3 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 200

BALOK	BALOK BI L4			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN A	POTONGAN B
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	4 D19	3 D19	3 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 200

BALOK	BALOK BI L4			
	POTONGAN A	POTONGAN B		
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm		
DECKING	40 mm	40 mm		
TUL. ATAS	2 D19	2 D19		
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19		
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19		
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 200		

BALOK	BALOK BA L8			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN C	
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 400 mm	300 mm x 400 mm	300 mm x 400 mm	
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	
TUL. ATAS	3 D19	2 D19	2 D19	
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	

BALOK	BALOK BA L6		BALOK BA L4	
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN A	POTONGAN B
SKETSA				
PENAMPANG	200 mm x 300 mm	200 mm x 300 mm	200 mm x 300 mm	200 mm x 300 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	3 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 100	2 D13 - 200

Gambar 4. 58 Rekapitulasi Penulangan Balok

4.4.2 Perencanaan Struktur Kolom

Contoh Perhitungan menggunakan kolom dengan dimensi paling besar (K4 80/80). Berdasarkan hasil perhitungan SAP2000 diexport beban aksial dan momen dari semua kombinasi beban yang bekerja pada kolom 80/80cm, yaitu :

Pu_{max} : 8120,61 KN
Vu_{max} : 79,41 KN
Mu_{max} : 163,19 KNm
Tu_{max} : 13,42 KNm

Gambar 4. 59 Kolom yang ditinjau

Tabel 4. 44 Data Perencanaan Kolom

Kolom	Dimensi		Spesifikasi Material					
	Lebar 1	Lebar 2	D lentur	Fy lentur	D sengkang	Fy sengkang	Fc'	clear cover
	mm	mm	mm	Mpa	mm	Mpa	Mpa	mm
K1	400	400	29	420	13	420	40	50
K2	600	600	25	420	13	420	40	50
K3	700	700	29	420	13	420	40	50
K4	800	800	32	420	13	420	40	50
K5	400	400	29	420	13	420	40	50

4.4.2.1 Kontrol Dimensi Kolom

Dari hasil running program didapatkan gaya aksial terfaktor terbesar adalah 8120,6 KN

$$8120{,}6 \text{ KN} \geq 600 \times 600 \times \frac{40}{10} \times \frac{1}{1000}$$

$$8120{,}6 \text{ KN} \geq 2560 \text{ KN}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 jika komponen struktur SRPMK menahan gaya tekan aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi ialah sebesar $\geq A_g \times \frac{f`_c}{10}$, maka komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi- kondisi sebagai berikut :

- Dimensi penampang terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm.

  800 mm > 300 mm
- Rasio dimensi besar dari 0.4

  Rasio b/h = 800/800 = 1 > 0.4

4.4.2.2 Penulangan Longitudinal Kolom

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu PCA COL, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut :

Gambar 4. 60 Output spColumn K4 Arah X

Gambar 4. 61 Output spColumn K4 Arah Y

Grafik Interaksi Aksial dan Momen Pada Kolom
ϕMn = 2600 KNm > Mu = 163,19 KNm ….. OK

4.4.2.3 Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Pada Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3.1, Luas tulangan memanjang, Ast, tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag. Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program SpColumn diperoleh Tulangan longitudinal : 8D25, dengan rasio tulangan = 1,61 % (OK).

4.4.2.4 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 analisa struktur.

$$\emptyset Pn = 0.8\, x\, (0.85\, f'c(Ag - Ast) + fy\, (Ast))$$

Dimana:

Pu = 8120,61 N
Φ = 0,65
Ag = 800 x 800 = 640000 mm2
Ast = 0.0161 x 640000 = 10304 mm2

Sehingga:

$\emptyset Pn = 20589.88\ KN > Pu = 8120{,}61\ KN$ (OK)

4.4.2.5 Kontrol Gaya Tekan Terhadap Gaya Geser Rencana

Gaya geser rencana, Ve, untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1.

$$fs = 1{,}25 \times fy = 1{,}25 \times 420 = 525\ Mpa$$

Gambar 4. 62 Output spColumn (setelah Mpr) K4 Arah X

Gambar 4. 63 Output spColumn (setelah Mpr) K4 Arah Y

Ln = 3500 mm

$Mpr = 2680\ KNm$

$Ve = \frac{2 \times Mpr}{Ln} = \frac{2 \times 2680}{3{,}5}$

$Ve = 1531{,}43\ KN > Vu = 79.41\ KN \ldots OK$

4.4.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6, ujung-ujung kolom sepanjang lo harus dikekang oleh tulangan trasversal (A_{sh}) dengan spasi sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6

∗ Pemasangan Tulangan di Daerah Sendi Plastis

Jarak Tulangan Maksimum :

- ¼ b_{kolom} $= \frac{1}{4} \times 800 = 200\ mm$
- 6 d_b $= 6 \times 32 = 192\ mm$
- 100 mm ≤ S ≤ 150 mm
- $S_o = 100 + \left(\frac{350-(0.5x(800-2x(50+13/2)))}{3}\right) = 102{,}17\ mm$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm.

Ash_{min} sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$b_{cx} = 800 - 50 - 2 \times 13 = 724mm$

$A_{ch} = (800 - 50 \times 2) \times (800 - 50 \times 2) = 524176\ mm^2$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{s\ b_c\ f'c}{fyt}\left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right]$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{100\ \times 724\ \times 40}{420}\left[\frac{640000}{524176} - 1\right]$$

$$A_{shx} = 457{,}08\ mm^2$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{s\ b_c\ f'c}{fyt}$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{100 \times 724 \times 40}{420} = 620{,}57\ mm^2$$

Sehingga digunakan 5D13-100

(A_{sh} = 663,66 mm^2) > 620,57 mm^2

∗ Pemasangan Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, sisa panjang kolom di luar sendi plastis tetap harus dipasang tulangan transversal dengan tidak lebih dari :

- 6 x db = 6 x 32 = 192 mm
- 150 mm

Maka dipakai s = 150 mm

4.4.2.7 Kontrol Kebutuhan Torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari :

Nu = 8120,61 KN
Tu = 13.42 KNm
Ag = 640000 mm^2
Acp = 524176 mm^2
Pcp = 2896 mm

$$Tn = \emptyset 0.33\sqrt{f'c}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{Nu}{0.33\sqrt{fc'}}}$$

$$Tn = 0.65\ 0.33\sqrt{40}\left(\frac{524176^2}{2896}\right)\sqrt{1+\frac{812061}{0.33\sqrt{40}}}$$

$Tn = 500921$ KNm

Tn	>	Tu
500921 KNm	>	13.42 KNm

Maka tulangan torsi diabaikan.

4.4.2.8 Persyaratan "Strong Column Weak Beam"

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

$$\sum Mnc \geq 1{,}2 \times \sum Mnb$$

Di mana ΣM_{nc} adalah momen kapasitas kolom dan ΣM_{nb} merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

Dari *SpColumn* didapatkan nilai φMnc = 2595 kNm

$Mnc = \frac{2600}{\phi} = \frac{2600}{0{,}65} = 4000$ kNm

$Mnb(+) = 298{,}46$ kNm

$Mnb(-) = 125{,}9$ kNm

$\sum Mnc \geq 1{,}2 \times \sum Mnb$

$2 \times Mnc \geq 1{,}2 \times \left(Mnb(+) + Mnb(-)\right)$

$2 \times 4000 \geq 1{,}2 \times (298{,}46 + 125{,}9)$

$8000 \geq 509{,}23$ kNm (OK)

4.4.2.9 Pengangkatan Kolom Pracetak

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkan beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.

(1) (2)

Gambar 4. 64 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL

Tabel 4. 45 Perhitungan Perencanaan Kolom

Kolom	Kontrol Dimensi Kolom			Penulangan Longitudinal Kolom			Kontrol Rasio Tulangan	
	Pu	0,1 Ag x Fc'	Ket	ϕMn	Mu	Ket	Rasio Tul.	Ket
	KN	KN		KNm	KNm		%	
K1	1950.82	640	OK	320	86.19	OK	2.9	OK
K2	3838.45	1440	OK	1130	180.59	OK	2.15	OK
K3	6379.34	1960	OK	1840	203.38	OK	2.11	OK
K4	8120.61	2560	OK	2600	163.19	OK	1.61	OK
K5	1643.59	640	OK	320	46.54	OK	2.9	OK

Tabel 4. 45 Perhitungan Perencanaan Kolom (Lanjutan)

Kolom	Kontrol Kapasitas Beban Aksial					Kontrol Gaya Tekan Terhadap gaya Geser						
	Ag	Ast	ϕPn	Pu	Ket	Mprx	Mpry	L	Vex	Vey	Vu	Ket
	mm	mm	KN	KN		KNm	KNm	m	KN	KN	KN	
K1	160000	4640	5784.832	1950.82	OK	340	340	3	226.67	226.67	55.12	OK
K2	360000	7740	12182.11	3838.45	OK	1185	1185	3	790.00	790.00	117.00	OK
K3	490000	10339	16520.68	6379.34	OK	1940	1940	3	1293.33	1293.33	131.28	OK
K4	640000	10304	20589.88	8120.61	OK	2680	2680	3.5	1531.43	1531.43	79.41	OK
K5	160000	4640	5784.832	1643.59	OK	340	340	3.2	212.50	212.50	28.56	OK

Tabel 4. 45 Perhitungan Perencanaan Kolom (Lanjutan)

Kolom	Strong Column Weak Beam						
	Mnc	Mnb (+)	Mnb (-)	Mnb	2 Mnc	1,2 Mnb	Ket
	KNm	KNm	KNm	KNm	KNm	KNm	
K1	492.3077	298.46	125.9	424.36	984.6154	509.232	OK
K2	1738.462	298.46	125.9	424.36	3476.923	509.232	OK
K3	2830.769	298.46	125.9	424.36	5661.538	509.232	OK
K4	4000	298.46	125.9	424.36	8000	509.232	OK
K5	492.3077	298.46	125.9	424.36	984.6154	509.232	OK

Tabel 4. 45 Perhitungan Perencanaan Kolom (Lanjutan)

Kolom	Perhitungan Tulangan Geser													
	Sendi Plastis				Diluar Sendi Plastis			Bc	Ac	Ash min 1	Ash min 2	Ash min	Jumlah kaki butuh	Jumlah kaki pakai
	Smaks 1	Smaks 2	Smaks 3	S pakai	Smaks 1	Smaks 2	S pakai							
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm2	mm2	mm2	mm2	buah	buah
K1	100	174	150	100	174	150	150	324	104976	485.22	277.71	485.22	3.66	4
K2	150	174	150	100	174	150	150	524	274576	465.78	449.14	465.78	3.51	4
K3	175	174	150	100	174	150	150	624	389376	460.73	534.86	534.86	4.03	5
K4	200	192	150	100	192	150	150	724	524176	457.08	620.57	620.57	4.68	5
K5	100	174	150	100	174	150	150	324	104976	485.22	277.71	485.22	3.66	4

Tabel 4. 45 Perhitungan Perencanaan Kolom (Lanjutan)

Kolom	Kebutuhan Torsi						
	Nu	Ag	Acp	Pcp	Tn	Tu	Ket
	KN	mm2	mm2	mm	KNm	KNm	
K1	1950.82	160000	104976	1296	10793.7	0.27	diabaikan
K2	3838.45	360000	274576	2096	89792.4	0.78	diabaikan
K3	6379.34	490000	389376	2496	251956.1	1.13	diabaikan
K4	8120.61	640000	524176	2896	500921.1	13.42	diabaikan
K5	1643.59	160000	104976	1296	9095.6	0.66	diabaikan

4.4.3 Perencanaan Struktur Dinding Geser

Seluruh dinding geser menahan 75% gaya gempa yang disalurkan ke struktur bangunan.

4.4.3.1 Data Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser yang akan direncanakan (SW3) memiliki data sebagai berikut :

Tebal dinding	: 30 cm
Tebal decking	: 40 mm
Diamter Tulangan	: 16 mm
d	: 300 – 40 – 16/2 : 252 mm
Mutu tulangan (fy)	: 420 MPa
Mutu beton (f'c)	: 40 Mpa
Tinggi lantai	: 350 cm
Lebar dinding	: 612,5 cm

Gambar 4. 65 Denah Shearwall

Berdasarkan hasil perhitungan SAP2000 didapat gaya aksial dan momen yang bekerja pada shearwall, yaitu :

Gaya aksial	: 18627,1 KN
Momen	: 20121,7 KNm
Gaya geser	: 936,9 KN

Gambar 4. 66 Diagram Geser Shearwall Arah X

Gambar 4. 67 Diagram Geser Shearwall Arah Y

Gambar 4. 68 Diagram Momen Shearwall Arah X

Gambar 4. 69 Diagram Momen Shearwall Arah Y

4.4.3.2 Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3, ketebalan dinding tidak boleh kurang dari :

1. $\frac{1}{25}\lambda_c = \frac{1}{25}6125 = 245\ mm$
2. 250 mm

Jadi, ketebalan *shear wall* 300 mm sudah memenuhi persyaratan.

4.4.3.3 Kontrol Dimensi Penampang Terhadap Gaya Geser

Kontrol dimensi penampang dinding geser terhadap gaya geser, tidak boleh diambil melebihi $0.83A_{cv}\sqrt{f'c}$

$V_u < 0.83A_{cv}\sqrt{f'c}$

$936{,}9\ KN < 0.83(300\ x\ 6125)\frac{\sqrt{40}}{1000}$

$936{,}9\ KN < 9684{,}48\ KN \ldots . Ok$

4.4.3.4 Penulangan Geser *Shear Wall*

Terdapat dua kondisi berdasarkan SNI-03-2847-2013 untuk menentukan jumlah lapisan tulangan pada dinding, yaitu :

a. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2 : bahwa sedikitnya harus dipasang dua lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi $0.17\ x\ A_{vc}\ x\ \sqrt{f'c}$

   $Vu < 0.17\ x\ 300\ x\ 6125\ x\ \frac{\sqrt{40}}{1000}$

   $936{,}9\ KN < 19756\ KN$ → 1 lapis tulangan

b. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 14.3.4 : bahwa pada dinding yang mempunyai ketebalan lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan.

