TUGAS AKHIR – RC18-4802

MODIFIKASI PERENCANAAN RUMAH SUSUN PASAR REBO DENGAN BASE ISOLATION TIPE FRICTION PENDULUM SYSTEM PADA DAERAH RAWAN GEMPA

MUHAMAD FAUZAN AKBARI
NRP. 03111740000020

Dosen Pembimbing I:
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.,

Dosen Pembimbing II:
Ahmad Basshofi Habieb, ST. MT. PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

TUGAS AKHIR – RC18-4802

MODIFIKASI PERENCANAAN RUMAH SUSUN PASAR REBO DENGAN BASE ISOLATION TIPE FRICTION PENDULUM SYSTEM PADA DAERAH RAWAN GEMPA

MUHAMMAD FAUZAN AKBARI
NRP. 03111740000020

Dosen Pembimbing I:
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.,

Dosen Pembimbing II:
Ahmad Basshofi Habieb, ST. MT. PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

FINAL PROJECT – RC18-4802

DESIGN MODIFICATION OF RUMAH SUSUN PASAR REBO USING BASE ISOLATION FRICTION PENDULUM SYSTEM IN EARTQUAKE PROPOSED AREA

MUHAMMAD FAUZAN AKBARI
NRP. 03111740000020

Academic Supervisor I:
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.,

Academic Supervisor II:
Ahmad Basshofi Habieb, ST. MT. PhD

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2021

MODIFIKASI PERENCANAAN RUMAH SUSUN PASAR REBO DENGAN BASE ISOLATION TIPE FRICTION PENDULUM SYSTEM PADA DAERAH RAWAN GEMPA

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

MUHAMAD FAUZAN AKBARI
NRP. 03111740000020

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.……(Pembimbing I)
2. Ahmad Basshofi Habieb, ST., MT., PhD. ……(Pembimbing II)

SURABAYA
JULI, 2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI PERENCANAAN RUMAH SUSUN PASAR REBO DENGAN BASE ISOLATION TIPE FRICTION PENDULUM SYSTEM PADA DAERAH RAWAN GEMPA

Nama Mahasiswa : Muhamad Fauzan Akbari
NRP : 03111740000020
Jurusan : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.,
Ahmad Basshofi Habieb, ST. MT. PhD

ABSTRAK

Tingginya aktivitas seismik dan potensi gempa menuntut perencanaan struktur gedung dengan kinerja yang baik saat gempa terjadi. Tipe penahan gempa konvensional seperti sistem rangka pemikul momen dan shearwall pada struktur bangunan dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan akibat adanya plastifikasi. Selain itu kekakuan struktur akan meningkatkan percepatan lantai sehingga dapat menyebabkan risiko kerusakan elemen non-struktural yang bisa bermasalah pada bangunan tertentu. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem penahan gempa yang lebih efektif dalam mencegah dampak kerusakan tersebut.Salah satu strategi yang dikembangkan untuk mengurangi dampak kerusakan akibat gempa adalah base isolation. Konsep dasar base isolation yaitu memisahkan pergerakan struktur dari pergerakan horizontal tanah dengan memasang elemen fleksibel didasar bangunan sehingga gaya gempa yang masuk pada struktur tereduksi.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi perencanaan gedung Rumah Susun Pasar Rebo dengan menggunakan base isolation tipe friction pendulum system (FPS). Tahapan perencanaan meliputi preliminary design, pembebanan, perencanaan struktur sekunder, permodelan struktur fixed base, analisa struktur dan kontrol desain fixed base, perencanaan base

isolator, permodelan struktur terisolasi, analisa struktur terisolasi dan kontrol desain, perencaan struktur primer, perencanaan pondasi, penggambaran hasil perencanaan. Perencanaan tersebut mengacu beberapa peraturan yaitu SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, PPIUG 1983 dan peraturan lainnya.

Dari analisis dan perhitungan struktur base isolation memiliki periode 3,17 kali lebih besar dari periode struktur fixed based. Struktur base isolation memiliki gaya geser dasar yang lebih kecil dari struktur fixed based yang menggunakan sistem SRPMM (R=5), SRPMB (R=3), SRPMB (R=2) dengan selisih masing-masing sebesar 6,23% , 43,4%, dan 62,49%. Akan tetapi struktur base isolation memiliki gaya geser yang lebih besar dari struktur SRPMK dengan selisih sebesar 50,03%. Struktur dengan base isolation memiliki perpindahan atap yang lebih besar dari struktur fixed based. Penggunaan base isolation pada struktur mereduksi drift rasio dengan selisih rata- rata 68,2% diarah X dan 47,35% diarah Y. Hasil perencanaan elemen struktur : tebal pelat lantai terbesar 13cm, dimensi balok anak 25x40cm, dimensi balok induk terbesar 45x70cm, dimensi kolom terbesar 60x80cm, dan pondasi direncanakan dengan spun pile 40x40 dan D60 dengan kedalaman masing-masing 14 dan 11m. Friction pendulum yang digunakan pada gedung ini ada dua tipe yaitu SIP-D-HF-325 (5000) dan SIP-D-HF-326 (5000) yang merupakan produk dari Maurer.

Kata kunci: Gempa, Friction Pendulum System, Base Isolation, Kerusakan Struktur, Struktur Tahan Gempa.

DESIGN MODIFICATION OF RUMAH SUSUN PASAR REBO USING BASE ISOLATION FRICTION PENDULUM SYSTEM IN EARTQUAKE PROPOSED AREA

Student Name : Muhamad Fauzan Akbari
NRP : 03111740000020
Departement : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Academic Supervisor : Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.,
Ahmad Basshofi Habieb, ST. MT. PhD

ABSTRACT

The high seismic activity and the potential for earthquakes require the planning of building structures with good performance when an earthquake occurs. Conventional earthquake resisting types such as moment resisting frame systems and shearwalls in building structures can cause significant damage due to plastification. In addition, the stiffness of the structure will increase the acceleration of the floor so that can cause the risk of damage to non-structural elements that can experience problems in certain buildings. Therefore, we need an earthquake-resistant system that can reduce the impact of the damage. One of the strategies developed to reduce the impact of earthquake damage is base isolation. The basic concept of isolation is to separate the movement of the superstructure from the horizontal movement of the ground by installing flexible elements at the base of the building so that the seismic forces that enter the structure are reduced.

In this final project, a modification planning of the Rumah Susun Pasar Rebo will be carried out using a base isolation type friction pendulum system (FPS). The planning stages include preliminary design, loading, secondary structure, fixed base structure modeling, analysis and design of fixed base design, base isolator planning, structural control modeling, structural planning analysis and design control, primary structure planning,

foundation planning, drawing of planning results. The design refers to several regulations, namely SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, PPIUG 1983 and other literature.

From the analysis and calculation the base isolation structure has a period of 3,17 times greater than the period of the fixed-based structure. The base isolation structure has a base shear force that is smaller than the fixed based structure using the SRPMM (R=5), SRPMB (R=3), SRPMB (R=2) system with a difference of 6.23%, 43, 4%, and 62,49%. However, the base isolation structure has a shear force that is greater than the SRPMK structure with a difference of 50,03%. Structures with base isolation have a higher roof displacement than fixed based structures. The use of base isolation in the structure reduces the drift ratio difference by an average of 68,2% in the X direction and 47,35% in the Y direction. The results of the structural element planning: the largest floor slab thickness is 13cm, the dimensions of the sub-beams are 25x40cm, the largest main beam dimensions are 45x70cm, the largest column dimensions is 60x80cm, and planned with D40 and D60 spun piles with a depth of 14m and 11m. There are two types of friction pendulum used in this building, namely SIP-D-HF-325 (5000) and SIP-D-HF-326 (5000) which are products from Maurer.

Keywords: Earthquake, Friction Pendulum System, Base Isolation, Structural Damage, Earthquake Resistant Structure.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat-Nya, Penyusun dapat menyelesaikan Proposal Kerja Praktik ini dengan judul "**Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan Base Isolation Tipe Friction Pendulum System Pada Daerah Rawan Gempa**" tepat pada waktunya. Dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini, penulis mengalami banyak kendala dan kesulitan, akan tetapi atas bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak tugas ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu izinkan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan baik dengan doa ataupun materiil, serta motivasi untuk menyelesaikan Proposal Tugas Akhir Ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, Ms. danAhmad Basshofi Habieb, ST. MT. PhD selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan masukan, bimbingan, serta masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ahmad Basshofi Habieb S.T, M.T, Ph.D selaku dosen yang juga memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman Depatemen Teknik Sipil ITS angkatan 2017 yang telah mendukung kami dalam penulisan laporan ini.

Dalam penulisan laporan ini, Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kebaikan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan terutama penulis.