   300 mm > 250 mm

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, penulangan pada dinding geser menggunakan dua lapis tulangan.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser dinding struktural dikatakan mencukupi apabila dipenuhi kondisi berikut :

$Vu < \emptyset\, Vn$

$Vn = A_{cv}[\propto_c \sqrt{f'c} + \rho_n fy]$

$\frac{hw}{lw} = \frac{70,2}{6,125} = 11,46 > 2$; maka digunakan α_c = 0.17

Dinding geser direncanakan dengan menggunakan tulangan geser 2D16 (As = 402.12 mm^2) dengan s = 200 mm pada arah vertikal dan horizontal

$$\rho_n = \frac{As}{d'\ x\ s} = \frac{2\ x\ \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 16^2}{252\ x\ 200} = 0,00798$$

$$Vn = 300x6125\left[\ 0.17\sqrt{40} + 0.00798x420\right] = 8133154,57\ N$$

$$Vn = 8133,15\ KN$$

$$Vu < \ Vn$$

$$936,9\ KN < 8133,15\ KN \qquad Ok$$

4.4.3.6 Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.4 : Rasio tulangan vertikal (ρl) tidak boleh kurang dari 0.0025
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.2 : Rasio tulangan horizontal (ρt) tidak boleh kurang dari 0.0025

Dipakai tulangan vertikal dan horizontal 2D16 (As = 402.12 mm^2) dengan rasio tulangan :

$$\rho_n = \frac{As}{d'\ x\ s} = \frac{2\ x\ \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 16^2}{252\ x\ 200} = 0,00798 > 0.0025$$

4.4.3.7 Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.1 : Spasi tulangan vertikal dan tulangan horizontal tidak boleh lebih dari 450 mm.
  S pakai = 200 mm < 450 mm ok
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.3 : Spasi tulangan Horizontal tidak boleh lebih dari :
  $s \leq \frac{Lw}{5} = 1225\ mm$
  $s \leq 3h = 900\ mm$
  S pakai = 200 mm Ok
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.5 : Spasi tulangan vertikal tidak boleh lebih dari :
  $s \leq \frac{Lw}{3} = \frac{6125}{3} = 2041{,}67\ mm$
  $s \leq 3h = 900\ mm$
  S pakai = 200 mm Ok

Tulangan Geser Vertikal : 2D16-200mm
Tulangan Geser Horizontal : 2D16-200mm

4.4.3.8 Pengecekan Tulangan Dengan spColumn

Dinding struktur berfungsi sama seperti kolom yaitu untuk menahan gaya – gaya yang bekerja secara lateral khususnya, maka dari itu dalam perhitungan dinding geser ini menggunakan program bantu spColumn. Hasil dari analisa spColumn adalah sebagai berikut :

Gambar 4. 70 Output spColumn Arah X

Gambar 4. 71 Output spColumn Arah Y

NAMA KOLOM	KOLOM 1	KOLOM 2	KOLOM 3	KOLOM 4	KOLOM 5
LOKASI	LANTAI	LANTAI	LANTAI	LANTAI	LANTAI
SKETSA					
PENAMPANG	400 mm x 400 mm	600 mm x 600 mm	700 mm x 700 mm	800 mm x 800 mm	400 mm x 400 mm
DECKING	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
TUL. UTAMA	12 D22	12 D29	16 D29	16 D29	12 D22
SENGKANG TUMP.	4 D13 - 100	4 D13 - 100	5 D13 - 100	5 D13 - 100	4 D13 - 100
SENGKANG LAP.	4 D13 - 150	4 D13 - 150	5 D13 - 150	5 D13 - 150	4 D13 - 150
SHEARWALL 1					
SHEARWALL 2					
SHEARWALL 3					

Gambar 4. 72 Rekapitulasi Penulangan Kolom dan Shearwall

4.4.4 Perencanaan Dinding *Basement*

Perencanaan *basement* menggunakan sistem pelat vertikal yang juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Tinggi *basement* yang direncanakan memiliki ketinggian 3,5 dan 3,2 m.

4.4.4.1 Penulangan Dinding *Basement*

Gambar 4. 73 Diagram Tegangan pada Dinding *Basement*

Data perencanaan basement adalah sebagai berikut:

Mutu beton (f'c)	= 40MPa
Mutu baja (fy)	= 420 MPa
Tebal dinding (t)	= 300 mmɣ
Diameter tulangan	= 16 mm
Dimensi Dinding	= 3,7 x 8 m (Paling besar)
Kedalaman *basement*	= 6,7 m
Tebal selimut beton	= 40 mm

Berdasarkan data tanah di lokasi untuk kedalaman 6,7 m mempunyai berat jenis sebesar 1,65 ton/m^3. Sehingga pada kedalaman 6,7 meter didapat tekanan tanah lateral sebesar 1,65 x 6,7 = 11,055 ton/m^2 = 110,55 kN/m^2

Menentukan pelat termasuk pelat 1 arah atau 2 arah

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} (\beta => 2 \rightarrow pelat\ 1\ arah, \beta < 2 \rightarrow pelat\ 1\ arah)$$

Lx dan Ly diambil dari perhitungan preliminary dinding basement:

$Lx = 370\ cm$ (Tinggi)

$Ly = 800\ cm$ (Lebar)

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{800}{370} = 2{,}162 > 2 \rightarrow pelat\ 1\ arah$$

$$dx = 300 - 40 - \frac{16}{2} = 252\ mm$$

$$dy = 300 - 40 - 16 - \frac{16}{2} = 236\ mm$$

Untuk mutu beton f'c = 40 MPa berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut :

$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\frac{f'c-28}{7} = 0{,}764 \geq 0{,}65$
$\beta_1 = 0{,}764$

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

ρ_{min} = 0,0025 (SNI 2847-2013 pasal 14.3.3)
ρ_b = 0,85 $(\frac{\beta 1 \text{ x Fc}}{\text{Fy}})$ x $(\frac{600}{600+\text{Fy}})$ = 0,0364
ρ_{max} = 0,75 x ρ_b = 0,0273

Penulangan pokok dinding basement pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada derah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah.

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 untuk momen-momen di dalam pelat yang terjepit penuh dengan Ly/Lx = 2,16 didapat persamaan momen sebagai berikut :

$M = 0{,}001 \times qu \times Lx^2 \times X$

$Mulx\ (+) = X1 \rightarrow 41$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)
$Mulx\ (+) = 0.001 \times 110.55 \times 3{,}7^2 \times 41 = 62{,}0506\ kNm$

$Muly\ (+) = X2 \rightarrow 11$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)
$Muly\ (+) = 0.001 \times 110.55 \times 3{,}7^2 \times 11 = 16{,}6477\ kNm$

$Mutx\ (-) = X1 \rightarrow 83$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)
$Mutx\ (-) = 0.001 \times 110.55 \times 3{,}7^2 \times 83 = 125{,}6146\ kNm$

$Muty\ (-) = X2 \rightarrow 57$ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)
$Muty\ (-) = 0.001 \times 110.55 \times 3{,}7^2 \times 57 = 86{,}2655\ kNm$

∗ **Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Arah X**

- Besaran momen yang digunakan:

Mulx (+) = Mutx (-) = 125,6146 kNm = 125614600 Nmm

$m = \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12{,}353$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times dx^2} = \frac{125614600}{0.75 \times 1000 \times 252^2} = 2{,}6374\ N/mm^2$

- Rasio tulangan :

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.353}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}353 \times 2{,}6374}{420}}\right) = 0{,}0065$

$\rho_{perlu} > \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{perlu} = 0{,}0065$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0065 \times 1000 \times 252 = 1649{,}1\ mm^2$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{1649{,}1}{201{,}06} = 8{,}2 \approx 10$$

- Jarak tulangan

$S_{max} = 450\ mm$ (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)

$S_{pakai} = \frac{1000}{10} = 100\ mm < S_{max}$ "OK"

$As_{pasang} = n \times\ As_{tulangan}$

$As_{pasang} = 10 \times\ 201{,}06 = 2010{,}6\ mm^2 > As_{perlu} = 1649{,}1\ mm^2$

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur arah X (Vertikal) = D16 − 100**

∗ **Perhitungan Penulangan Tumpuan dan Lapangan Arah Y**

- Besaran momen yang digunakan:

Mulx (+) = Mutx (-) = 86,2655 kgm = 86265500 Nmm

$m = \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12{,}353$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times dx^2} = \frac{86265500}{0.75 \times 1000 \times 236^2} = 2{,}0652\ N/mm^2$

- Rasio tulangan :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.353}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}353 \times 2{,}0652}{420}}\right) = 0{,}0051$$

$\rho_{perlu} > \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{perlu} = 0{,}0051$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0051 \times 1000 \times 236 = 1197{,}98\ mm^2$$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{1197{,}98}{201{,}06} = 5{,}95 \approx 6$$

- Jarak tulangan

$S_{max} = 450\ mm$ (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)

$S_{pakai} = \frac{1000}{6} = 167 \approx 150\ mm < S_{max}$ "OK"

$As_{pasang} = n \times As_{tulangan}$

$As_{pasang} = 6 \times 201{,}06 = 1206{,}372\ mm^2 > As_{perlu} = 1197{,}98\ mm^2$

$\therefore$ **Digunakan tulangan lentur arah Y (Horizontal) = D16 − 150**

4.4.4.2 Kontrol Ketebalan Minimum Dinding *Basement*

Menurut SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.2 yang menyatakan bahwa tebal dinding *basement* eksterior dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.

Dinding basement yang dipakai 300 mm.

Gambar 4. 74 Detail Penulangan Dinding Basement

4.5 Perencanaan Sambungan

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 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.

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*).

4.5.1 Konsep Desain Sambungan

Konsep desain sambungan pada Perencanaan Gedung Pracetak Apartemen Grand Dhika City Jatiwarna ini adalah dengan menggunakan gabungan dari sambungan basah dan sambungan mekanik. Sambungan mekanik direncanakan dengan menggunakan produk dari NMB Splice Sleeve.

Konsep penyaluran gaya dalam yang ada pada sambungan basah adalah dengan menggunakan panjang penyaluran dengan

bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan).

Untuk sambungan mekanik tulangan disatukan menggunakan *Splice Sleeve* kemudian di grout khusus dengan mortar mutu tinggi sehingga menjadi satu kesatuan.

Gambar 4. 75 Penyaluran Gaya Pada Sambungan Kolom
Sumber: Brosur NMB Splice Sleeve

4.5.2 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

4.5.2.1 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 4.49 berikut ini:

Gambar 4. 76 Detail Konsol Pendek
Sumber: SNI 2847:2013

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 $\mathbf{a_v/d}$ tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}, tidak lebih besar daripada Vu. Tinggi efektif *d* harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari 0,5*d*
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, Ø harus diambil sama dengan 0,75
   2) Desain tulangan geser-friksi Avf untuk menahan Vu harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.6:
      a) Untuk beton berat normal, Vn tidak boleh melebihi yang terkecil dari 0,2 x f'c x bw x d, (3,3+0,08f'c) bw d, dan 11 bw d.
      b) Untuk beton ringan atau ringan pasir, *Vn* 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 $\left(5{,}5 - 1{,}9\frac{a}{d}\right) b_w d$
      c) Tulangan Af untuk menahan terfaktor

$[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3

d) Tulangan *An* untuk menahan gaya tarik terfaktor Nuc harus ditentukan dari $\emptyset An.fy \geq N_{uc}$. Gaya tarik terfaktor, Nuc tidak boleh diambil kurang dari 0,2Vu kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya tarik. Nuc harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkak, susut, atau perubahan suhu.

e) Luas tulangan Tarik utama *Asc* tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari (Af + An) dan $\left(\frac{2A_{vf}}{3} + An\right)$

4. Luas total Ah, sengkang tertutup atau pengikat paralel terhadap tulangan tarik utama tidak boleh kurang dari $0{,}5(A_{sc} - A_n)$, Distribusikan Ah 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 *As* harus diangkur dengan salah satu dari berikut:
   1) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan fy tulangan tarik utama;
   2) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal; atau
   3) Dengan suatu cara pengangkuran baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama *As*, ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan).

4.5.2.2 Perhitungan Konsol pada Kolom

a. Data Perencanaan

Vu = 266840 N (Hasil analisa struktur Sap2000)

Dimensi Balok = 30/50

Dimensi konsol :

bw	= 300 mm
h	= 450 mm
cc	= 40 mm
$D_{tulangan\ lentur}$	= 16 mm
$D_{tulangan\ geser}$	= 13 mm
d	= 450 – 40 – 13 – 16/2 = 389 mm
f'c	= 40 MPa
fy	= 420 MPa
panjang konsol	= 300 mm
a	= 150 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 = 150 / 389 = 0,3856 < 1 (OK)
- $N_{uc} \leq V_u$
  N_{uc} = 0,2 x 266840 = 53368 N

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah:

$$Vn = \frac{Vu}{\phi} = \frac{266840}{0,75}$$
$$= 355787 \text{ N}$$

b. 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:

$$0,2 \times f'c \times bw \times d = 0,2 \times 40 \times 300 \times 389$$
$$= 933600 \text{ N} \geq Vn$$

$(3{,}3 + 0{,}08 \times f'c)bw \times d$ $= (3{,}3 + 0{,}08 \times 40)300 \times 389$
$= 758550$ N $\geq Vn$

$11 \times bw \times d$ $= 11 \times 300 \times 389$
$= 1283700$ N $\geq Vn$

μ $= 1{,}4$

Avf $= \frac{Vn}{fy \times \mu} = \frac{355787}{420 \times 1{,}4}$
$= 605{,}08$ mm^2

c. 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 Nuc mínimum.

Mu $= Vu \times a + Nuc(h - d)$
$= 266840 \times 150 + 53368(450 - 389)$
$= 43281448$ Nmm

m $= \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0{,}85 \times 40} = 12{,}35$

Rn $= \frac{Mu}{0{,}75 \times bw \times d^2} = \frac{43281448}{0{,}75 \times 300 \times 389^2} = 1{,}27$

$\rho perlu = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 1{,}27}{420}}\right)$
$= 0{,}00309 < \rho min = 0{,}0035$

ρ pakai $= 0{,}0035$

$Af1$ $= \frac{Mu}{0{,}85 \times \phi \times fy \times d} = \frac{43281448}{0{,}85 \times 0{,}75 \times 420 \times 389}$
$= 415{,}55$ mm^2

$Af2$ $= \rho \times bw \times d = 0{,}0035 \times 300 \times 389$
$= 408{,}45$ mm^2

Af $= 415{,}55$ mm^2

<u>Tulangan pokok As:</u>

$An \quad = \frac{Nuc}{\phi \times fy} = \frac{53368}{0{,}75 \times 420}$

$= 169{,}42$ mm^2

d. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$Asc \quad = Af + An = 415{,}55 + 169{,}42$

$= 584{,}97$ mm^2

$Asc \quad = \left(\frac{2 \times Avf}{3} + An\right) = \left(\frac{2 \times 605{,}08}{3} + 169{,}42\right)$

$= 572{,}81$ mm^2

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

$Ascmin \quad = 0{,}04\left(\frac{f'c}{fy}\right) bw \times d = 0{,}04\left(\frac{40}{420}\right) 300 \times 389$

$= 444{,}57$

$Asc \quad = 584{,}97$ mm^2

- Maka digunakan tulangan utama 3D16 (As = 603,19 mm^2)

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.4

$Ah \quad = 0{,}5(Asc - An) = 0{,}5(584{,}97 - 169{,}42)$

$= 207{,}78$ mm^2

- Dipasang tulangan 2D16 (As = 402,12 mm^2), dipasang di sepanjang (2/3)d

Vu = 266840 kN

Vs = $\frac{Vu}{\phi} = \frac{266840}{0{,}9}$ = 296489 N

Direncanakan tulangan geser 2D13 mm (A_v = 265,46 mm^2)

S = $\frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265{,}46 \times 420 \times 389}{296489}$ = 146,28 mm

- Dipasang sengkang 2D13 – 100

e. Luas Pelat Landasan

$Vu \quad = \phi \times 0{,}85 \times f'c \times Al$

$$Al = \frac{Vu}{\phi \times 0{,}85 \times f'c} = \frac{266840}{0{,}75 \times 0{,}85 \times 40}$$
$$= 10464{,}3 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai pelat landasan 150 x 300 mm^2 (45000 mm^2) dengan tebal 15 mm.

Gambar 4. 77 Detail konsol pada kolom

4.5.2.3 Perhitungan Sambungan Balok dengan 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.

a. Panjang Penyaluran Tulangan dalam Tekan

$ldc \quad = 0{,}24 \times \frac{fy}{\sqrt{f'c}} \times db$

$\quad = 0{,}24 \times \frac{420}{\sqrt{40}} \times 19$

$\quad = 302{,}82$ mm

$ldc \quad = 0{,}043 \times fy \times db = 0{,}043 \times 420 \times 19$

$\quad = 343{,}1$ mm

$ldmin \quad = 343{,}1$ mm

$ld \quad = 350$ mm

b. Panjang Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1, maka :

$ldh \quad \geq 8db = 8 \times 19 = 152$ mm

$ldh \quad \geq 150$ mm

$ldh \quad \geq 0{,}24 \times \psi e \times fy \times \frac{db}{\sqrt{f'c}}$

$\quad \geq 0{,}24 \times 1 \times 420 \times \frac{19}{\sqrt{40}} = 302{,}82$mm

Maka dipakai ldh = 350 mm dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar 12db = 12 x 19 = 228 mm

Gambar 4. 78 Detail Penyaluran Tulangan
Sumber : SNI 2847 : 2013

Gambar 4. 79 Detail Sambungan Balok Induk - Kolom

4.5.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanan 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.

4.5.3.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk

Data Perencanaan:

Vu $= 104810$ N (Hasil Analisa Struktur SAP2000)

Dimensi balok anak 30/40

Dimensi konsol:

bw $= 300$ mm

h $= 200$ mm

cc $= 40$ mm

$D_{tulangan\ lentur}$ = 16 mm

$D_{tulangan\ geser}$ = 13 mm

d $= 200 - 40 - 13 - 0{,}5\ x\ 16$

$= 139$ mm

$f'c$ $= 40$ MPa

fy $= 420$ MPa

Panjang konsol $= 200$ mm

a $= 100$ mm

$\frac{a}{d}$ $= \frac{100}{139} = 0{,}72 < 1$ (OK)

Vn $= \frac{Vu}{\phi} = \frac{104810}{0{,}75} = 139747$ N

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2 (a), syarat nilai kuat geser Vn untuk beton normal adalah:

$0{,}2 \times f'c \times bw \times d$ $= 0{,}2 \times 40 \times 300 \times 139$

$= 333600$ N $\geq Vn$

$(3{,}3 + 0{,}08.f'c)bw.d = (3{,}3 + 0{,}08 \times 40) \times 300 \times 139$

$= 271050$ N $\geq Vn$

$11 \times bw \times d$ $= 11 \times 300 \times 139$

$= 458700$ N $\geq Vn$

Luas Tulangan Geser Friksi:

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien geser μ = 1,4

$Avf \quad = \frac{Vn}{fy.\mu} = \frac{139747}{420 \times 1,4}$

$= 237,66$ mm^2

<u>Luas Tulangan Lentur:</u>

Perletakan yang 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 Nuc minimum.

$Nuc \quad = 0,2 \times Vu = 0,2 \times 104810$

$= 20962$ N

$Mu \quad = Vu.a + Nuc(h - d)$

$= 104810 \times 100 + 20962\ (200 - 139)$

$= 11759682$ Nmm

$m \quad = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{420}{0,85 \times 40}$

$= 12,35$

$Rn \quad = \frac{Mu}{0,75 \times bw \times d} = \frac{11759682}{0,75 \times 420 \times 139^2} = 2,71$

$$\rho perlu = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{12,35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 2,71}{420}}\right)$$

$= 0,00672 > \rho min = 0,0035$

ρ pakai $= 0,00672$

$Af1 \quad = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times fy \times d} = \frac{11759682}{0,85 \times 0,75 \times 420 \times 139}$

$= 315,97$ mm^2

$Af2 \quad = \rho \times bw \times d = 0,00672 \times 300 \times 139$

$= 280,21$ mm^2

$Af \quad = 315,97$ mm^2

<u>Tulangan Pokok As:</u>

$An \quad = \frac{Nuc}{\phi \times fy} = \frac{20962}{0{,}75 \times 420}$

$= 66{,}546$ mm^2

$Asc \quad = Af + An = 315{,}97 + 66{,}546$

$= 382{,}52$ mm^2 (kritis)

$Asc \quad = \frac{2 \times Avf}{3} + An = \frac{2 \times 237{,}664}{3} + 66{,}546$

$= 224{,}989$ mm^2

$Ascmin = 0{,}04\left(\frac{f'c}{fy}\right) \times bw \times d = 0{,}04\left(\frac{40}{420}\right) \times 300 \times 139$

$= 158{,}857$ mm^2

$Asc \quad = 382{,}52$ mm^2

- Maka digunakan tulangan utama 2D16 (As = 402,12 mm^2)

$Ah \quad = 0{,}5(Asc - An) = 0{,}5(382{,}52 - 66{,}546)$

$= 157{,}787$ mm^2

- Maka digunakan sengkang 2D16 (tul. utama), di sepanjang $\frac{2}{3}d$

Vu = 104810 N

Vs = $\frac{Vu}{\phi} = \frac{104810}{0{,}9}$ = 116456 N

Direncanakan tulangan geser 2D13 mm (A_v = 265,46 mm^2)

S = $\frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265{,}46 \times 420 \times 139}{116456}$ = 133,08 mm

- Dipasang sengkang 2D13 – 75

<u>Luas Pelat Landasan:</u>

$Vu \quad = \phi 0{,}85 \times f'c \times Al$

$Al \quad = \frac{Vu}{\phi \times 0{,}85 \times f'c} = \frac{104810}{0{,}75 \times 0{,}85 \times 40}$

$= 4110{,}2$ mm^2

Maka dipakai pelat landasan 300×100 ($Al = 30000$ mm^2) dengan tebal 15 mm.

4.5.3.2 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok.Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

db = 19 mm

a. Panjang Penyaluran Tekan

Dikarenakan balok induk yang digunakan juga merupakan elemen pracetak maka digunakan Beco Beam Shoe yang memiliki fy > 1,5 x fy= 630 Mpa sehingga termasuk kategori *mechanical splice* tipe 2 yang dihubungkan ke Copra Anchor. Sesuai dengan ACI 318-11 ps 21.1.6.2 *mechanical* splices dapat digunakan dilokasi manapun.

Gambar 4. 80 Pemasangan BECO Beam Shoe
Sumber : Brosur BECO Beam Shoe

Sambungan juga memenuhi ACI 318-11 ps 21.8.3 (c) dimana tulangan utama longitudinal harus dibuat menerus dari sambungan kuat dan daerah plastisnya

Gambar 4. 81 Sambungan Kuat Balok
Sumber: ACI 318-11

Berdasarkan kuat tarik maksimum yang dibutuhkan untuk 1 *beam shoe* maka dibutuhkan Nrd> 630 Mpa x As D19 (283,53 mm^2) = 178623 N = 178,7 KN

Tabel 4. 46 Spesifikasi BECO BEAM SHOE

Table 2. Design value resistances of individual BECO Beam Shoes for concrete grade C30/37.

Beam Shoe	Anchoring Coupler	N_{Rd} [kN]
BECO 16H	COPRA 16H-...*	62
BECO 20H	COPRA 20H-...*	96
BECO 24H	COPRA 24H-...*	139
BECO 30H	COPRA 30H-...*	220
BECO 39H	COPRA 39H-...*	383
BECO 30P	COPRA 30P-...*	299
BECO 36P	COPRA 36P-...*	436
BECO 39P	COPRA 39P-...*	521
BECO 45P	COPRA 45P-...*	697
BECO 52P	COPRA 52P-...*	938

* See the section entitled "Selecting connection components" for more information about product code of COPRA. The maximum resistance of BECO Beam Shoes is based on the tensile resistance of the COPRA Anchoring Couplers N_{Rd}.

Maka digunakan Beco Beam Shoe 30H dan Copra L30H

Figure 10. Dimension [mm] of the BECO Beam Shoe.

Table 1. Dimensions [mm], weights [kg] and color codes of Beam Shoes.

Beam Shoe	BECO 16H	BECO 20H	BECO 24H	BECO 30H	BECO 39H	BECO 30P	BECO 36P	BECO 39P	BECO 45P	BECO 52P
B	115	125	140	150	190	160	200	225	260	290
H	925	1080	1220	1620	2240	1850	2320	2100	2390	3130
t	15	20	25	35	45	40	50	50	60	80
R	50	50	50	50	60	50	60	60	60	60
U	30	30	30	30	37	30	37	37	37	37
D	80	80	85	90	115	90	110	115	125	130
h	80	90	90	100	130	100	110	130	125	150
h1	145	160	165	185	225	185	215	225	245	295
$Ø_1$	12	16	20	25	32	28	32	28	32	40
$Ø_2$	-	-	-	-	-	-	-	28	32	32
$Ø_3$	10	12	16	20	28	20	28	28	32	32
$Ø_{ap}$	27	30	35	40	55	40	50	55	60	70
Weight	3.5	6.2	10.3	19.6	43.9	27.0	47.2	52.0	79.6	133.3
Colour code*	Yellow	Blue	Gray	Green	Orange	Black	Red	Brown	Purple	White

* Color code is marked on base surface of BECO bottom plate.
Lap lengths of anchor bars are defined according to concrete grade C30/37 in good bond conditions.

Gambar 4. 82 Dimensi BECO Beam Shoe

Table 2. Dimensions of the COPRA L with headed anchor bar(s).

		Load class H					Load class P				
		COPRA 16H	COPRA 20H	COPRA 24H	COPRA 30H	COPRA 39H	COPRA 30P	COPRA 36P	COPRA 39P	COPRA 45P	COPRA 52P
M		M16	M20	M24	M30	M39	M30	M36	M39	M45	M52
l_{TB}	[mm]	130	145	166	195	245	195	220	245	263	320
l_{co}	[mm]	48	60	72	90	120	90	108	120	135	160
$Ø_C$	[mm]	25	30	35	50	65	50	60	65	75	90
Ø	[mm]	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	2Ø25	2Ø28	2Ø28	2Ø32	4Ø32
d_h	[mm]	38	46	55	70	90	55	84	84	70	70
k	[mm]	10	12	13	15	18	13	20	20	15	15
Color code		Yellow	Blue	Gray	Green	Orange	Black	Red	Brown	Purple	White

NOTE: The total length of the headed anchoring bars should be defined according to the dimensions of the concrete member and verified according to CEN/TS 1992-4-2.

Gambar 4. 83 Dimensi COPRA Anchor

b. Panjang Penyaluran Tarik

$ldh \quad \geq 8db = 8 \times 19 = 152$ mm

$ldh \quad \geq 150$ mm

Maka dipakai ldh = 260 mm dengan mengaitkan tulangan utama balok anak ke tulangan utama balok induk

POTONGAN A-A

Gambar 4. 84 Detail Sambungan Balok Anak ke Balok Induk

4.5.4 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.

Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat tipe sebagai berikut:

$db \quad = 13$ mm

Menurut SNI 2847:2013 12.3

$ld \quad \geq 200$ mm

$ld \quad \geq 0{,}043 \times db \times fy = 0{,}043 \times 13 \times 420$

$\geq 234{,}78$ mm

$ldb \quad = \frac{db \times fy}{4 \times \sqrt{f'c}} = \frac{13 \times 420}{4 \times \sqrt{40}}$

$= 215{,}83$ mm

Maka dipasang panjang penyaluran 240 mm

Gambar 4. 85 Detail panjang penyaluran pelat

4.5.5 Perencanaan Sambungan Tangga / Ramp dengan Balok / Shearwall

Pada perencanaan sambungan antara tangga / ramp dengan balok / tangga dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek karena perletakkan di desain sebagi sendi rol. Tangga / ramp kemudian diletakan pada konsol yang berada pada balok / shearwall. Kebutuhan tulangan konsol dihitung setiap 1m'

<u>Data Perencanaan:</u>

Vu = 5619,65 kg/m (reaksi perletakkan terbesar)

Tebal tangga = 140 mm

Dimensi balok = 30/50 cm

Dimensi konsol :

bw $= 1000$ mm

h $= 360$ mm

cc $= 40$ mm

$D_{tulangan\ lentur}$ = 16 mm

$D_{tulangan\ geser}$ = 13 mm

d $= 360 - 40 - 13 - 0{,}5\ x\ 16$

$= 299$ mm

$f'c$ $= 40$ MPa

fy $= 420$ MPa

Panjang konsol $= 200$ mm

a $= 100$ mm

$\frac{a}{d}$ $= \frac{100}{299} = 0{,}34 < 1$ (OK)

Vn $= \frac{Vu}{\phi} = \frac{5619{,}65}{0{,}75} = 7492{,}87$ kg = 74928,7 N

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2 (a), syarat nilai kuat geser Vn untuk beton normal adalah:

$0{,}2 \times f'c \times bw \times d$ $= 0{,}2 \times 40 \times 1000 \times 299$

$= 2392000$ N $\geq Vn$

$(3{,}3 + 0{,}08.f'c)bw.d = (3{,}3 + 0{,}08 \times 40) \times 1000 \times 299$

$= 1943500$ N $\geq Vn$

$11 \times bw \times d$ $= 11 \times 1000 \times 299$

$= 3289000$ N $\geq Vn$

<u>Luas Tulangan Geser Friksi:</u>

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien geser μ = 1,4

Avf $= \frac{Vn}{fy.\mu} = \frac{74928{,}7}{420 \times 1{,}4}$

$= 127{,}43$ mm^2

<u>Luas Tulangan Lentur:</u>

Perletakan yang 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 Nuc minimum.