Surabaya, 22 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**

ABSTRACT ..... **iii**

KATA PENGANTAR ..... **v**

DAFTAR ISI ..... **vi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **i**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan 3

1.4 Batasan Masalah 4

1.5 Manfaat 4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1 Umum 5

2.2 Konsep Isolasi Seismik 6

2.3 Konsep Isolasi Seimik dengan *Friction Pendulum System* 9

2.4 Pengembangan Tipe *Friction Pendulum System* 14

2.5 Keunggulan dan Kelemahan Penggunaan *Base Isolation* 16

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) 18

BAB 3 METODOLOGI **20**

3.1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir 20

3.2 Data Perencanaan 21

3.3 Studi Literatur 22

3.4 Preliminary Desain 22
3.5 Analisa Pembebanan 26
3.5.1 Beban Mati 26
3.5.2 Beban Hidup 27
3.5.3 Beban Hujan 28
3.5.4 Beban Angin 28
3.5.5 Beban Gempa 28
3.5.6 Kombinasi Pembebanan 38
3.6 Perencanaan Struktur Sekunder 38
3.6.1 Perencanaan Pelat Lantai 39
3.6.2 Tangga 43
3.6.3 Balok Anak 44
3.6.4 Balok Lift 48
3.7 Permodelan Struktur *Fixed Based* 48
3.8 Analisa Struktur Fixed Based dan Kontrol Desain 48
3.9 Perencanaan Base Isolator 52
3.9.1 Pemilihan Prosedur Analisis 52
3.9.2 Perpindahan Maksimum 53
3.9.3 Periode Efektif Saat Terjadi Perpindahan Maksimum 54
3.9.4 Perpindahan maksimum total 54
3.9.5 Gaya lateral minimum 56
3.9.6 Batas V_s 57
3.9.7 Distribusi Vertikal Gaya 58
3.9.8 Batas Simpangan Antar Tingkat 58
3.9.9 Desain Dimensi Friction Pendulum 59

3.10 Permodelan Struktur Terisolasi 61
3.11 Analisa Struktur Terisolasi dan Kontrol Desain 62
3.12 Perencanaan Struktur Primer 63
3.12.1 Perencanaan Balok Induk 63
3.12.2 Perencanaan Kolom 67
3.13 Perencanaan Pondasi 68
3.14 Penggambaran Hasil Perencanaan 71
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 72
4.1 Preliminary Design 72
4.1.1 Data Perencanaan 72
4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok 72
4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai 74
4.1.4 Perencanaan Dimensi Kolom 88
4.2 Perencanaan Struktur Sekunder 99
4.2.1 Perencanaan Pelat Lantai dan Pelat Atap 99
4.2.2 Perencanaan Tangga 116
4.2.3 Perencanaan Balok Anak 130
4.2.4 Perencanaan Balok Lift 151
4.3 Pembebanan 167
4.4 Permodelan Struktur & Analisis Struktur Fixed Based 176
4.4.1 Permodelan Struktur Fixed Based 176
4.4.2 Analisis Struktur Fixed Based 177
4.5 Perencanaan Base Isolation Tipe Friction Pendulum 205
4.5.1 Preliminary Design Friction Pendulum 205
4.5.2 Perencanaan Friction Pendulum 210

4.5.3 Pembebanan Gempa Struktur Terisolasi.....219
4.5.4 Permodelan Struktur dengan Base Isolator.....219
4.6 Analisis Struktur Terisolasi dan Kontrol Desain 222
4.7 Perencanaan Struktur Primer 230
4.7.1 Perencanaan Balok Induk 230
4.7.2 Perencanaan Kolom 246
4.7.3 Perencanaan Sambungan Base Isolator 254
4.8 Verifikasi kapasitas FPS dengan analisis nonlinear *time history*.....256
4.8.1. Penskalaan 7 rekaman gempa 256
4.8.2. Kurva histeresis FPS.....264
4.8.3. Kontrol histeresis gempa terhadap kapasitas histeresis FPS.....265
4.9 Perbandingan Struktur Fixed Based dan Base Isolation 273
4.9.1. Periode Fundamental Struktur 273
4.9.2. Gaya geser dasar statik ekivalen (V) 273
4.9.3. Perpindahan lantai atap.....274
4.9.4. *Drift rasio* 278
4.10 Perencanaan Struktur Bawah 280
4.10.1 Perencanaan balok sloof 280
4.10.2 Perencanaan Pondasi Dalam.....284
4.10.3 Perencanaan poer / *pilecap* 299
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 309
5.1 Kesimpulan 309
5.2 Saran 312

DAFTAR PUSTAKA 313
LAMPIRAN 317

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Peningkatan Periode dan Damping Terhadap Gaya Geser Dasar 6
Gambar 2.2 Pengaruh Peningkatan Periode Terhadap Percepatan Tanah. 7
Gambar 2.3 Pengaruh Peningkatan Periode Terhadap Percepatan Tanah. 8
Gambar 2.4 Reduksi Koefisien Respon Spectrum Pada Struktur Terisolasi.....8
Gambar 2.5 Respon Struktur Fixed Base dan Struktur Terisolasi.....9
Gambar 2.6 Komponen *Friction Pendulum Sytem* (FPS).....10
Gambar 2.7 Konsep Perpindahan FPS Seperti Pendulum 10
Gambar 2.8 Kurva Histeresis *Friction Pendulum System* (FPS) 11
Gambar 2.9 Pemasangn FPS di Atas Kolom Area Basement..13
Gambar 2.10 Pemasangn FPS Pada Kolom Pedestal yang Pendek.....13
Gambar 2.11 Tipe *Friction Pendulum System* (FPS).....14
Gambar 2.12 Skema Deformasi Pada DFP.....15
Gambar 2.13 Pergerakan TFP Pada Level Gempa Yang Berbeda 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penulisan Tugas Akhir.....20
Gambar 3.2 Penampang Balok Untuk Perhitungan Nilai K 25
Gambar 3.3 Ketentuan Penggambaran Grafik Respons Spektrum.....38
Gambar 3.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat 50
Gambar 3.5 Model Gaya-Perpindahan Bilinear Properti FPS 56
Gambar 4.1 Denah balok lantai 2 73
Gambar 4.2 Denah pelat lantai 2 75
Gambar 4.3 Denah pelat S1 76
Gambar 4.4 Ilustrasi lebar efektif pada balok interior 77
Gambar 4.5 Ilustrasi lebar efektif pada balok eksterior 78

Gambar 4.6 Denah pelat S2 81
Gambar 4.7 Denah pelat S3 82
Gambar 4.8 Denah pelat S4 87
Gambar 4.9 Beban tributari area kolom tipe K1 88
Gambar 4.10 Beban tributari area kolom tipe K2 92
Gambar 4.11 Beban tributari area kolom tipe K3 92
Gambar 4.12 Denah pelat lantai 2 100
Gambar 4.13 Denah pelat tipe S1 101
Gambar 4.14 Konfigurasi tulangan arah Lx dan tulangan arah Ly pelat lantai 102
Gambar 4.15 Denah pelat tipe S3 105
Gambar 4.16 Denah pelat tipe S2 108
Gambar 4.17 Denah pelat tipe S4 112
Gambar 4.18 Denah tangga tipe 1 117
Gambar 4.19 Potongan memanjang tangga tipe 1 117
Gambar 4.20 Permodelan tangga tipe 1 pada program SAP 2000 120
Gambar 4.21 Gaya dalam momen pada tangga tipe 1 120
Gambar 4.22 Denah tangga tipe 2 124
Gambar 4.23 Potongan memanjang tangga tipe 2 124
Gambar 4.24 Permodelan tangga tipe 2 pada program SAP 2000 126
Gambar 4.25 Gaya dalam momen tangga tipe 2 127
Gambar 4.26 Permodelan balok anak tipe BA1 di ETABS 130
Gambar 4.27 Input beban mati tambahan pada pelat lantai 130
Gambar 4.28 Input beban hidup pada pelat lantai 131
Gambar 4.29 Input beban dinding bata ringan pada balok anak 131
Gambar 4.30 Permodelan balok anak tipe BA2 pada program ETABS 140
Gambar 4.31 Input beban mati tambahan pada pelat lantai 141
Gambar 4.32 Input beban hidup pada pelat lantai 141
Gambar 4.33 Layout lift (atas) dan potongan lift (bawah) 153
Gambar 4.34 Pembebanan balok penggantung 156
Gambar 4.35 Pembebanan balok penumpu 157

Gambar 4.36 Grafik respon spektrum Jakarta Timur 171
Gambar 4.37 Ilustrasi aliran air hujan dan parameter parameternya untuk perhitungan beban hujan ...174
Gambar 4.38 Tributari aliran air yang tiang talang 175
Gambar 4.39 177
Gambar 4.40 Ketidakberaturan 1a dan 1b 195
Gambar 4.41 Dimensi sudut dalam bangunan 197
Gambar 4.42 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma 198
Gambar 4.43 Ketidakberaturan 4.....198
Gambar 4.44 Ketidakberaturan 5.....199
Gambar 4.45 Ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b 200
Gambar 4.46 Ketidakberaturan vertikal 3.....202
Gambar 4.47 Ketidakbertauran vertikal 4.....203
Gambar 4.48 Ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b 204
Gambar 4.49 Denah dan nama join pada tiap titik kolom yang akan diberi isolator.....206
Gambar 4.50 Skema friction pendulum SIP-D dengan 4 dowel.....211
Gambar 4.51 Respon spektrum *isolated structure* dan *fixed based structure*.....219
Gambar 4.52 Input directiona properti FPS.....220
Gambar 4.53 Input kekakuan dan redaman tiap tipe FPS.....220
Gambar 4.54 Input data spring 221
Gambar 4.55 Permodelan perletakkan base isolator pada ETABS.....222
Gambar 4.56 Diagram interaksi aksial dan momen pada kolom tipe K1A 248
Gambar 4.57 Penskalaan gempa Kobe (1995) arah X 257
Gambar 4.58 Penskalaan gempa Kobe (1995) arah Y 257
Gambar 4.59 Penskalaan gempa Imperial Valley (1938) arah X.....258
Gambar 4.60 Penskalaan gempa Imperial Valley (1938) arah Y.....258
Gambar 4.61 Penskalaan gempa Kern County (1938) arah X .259
Gambar 4.62 Penskalaan gempa Kern County (1938) arah Y .259

Gambar 4.63 Penskalaan gempa Landers (1992) arah X.....260
Gambar 4.64 Penskalaan gempa Landers (1992) arah Y.....260
Gambar 4.65 Penskalaan gempa Chi-Chi Taiwan (1999) arah X 261
Gambar 4.66 Penskalaan gempa Chi-Chi Taiwan (1999) arah Y 261
Gambar 4.67 Penskalaan gempa El Alamo (1996) arah X 262
Gambar 4.68 Penskalaan gempa El Alamo (1996) arah Y 262
Gambar 4.69 Penskalaan gempa Helena,Montana (1935) arah X 263
Gambar 4.70 Penskalaan gempa Helena,Montana (1935) arah Y 263
Gambar 4.71 Skema kurva histeresis FPS.....264
Gambar 4.72 Kurva histeresis FPS tipe P1.....265
Gambar 4.73 Cek kapasitas FPS akibat gempa Kobe (1995) kiri arah X dan kanan arah Y 266
Gambar 4.74 Cek kapasitas FPS akibat gempa Imperial Valley (1938) kiri arah X dan kanan arah Y.....267
Gambar 4.75 Cek kapasitas FPS akibat gempa Kern County (1938) kiri arah X dan kanan arah Y 268
Gambar 4.76 Cek kapasitas FPS akibat gempa Landers (1992) kiri arah X dan kanan arah Y 269
Gambar 4.77 Cek kapasitas FPS akibat gempa Chi-Chi Taiwan (1999) kiri arah X dan kanan arah Y 270
Gambar 4.78 Cek kapasitas FPS akibat gempa El Alamo (1996) kiri arah X dan kanan arah Y 271
Gambar 4.79 Cek kapasitas FPS akibat gempa Helena,Montana (1935) kiri arah X dan kanan arah Y 272
Gambar 4.80 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Kobe (1995).....275
Gambar 4.81 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Imperial Valley (1938).....275
Gambar 4.82 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Kern County (1938).....276

Gambar 4.83 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Landers (1992).....276
Gambar 4.84 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Chi-Chi Taiwan (1999).....277
Gambar 4.85 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa El Alamo (1996).....277
Gambar 4.86 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Helena,Montana (1935).....278
Gambar 4.87 Perbandingan drift rasio struktur *fixed based* dan struktur *base isolation*.....279
Gambar 4.88 Konfigurasi tulangan dan diagram interaksi sloof 282
Gambar 4.89 Denah pondasi.....285
Gambar 4.90 Pondasi tipe 1, tipe 2, dan tipe 3 285
Gambar 4.91 Daya dukung ijin tiang pancang diameter 40 cm dan 60 cm.....287
Gambar 4.92 Skema pondasi tipe 1 288
Gambar 4.93 Skema defleksi akibat gaya lateral pada tiang ...293
Gambar 4.94 Diagram Immediate Settlement of Isolate Footing NAVFAC DM7-1971.....294
Gambar 4.95 Diagram Influence Value for Laterally Loaded Pile NAVFAC DM7-1971 296
Gambar 4.96 Diagram Influence Value for Laterally Loaded Pile NAVFAC DM7-1971 296
Gambar 4.97 Daerah *punching shear* pilecap akibat kolom....300
Gambar 4.98 Area *punching shear* pada pilecap akibat pile ...302
Gambar 4.99 Skema Momen Tiang Pancang.....303

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang 23
Tabel 3.2 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior 23
Tabel 3.3 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya 24
Tabel 3.4 Tinggi Minimum Balok Nonprategang 25
Tabel 3.5 Beban Hidup Pada Bangunan 28
Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung untuk Beban Gempa 29
Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa 30
Tabel 3.8 Klasifikasi Situs 30
Tabel 3.9 Koefisien Situs, F_a 32
Tabel 3.10 Koefisien Situs, F_v 33
Tabel 3.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek 33
Tabel 3.12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik 33
Tabel 3.13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung 34
Tabel 3.14 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x 35
Tabel 3.15 Geser Pendekatan Untuk Analisis Balok Menerus dan Pelat Satu Arah Nonprategang 39
Tabel 3.16 Momen Pendekatan Untuk Analisis Balok Menerus dan Pelat Satu Arah Nonprategang 40
Tabel 3.17 As,min Untuk Pelat Satu Arah Nonprategang 41
Tabel 3.18 Koefisien Momen Pelat 42
Tabel 3.19 Koefisien Momen Pelat Lanjutan 42
Tabel 3.20 Spasi Maksimum Tulangan Geser 45

Tabel 3.21 Nilai β1 Untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen 45
Tabel 3.22 Faktor Reduksi Kekuatan (Φ) Untuk Momen, Gaya Aksial, Atau Kombinasi Momen Dan Gaya Aksial 47
Tabel 3.23 Metode Detail untuk Menghitung Vc 47
Tabel 3.24 Simpangan antar tingkat izin (Δ_a) 50
Tabel 3.25 Faktor Redaman, BM 54
Tabel 4.1 Perhitungan *preliminary* dimensi balok 75
Tabel 4.2 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K1-C 89
Tabel 4.3 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K1-B 90
Tabel 4.4 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K1-A 91
Tabel 4.5 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K2-C 93
Tabel 4.6 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K2-B 94
Tabel 4.7 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K2-A 95
Tabel 4.8 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K3-C 96
Tabel 4.9 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K3-B 97
Tabel 4.10 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K3-A 98
Tabel 4.11 Spesifikasi lift 153
Tabel 4.12 Tabel perhitungan klasifikasi kelas situs berdasarkan data CPT 169
Tabel 4.13 Nilai periode (T) dan percepatak tanah (Sa) 172
Tabel 4.14 Penentuan nilai kepala hidraulik (d_h) 174
Tabel 4.15 Perhitungan beban mati pada lantai dasar 178
Tabel 4.16 Perhitungan beban mati pada lantai 1 179
Tabel 4.17 Perhitungan beban mati pada lantai 2 180

Tabel 4.18 Perhitungan beban mati pada lantai 3-5.....181
Tabel 4.19 Perhitungan beban mati pada lantai 6-9.....182
Tabel 4.20 Perhitungan beban mati pada lantai 10-12.....183
Tabel 4.21 Perhitungan beban mati pada lantai atap 184
Tabel 4.22 Perhitungan beban hidup seluruh lantai.....184
Tabel 4.23 Partisipasi massa.....186
Tabel 4.24 Gaya geser dasar statik ekivalen (V) tiap sistem rangka pemikul momen 189
Tabel 4.25 Gaya geser dasar (V_t) awal hasil ETABS 190
Tabel 4.26 Penskalaan gaya geser (V_t).....190
Tabel 4.27.Gaya geser setelah diskala.....190
Tabel 4.28 Kontrol simpangan antara lantai pada gempa arah X 192
Tabel 4.29 Kontrol simpangan antara lantai pada gempa arah Y 192
Tabel 4.30 Kontrol pengaru P-delta pada gempa arah X.....194
Tabel 4.31 Kontrol pengaru P-delta pada gempa arah Y.....194
Tabel 4.32 Ketidakberaturan torsi arah X.....196
Tabel 4.33 Ketidakberaturan torsi arah Y.....196
Tabel 4.34 Perhitungan ketidakberaturan sudut dalam.....197
Tabel 4.35 Cek ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b 200
Tabel 4.36 Cek ketidakberaturan berat.....201
Tabel 4.37 Cek ketidakberaturan vertikal 3.....202
Tabel 4.38 Cek ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b 204
Tabel 4.39 Tipe FPS setiap kolom.....207
Tabel 4.40 Spesifikasi FPS yang digunakan.....210
Tabel 4.41 Rekapitulasi perencanaan tiap tipe FPS.....216
Tabel 4.42 Perbandingan properti sistem isolasi hasil perhitungan dan properti sistem isolasi target ...217
Tabel 4.43 Partisipasi massa struktur dengan *base isolation* 223
Tabel 4.44 Gaya geser dasar struktur dengan *base isolation* 223
Tabel 4.45 Penskalaan gaya geser dinamik ke gaya geser statik struktur dengan base isolation.....224