$Nuc \quad = 0{,}2 \times Vu = 0{,}2 \times 56196{,}5$

$\quad = 11239{,}3$ N

$Mu \quad = Vu.a + Nuc(h - d)$

$\quad = 56196{,}50 \times 100 + 11239{,}3\ (360 - 299)$

$\quad = 6305250$ Nmm

$m \quad = \frac{fy}{0{,}85 \times f'c} = \frac{420}{0{,}85 \times 40}$

$\quad = 12{,}35$

$Rn \quad = \frac{Mu}{0{,}75 \times bw \times d} = \frac{6305250}{0{,}75 \times 420 \times 299^2} = 0{,}224$

$$\rho perlu = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 0{,}224}{420}}\right)$$

$= 0{,}00054 > \rho min = 0{,}0035$

ρ pakai $= 0{,}0035$

$Af1 \quad = \frac{Mu}{0{,}85 \times \phi \times fy \times d} = \frac{6305250}{0{,}85 \times 0{,}75 \times 420 \times 299}$

$\quad = 78{,}76$ mm^2

$Af2 \quad = \rho \times bw \times d = 0{,}0035 \times 1000 \times 299$

$\quad = 1046{,}5$ mm^2

$Af \quad = 1046{,}5$ mm^2

<u>Tulangan Pokok As:</u>

$An \quad = \frac{Nuc}{\phi \times fy} = \frac{11239{,}3}{0{,}75 \times 420}$

$\quad = 35{,}68$ mm^2

$Asc \quad = Af + An = 1046{,}5 + 35{,}68$

$= 1082{,}18$ mm^2 (kritis)

$Asc \quad = \frac{2 \times Avf}{3} + An = \frac{2 \times 127{,}43}{3} + 35{,}68$

$= 120{,}63$ mm^2

$Ascmin = 0{,}04\left(\frac{f'c}{fy}\right) \times bw \times d = 0{,}04\left(\frac{40}{420}\right) \times 1000 \times 299$

$= 1139{,}05$ mm^2

$Asc \quad = 1139{,}05$ mm^2

- Maka digunakan tulangan utama 6D16 / D16-150 (As = 1206,36 mm^2)

$Ah \quad = 0{,}5(Asc - An) = 0{,}5(1139{,}05 - 35{,}68)$

$= 551{,}685$ mm^2

- Maka digunakan tulangan 6D16 / D16-150, di sepanjang $\frac{2}{3}d$

<u>Luas Pelat Landasan:</u>

$Vu \quad = \phi 0{,}85 \times f'c \times Al$

$Al \quad = \frac{Vu}{\phi \times 0{,}85 \times f'c} = \frac{56196{,}5}{0{,}75 \times 0{,}85 \times 40}$

$= 2203{,}78$ mm^2

Maka dipakai pelat landasan 1000×100 ($Al = 100000$ mm^2) dengan tebal 15 mm.

Gambar 4. 86 Detail Sambungan Tangga dan Ramp

4.5.6 Perencanaan Sambungan Kolom – Kolom dan Kolom - Poer

Perencanaan sambungan antar kolom memiliki konsep yang hampir sama dengan sambungan balok ke kolom yaitu dengan menggunakan *NMB Splice Sleeve*.

As_{pasang} = 10320 mm^2 (16D29)
$As_{tulangan}$ = 660,52 mm^2

Tabel 4. 47 Brosur *NMB Splice Sleeve*

Steel Specification: The material propertes of the NMB Splice Sleeve® iron castings conform to proprietary specification based on ASTM A536-84. The Models 5U-X and 6U-X satisfy the ASTM A536 Grade 65-45-12 [minimum yield and tensile strength of 65,000 and 45,000 psi respectively], Model 7U-X through Model 14U-X, Model A11W, and Model SNX11 satisfy ASTM A536 [Grade 80-55-06] with a Grade of 65-60-06 [minimum yield and tensile strength of 85,000 and 60,000 psi respectively].

DIMENSIONS OF NMB SPLICE-SLEEVES*											RECOMMENDED REBAR EMBEDMENT LENGTH					
Sleeve No.	Bar Diameter	ASTM Bar Size		Sleeve Length (L) inch (mm)	Narrow End Diameter		Max. Dia. (B) inch (mm)	Wide End Diameter			Factory Dowel (E1) inch (mm)		Field Dowel (E2) inch (mm)			SS Mortar lbs. per Sleeve (kg)
		U.S.	Metric		I.D. (C) inch (mm)	O.D. (C') inch (mm)		I.D. (A) inch (mm)	Total Tolerance inch (mm)	O.D. (A') inch (mm)	Min.	Max.	Min.	Avg.	Max.	
5U-X	0.625	#5	16 MM	9.65 (245)	0.87 (22)	1.50 (38)	1.81 (46)	1.26 (32)	0.63 (16)	1.89 (48)	4.13 (105)	4.33 (110)	4.13 (105)	4.53 (115)	4.92 (125)	1.26 (0.57)
6U-X	0.750	#6	20 MM	11.22 (285)	1.02 (26)	1.65 (42)	1.97 (50)	1.42 (36)	0.67 (17)	2.05 (52)	4.92 (125)	5.12 (130)	4.92 (125)	5.32 (135)	5.71 (145)	1.76 (0.80)
7U-X	0.875	#7	22 MM	12.80 (325)	1.14 (29)	1.77 (45)	2.28 (58)	1.73 (44)	0.86 (22)	2.36 (60)	5.71 (145)	5.91 (150)	5.71 (145)	6.11 (155)	6.50 (165)	2.65 (1.20)
8U-X	1.000	#8	25 MM	14.57 (370)	1.30 (33)	1.93 (49)	2.48 (63)	1.89 (48)	0.89 (23)	2.52 (64)	6.50 (165)	6.69 (170)	6.50 (165)	6.99 (178)	7.48 (190)	3.46 (1.57)
9U-X	1.128	#9	28 MM	16.34 (415)	1.42 (36)	2.06 (52)	2.60 (66)	2.01 (51)	0.89 (23)	2.67 (68)	7.40 (188)	7.56 (192)	7.40 (188)	7.88 (200)	8.35 (212)	3.95 (1.79)
10U-X	1.270	#10	32 MM	17.91 (455)	1.57 (40)	2.28 (58)	2.80 (71)	2.16 (55)	0.89 (23)	2.87 (73)	8.19 (208)	8.35 (212)	8.19 (208)	8.66 (220)	9.13 (232)	4.94 (2.24)
11U-X	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	2.40 (61)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.98 (228)	9.13 (232)	8.98 (228)	9.45 (240)	9.92 (252)	6.02 (2.73)
SNX11	1.410	#11	35 MM	19.09 (485)	1.69 (43)	3.03 (77)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.86 (225)	9.25 (235)	8.27 (210)	8.86 (225)	9.45 (240)	5.71 (2.59)
A11W	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	3.31 (84)	3.30 (84)	2.60 (66)	1.19 (30)	3.30 (84)	8.86 (225)	9.69 (246)	8.27 (210)	8.96 (228)	9.50 (241)	6.99 (3.17)
14U-X	1.693	#14	40 MM	24.41 (620)	2.01 (51)	2.80 (71)	3.46 (88)	2.60 (66)	0.91 (23)	3.46 (88)	11.42 (290)	11.61 (295)	11.42 (290)	11.91 (303)	12.40 (315)	9.19 (4.17)
18U	2.257	#18	57 MM	36.22 (920)	2.68 (68)	3.66 (93)	4.72 (120)	3.27 (83)	1.01 (26)	4.25 (108)	17.00 (432)	18.11 (460)	17.00 (432)	17.56 (446)	18.11 (460)	25.31 (11.48)

Grout Specification: The grout used in the NMB must be non-metallic, "SS Mortar®". Minimum grout strength requirements for ASTM A615 Grade 60 rebars:

Type 2 (ACI)	(100% Fu = 150% Fy = 90 ksi)	**9,500 psi**
Type 1 & AASHTO	(125% Fy = 75 ksi)	**6,500 psi**
Yield Strength	(100% Fy = 60 ksi)	**3,000 psi**

Digunakan *NMB Splice Sleeve* tipe 9U-X dengan diameter 28mm (Outside Diameter 68 mm) dengan spesifikasi:

85000 psi x As (D68-D51) > 1,5 Fy x As D29

586 Mpa x 1588,86 mm^2 > 630 Mpa x 660,52 mm^2

931072 N > 416127 N

sehingga termasuk kategori *mechanical splice* tipe 2. Sesuai dengan ACI 318-11 ps 21.1.6.2 *mechanical* splices dapat digunakan dilokasi manapun. Dan di*grouting* dengan *non shrinkage* SS Mortar tipe 2 yang memiliki kekuatan 9500 psi (65,5 Mpa).

Sambungan juga harus memenuhi ACI 318-11 ps 21.8.3 (d) dimana ϕMn = 2600 KNm > 0,4 Mpr = 0,4 x 2680 KNm = 1072 KNm dan ϕVn= 2013,81 KN > Ve = 1531,43 KN.

Gambar 4. 87 Detail sambungan Kolom - Kolom

4.6 Perencanaan Pondasi

4.6.1 Umum

Perencanaan pondasi merupakan perencanaan struktur bawah bangunan. Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *pencil pile shoe* produk dari PT. WIKA (Wijaya Karya) Beton. Pada bab perencanaan pondasi pembahasan meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dan perencanaan poer (pile cap).

4.6.2 Beban Struktur

Beban struktur menentukan bagaimana perencanaan pondasi yang akan dilakukan. beban struktur disalurkan melalui kolom kemudian ke tiang pancang. Beban yang bekerja pada pondasi dihitung menurut SNI 1726:2012 kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin. Kombinasi beban-beban dibawah ini adalah kombinasi beban untuk menghitung tiang pancang dengan desain tegangan ijin:

- 1D
- D + L
- D + 0,75L
- D + 0,7E
- D + 0,75L + 0,75(0,7E)
- 0,6D + 0,7E

Dari kombinasi beban di atas dilakukan control dari masing-masing kombinasi untuk menentukan perhitungan jumlah tiang pancang, defleksi dan momen yang terjadi pada reaksi perletakan.

Output dari joint reaction ini kemudian dipilih sesuai kombinasi maksimum yang paling menentukan dalam perhitungan P_{ijin} 1 tiang. Berikut ini adalah output dari joint reaction pada pondasi.

Gambar 4. 88 Denah Pondasi Lower Ground

Gambar 4. 89 Denah Pondasi Basement

Tabel 4. 48 Beban Pada K1 Saat Service (Tipe 1)

Tipe Pondasi	Kombinasi	P	Hx	Hy	Mx	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
Pondasi Kolom 1	0.6D + 0.7EX	266.51	8.28	2.87	25.40	6.39
	0.6D + 0.7EY	272.57	2.66	5.82	7.38	16.06
	1D	438.62	2.42	2.35	3.06	2.93
	1D + 1L	551.75	3.15	1.18	4.01	3.89
	1D + 0.75L	523.46	2.97	2.94	3.77	3.65
	1D + 0.75L + 0.525EX	525.97	7.14	4.01	20.43	7.13
	1D + 0.75L + 0.525EY	530.51	3.24	6.11	6.92	13.70
	1D + 0.7EX	441.96	8.74	3.79	26.09	7.57
	1D + 0.7EY	448.01	3.12	6.70	8.07	16.72
Pondasi Kolom 2	0.6D + 0.7EX	51.44	6.45	1.26	1.56	10.42
	0.6D + 0.7EY	50.94	2.71	1.63	2.26	3.85
	1D	84.58	2.89	1.78	1.98	3.13
	1D + 1L	110.90	3.83	2.38	2.65	4.15
	1D + 0.75L	104.32	3.60	2.23	2.48	3.90
	1D + 0.75L + 0.525EX	104.84	6.48	2.37	2.75	9.65
	1D + 0.75L + 0.525EY	104.46	4.33	2.65	3.28	5.31
	1D + 0.7EX	85.27	7.10	1.97	2.34	11.09
	1D + 0.7EY	84.77	3.87	2.34	3.05	5.02
Pondasi SW1	0.6D + 0.7EX	532.82	14.79	23.45	43.08	190.88
	0.6D + 0.7EY	434.70	4.31	66.49	11.88	514.03
	1D	632.24	1.00	0.62	1.48	14.13
	1D + 1L	717.06	1.24	0.96	1.96	21.08
	1D + 0.75L	695.85	1.18	0.88	1.84	19.34
	1D + 0.75L + 0.525EX	810.96	11.83	18.19	33.48	156.15
	1D + 0.75L + 0.525EY	737.37	3.96	50.47	10.08	398.51
	1D + 0.7EX	785.72	15.19	23.69	43.67	196.54
	1D + 0.7EY	687.59	4.71	66.73	12.47	519.68
Pondasi SW2	0.6D + 0.7EX	890.23	10.31	8.01	65.08	526.72
	0.6D + 0.7EY	808.39	3.12	27.43	17.50	914.83
	1D	1254.12	0.99	5.16	1.21	73.63
	1D + 1L	1451.81	1.29	6.77	1.51	79.03
	1D + 0.75L	1402.39	3.12	16.53	1.43	77.68
	1D + 0.75L + 0.525EX	1505.71	1.22	6.36	49.70	439.59
	1D + 0.75L + 0.525EY	1444.33	8.51	1.96	14.01	905.67
	1D + 0.7EX	1391.88	10.70	5.94	65.56	556.17
	1D + 0.7EY	1310.04	3.52	25.37	17.98	1144.29

4.6.3 Kriteria Design

4.6.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* Produk dari PT. Wijaya Karya Beton.

Tabel 4. 49 Spesifikasi Tiang Pancang WIKA

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm2)	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50
800	120	A1	2564	641	6 -24	40.70	63.60	415.00
		A2				46.20	84.40	406.20
		A3				51.00	97.80	398.20
		B				55.70	108.20	390.80
		C				70.60	129.80	367.60

1. Tiang pancang beton pracetak dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang fc’= 52 Mpa.

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan:

- *Outside Diameter* (D) : 600 mm
- *Thickness* : 100 mm
- *Class* : A2
- *Concrete Cross Section* : 1571 cm^2
- *Unit Weight* : 393 kg/m
- *Length* : 6-16 m
- *Bending momen crack* : 19 tm
- *Bending momen ultimate* : 28,5 tm
- *Allowable axial Load* : 249 ton

4.6.3.2 Data Tanah

Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Data tanah didapatkan melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung Apartemen Grand Dhika City Jatiwarna Tower Emerald adalah data tanah di lokasi pembangunan Apartemen Grand Dhika City itu sendiri.