Tabel 4.46 Gaya geser dinamik yang telah diskala pada struktur terisolasi.....224
Tabel 4.47 Kontrol simpangan antar lantai pada gempa arah X (struktur terisolasi) 225
Tabel 4.48 Kontrol simpangan antar lantai pada gempa arah Y (struktur terisolasi) 226
Tabel 4.49 Kontrol pengaruh P-Delta akibat gempa arah X (struktur terisolasi).....227
Tabel 4.50 Kontrol pengaruh P-Delta akibat gempa arah Y (struktur terisolasi).....228
Tabel 4.51 Simpangan tiap base isolator 229
Tabel 4.52 Gaya dalam balok maksimum balok akibat kombinasi envelope 231
Tabel 4.53 Rekapitulasi perencanaan penulangan balok induk 245
Tabel 4.54 Rekapitulasi perencanaan panjang penyaluran dan panjang lewatan balok.....245
Tabel 4.55 Jenis dan dimensi kolom.....246
Tabel 4.56 Rekapitulasi perencanaan penulangan kolom....253
Tabel 4.57 Rekaman Gempa.....256
Tabel 4.58 Perbandingan gaya geser statik ekivalen struktur *fixed based* dan *base isolation* 273
Tabel 4.59 Drift rasio struktur fixed based dan struktur base isolation.....279
Tabel 4.60 Output reaksi perletakkan pondasi tipe 1.....288
Tabel 4.61 Rekapitulasi beban Q_{max} yang diterima satu tiang pada pondasi tipe 1.....289
Tabel 4.62 Kontrol maksimum P_{group} 1 tiang pada pondasi tipe 1 290
Tabel 4.63 Kontrol maksimum P_{group} 1 tiang pada pondasi tipe 2 291
Tabel 4.64 Kontrol maksimum P_{group} 1 tiang pada pondasi tipe 3 291
Tabel 4.65 Kontrol gaya aksial pada pondasi tipe 1 292
Tabel 4.66 Kontrol gaya aksial pada pondasi tipe 2 292

Tabel 4.67 Kontrol gaya aksial pada pondasi tipe 3 293
Tabel 4.68 Korelasi nilai harga tahanan conus (q_c) terhadap C_u 294
Tabel 4.69 Kontrol gaya lateral dan momen pada pondasi tipe 1 297
Tabel 4.70 Kontrol gaya lateral dan momen pada pondasi tipe 2 298
Tabel 4.71 Kontrol gaya lateral dan momen pada pondasi tipe 3 298

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang rawan gempa. Hal ini karena Indonesia terletak pada 4 lempeng besar dunia yang aktif, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Berdasarkan data BMKG sedikitnya terjadi 621 kejadian gempa di wilayah Indonesia dalam bulan Oktober 2020. Selain itu penemuan sesar aktif baru yang ikut melatarbelakangi peningkatan koefisien gempa pada SNI 1726:2019 mengindikasikan adanya peningkatan aktivitas seismik. Hal ini menunjukkan betapa tingginya akitivitas seismik dan potensi gempa di Indonesia.

Tingginya aktivitas seismik dan potensi gempa menuntut perencanaan struktur gedung dengan kinerja yang baik saat gempa terjadi. Tipe penahan gempa yang umum digunakan pada bangunan di Indonesia adalah *fixed-base* seperti sistem rangka pemikul momen dan *shearwall*. Tujuan penerapan sistem tersebut yaitu untuk menciptakan struktur yang kaku sehingga mampu mengurangi kerusakan struktur akibat *interstory drift* (perbedaan simpangan antar tingkat). Akan tetapi peningkatan kekakuan struktur menyebabkan periode getar alami struktur akan mengecil, dimana hal tersebut justru akan memperbesar gaya gempa yang diterima oleh struktur bangunan dan dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan. Selain itu struktur yang kaku akan meningkatkan percepatan lantai sehingga dapat menyebabkan risiko kerusakan dan tidak berfungsinya elemen non-struktural seperti: furnitur, perpipaan, elektrikal, elemen partisi, dan lainnya yang bisa bermasalah pada bangunan tertentu seperti rumah sakit yang harus tetap beroperasi dengan baik disaat terjadi gempa (Minal, Somwanshi and Pantawane, 2015). Selain itu rusaknya elemen non-strkutural tidak bisa ditoleransi untuk gedung yang berisikan sesuatu yang lebih penting dan berharga dari gedung itu sendiri (Moustafa, 2009).

Hal tersebut berlaku untuk bangunan seperti museum, pabrik produksi dengan presisi tinggi, gedung telekomunikasi, gedung pemadam kebakaran, dan lain-lain. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem penahan gempa yang lebih efektif dalam mencegah dampak kerusakan tersebut.

Salah satu konsep yang digunakan untuk mengurangi dampak kerusakan akibat gempa adalah sistem *base isolation.* Konsep utama dari sistem ini adalah mengisolasi gedung dari pondasinya dengan elemen fleksibel yang dapat meningkatkan periode dan redaman struktur sehingga gaya gempa yang terserap dalam gedung tereduksi (Minal, Somwanshi and Pantawane, 2015). Dengan tereduksinya gaya gempa maka kebutuhan dimensi dari komponen stuktur pun juga dapat tereduksi. Selain itu penggunaan sistem *base isolation* juga mampu meminimalisir *interstory drift* dan mengurangi percepatan lantai akibat gempa karena perilaku struktur diatasnya yang berdeformasi sebagai *rigid body* (Tolani and Sharma, 2016). Akan tetapi deformasi *base isolation* mengakibatkan simpangan yang besar antara pondasi dengan bagian bawah strkutur bangunan, sehingga diperlukan perhatian lebih pada sistem utilitas gedung seperti perpipaan agar tidak terjadi kegagalan fungsional. Hal itu dapat diatasi dengan memasang sambungan yang fleksibel pada pada sistem utilitas sehingga dapat mengakomodasi deformasi yang terjadi (Ferraioli and Mandara, 2017). Secara umum terdapat beberapa jenis *base isolation* yaitu: (1) *Laminated Rubber (Elastomeric) Bearing*, (2) *Lead Rubber Bearing (LRB), (3) Hfigh Damping Rubber Bearing (HDRB), (4) Friction Pendulum System (FPS)*. Menurut Wang, Yen-Po (2002), FPS memiliki keunggulan dari tipe *elastomeric bearing* lainnya, yaitu : Memiliki kekuatan dan stabilitas yang melebihi *elastomeric bearing*, sifat propertinya tidak dipengaruhi oleh umur dan tempertur, dan biaya instalasi yang lebih murah.

Melihat permasalahan dan potensi diatas, serta minimnya penggunaan *base isolation* pada gedung di Indonesia, maka dilakukan analisis penggunaan *base isolator* tipe *friction pendulum system* (FPS) pada gedung bertingkat di zona gempa rawan gempa

sehingga dapat diketahui karakter struktur yang menggunakan tipe *base isolation* ini. Objek studi pada tugas akhir ini adalah gedung Rusun Pasar Rebo Tower A di Jakarta yang memiliki 12 lantai dengan sistem penahan gempa berupa sistem pemikul momen dan *shearwall*. Pada tugas akhir ini direncanakan modifikasi gedung tersebut dengan mengubah sistem penahan gempanya menjadi sistem *base isolation* tipe *friction pendulum system* dan gedung dilokasikan di Jakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, berikut merupakan rician permasalahan dalam modifikasi gedung Rusun Pasar Rebo Tower A yang akan ditinjau dalam tugas akhir ini :

1. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yaitu balok anak, pelat, tangga, dan lift ?
2. Bagaimana merencanakan struktur primer yaitu kolom, balok, dan hubungan balok kolom ?
3. Bagaimana merencanakan dimensi *base isolator* tipe *friction pendulum* ?
4. Bagaimana perbandingan perilaku struktur dengan *fixed-base* dan *base isolation* tipe *friction pendulum system* yang ditinjau berdasarkan periode struktur, gaya geser dasar, perpindahan, dan simpangan per lantai ?
5. Bagaimana merencanakan pondasi struktur gedung tersebut?
6. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan tiap elemen bangunan kedalam gambar teknik ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Merencanakan struktur sekunder yaitu balok anak, pelat, tangga, dan *lift*.
2. Merencanakan struktur primer yaitu kolom, balok, dan hubungan balok kolom.