4.6.3.3 Daya Dukung

4.6.3.3.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung SPT dari lapangan tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan tiang pancang. Harus dilakukan koreksi terlebih dahulu terhadap data SPT asli. Metode perhitungan menggunakan cara dari *Terzaghi Bazaraa* 1960, adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Koreksi terhadap muka air tanah
   Khusus untuk tanah berpasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung, yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila N>15 :
   a. N1 = 15 + ½(N-15)
   b. N1 = 0.6 N

   Kemudian pilih harga N1 yang terkecil

2. Koreksi terhadap Overburden
   Dari harga N1 dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan tanah vertikal
   N2= 4N1/ (1+ 0.4 Po) untuk Po< 7.5 ton
   N2= 4N1/ (3.25+ 0.1 Po) untuk Po>7.5 ton

Tiang pancang dibagi menjadi n segmen, seperti gambar berikut:

Gambar 4. 90 Pembagian segmen tiang pancang

Pult = Cn. A ujung + ΣCli. Asi
Dimana:
Cli = hambatan geser tiang pada segmen i
Cli = Fsi
Asi = Luas selimut tianh
Oi = keliling tiang
Cn = 40 N

Harga N merupakan rata-rata N2 4D dibawah ujung sampai 8D diatas ujung tiang.
Cli = Fsi = 2
Sehingga:
P ult tiang = 40 N A ujung + Σ(Ni/2) Asi
Pijin tiang = Pult/SF, dengan SF =2

Tabel 4. 50 Perhitungan Daya Dukung Tanah

Depth (m)	N (bl/ft)	L/P	N >15sand	γsat (t/m3)	γ ' (t/m3)	po (ton/m2)	N Corr	N rata2 ujung	Qujung (ton)	*fsi* (ton/m2)	Rsi (ton)	Σ Rsi (ton)	Qult Σ Rsi	Qijin SF=3 ; (ton)
0	0	L	0.000	1.72	0.72	0.72	0.00	4.67	52.75	0.00	0.00	0.00	52.75	**17.58**
-1	3	L	3	1.72	0.72	1.44	6.00	5.47	61.82	3.00	5.65	5.65	67.47	**22.49**
-2	4	L	4	1.57	0.57	2.01	8.00	5.78	65.35	4.00	7.54	13.19	78.54	**26.18**
-3	4	L	4	1.57	0.57	2.58	7.87	5.61	63.43	3.94	7.42	20.62	84.04	**28.01**
-4	4	L	4	1.61	0.61	3.19	7.03	5.22	59.00	3.51	6.63	27.24	86.24	**28.75**
-5	3	L	3	1.61	0.61	3.80	4.76	5.96	67.41	2.38	4.49	31.73	99.14	**33.05**
-6	2	L	2	1.67	0.67	4.47	2.87	6.30	71.19	1.43	2.70	34.43	105.63	**35.21**
-7	4	L	4	1.71	0.71	5.18	5.21	6.25	70.70	2.60	4.91	39.34	110.04	**36.68**
-8	7	L	7	1.71	0.71	5.89	8.34	6.29	71.15	4.17	7.86	47.21	118.36	**39.45**
-9	7	L	7	1.71	0.71	6.60	7.69	6.98	78.93	3.85	7.25	54.46	133.38	**44.46**
-10	8	L	8	1.71	0.71	7.31	8.15	8.52	96.31	4.08	7.69	62.14	158.45	**52.82**
-11	12	L	12	1.71	0.71	8.02	11.85	12.61	142.50	5.92	11.16	73.31	215.80	**71.93**
-12	16	L	16	1.71	0.71	8.73	15.52	18.56	209.81	7.76	14.63	87.94	297.75	**99.25**
-13	33	L	33	1.71	0.71	9.44	31.47	23.96	270.82	15.74	29.66	117.60	388.42	**129.47**
-14	50	L	50	1.71	0.71	10.15	46.89	29.34	331.69	23.45	44.20	161.79	493.48	**164.49**
-15	50	L	50	1.71	0.71	10.86	46.13	32.01	361.79	23.06	43.47	205.27	567.06	**189.02**
-16	50	L	50	1.71	0.71	11.57	45.38	34.08	385.26	22.69	42.77	248.04	633.30	**211.10**
-17	50	P	30	1.71	0.71	12.28	26.80	37.31	421.72	5.36	10.10	258.14	679.86	**226.62**
-18	50	P	30	1.71	0.71	12.99	26.38	37.56	424.59	5.28	9.94	268.09	692.68	**230.89**
-19	44	L	44	1.71	0.71	13.70	38.10	36.14	408.55	19.05	35.90	303.99	712.54	**237.51**
-20	39	L	39	1.71	0.71	14.41	33.26	35.46	400.89	16.63	31.34	335.33	736.22	**245.41**
-21	44	L	44	1.71	0.71	15.12	36.96	33.29	376.34	18.48	34.83	370.17	746.51	**248.84**
-22	50	L	50	1.71	0.71	15.83	41.38	32.34	365.52	20.69	39.00	409.17	774.69	**258.23**
-23	37	L	37	1.71	0.71	16.54	30.18	32.08	362.61	15.09	28.44	437.61	800.22	**266.74**
-24	25	L	25	1.71	0.71	17.25	20.10	30.88	349.06	10.05	18.94	456.56	805.62	**268.54**
-25	31	L	31	1.71	0.71	17.96	24.57	30.97	350.14	12.29	23.16	479.72	829.86	**276.62**
-26	38	L	38	1.71	0.71	18.67	29.70	31.13	351.87	14.85	28.00	507.71	859.58	**286.53**
-27	44	L	44	1.71	0.71	19.38	33.92	30.58	345.64	16.96	31.97	539.68	885.32	**295.11**
-28	50	L	50	1.71	0.71	20.09	38.03	31.56	356.70	19.02	35.84	575.53	932.23	**310.74**
-29	50	L	50	1.71	0.71	20.80	37.52	33.91	383.26	18.76	35.37	610.89	994.16	**331.39**
-30	50	L	50	1.71	0.71	21.51	37.03	33.49	378.54	18.52	34.90	645.79	1024.33	**341.44**
-31	50	L	50	1.71	0.71	22.22	36.55	32.30	365.09	18.27	34.45	680.24	1045.33	**348.44**
-32	50	P	30	1.71	0.71	22.93	21.65	32.48	367.12	4.33	8.16	688.40	1055.52	**351.84**
-33	50	P	30	1.71	0.71	23.64	21.38	32.01	361.82	4.28	8.06	696.46	1058.27	**352.76**
-34	50	L	50	1.71	0.71	24.35	35.18	31.55	356.65	17.59	33.16	729.62	1086.26	**362.09**
-35	50	L	50	1.71	0.71	25.06	34.75	31.10	351.61	17.37	32.75	762.36	1113.97	**371.32**
-36	50	L	50	1.71	0.71	25.77	34.32	30.67	346.69	17.16	32.35	794.71	1141.41	**380.47**
-37	50	L	50	1.71	0.71	26.48	33.91	31.74	358.79	16.95	31.96	826.67	1185.46	**395.15**
-38	50	L	50	1.71	0.71	27.19	33.51	32.24	364.44	16.75	31.58	858.25	1222.69	**407.56**
-39	44	L	44	1.71	0.71	27.90	29.14	31.75	358.90	14.57	27.46	885.71	1244.61	**414.87**
-40	38	L	38	1.71	0.71	28.61	24.87	31.15	352.12	12.44	23.44	909.16	1261.28	**420.43**

Beban ijin aksial 1 tiang (sesuai brosur) = 249 ton
Pada Kedalaman 21m daya dukung tanah = 248,8 ton

Sehingga kedalaman tiang pancang sebesar = 21 m

Gambar 4. 91 Grafik Daya Dukung Tiang Pancang vs Kedalaman

4.6.3.3.2 Kontrol Beban Maksimul 1 Tiang Pancang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan :

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_y . X_{max}}{\Sigma X^2} + \frac{M_x . Y_{max}}{\Sigma Y^2} \leq P_{ijin\ tanah}\ (1\ tiang)$$

Kontrol ini dilakukan pada tiap jenis susunan tiang pancang. Sebelumnya terlebih dahulu ditentukan jumlah tiang pancang dalam group dengan cara coba-coba dan sesuai dengan besar pile cap. Untuk beberapa contoh perhitungan dilakukan perhitungan dengan menggunakan group tiang pancang tipe Kolom 1 dengan kombinasi beban 1D + 1L.

Gambar 4. 92 Group Tiang Pondasi Kolom

Gambar 4. 93 Group Tiang Pondasi Shearwall

Contoh perhitungan (Pondasi Kolom Tipe 1):

P = 551,75 ton

N = 4 tiang

Mx = Mx + (Hy × t_{poer}) = 4,01 × (3,15 × 1,5) = 8,74 tm

My = My + (Hx × t_{poer}) = 3,89 × (2,69 × 1,5) = 5,66 tm

Xmax = 0,75 m

Ymax = 0,75 m

$$P_{max} = \frac{551{,}75}{4} + \frac{8{,}74\ x\ 0.75}{2{,}25} + \frac{5{,}66\ x\ 0{,}75}{2{,}25} \leq 248{,}8\ t$$

$$142{,}74\ t \leq 248{,}8\ t\ (1\ tiang)\ \ldots\ OK$$

Tabel 4. 51 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang (Tipe Kolom 1)

Tipe Pondasi	Kombinasi	Mx tot	My tot	Jumlah Tiang	X maks	∑ x2	Y maks	∑ y2	Pmax	ket
		Ton-m	Ton-m	buah	m	m2	m	m2	Ton	
Pondasi Kolom 1	0.6D + 0.7EX	37.82	10.70	4	0.75	2.25	0.75	2.25	82.80	ok
	0.6D + 0.7EY	11.38	24.79	4	0.75	2.25	0.75	2.25	80.20	ok
	1D	6.69	6.45	4	0.75	2.25	0.75	2.25	114.04	ok
	1D + 1L	8.74	5.66	4	0.75	2.25	0.75	2.25	142.74	ok
	1D + 0.75L	8.23	8.06	4	0.75	2.25	0.75	2.25	136.30	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	31.15	13.14	4	0.75	2.25	0.75	2.25	146.26	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	11.78	22.87	4	0.75	2.25	0.75	2.25	144.18	ok
	1D + 0.7EX	39.20	13.25	4	0.75	2.25	0.75	2.25	127.97	ok
	1D + 0.7EY	12.75	26.76	4	0.75	2.25	0.75	2.25	125.17	ok
Pondasi Kolom 2	0.6D + 0.7EX	11.24	12.31	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	30.35	ok
	0.6D + 0.7EY	6.33	6.29	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	23.99	ok
	1D	6.33	5.81	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	34.88	ok
	1D + 1L	8.40	7.72	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	45.85	ok
	1D + 0.75L	7.88	7.24	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	43.11	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	12.48	13.21	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	49.30	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	9.78	9.29	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	45.36	ok
	1D + 0.7EX	12.99	14.05	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	43.56	ok
	1D + 0.7EY	8.86	8.54	3	0.75	1.125	0.75	1.6875	37.88	ok
Pondasi SW1	0.6D + 0.7EX	57.87	214.33	8	0.75	4.5	2.25	22.5	108.11	ok
	0.6D + 0.7EY	18.34	613.76	8	0.75	4.5	2.25	22.5	158.46	ok
	1D	2.98	15.05	8	0.75	4.5	2.25	22.5	81.84	ok
	1D + 1L	3.82	22.53	8	0.75	4.5	2.25	22.5	93.77	ok
	1D + 0.75L	3.61	20.66	8	0.75	4.5	2.25	22.5	90.79	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	51.22	183.42	8	0.75	4.5	2.25	22.5	137.06	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	16.02	474.20	8	0.75	4.5	2.25	22.5	172.81	ok
	1D + 0.7EX	66.46	232.07	8	0.75	4.5	2.25	22.5	143.54	ok
	1D + 0.7EY	19.53	619.78	8	0.75	4.5	2.25	22.5	191.20	ok
Pondasi SW2	0.6D + 0.7EX	80.54	538.73	12	0.75	6.75	3.75	78.75	137.88	ok
	0.6D + 0.7EY	22.18	955.98	12	0.75	6.75	3.75	78.75	174.64	ok
	1D	2.69	81.37	12	0.75	6.75	3.75	78.75	113.68	ok
	1D + 1L	3.45	89.18	12	0.75	6.75	3.75	78.75	131.06	ok
	1D + 0.75L	6.11	102.48	12	0.75	6.75	3.75	78.75	128.54	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	51.53	449.13	12	0.75	6.75	3.75	78.75	177.83	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	26.77	908.62	12	0.75	6.75	3.75	78.75	222.59	ok
	1D + 0.7EX	81.62	565.08	12	0.75	6.75	3.75	78.75	182.66	ok
	1D + 0.7EY	23.26	1182.33	12	0.75	6.75	3.75	78.75	241.65	ok

4.6.3.3.3 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk mengetahui jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dalam satu kolom adalah dengan membagi beban aksial dan daya dukung ijin satu tiang. Perhitungan ditunjukan pada tabel 4.47.

Terdapat beberapa tipe susuan tiang pancang berdasarkan satu berat kolom yang dipikulnya. Jumlah tiang pancang direncanakan jarak nya sesuai dengan yang diijinkaan. Tebal poer yang direncanakan pada tiang pancang group sebesar 1.5 meter.

Pengaturan jarak tiang pancang pondasi kolom

- Jarak antar tiang :
  2.5 D ≤ S ≤ 3 D
  2.5×60 ≤ S ≤ 3×60
  150 cm ≤ S ≤ 180 cm
  Digunakan jarak antar tiang = 150 cm

- Jarak tepi tiang pancang :
  1 D ≤ S1 ≤ 2 D
  1×60 ≤ S1 ≤ 60
  60 cm ≤ S1 ≤ 120 cm
  Digunakan jarak tiang ke tepi = 60 cm

Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (η) menurut Seiler-Keeney Formula.

$$\eta = \left(1 - \frac{36 \times S}{(75 \times S^2 - 7)} \times \left(\frac{m + n - 2}{m + n - 1}\right)\right) + \frac{0{,}3}{m + n}$$

Dimana :
S = jarak antar tiang pancang (1,5 m)
m = jumlah baris tiang pancang dalam group (2 baris)
n = jumlah kolom tiang pancang dalam group (2 kolom)

$$Q_L \text{ (group)} = Q_L \text{ (1 tiang)} \times n \times \eta$$

Dimana Q_L (group) harus lezbih besar dari P yang terjadi.

$$\eta = \left(1 - \frac{36 \times 1{,}5}{(75 \times 1{,}5^2 - 7)} \times \left(\frac{2 + 2 - 2}{2 + 2 - 1}\right)\right) + \frac{0{,}3}{2 + 2} = 0{,}852$$

Q_L(group) = 248,8 × 8 × 0,852

= 848,34 (OK, lebih besar dari beban yang terjadi)

Tabel 4. 52 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok

Tipe Pondasi	Kombinasi	P	Spasi	m	n	η	P ijin Tiang	Ql Group	Ket
		Ton	m	buah	buah		Ton	Ton	
Pondasi Kolom 1	0.6D + 0.7EX	266.51	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	0.6D + 0.7EY	272.57	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D	438.62	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D + 1L	551.75	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D + 0.75L	523.46	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	525.97	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	530.51	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D + 0.7EX	441.96	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
	1D + 0.7EY	448.01	1.5	2	2	0.852	248.8	848.34	ok
Pondasi Kolom 2	0.6D + 0.7EX	51.44	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	0.6D + 0.7EY	50.94	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D	84.58	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D + 1L	110.90	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D + 0.75L	104.32	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	104.84	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	104.46	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D + 0.7EX	85.27	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
	1D + 0.7EY	84.77	1.5	2	3	0.810	248.8	604.30	ok
Pondasi SW1	0.6D + 0.7EX	532.82	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	0.6D + 0.7EY	434.70	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D	632.24	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D + 1L	717.06	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D + 0.75L	695.85	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	810.96	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	737.37	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D + 0.7EX	785.72	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
	1D + 0.7EY	687.59	1.5	4	2	0.783	248.8	1558.33	ok
Pondasi SW2	0.6D + 0.7EX	890.23	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	0.6D + 0.7EY	808.39	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D	1254.12	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D + 1L	1451.81	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D + 0.75L	1402.39	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	1505.71	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	1444.33	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D + 0.7EX	1391.88	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok
	1D + 0.7EY	1310.04	1.5	6	2	0.751	248.8	2243.21	ok

Kontrol Kekutan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Gambar 4. 94 Diagram Gaya Lateral Tiang

Gaya lateral yang bekerja pada tiang dapat menyebabkan terjadinya defleksi dan momen. Oleh karena itu harus dilakukan kontrol terhadap defleksi yang terjadi pada tiang.

Kontrol defleksi tiang :

$$\delta = Fd\left(\frac{PT^3}{EI}\right) \leq 2.5\ cm$$

δ = defleksi yang terjadi
Fd = koefisien defleksi
P = Gaya lateral 1 tiang
T = *Relative stiffnes Factor*

Tipe Pondasi Kolom
Jumlah tiang = 4
Hmax = 8,74 t
Hmax 1 tiang = 2.19 t

Gambar 4. 95 grafik *Immediate Settlement of Isolate Footing*

Cu = 0.56 kg/cm^2 (didapat dari data tanah)

$$Qu = 2 \times Cu = 2 \times \frac{0{,}56}{0.977} = 1.1464 \frac{t}{ft^2}$$

Tanah Padat (Data Tanah)

Didapatkan dari grafik *Immediate Settlement of Isolate Footing*

f (*soil modulus of elacticity coefficient)*= 47 t/ft^3 = 1,504 kg/cm^3

$$T = (\frac{EI}{f})^{\frac{1}{5}}$$

$$E = 4700(fc')^{\frac{1}{2}} = 4700(52)^{\frac{1}{2}}$$

$$E = 33892\ Mpa = 345839\ kg/cm^2$$

$$I = \frac{1}{64}\ x\ \frac{22}{7}\ x\ (60 - 10)^4 = 306919.6\ cm^4$$

$$T = (\frac{EI}{f})^{\frac{1}{5}} = (\frac{345839\ x\ 306919.6}{1.504})^{\frac{1}{5}} = 147{,}82\ cm$$

Gambar 4. 96 grafik *Influence Value fot Laterally Loaded Pile*

L = 21 m = 2100 cm (kedalaman tiang pancang)
T = 147,82 cm
L/T = 14,2

Didapatkan dari grafik *Influence Value fot Laterally Loaded Pile*
Fd (*deflection coefficient*) = 0,93

$$\delta = Fd\left(\frac{PT^3}{EI}\right) \leq 2.5\ cm$$

$$\delta = 0.93\left(\frac{2190\ x\ 147{,}82^3}{345839\ x\ 306919.6}\right) \leq 2{,}5\ cm$$

$\delta = 0{,}062\ cm \leq 2{,}5\ cm$ ….Ok

Gambar 4. 97 grafik *Influence Value fot Laterally Loaded Pile*

Kontrol Momen :

L/T = 14,2

Didapatkan dari grafik *Influence Value fot Laterally Loaded Pile* Fm (*moment coefficient)* = 0,25

M_{crack} = 19 tm (tabel spesifikasi tiang pancang)

$M = Fm(PT) \leq M_{banding\ crack}$

$M = 0{,}25 \times (2{,}19\ x\ 1{,}48) \leq 19\ tm$

$M = 0{,}81\ tm\ \leq 19\ tm$ Ok

Tabel 4. 53 Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Tipe Pondasi	Kombinasi	H maks	H 1 tiang	Qu	T	δ	Ket	M	Ket
		Ton	Ton	kg/cm^2	cm	cm		tm	
Pondasi Kolom 1	0.6D + 0.7EX	8.28	2.07	1.1464	147.82	0.059	ok	0.77	ok
	0.6D + 0.7EY	5.82	1.46	1.1464	147.82	0.041	ok	0.54	ok
	1D	2.42	0.61	1.1464	147.82	0.017	ok	0.22	ok
	1D + 1L	3.15	0.79	1.1464	147.82	0.022	ok	0.29	ok
	1D + 0.75L	2.97	0.74	1.1464	147.82	0.021	ok	0.27	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	7.14	1.79	1.1464	147.82	0.051	ok	0.66	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	6.11	1.53	1.1464	147.82	0.043	ok	0.56	ok
	1D + 0.7EX	8.74	2.19	1.1464	147.82	0.062	ok	0.81	ok
	1D + 0.7EY	6.70	1.67	1.1464	147.82	0.047	ok	0.62	ok
Pondasi Kolom 2	0.6D + 0.7EX	6.45	2.15	1.1464	147.82	0.061	ok	0.79	ok
	0.6D + 0.7EY	2.71	0.90	1.1464	147.82	0.026	ok	0.33	ok
	1D	2.89	0.96	1.1464	147.82	0.027	ok	0.36	ok
	1D + 1L	3.83	1.28	1.1464	147.82	0.036	ok	0.47	ok
	1D + 0.75L	3.60	1.20	1.1464	147.82	0.034	ok	0.44	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	6.48	2.16	1.1464	147.82	0.061	ok	0.80	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	4.33	1.44	1.1464	147.82	0.041	ok	0.53	ok
	1D + 0.7EX	7.10	2.37	1.1464	147.82	0.067	ok	0.87	ok
	1D + 0.7EY	3.87	1.29	1.1464	147.82	0.037	ok	0.48	ok
Pondasi SW1	0.6D + 0.7EX	23.45	2.93	1.1464	147.82	0.083	ok	1.08	ok
	0.6D + 0.7EY	66.49	8.31	1.1464	147.82	0.235	ok	3.07	ok
	1D	1.00	0.12	1.1464	147.82	0.004	ok	0.05	ok
	1D + 1L	1.24	0.16	1.1464	147.82	0.004	ok	0.06	ok
	1D + 0.75L	1.18	0.15	1.1464	147.82	0.004	ok	0.05	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	18.19	2.27	1.1464	147.82	0.064	ok	0.84	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	50.47	6.31	1.1464	147.82	0.179	ok	2.33	ok
	1D + 0.7EX	23.69	2.96	1.1464	147.82	0.084	ok	1.09	ok
	1D + 0.7EY	66.73	8.34	1.1464	147.82	0.236	ok	3.08	ok
Pondasi SW2	0.6D + 0.7EX	10.31	0.86	1.1464	147.82	0.024	ok	0.32	ok
	0.6D + 0.7EY	27.43	2.29	1.1464	147.82	0.065	ok	0.84	ok
	1D	5.16	0.43	1.1464	147.82	0.012	ok	0.16	ok
	1D + 1L	6.77	0.56	1.1464	147.82	0.016	ok	0.21	ok
	1D + 0.75L	16.53	1.38	1.1464	147.82	0.039	ok	0.51	ok
	1D + 0.75L + 0.525EX	6.36	0.53	1.1464	147.82	0.015	ok	0.20	ok
	1D + 0.75L + 0.525EY	8.51	0.71	1.1464	147.82	0.020	ok	0.26	ok
	1D + 0.7EX	10.70	0.89	1.1464	147.82	0.025	ok	0.33	ok
	1D + 0.7EY	25.37	2.11	1.1464	147.82	0.060	ok	0.78	ok

4.6.3.4 Perencanaan Poer (*pile cap*)

Pada perhitungan perencanaan tulangan poer di ambil salah satu contoh tipe poer, yaitu tipe kolom 1. Data perencanaan adalah sebagai berikut:

Σ tiang pancang tiap group	= 4
Dimensi kolom	= 800 × 800 mm^2
Dimensi pile cap	= 2,7 × 2,7 × 1,5 m^3
Mutu beton (f'_c)	= 42 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Diameter tulangan (D)	= 29 mm
Selimut beton	= 75 mm
Tinggi efektif (d)	= 1500 - 75- ½ x 29 = 1410.5 mm

P_u kolom = 551,75 ton
P_u pile = 1,5 x P_{ijin} = 1,5 x 248,8 = 373,2 ton

Diambil SF pile cap 1,5 karena diasumsikan pile cap tidak boleh gagal terlebih dahulu dibandingkan tiang pancang.

4.6.3.4.1 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Dalam merencanakan pile cap harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 pasal 11.2.

- ***Punching Shear***

Bagian geser adalah pada d/2 dari muka kolom, seperti pada gambar dibawah.

a1 = 800 + 1410,5 = 2210,5 mm = 2,21 m
b1 = 800 + 1409,5 = 2210,5 mm = 2,21 m
U = 2 (a1+b1) = 8842 mm

Pada SNI tidak memberikan prosedur eksplisit untuk memperhitungkan *punching load* pada pile cap. Sehingga punching load dapat diasumsikan sama dengan beban kolom

dikurang berat dari bagian pile yang terletak didalam d/2 (1409/2 = 704,5 mm). Punching Load bisa diperhitungkan sebagai berikut:

$$W_u\ poer = 1.2\ x\ 2{,}4\ x\ 2{,}209^2\ x\ 1{,}5 = 21{,}1\ t$$
$$P_{u,punch} = P_{u,kolom} + W_u - P_{pile}$$
$$P_{u,punch} = 551{,}75 + 21{,}1 - 373{,}2 \times 4 = 919{,}95\ t$$

- **Geser pons 2 Arah**

Batas geser pons adalah yang terkecil dari

$$\phi V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right)\left(\frac{\sqrt{f`_c}}{6}\right) \times b_o \times d$$

$$\phi V_c = 0.083\left(\frac{\alpha.d}{b0} + 2\right)\sqrt{f`_c} \times b_o \times d$$

$$\phi V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f`_c} \times b_o \times d$$

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom = $\frac{800}{800} = 1$

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

= 2(b_{kolom} + d) + 2(h_{kolom} + d)

= 2 x (800 + 1410,5) + 2 x (800 + 1410,5) = 8842 mm

Gambar 4. 98 Area Kritis Geser pons dua arah pondasi kolom

Gambar 4. 99 Area Kritis Geser pons dua arah pondasi shearwall

$$V_c = \left(1+\frac{2}{1}\right)\times\frac{\sqrt{40}}{6}\times 8842\times 1410{,}5 = 39429870 \text{ N}$$

$$V_c = 0{,}083\times\left(\frac{1410{,}5}{8842}+2\right)\times\sqrt{40}\times 8842\times 1410{,}5 = 14135090 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{3}\times\sqrt{40}\times 1409\times 8818 = 26286580 \text{ N}$$

V_c = 14135090 N = 1413,5 ton

V_c > $P_{u\ punch}$ = 919,95 ton (OK)

Kontrol tegangan geser yang terjadi :

$$\tau_C = \frac{1}{3} x \sqrt{f'_C} = \frac{1}{3} x \sqrt{40} = 2{,}108 Mpa$$

$$\tau_u = \frac{P_u\, punch}{bo \times d} = \frac{919{,}95 \times 10^4}{8842 \times 1410{,}5} = 0{,}74 MPa$$

$\tau_u < \tau_c$ …. OK

ketebalan poer mampu menahan gaya geser yang terjadi.

- **Geser Pons 1 Arah**

Gambar 4. 100 Area Kritis Geser pons satu arah pondasi

$P_{u\,pile} = 373{,}2\ t$

Vu = 2 Pu pile – berat pile cap

$V_{u,pile} = 0\ x\ 373{,}2 - 1{,}2\ x\ 2{,}4\ x\ 2{,}7\ x\ 0{,}745\ x\ 1{,}5 = 2{,}86\ t$

$V_c = 0{,}75\sqrt{f'_c}\ b_w d$

$V_c = 0{,}75\sqrt{40}\ 2700\ x\ 1410{,}5 = 18105531\ N = 1806{,}46\ t$

$V_c = 1806{,}46 > V_{u,pile}\ 2{,}86\ t$ … OK

- **Geser Akibat tiang pancang individu**

Gambar 4. 101 Area Geser Akibat tiang pancang Individu

$P_{u,pile} = 373{,}2\ t$

D = 600 + 1409,5 = 2010,5 mm

U = 3,14 x 2010,5 = 6313 m

$\tau_u = \frac{373{,}2 \times 10^4}{6313 \times 1410{,}5} = 0{,}42\ Mpa\ < \tau_c = 2{,}108\ MPa \ldots OK$

4.6.3.4.2 Penulangan Pile Cap

Dalam merencanakan penulangan pile cap, Momen yang terjadi pada *pile cap* didapat dari gaya yg bekerja pada tiang dan kolom.