3. Merencanakan dimensi *base isolator* tipe *friction pendulum system*.
4. Mengetahui perbandingan perilaku struktur dengan *fixed-base* dan base isolation tipe *friction pendulum system* yang ditinjau berdasarkan periode struktur, gaya geser dasar, perpindahan, dan simpangan per lantai.
5. Merencanakan pondasi struktur gedung tersebut.
6. Menuangkan hasil perencanaan tiap elemen bangunan kedalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tidak merencanakan metode pelaksanaan, managemen kontruksi, dan perhitungan analisa biaya.
2. Tidak merencanakan elemen arsitektural, mechanical, dan electrical.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pertimbangan penggunaan *base isolator* tipe *friction pendulum system* sebagai sistem penahan gempa pada bangunan di Indonesia.
2. Dapat menjadi referensi bagi pembaca tentang perencanaan gedung tahan gempa dengan sistem *base isolation* tipe *friction pendulum system*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak bisa dihindari maupun dicegah dan kemunculannya sulit diprediksi, sehingga bencana ini ditempatkan sebagai salah satu becana besar di Indonesia akibat risiko yang dapat ditimbulkan (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Indonesia merupakan negara yang rawan gempa karena terletak pada kawasan Cincin Api Pasifik. Oleh karenanya potensi gempa akibat pergerakan lempeng tektonik sangatlah tinggi (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

Kondisi tersebut menuntut perencanaan bangunan yang tahan terhadap gempa sehingga risiko kerusakan dan kerugian yang dapat ditimbulkan dapat diminimalisir, serta yang paling utama adalah untuk menghindari jatuhnya korban jiwa.

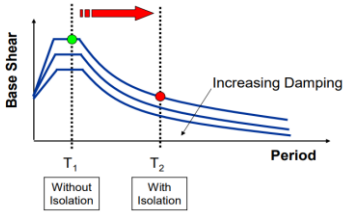
Seiring dengan berkembangnya teknologi, munculah suatu inovasi yang mampu meningkatkan kinerja gedung saat terjadi gempa, inovasi tersebut adalah *base isolation*. Konsep dasar *base isolation* yaitu memisahkan pergerakan struktur dari pergerakan horizontal tanah. Sistem ini dapat diterapkan dengan memasang elemen fleksibel yang menghubungkan bagian atas pondasi dengan bagian bawah dari struktur bangunan. Saat terjadi gempa, *base isolator* memungkinkan terjadinya deformasi yang terpusatkan pada elemen *isolator* dan meminimalisir deformasi pada struktur atas sehingga kerusakan pada struktur atas dapat dikurangi. Dengan karakteristik yang fleksibel tersebut, penggunaan *base isolator* pada bangunan sangat memungkinkan terjadinya mekanisme disipasi energi gempa yang baik akibat peningkatan periode struktur yang dapat mencapai 2 detik atau bahkan lebih (Kaptan, 2013).

Salah satu tipe *base isolation* yang umum digunakan adalah *Friction Pendulum Sistem* (FPS). Type *base isolation* ini bekerja dengan mengisolasi stuktur bangunan dari pondasinya dengan menggunakan permukaan baja yang cekung (konkav) dan bearing

yang memiliki koefisien gesek tertentu terhadap permukaan baja tersebut, serta memiliki karakteristik kekakuan horizontal yang rendah yang memungkinkan struktur untuk berosilasi pada periode naturalnya sendiri saat gempa terjadi (Hacheem and Al-Shimmari, 2010).

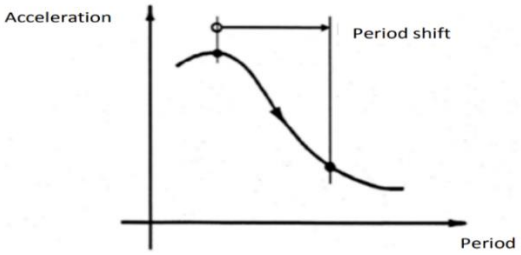
2.2 Konsep Isolasi Seismik

Isolasi seismik adalah metode perlindungan bangunan dari gempa dengan menyisipkan perletakkan fleksibel (*base isolator*) diantara pondasi dan dasar bangunan yang mampu memisahkan struktur bangunan dari pergerakan horizontal tanah sehingga dapat mereduksi gaya gempa yang masuk pada bangunan (Makris, 2019). Pada bangunan konvensional umumnya metode desain yang diterapkan untuk menjamin gedung tahan terhadap beban seismik adalah dengan memperbesar kapasitas struktur melebihi kebutuhan akan gaya yang bekerja. Namun, bangunan dengan sistem isolasi seismik cenderung untuk mengurangi kebutuhan gaya daripada memperbesar kapasitasnya (Islam, Jameel and Jumaat, 2011). Tujuan utama dari penerapan sistem ini adalah untuk meningkatkan kinerja struktur bangunan terhadap gempa dan mencegah kerusakan pada struktur akibat kemungkinan plastifikasi pada elemen struktural, dengan meningkatkan periode alami dan redaman struktur secara signifikan (Kavvadias, Bibo and Vasiliadis, 2017). Peningkatan periode dan redaman struktur dapat mengurangi gaya geser dasar pada struktur, hubungan ini dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



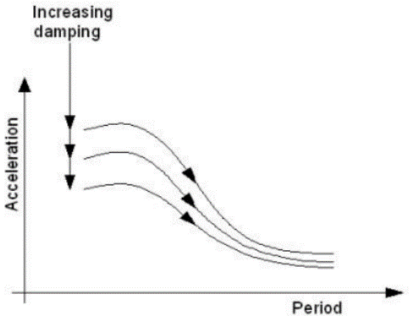
Gambar 2.1 Hubungan Peningkatan Periode dan Damping Terhadap Gaya Geser Dasar
Sumber: Fema 451 Design Example

Peningkatan periode alami akan menyebabkan struktur memiliki frekuensi yang relatif lebih rendah dari frekuensi konfigurasi asli struktur *fixed-base* serta frekuensi dominan pergerakan tanah, hal tersebut dapat mengurangi deformasi dan percepatan pada struktur secara signifikan (Ismail, 2018), hubungan peningkatan periode terhadap percepatan tanah dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. Sistem isolasi dapat meningkatkan periode struktur hingga mecapai dua detik bahkan lebih, sehingga terjadi disipasi energi gempa yang baik. Disipasi energi yang ditimbulkan dari penggunaan sistem ini akan sangat membantu dalam membatasi deformasi pada struktur serta dapat mencegah terjadinya resonansi (Kaptan, 2013).



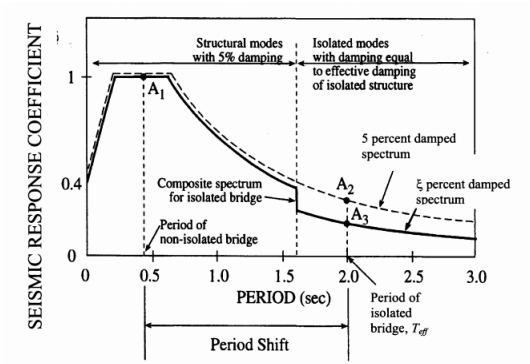
Gambar 2.2 Pengaruh Peningkatan Periode Terhadap Percepatan Tanah.
Sumber: AASHTO, Guide Specification for Seismic Isolation Design, 2014

Tingkat redaman struktur dipengaruhi oleh kemampuan redaman dari tipe base isolator yang digunakan. Semakin tinggi tingkat redaman yang diberikan oleh suatu bahan isolator, maka deformasi terpusat yang terjadi pada elemen isolator dapat diperkecil sehingga deformasi maksimum dapat dihindari (Islam, Jameel and Jumaat, 2011) . Tingkat redaman tertentu pada komponen isolator dapat mengurangi percepatan yang masuk ke struktur, hubungan itu dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pengaruh Peningkatan Periode Terhadap Percepatan Tanah.
Sumber: AASHTO, Guide Specification for Seismic Isolation Design, 2014

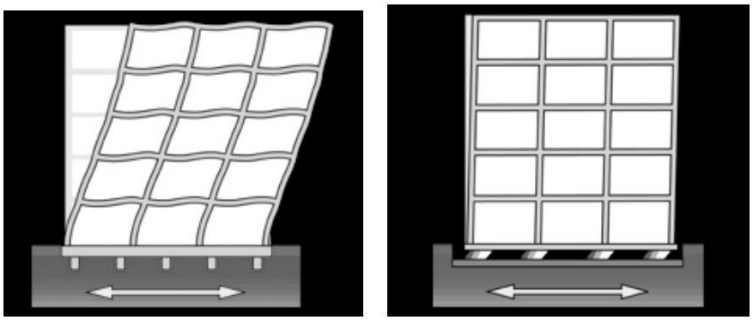
Respon spektrum bangunan terisolasi dasar dan bangunan dengan fixed based memiliki perbedaan dimana pada suatu nilai redaman tertentu nilai koefisien gempa tereduksi sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Reduksi Koefisien Respon Spectrum Pada Struktur Terisolasi
Sumber: AASHTO, Guide Specification for Seismic Isolation Design, 2010

Saat terjadi gempa, ragam getar pertama dari struktur yang diisolasi menyebabkan deformasi lateral yang terpusatkan pada

elemen *base isolator* sehingga struktur diatasnya akan bergerak sebagai satu kesatuan atau yang disebut *rigid body motion*, ilustrasi dari pergerakan ini dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada struktur yang diisolasi, ragam getar yang lebih tinggi, yang menjadi penyebab deformasi pada struktur, dimana sifatnya adalah orthogonal terhadap ragam getar pertama, tidak turut berkontribusi pada respon struktur sehingga energi akibat gerakan tanah berfrekuensi tinggi tidak dapat ditransmisikan secara menyeluruh ke struktur bangunan (Kaptan, 2013).