ρ_{min}= 0,0018

$$m = \frac{fy}{0.85\ fc'} = \frac{420}{0,85\,x\,40} = 12,54$$

Gambar 4. 102 Jarak Tiang Pancang ke Kolom

Penulangan arah x

Mu = n. Pu,pile. X

$M_u = 2\ x\ 373{,}2\ x\ 0{,}35 = 261{,}24\ tm$

M_u = 2612400000 Nmm

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} = \frac{2612400000}{0{,}9 \times 2700 \times 1410{,}5^2} = 0{,}54$$

$$\rho = \frac{1}{12{,}54}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}54 \times 0{,}54}{420}}\right) = 0{,}0013$$

ρ_{pakai} = 0,0018

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0018 \times 1000 \times 1410{,}5 = 2538{,}9\ mm^2$

Digunakan tulangan D29,

n = 2538,9/(¼ π 29^2) = 3,8 buah

s = 1000/3,8 = 260,16 mm x

Digunakan s= 250 mm

Penulangan arah Y

Mu = n. Pu,pile. X

$M_u = 2\ x\ 373{,}2\ x\ 0{,}35 = 261{,}24\ tm$

M_u = 2612400000 Nmm

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} = \frac{2612400000}{0{,}9 \times 2700 \times 1410{,}5^2} = 0{,}54$$

$$\rho = \frac{1}{12{,}54}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}54 \times 0{,}54}{420}}\right) = 0{,}0013$$

ρ_{pakai} = 0,0018

$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0{,}0018 \times 1000 \times 1410{,}5 = 2538{,}9\ mm^2$

Digunakan tulangan D29,

n = 2538,9/(¼ π 29^2) = 3,8 buah

s = 1000/3,8 = 260,16 mm

Digunakan s= 250 mm

Kontrol koefisien faktor reduksi

As = 4 x As D29 = 4 x 0,25 x 3,14 x 29^2 = 2642,08 mm^2

$$a = \frac{As.\ fy}{0{,}85\ f'c\ b} = \frac{2642{,}08\ \times\ 420}{0{,}85 \times 40 \times\ 1000} = 32{,}64\ \ mm$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{32{,}64}{0{,}76} = 42{,}94mm$$

$$\varepsilon t = 0{,}003\ \left(\frac{d}{c} - 1\right)$$

$$= 0{,}003\ \left(\frac{1410{,}5}{42{,}94} - 1\right) = 0{,}095 > 0{,}005 \text{ ... OK}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Gambar 9.3.2 didapat εt lebih besar daripada 0,005 sehingga pelat termasuk dalam kondisi terkontrol tarik dengan nilai ϕ sebesar 0,9.

4.6.3.4.3 Penulangan Tusuk Konde

Dalam perhitungan penulangan tusuk konde diambil rasio tulangan minimun menurut SNI 2847:2013 yaitu sebesar 2% dari inner diameter tiang pancang. Spesifikasi tiang pancang yang digunakan adalah diameter 600mm dengan ketebalan 100mm.

Inner diameter = 600 – 100 = 500 mm

As_{perlu} = $\rho \times$ ¼ π d^2 = 0,02 × ¼ π 500^2 = 3927 mm^2

n = 3927/(¼ π 29^2) = 5,9 = 6 buah

Digunakan tulangan tusuk konde 6 D29

Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer

Tipe Pondasi	Tebal	Tul Lentur	Cover	d	Dimensi Kolom	
	mm	mm	mm	mm	panjang	lebar
Pondasi Kolom 1	1500	29	75	1410.5	800	800
Pondasi Kolom 2	1500	29	75	1410.5	400	400
Pondasi Shearwall 1	1500	29	75	1410.5	4125	800
Pondasi Shearwall 2	1500	29	75	1410.5	6925	800

Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer (Lanjutan)

Tipe Pondasi	fc'	fy	Pu Kolom	Pu Pile	a1	a2	U
	Mpa	Mpa	Ton	Ton	mm	mm	mm
Pondasi Kolom 1	40	420	551.75	373.2	2210	2210	8840
Pondasi Kolom 2	40	420	110.90	373.2	1810	1810	7240
Pondasi Shearwall 1	40	420	810.96	373.2	5535	2210	15490
Pondasi Shearwall 2	40	420	1505.71	373.2	8335	2210	21090

Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer (Lanjutan)

Tipe Pondasi	Kontrol Geser Pons 2 Arah								
	Wu Poer	Pu punch	øVc 1	øVc 2	øVc 3	øVc	Ket	τu	Ket
	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	øVc > Pu	mpa	τu < τc
Pondasi Kolom 1	21.10	919.9539	3942.987	1413.509	2628.658	1413.509	ok	0.737803	ok
Pondasi Kolom 2	14.15	994.5483	3229.324	1176.573	2152.883	1176.573	ok	0.9739	ok
Pondasi Shearwall 1	52.84	2121.792	3196.353	2398.274	4606.099	2398.274	ok	0.971132	ok
Pondasi Shearwall 2	79.58	2893.116	3860.14	3227.55	6271.312	3227.55	ok	0.972559	ok

Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer (Lanjutan)

Tipe Pondasi	Kontrol Geser Pons 1 Arah				
	Pu pile	Jumlah pile	Vu	Vc	Ket
	Ton	buah	Ton	Ton	Vu < Vc
Pondasi Kolom 1	373.2	0	2.85768	1806.459	ok
Pondasi Kolom 2	373.2	2	741.2095	1806.459	ok
Pondasi Shearwall 1	373.2	0	6.03288	3813.636	ok
Pondasi Shearwall 2	373.2	0	9.20808	5820.812	ok

Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer (Lanjutan)

Tipe Pondasi	Penulangan Arah X								
	Mu	m	Rn	ρ min	ρ	ρ pakai	As perlu	s perlu	s pakai
	Nmm		N/mm2				mm2	mm	mm
Pondasi Kolom 1	2612400000	12.54	0.540	0.0018	0.0013	0.0018	2538.9	260.16	250
Pondasi Kolom 2	2052600000	12.54	0.425	0.0018	0.0010	0.0018	2538.9	260.16	250
Pondasi Shearwall 1	5224800000	12.54	0.512	0.0018	0.0012	0.0018	2538.9	260.16	250
Pondasi Shearwall 2	7837200000	12.54	0.503	0.0018	0.0012	0.0018	2538.9	260.16	250

Tabel 4. 54 Perhitungan Perencanaan Poer (Lanjutan)

Tipe Pondasi	Penulangan Arah Y								
	Mu	m	Rn	ρ min	ρ	ρ pakai	As perlu	s perlu	s pakai
	Nmm		N/mm2				mm2	mm	mm
Pondasi Kolom 1	2612400000	12.54	0.540	0.0018	0.0013	0.0018	2538.9	260.16	250
Pondasi Kolom 2	4105200000	12.54	0.849	0.0018	0.0020	0.0020	2888.81	228.648	200
Pondasi Shearwall 1	2149632000	12.54	0.445	0.0018	0.0011	0.0018	2538.9	260.16	250
Pondasi Shearwall 2	1403232000	12.54	0.290	0.0018	0.0007	0.0018	2538.9	260.16	250

Tabel 4. 54 Penulangan Pondasi Kolom 1

Gambar 4. 103 Penulangan Pondasi Kolom 2

Gambar 4. 104 Penulangan Pondasi Shearwall 1

Gambar 4. 105 Penulangan Pondasi Shearwall 2

4.7 Metode Pelaksanaan Konstruksi

Pekerjaan konstruksi beton pracetak merupakan bagian dari metode konstruksi modern saat ini. Inovasi metode pelaksanaan pekerjaan yang efektif dan efisien tanpa mengurangi kemampuan struktur merupakan salah satu permintaan yang besar. Metode pelaksanaan merupakan komponen penting yang tidak bisa dipisahkan dalam desain struktur pracetak. Sebelum direncanakan, harus terlebih dahul diketahui apakah struktur yang nantinya dibangun bisa direalisasikan. Metode pelaksanaan ini merupakan uraian mengenai komponen dan material-material pendukung yang digunakan dalam pelaksaaan metode beton pracetak.

4.7.1 Fabrikasi Beton Pracetak

Proses pencetakan elemen pracetak dilakukan secara pabrikasi di dalam industri beton 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 elemen pracetak yang disebabkab 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.

4.7.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane

Elemen struktur pracetak

1. Balok induk 30/50 (8 m)
   $W = 0,3 \times (0,5 – 0,14) \times 8 \times 2400 = 2073,6$ kg

2. Pelat

Ukuran Pelat 3,325 × 8 m (t = 14 cm)

W = 3,325 × 8 × 0,14 × 2400 = 8937,6 kg

3. Kolom

Kolom terbesar yaitu kolom 80x80cm (tinggi 5m)

W = 0,8 × 0,8 × 5 × 2400 = 7680 kg

Maka dari itu dibutuhkan kapasitas crane yang mampu mengangkat beban maksimum dari keseluruhan elemen beton pracetak yaitu pelat 3,325 x 8 m sebesar 8937,6 kg = 9 ton. 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 titik 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.

- Jenis crane POTAIN MR 160 C
- Jarak jangkau maksimum 60 m dengan beban maksimum 7,5 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

4.7.3 Transportasi Elemen Beton Pracetak

Sistem transportasi disini 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.

4.7.4 Metode Pekerjaan Elemen Beton Pracetak

4.7.4.1 Pemasangan Elemen Kolom Pracetak

Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan *pile cap* dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian *pile cap*. Tulangan kolom yang sudah tertanam kemudian disambung ke *splice sleeve* produk perusahaan NMB. Kemudian digrout menggunakan *non-shrinking grout SS Mortar*. Sedangkan untuk sambungan kolom –kolom dilakukan setelah *overtopping* seperti pada gambar 4.

Gambar 4. 106 Pemasangan Profil Sambungan Kolom

4.7.4.2 Pemasangan Elemen Balok Induk dan Balok Anak

Pemasangan balok pracetak setelah pemasangan kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulangan utama pada balok yaitu tulangan tarik pada tumpuan. Lalu setelah tulangan terpasang baru dilakukan pengecoran setempat pada sambungan balok kolom dan pengecoran overtopping pelat dan balok.

4.7.4.2.1 Pemasangan Balok Induk

Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan *crane* 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. 107 Pemasangan Balok Induk

Sambungan pada balok induk ke balok ke kolom menggunakan panjang penyaluran tulangan, kemudian dilakukan *overtopping*.

Gambar 4. 108 Detail Sambungan Kolom – Balok

4.7.4.2.2 Pemasangan Elemen Balok Anak Pracetak

Sambungan tulangan tumpuan untuk momen positif di tumpuan menggunakan bantuan COPRA ANCHOR & BECO Beam Shoe dari *peikko group*

Gambar 4. 109 Detail Sambungan Balok Induk -Balok Anak

Gambar 4. 110 Detail Penyambungan Beam Shoe
Sumber: Brosur Pekko Beam Shoe

4.7.4.3 Pemasangan Elemen Pelat Pracetak

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.

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas 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.

Gambar 4. 111 Pengecoran Topping

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur yang dilakkan dalam penyusunan Tugas Akhir "Perencanaan Gedung Apartemen Grand Dhika City Dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak" maka disimpulkan beberapa data sebagai berikut :

1. Berdasarkan SNI 2847:2013 didapatkan perhitungan tebal dimensi struktur sekunder dan struktur primer dari beberapa elemen struktur berikut :

Tabel 5. 1 Dimensi Struktur Sekunder

Struktur Sekunder				
Elemen		Dimensi		
Pelat Lantai		Tebal Total	14	cm
		Tebal Pracetak	9	cm
		Tebal Overtopping	5	cm
Balok Anak	BA L8	Tinggi	40	cm
		Lebar	30	cm
		Tinggi Pracetak	26	cm
		Tinggi Overtopping	14	cm
	Ba L6 & BA L4	Tinggi	30	cm
		Lebar	20	cm
		Tinggi Pracetak	16	cm
		Tinggi Overtopping	14	cm
Balok Lift		Tinggi	60	cm
		Lebar	40	cm
Tangga	Pelat Tangga	Tebal	14	cm
	Pelat Bordes	Tebal	14	cm
Ramp	Pelat Ramp	Tebal	20	cm

Tabel 5. 2 Dimensi Struktur Primer

Struktur Primer				
Elemen		Dimensi		
Balok Induk		Tinggi	50	cm
		Lebar	30	cm
		Tinggi Pracetak	36	cm
		Tinggi Overtopping	14	cm
Kolom	Kolom 1	Sisi 1	40	cm
		Sisi 2	40	cm
	Kolom 2	Sisi 1	60	cm
		Sisi 2	60	cm
	Kolom 3	Sisi 1	70	cm
		Sisi 2	70	cm
	Kolom 4	Sisi 1	80	cm
		Sisi 2	80	cm
	Kolom 5	Sisi 1	40	cm
		Sisi 2	40	cm
Shearwall	SW1	Tebal	30	cm
	SW2	Tebal	30	cm
	SW3	Tebal	30	cm
Basement-wall		Tebal	30	cm
Pile Cap	Pile K1	Tebal	1,5	m
		Ukuran	2,7 x 2,7	m
		Banyak Pile	4	buah
	Pile K2	Tebal	1,5	m
		Ukuran	2,7 x 2,7	m
		Banyak Pile	3	buah
	Pile SW1	Tebal	1,5	m
		Ukuran	2,7 x 5,7	m
		Banyak Pile	8	buah
	Pile SW2	Tebal	1,5	m
		Ukuran	2,7 x 8,7	m
		Banyak Pile	12	buah
Tiang Pancang		Diameter	0,6	m
		Kedalaman	21	m

2. Penyambungan elemen pracetak menggunakan produk sambungan dari *NMB Spice Sleeve* untuk kolom dan BECO Beam Shoe untuk balok. Sambungan bersifat monolit dan dalam analisanya panjang penyaluran dihitung berdasarkan persyaratan SNI 2847:2013 dan analisa kekuatan gaya aksial maksimum yang dapat dipikul oleh sambungan dibandingkan dengan gaya aksial setelah tulangan mengalami leleh (1,25fy). Pendetailan sambungan pracetak diracang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan penyaluran yang muncul dari masing-masing elemen pracetak untuk menyatukan elemen dengan cor setempat.
3. Pondasi yang direncanakan sesuai dengan ketentuan perhitungan tiang pancang (spun pile) produk dari WIKA Beton dengan metode tengangan ijin dan pile cap (poer) berdasarkan metode tengangan ultimate.
4. Hasil analisa struktur yang telah dilakukan pada Gedung Apartemen Grand Dhika City akan dituangkan pada gambar teknik dengan program bantu AutoCad.

5.2 Saran

Berdasarkan analisa secara keseluruhan dari proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis diantaranya adalah :

1. Urutan yang benar dalam perencanaan gedung dengan metode pracetak adalah menentukan kriteria design dan konsep desain sambungan. Hal ini dikarenakan hal terpenting dalam perencanaan metode beton pracetak adalah konsep yang dimiliki, karena untuk perhitungan hampir sama dengan metode konvensional.
2. Dalam pelaksanaan di lapangan terutama pada bagian pengangkatan elemen pracetak dan sambungan antar elemen pracetak harus diberi pengawasan yang baik dan benar. Dalam

pengangkatan harus diperhatikan tinggi angkat dan sudut pengangkatan agar tidak terjadi kegagalan struktur akibat beban yang tak terduga saat pengangkatan. Pada saat penyambungan, tentunya sambungan beton pracetak tidak semonolit sambungan cor setempat dan rawan terjadi keretakan akibat gaya-gaya yang tidak diinginkan karena kurang sempurnanya pekerjaan sambungan.

3. Perancangan elemen yang akan dipracetak seharusnya bisa dibuat lebih efisien jika memperhatikan konsep desain terlebih dahulu. Dalam pengembangan ke depannya elemen dinding geser bisa dibuat pracetak jika memenuhi ketentuan dalam peraturan yang ada.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait konsep sambungan yang digunakan oleh penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini, karena analisa yang digunakan hanya melalui kekuatan aksial dari brosur produk sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

ACI. **ACI 318-11** ***Building Code Requirements for Structural Concrete.*** U.S.A : *American Concrete Institute.*

Ali, Affandi M. 2004. **Perbedaan Sistem Konvensional dengan Sistem Pracetak.** <URL:http://www.ilmusipil.com>

Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk 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 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 2847:2013 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

BECO Beam Shoe. **Peikko Group Technical Manual.** Lahti, Finland, 2015

Departemen Pekerjaan Umum, 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)**. Jakarta : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan

Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure.** India : Butterwoth Heinemann

Ervianto, Wulfram. 2006. **Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Pracetak dan Bekisting**. Bandung : CV. Andi OFFSET

NMB Splice Sleeve System. **Splice Sleeve North America, Inc**. San Fransisco, America, 2014

Nurjannah, Siti Aisyah. 2011. **Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak Sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi serta Ramah Lingkungan. Prosiding Seminar AVoER ke-3** 26 - 27 (Oktober). 242

Noorhidana, Vera A. 2001. **Analisis Eksperimental Kolom Pracetak Dry Joint Akibat Beban Siklik Lateral.** Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.

PCI. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete 5th Edition**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee**.**

Sianturi, Novdin M. 2012. **Tinjauan Penggunaan Balok Pracetak pada Gedung. Jurnal Rancang Sipil Volume 1 Nomor 1** (Desember). 19

NO LEMBAR	JUDUL GAMBAR	SKALA
01	DAFTAR ISI GAMBAR	-
PONDASI		
02	DENAH PONDASI Lt. BASEMENT	1 : 400
03	DENAH PONDASI Lt. LOWERGROUND	1 : 400
04	DETAIL PONDASI KOLOM 1	1 : 50
05	DETAIL PONDASI KOLOM 2	1 : 50
06	DETAIL PONDASI SHEARWALL 1	1 : 50
07	DETAIL PONDASI SHEARWALL 2	1 : 50
08	DETAIL PONDASI SHEARWALL 2	1 : 50
KOLOM, SHEARWALL, & BASEMENT-WALL		
09	DENAH KOLOM Lt. BASEMENT	1 : 400
10	DENAH KOLOM Lt. LOWERGROUND	1 : 400
11	DENAH KOLOM Lt. GROUND - Lt. 2	1 : 400
12	DENAH KOLOM Lt. 3 - Lt. 9	1 : 400
13	DENAH KOLOM Lt. 10 - Lt. 15	1 : 400
14	DENAH KOLOM Lt. 16 - Lt. 21	1 : 400
15	DETAIL PENULANGAN KOLOM	1 : 40
16	DETAIL PENULANGAN DINDING	1 : 40
BALOK INDUK & BALOK ANAK		
17	DENAH BALOK INDUK Lt. L.GROUND	1 : 400
18	DENAH BALOK INDUK Lt. GROUND	1 : 400
19	DENAH BALOK INDUK Lt. 2	1 : 400
20	DENAH BALOK INDUK Lt. 3	1 : 400
21	DENAH BALOK INDUK Lt. 4-22	1 : 400
22	DENAH BALOK ANAK Lt. L.GROUND	1 : 400
23	DENAH BALOK ANAK Lt. GROUND	1 : 400
24	DENAH BALOK ANAK Lt. 2	1 : 400
25	DENAH BALOK ANAK Lt. 3	1 : 400
26	DENAH BALOK ANAK Lt. 4-22	1 : 400
27	PENULANGAN BALOK INDUK L8	1 : 20
28	PENULANGAN BALOK INDUK L6	1 : 20
29	PENULANGAN BALOK INDUK L4 & L3	1 : 20
30	PENULANGAN BALOK ANAK L8	1 : 20

NO LEMBAR	JUDUL GAMBAR	SKALA
31	PENULANGAN BALOK ANAK L6	1 : 20
32	PENULANGAN BALOK ANAK L4	1 : 20
33	DENAH BALOK LIFT	1 : 40
34	PENULANGAN BALOK LIFT	1 : 20
PELAT LANTAI, TANGGA, & RAMP		
35	DENAH PELAT Lt. L.GROUND	1 : 400
36	DENAH PELAT Lt. GROUND	1 : 400
37	DENAH PELAT Lt. 2	1 : 400
38	DENAH PELAT Lt. 3	1 : 400
39	DENAH PELAT Lt. 4-22	1 : 400
40	DENAH TANGGA DAN RAMP	1 : 40
41	DETAIL PENULANGAN PELAT	1 : 50
42	DETAIL PELAT PRACETAK	1 : 17
43	TITIK ANGKAT PELAT	1 : 50
44	PENULANGAN TANGGA TIPE 1,2,3	1 : 40
45	PENULANGAN TANGGA TIPE 4,5,6	1 : 40
46	DETAIL PENULANGAN TANGGA 4 & 5	1 : 40
47	DETAIL PENULANGAN TANGGA 1 & 6	1 : 40
48	DETAIL PENULANGAN TANGGA 2 & 3	1 : 40
49	PENULANGAN RAMP TIPE 1 & 2	1 : 40
50	DETAIL PENULANGAN RAMP TIPE 1&2	1 : 40
PORTAL & DETAIL SAMBUNGAN		
51	POTONGAN PORTAL 5	1 : 400
52	POTONGAN PORTAL D	1 : 400
53	SAMBUNGAN KOLOM - BALOK INDUK	1 : 20
54	SAMBUNGAN BLK INDUK - BLK ANAK	1 : 20
55	SAMBUNGAN KOLOM - KOLOM	1 : 20
56	DERAH SENDI PLASTIS KOLOM	1 : 20
57	SAMBUNGAN TANGGA & RAMP	1 : 20

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DAFTAR ISI GAMBAR
SKALA: -

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
1	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PONDASI Lt. BASEMENT
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
2	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PONDASI Lt. LOWERGROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
3	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PONDASI KOLOM 1
SKALA: 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
4	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PONDASI KOLOM 2
SKALA: 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
5	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PONDASI SHEARWALL 1
SKALA: 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
6	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PONDASI SHEARWALL 2
SKALA: 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
7	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PONDASI SHEARWALL 2
SKALA: 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
8	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM Lt. BASEMENT
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
9	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM Lt. LOWERGROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
10	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM Lt. GROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
11	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM Lt. 2
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
12	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM Lt. 3
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
13	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM Lt. 4 - Lt. 22
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
14	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

NAMA KOLOM	KOLOM 1	KOLOM 2	KOLOM 3	KOLOM 4	KOLOM 5
LOKASI	LANTAI	LANTAI	LANTAI	LANTAI	LANTAI
SKETSA					
PENAMPANG	400 mm x 400 mm	600 mm x 600 mm	700 mm x 700 mm	800 mm x 800 mm	400 mm x 400 mm
DECKING	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
TUL. UTAMA	12 D22	12 D29	16 D29	16 D29	12 D22
SENGKANG TUMP.	4 D13 - 100	4 D13 - 100	5 D13 - 100	5 D13 - 100	4 D13 - 100
SENGKANG LAP.	4 D13 - 150	4 D13 - 150	5 D13 - 150	5 D13 - 150	4 D13 - 150
SKETSA DAERAH SAMBUNGAN					
PENAMPANG	450 mm x 450 mm	650 mm x 650 mm	700 mm x 700 mm	800 mm x 800 mm	450 mm x 450 mm
SPICE SLEEVE	NMB 7U-X	NMB 9U-X	NMB 9U-X	NMB 9U-X	NMB 7U-X

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
15	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

SHEARWALL 1	
SHEARWALL 2	
SHEARWALL 3	
BASEMENT WALL	

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN DINDING

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
16	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK INDUK Lt. L.GROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
17	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK INDUK Lt. GROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
18	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK INDUK Lt. 2
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
19	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK INDUK Lt. 3
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
20	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK INDUK Lt. 4 - Lt. 22
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
21	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK ANAK Lt. L.GROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
22	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK ANAK Lt. GROUND
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
23	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK ANAK Lt. 2
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
24	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK ANAK Lt. 3
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
25	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK ANAK Lt. 4 - Lt. 22
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
26	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BI L8			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN C	POTONGAN D
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	5 D19	4 D19	3 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 200

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK BI L8
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
27	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BI L6			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN C	POTONGAN D
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	4 D19	3 D19	3 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 200

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK BI L6
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
28	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BI L4			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN A	POTONGAN B
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	4 D19	3 D19	3 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 200

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK BI L4
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
29	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BI L4			
	POTONGAN A	POTONGAN B		
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 500 mm	300 mm x 500 mm		
DECKING	40 mm	40 mm		
TUL. ATAS	2 D19	2 D19		
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19		
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19		
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 200		

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK BI L3
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
30	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BA L8			
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN C	
SKETSA				
PENAMPANG	300 mm x 400 mm	300 mm x 400 mm	300 mm x 400 mm	
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	
TUL. ATAS	3 D19	2 D19	2 D19	
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	
TUL. BAWAH	3 D19	3 D19	3 D19	
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 200	

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK BA L8
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
31	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BA L6		BALOK BA L4	
	POTONGAN A	POTONGAN B	POTONGAN A	POTONGAN B
SKETSA				
PENAMPANG	200 mm x 300 mm	200 mm x 300 mm	200 mm x 300 mm	200 mm x 300 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TUL. ATAS	3 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. TENGAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
TUL. BAWAH	2 D19	2 D19	2 D19	2 D19
SENGKANG	2 D13 - 100	2 D13 - 200	2 D13 - 100	2 D13 - 200

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK BA L6 & BA L4
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
32	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LIFT Lt. 23
SKALA: 1 : 40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
33	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BALOK	BALOK BI L4			
	POTONGAN A	POTONGAN B		
SKETSA				
PENAMPANG	400 mm x 600 mm	400 mm x 600 mm		
DECKING	40 mm	40 mm		
TUL. ATAS	4 D22	4 D22		
TUL. TENGAH	-	-		
TUL. BAWAH	4 D22	4 D22		
SENGKANG	2 D13 - 250	2 D13 - 250		

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK LIFT
SKALA: 1 : 40 (GAMBAR ATAS)
SKALA: 1 : 20 (GAMBAR BAWAH)

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
34	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT Lt. LOWERGROUND
(-3.50)
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
35	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT Lt. GROUND (±0.00)
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
36	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT Lt. 2 (+4.00)
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
37	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT Lt. 3 (+7.50)
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
38	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT Lt. 4 - Lt. 22
SKALA: 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
39	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

POTONGAN A-A

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANANGAN PELAT
SKALA 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
40	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

PELAT	PANJANG PENYALURAN		SHEAR CONNECTOR	
	ARAH X	ARAH Y	ARAH X	ARAH Y
PL 1	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 2	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 3	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 4	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 5	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 6	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 7	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 8	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250
PL 9	260 mm	260 mm	D13 - 250	D13 - 250

POTONGAN A-A

POTONGAN B-B

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PELAT PRACETAK
SKALA 1 : 17

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
41	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

P1

P2

P3

P4

P5

P6

P7

P8

P9

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

TITIK ANGKAT PELAT
SKALA 1 : 50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
42	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DENAH TANGGA DAN RAMP
SKALA: 1 : 80

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
43	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

TANGGA TIPE 1
TINGGI LANTAI: 3m

TANGGA TIPE 2
TINGGI LANTAI: 3,2m

TANGGA TIPE 3
TINGGI LANTAI: 3,3m

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN TANGGA TIPE 1,2,3
SKALA 1:40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
44	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

TANGGA TIPE 4
TINGGI LANTAI: 3,5m

TANGGA TIPE 5
TINGGI LANTAI: 4m

TANGGA TIPE 6
TINGGI LANTAI: 5m

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN TANGGA TIPE 4,5,6
SKALA 1:40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
45	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN TANGGA TIPE 4 & 5
SKALA 1:40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
46	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN TANGGA
TIPE 1 & 6
SKALA 1:40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
47	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN TANGGA TIPE 2 & 3
SKALA 1:40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
48	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

RAMP TIPE 1 & 2
TINGGI LANTAI: 3,2m & 3,5m

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN RAMP TIPE 1 & 2
SKALA: 1 : 40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
49	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN RAMP
TIPE 1 & 2
SKALA: 1 : 40

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
50	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

POTONGAN PORTAL 5
SKALA 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
51	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

POTONGAN PORTAL D
SKALA 1 : 400

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
52	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

POTONGAN A-A

POTONGAN A-A

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN KOLOM - BLK INDUK
SKALA: 1 : 20

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
53	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

POTONGAN A-A

POTONGAN A-A

POTONGAN A-A

POTONGAN A-A

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY JATIWARNA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN BLK INDUK-BLK ANAK
SKALA: 1 : 20

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
54	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

POTONGAN A-A

POTONGAN A-A

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN KOLOM - KOLOM
SKALA: 1 : 20

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
55	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

POTONGAN B-B

POTONGAN A-A

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

DAERAH SENDI PLASTIS KOLOM
SKALA 1 : 20

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
56	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

POTONGAN A-A

POTONGAN A-A

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GRAND DHIKA CITY JATIWARNA
MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN TANGGA & RAMP
SKALA: 1 : 20

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
57	57

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. TRIWULAN, DEA.
HARUN ALRASYID, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP

FEBRIJAYANTO DONY SAPUTRA
3113100083

BIODATA PENULIS

Penulis memiliki nama lengkap Ilham Febrijayanto Dony Saputra, lahir di Surabaya 19 Februari 1995 yang merupakan putra dari pasangan Ir. Handoko dan Ir. Ucik Maharani M.Sc. Sebelumnya penulis telah mengenyam pendidikan di SD Kalisari I Surabaya, SMPN 6 Surabaya, dan SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan diterima di Jurusan Teknik Sipil pada tahun 2013. Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil Tugas Akhir di bidang struktur, dengan NRP 3113 100 083.

Selama masa perkuliahaan, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan kepantiaan yang diselenggarakan oleh BEM ITS seperti GERIGI ITS pada tahun 2013. Di waktu senggangnya penulis juga senang menghabisakan waktu untuk berolahraga. Penulis dapat dihubungi melalui email:
febrijayantodony@gmail.com