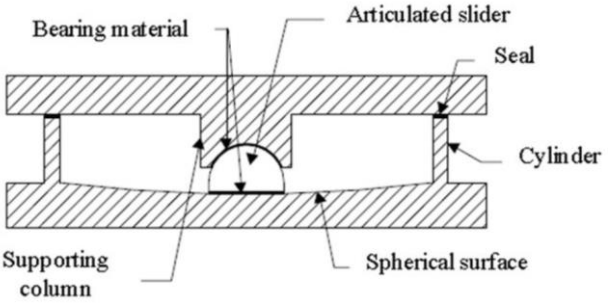
Fixed Based Structure Isolated Structure

Gambar 2.5 Respon Struktur Fixed Base dan Struktur Terisolasi
Sumber: Wang, 2002

2.3 Konsep Isolasi Seimik dengan *Friction Pendulum System*

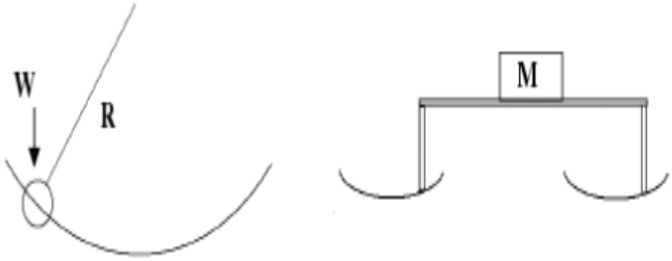
Friction Pendulum System merupakan salah satu perangkat isolasi seismik yang efektif untuk meminimalisir kerusakan akibat gempa dan perangkat ini sudah banyak digunakan di negara-negara maju dengan tingkat kegempaan yang tinggi. FPS umumnya digunakan untuk mengisolasi bangunan yang akan dibangun dan sebagai *retrofitting* untuk bangunan yang sudah berdiri. Penggunaannya pun makin meningkat karena kelebihan dan daya tahan yang dimiliki FPS yang mengungguli tipe *base isolator elastomeric* yang juga umum digunakan (Wang, 2002). FPS tersusun dari *spherical surface* konkaf yang memiliki radius kelengkungan dan *articulated slider* yang dilapisi dengan lapisan

teflon yang memiliki koefisien gesek tertentu dengan *spherical surface* tersebut (Scheaua, 2012). Ilustrasi komponen FPS terdapat pada **Gambar 2.6**.



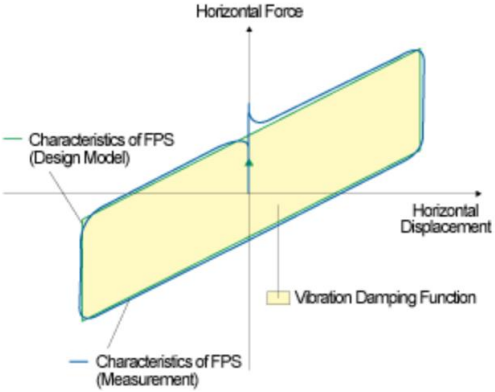
Gambar 2.6 Komponen *Friction Pendulum Sytem* (FPS)
Sumber: Ealangi, 2010

FPS memanfaatkan geometri dan gravitasi untuk mencapai kondisi isolasi seismik yang diinginkan. Bentuk pelat baja yang cekung menyebabkan struktur akan bergerak layaknya bandul harmonik atau pendulum saat gempa terjadi, sehingga setelah gempa berhenti struktur akan berosilasi dengan amplitudo yang terus mengecil hingga akhirnya kembali keposisi semula (Hacheem and Al-Shimmari, 2010). Pergerakan layaknya bandul tersebut ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Konsep Perpindahan FPS Seperti Pendulum
Sumber: Scheaua, 2012

Pergerakan tersebut akan meningkatkan periode struktur dan displacement, sehingga mekanisme disipasi gempa bisa terjadi. Periode bangunan dengan FPS dapat dihitung menggunakan persamaan bandul sederhana oleh karena itu periode struktur didesain berdasarkan pemilihan jari-jari kelengkungan dari *spherical surface*. Selain itu, selama pergerakan diatas *spherical surface* terjadi, koefisien gesek dari permukaan baja dengan *slider* akan bekerja dalam mereduksi gaya gempa yang akan diterima struktur dan akan berperan dalam memberikan redaman (Scheaua, 2012). Kurva histeresis akibat gaya lateral siklik yang diterima FPS dapat dilihat pada **Gambar 2.8** Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dengan *displacement*, serta disipasi energi saat FPS dikenai beban gempa.



Gambar 2.8 Kurva Histeresis *Friction Pendulum System* (FPS)
Sumber: Oiles Corporation

Nilai efektif koefisien gesek FPS berkisar antara 3–10% . Nilai tersebut tergantung dari tekanan antara *slider* dan lapisan cekung baja, koefisen gesek akan turun bila tekanan pada *slider* naik (Wang, 2002). Menurut Li *et al.*, 2020 Nilai koefisien gesek FPS juga dapat dipengaruhi oleh temperatur, kecepatan pergerakan, dan tekanan pada permukaan baja. Aktifnya sistem isolasi dapat terjadi apabila gaya lateral yang bekerja pada bangunan melebihi tahanan geser yang diberikan oleh *slider*

dengan permukaan baja, sehingga dalam melakukan perencanaan FPS pemilihan koefisien gesek dari permukaan baja harus dapat memberikan tahanan gesek yang cukup untuk menahan beban-beban *service* seperti beban angin (Islam, Jameel and Jumaat, 2011).

Selain itu FPS memiliki karakteristik lain yang menjadi keunggulan dari perangkat seismik lain yaitu kemampuan *recentering* atau umumnya disebut sebagai kemampuan *restoring*. *Restoring* merupakan kemampuan perangkat seismik untuk kembali ke posisi awalnya (*center*) setelah dikenai gaya lateral siklik. Hal itu karena *spherical surface* yang berbentuk cekung sehingga berat bangunan secara gravitasi akan dengan sendirinya menuju ketitik *center* dari as pondasi dan bangunan setelah gempa terjadi. Kemampuan tersebut sangat menguntungkan karena akan meminimalisir torsi yang bekerja pada bangunan (Tolani and Sharma, 2016). Sifat propertis lain yang dimiliki FPS adalah kekakuan dan redaman. Sebagian besar perangkat isolasi memiliki karakteristik non-linear, untuk melinearisasi karakteristik tersebut digunakan kekakuan efektif dan redaman efektif yang dapat ditentukan dari katalog pabrik. Kekakuan dan redaman efektif tersebut kemudian yang akan digunakan pada permodelan linear (Budiono and Setiawan, 2014).

Umumnya Friction Pendulum System (FPS) terpasang diatas kolom pedestal yang cukup tinggi sekaligus menjadi kolom pada area basement, akan tetapi FPS juga dapat dipasang pada kolom pedestal yang pendek dan dekat dengan pile cap atau diatas pilecap langsung, hal ini dapat dilihat pada **Gambar 2.9** dan **Gambar 2.10**. Penempatan tersebut tentunya mempertimbangkan kondisi dan kebutuhan dari bangunan yang akan diisolasi. Dalam proses pemasangannya FPS diangkur pada kolom pedestal bawah dan kolom atas (Sağıroğlu, Maali and Aydın, 2018). Penjelasan

lebih lengkap terkait dengan proses instalasi FPS dilapangan dapat dilihat pada lampiran F.

Gambar 2.9 Pemasangan FPS di Atas Kolom Area Basement
Sumber: Data Center Frontier

Gambar 2.10 Pemasangan FPS Pada Kolom Pedestal yang Pendek
Sumber: Oiles Corporation

Perangkat *Friction Pendulum System* sendiri sudah dikembangkan menjadi beberapa tipe berdasarkan jumlah radius spherical surface nya. Yang pada awalnya gerakan pendulum hanya terjadi pada satu spherical surface atau yang dikenal dengan *Single Friction Pendulum* (SFP), kemudian dikembangkan lagi dengan pergerakan yang dipengaruhi oleh dua *shperical surface* yang disebut dengan *Double Friction Pendulum* (DFP) dan hingga saat ini versi tebaru dari perangkat ini memiliki empat spherical surface yang disebut dengan *Triple Friction Pendulum* (TFP) (Budiono, 2015). Ilustrasi tipe FPS dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.

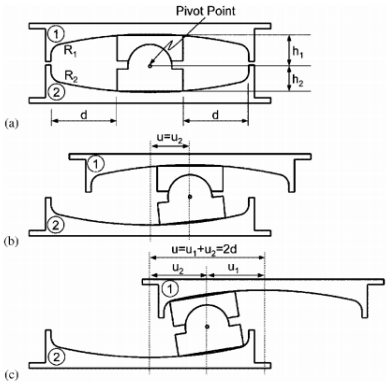
Gambar 2.11 Tipe *Friction Pendulum System* (FPS)
Sumber: Kavvadias, Bibo and Vasiliadis, 2017

2.4 Pengembangan Tipe *Friction Pendulum System*

Kinerja FPS dalam meningkatkan performa gedung saat gempa terjadi membuat para peniliti tertarik untuk melakukan upaya-upaya untuk mengoptimalkan kemampuan dari isolator ini. Alhasil, hingga saat ini telah dikembangkan dua tipe FPS yang memiliki performa yang lebih baik dari tipe awalnya. Adapun tipe FPS yang telah dikembangkan adalah sebagai berikut.

1. Double Friction Pendulum (DFP)

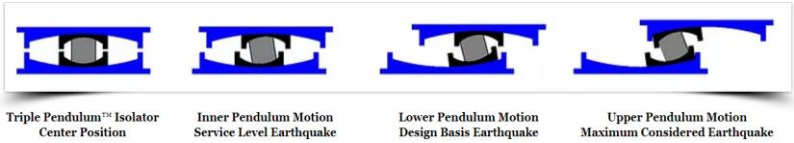
Double Friction Pendulum (DFP) terdiri dari dua lapisan konkav pada sisi atas dan bawah. Penggunaan DFP dinilai mampu mengakomodasi perpindahan horizontal yang lebih besar dari pada tipe *Single Friction Pendulum* (SFP) dan juga mampu mengakomodasi terjadiya rotasi. Dengan dimensi yang sama DFP dapat menciptakan deformasi dua kali lebih besar dari SFP, sehingga untuk memperoleh deformasi yang direncanakan maka pemilihan DFP akan memiliki dimensi yang lebih kecil dari SFP. Selain itu keuntungan penggunaan DFP adalah P-delta yang terbagi dua pada dua lapisan konkav. Sedangkan pada SFP, P-delta yang terjadi akan membebani pada salah satu sisi saja. Dalam perencanaannya, DFP dapat memiliki jari-jari kelengkungan dan koefisien gesek yang sama pada kedua lapisan konkavnya dan juga bisa saja berbeda. Pemilihan jari-jari kelengkungan dan koefisien gesek yang berbeda pada lapisan konkav akan menawarkan perencanaan yang lebih optimal dan efisien (Daniel M. Fenz and Michael C. Constantinou, 2006). Ilustrasi deformasi pada DFP dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Skema Deformasi Pada DFP
Sumber: Daniel M. Fenz and Michael C. Constantinou, (2006)

2. *Triple Friction Pendulum* (TFP)

Triple Friction Pendulum (TFP) merupakan pengembangan terakhir dari *Friction Pendulum System* hingga saat ini. TFP terdiri dari empat lapisan konkav dengan 3 jenis pergerakan pendulum yang akan aktif (bergerak) pada level gempa yang berbeda. Tipe ini dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas akomodasi *displacement* dan disipasi energi yang lebih besar dari pada DFP, serta menjawab kelemahan tipe sebelumnya dalam beradaptasi pada gempa yang lebih kecil dan gempa yang lebih besar dari gempa yang direncanakan (Barrera-Vargas *et al.*, 2020). Pada gempa kecil *inner slider* yang memiliki koefisien gesek terkecil akan membentuk mekanisme pendulum yang pertama. Kemudian permukaan cekung diluar *inner slider* akan membentuk mekanisme pendulum yang kedua pada gempa berkekuatan sedang. Setelah itu gempa dengan kekuatan yang lebih besar akan mengaktifkan mekanisme pendulum yang ketiga pada lapisan konkav terluar, dimana lapisan ini memiliki koefisien gesek yang terbesar untuk mencegah deformasi maksimum terjadi. Mekanisme ini memungkinkan optimasi kinerja struktur pada tiap keadaan gempa (Budiono, 2015). Pergerakan dari TFP pada tiap level gempa dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Pergerakan TFP Pada Level Gempa Yang Berbeda
Sumber: Eartquake Protection System Company

2.5 Keunggulan dan Kelemahan Penggunaan *Base Isolation*

Base isolation tidak terkecuali *friction pendulum system* merupakan inovasi sistem penahan gempa pada bangunan yang populer dinegara-negara maju. Meski memiliki banyak keunggulan, sistem ini juga memiliki kelemahan dan batasan-batasan tertentu dalam penggunaannya. Keunggulan, kelemahan, dan batasan-batasan tersebut akan diulas pada pembahasan berikut menurut Michael D.Symans.

Keunggulan :

1. Menjaga fungsionalitas bangunan

   Menggunakan base isolation kerusakan gedung yang bersifat struktural atau nonstruktural akibat gempa dapat diminimalisir sehingga bangunan tetap dapat beroperasi dengan baik setelah gempa terjadi.

2. Dapat menjadi alternatif desain yang ekonomis

   Reduksi gaya geser akibat penggunaan base isolation dan tidak adanya detailing-detailing khusus sebagaimana struktur dengan daktilitas penuh, memungkinkan penggunaan tulangan yang lebih sedikit pada elemen struktur sehingga dapat menjadi alternatif desain yang lebih ekonomis.

3. Meminimalisir biaya perbaikan terhadap kerusakan akibat gempa.

   Struktur dengan base isolation memiliki kinerja yang lebih baik dari struktur *fixed based* dan plastifikasi akibat gempa dapat diminimalisir sehingga biaya perbaikan akibat kerusakan yang dapat ditimbulkan akibat gempa dapat diminimalisir.

4. Proteksi terhadap benda berharga didalam bangunan.

Benda-benda berharga yang lebih bernilai dari bangunan harus tetap terjaga, misalnya pada museum atau parbrik dengan peralatan yang mahal yang mana lebih bernilai dari bangunan itu sendiri. Kerusakan benda-benda tersebut sering kali diakibatkan oleh percepatan lantai yang besar pada struktur konvensional, akan tetapi dengan menggunakan base isolation, percepatan lantai yang masuk pada struktur dapat diminimalisir begitu juga dengan resiko kerusakan pada benda-benda non-struktural.

5. Metode perkuatan yang efektif pada bangunan bersejarah.

   Pada bangunan bersejarah bagian dalam gedung sering kali memiliki nilai dan cerita historis tersendiri, sehingga bentuk asli dari gedung dipertahankan. Disisi lain, akitivitas gempa dapat meningkat sehingga diperlukan perkuatan tertentu pada gedung bersejarah tersebut. Penggunaan base isolation menawarkan solusi terhadap permasalahan tersebut, dengan memperkuat gedung dan dengan sedikit adanya modifikasi pada isi gedung bersejarah itu sendiri karena penggunaan base isolation yang berada pada bagian dasar bangunan.

<u>Kelemahan & Batasan Pengunaan Base Isolation :</u>

1. *Base isolation* tidak dapat diaplikasikan pada semua struktur

   Penggunaa base isolation tidak efektif pada struktur yang berada diatas tanah lunak dengan kategori SE dan SF. Selain itu base isolation menjadi kurang efektif pada gedung-gedung bertingkat tinggi (*highrise building*), yaitu dengan lantai 10-40 lantai atau dengan tinggi bangunan berkisar 40 s/d 150 m. Penggunaan *base isolation* akan sesuai pada bangunan diatas tanah keras dengan rentang kelas situs SA hingga SD dengan kategori *low-medium rise building*, kategori low-medium rise building memiliki jumlah lantai 2 s/d 10 lantai atau dengan ketinggian kurang dari 40 m.
2. Membutuhkan tenaga yang ahli dalam bidang *base isolation*

Implementasi sistem *base isolation* yang efisien cukup sulit sehingga dibutuhkan tenaga dan insinyur yang benar-benar terampil dan ahli dalam desain *base isolation*.

3. Tidak dapat diaplikasikan secara parsial pada struktur

   Penggunaan base isolation pada struktur baik untuk retrofitting atau desain perencanaan harus diaplikasikan secara menyeluruh pada dasar struktur, penggunaan nya tidak dapat diaplikasikan secara parsial seperti metode retrofitting yang lain.

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) merupakan mekanisme penahan gaya lateral yang umum digunakan baik pada bangunan beton atau baja. SRPM terdiri dari balok dan kolom yang dihubungkan dengan kaku yang memikul beban gravitasi serta mampu memikul gaya lateral berdasarkan mekanisme lenturnya. Menurut SNI 1726:2019 SRPM terbagi menjadi tiga jenis yang tiap jenisnya digunakan sesuai dengan risiko seismik atau desain kategori seismik tertentu. Adapaun tiga jenis SRPM tersebut ialah sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

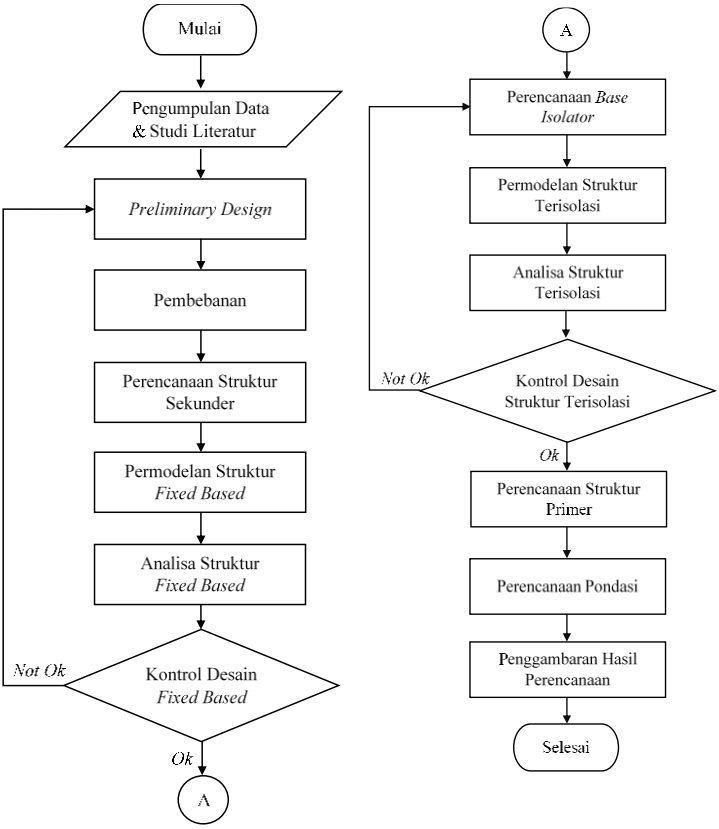
Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai koefisen modifikasi respon (R) SRPM berkisar diantara 3-8 , akan tetapi struktur SRPM dengan sistem isolasi harus didesain dengan nilai koefisien modifikasi dengan nilai maksimum sama dengan dua dan minimum adalah satu. Mengacu pada FEMA 451 (2006) pemilihan nilai modifikasi respon tersebut dikarenakan struktur dengan sistem isolasi haruslah didesain untuk menghindari daktilitas yang tinggi dan sebisa mungkin tetap elastis untuk mencegah kerusakan pada stuktur yang merupakan tujuan dari sistem isolasi. Walaupun nilai R pada struktur terisolasi maksimum diambil sama dengan dua, gaya geser dasar yang bekerja pada struktur dapat tereduksi dapat mencapai 70% bahkan lebih, sehingga dimensi elemen stuktur tidak terlalu besar. Pemilihan nilai koefisien modifikasi

respons yang tidak boleh lebih dari dua menunjukkan bahwa struktur dengan sistem isolasi dapat didesain dengan persyaratan struktur rangka pemikul momen biasa (SRPMB). Menurut Budiono dan Setiawan (2014) syarat detailing pada struktur terisolasi boleh untuk dikurangi apabila struktur diyakini akan bersifat elastik walaupun pada kondisi gempa *Maximum Credible Earthquake Risk Category* (MCER).

BAB III
METODOLOGI

3.1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah penyelesaian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penulisan Tugas Akhir

3.2 Data Perencanaan

Pada sub bab Data Perencanaan akan dijelaskan mengenai data gedung yang akan dimodifikasi dan dianalisis dalam Tugas Akhir ini. Informasi data gedung eksisting didapatkan dengan mempelajari Gambar perencanaan yang ada serta dari sumber-sumber lain. Berikut merupakan data gedung eksisting :

a. Data Gedung Eksisting

Nama Gedung : Rumah Susun Pasar Rebo (Tower A)
Alamat : Kec. Ciracas, Kota Jakarta Timur
Fungsi Bangunan : Rumah Susun
Jumlah Lantai : 13 Lantai
Tinggi Gedung : 42,4 m
Material Struktur : Beton Bertulang
Sistem Pemikul Gaya Seismik : SPRM & Dinding Geser
Mutu Beton : Fc' 35 MPa
Mutu Tulangan :

- $Tulangan\ polos\ (\emptyset)$: 240 MPa (BJTP 24)
- Tulangan Ulir(D) : 400 MPa (BJTD 40)

b. Data Gedung Modifikasi

Nama Gedung : Rumah Susun Pasar Rebo (Tower A)
Alamat : Kec. Ciracas, Kota Jakarta Timur
Fungsi Bangunan : Rumah Susun
Jumlah Lantai : 13 Lantai
Tinggi Gedung : 42,4 m
Material Struktur : Beton Bertulang
Sistem Pemikul Gaya Seismik : Sistem Isolasi Dasar
Mutu Beton : Fc' 30 MPa & 35 MPa
Mutu Tulangan :

- Tulangan Ulir (D) : 400 MPa (BJTD 40)

c. Data Tanah

Data tanah terlampir

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari peraturan yang berkaitan dengan modifikasi struktur gedung Rumah Susun Pasar Rebo (Tower A). Peraturan yang digunakan antara lain :

1. SNI 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung
2. SNI 2847:2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
3. SNI 1727:2020 Tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) tahun 1983.
5. Base Isolation of Structure yang disusun oleh Trevor E Kelly yang membahas tentang tata cara perencanaan struktur dengan base isolation.

3.4 Preliminary Desain

Preliminary desain merupakan tahap penentuan dimensi awal dari komponen struktural dari bangunan. Tahap preliminary desain mengacu pada SNI 2847:2019. Komponen yang ditentukan dimensi awalnya adalah pelat, balok, dan kolom.

1. Pelat

   Terdapat dua jenis pelat berdasarkan rasio sisi terpanjang dan sisi terpendeknya, yaitu pelat dua arah dan pelat satu arah. Tiap jenis pelat memiliki metode perhitungan yang berbeda dalam menentukan ketebalannya.

   a. Pelat Satu Arah

      Penentuan ketebalan awal pelat satu arah dapat dihitung berdasarkan **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi Tumpuan	h minimum
Tumpuan sederhana	ℓ/20
Satu ujung menerus	ℓ/24
Kedua ujung menerus	ℓ/28
Kantilever	ℓ/10

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1.

Keterangan :

- ℓ adalah Panjang bentang pelat satu arah
- Persyarartan ini berlaku untuk beton dengan berat normal dan f_y = 420 MPa.

b. Pelat Dua Arah

Penentuan ketebalan awal pelat dua arah untuk sistem pelat tanpa balok interior dapat dihitung berdasarkan **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

f_y (MPa)	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tep	
280	ℓn/33	ℓn/36	ℓn/36	ℓn/36	ℓn/40	ℓn/40
420	ℓn/30	ℓn/33	ℓn/33	ℓn/33	ℓn/36	ℓn/36
520	ℓn/28	ℓn/31	ℓn/31	ℓn/31	ℓn/34	ℓn/34

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1.

Keterangan :

- *ℓn* adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan.
- Untuk f_y dengan nilai diantara tabel yang diberikan maka ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear.

Sedangkan untuk ketebalan pelat dengan balok interior dapat ditentukan sebagaimana pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0{,}2$	Tabel 3.2 berlaku		a
$0{,}2 < \alpha_{fm} \leq 2{,}0$	Terbesar dari:	$\dfrac{\ell_n\left(0{,}8+\frac{f_y}{1400}\right)}{36+5\beta(\alpha_{fm}-0{,}2)}$	b
		125	c
$\alpha_{fm} > 2{,}0$	Terbesar dari:	$\dfrac{\ell_n\left(0{,}8+\frac{f_y}{1400}\right)}{36+9\beta}$	d
		90	e

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2

Keterangan :

h = tebal pelat total

ℓ_n = panjang bentang bersih terpanjang pelat

α_{fm} = nilai rata-rata α untuk keempat sisi pelat

β = rasio bentang bersih terpanjang dengan bentang bersih terpendek pelat

Rasio kekakuan balok-pelat (α) dihitung dengan Persamaan 3-1.

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \tag{3-1}$$

Dimana :

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia balok

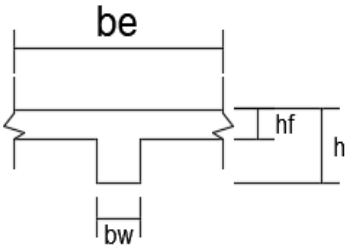
I_s = momen inersia pelat

Momen inersia balok dan pelat dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 3-2 dan 3-3.

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} \tag{3-2}$$

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.hf^3}{12} \quad (3\text{-}3)$$

Sedangkan nilai k dihitung dengan Persamaan 3-4.



Gambar 3.2 Penampang Balok Untuk Perhitungan Nilai K

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

Pada pelat tepi tidak menerus harus disediakan balok dengan nilai $\boldsymbol{\alpha_f \geq 0,8}$ atau ketebalan minimum harus memenuhi b atau d. Untuk pelat tidak menerus pada Tabel 3.3 Ketebalan harus diperbesar setidaknya 10 persen.

2. Balok

Perencanaan tinggi awal balok, baik balok induk maupun balok anak dapat dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1 yang dapat dilihat pada **Tabel 3.4.**

Tabel 3.4 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi Perletakkan	Minimum h
Perletakkan Sederhana	ℓ/16
Menerus satu sisi	ℓ/18,5
Menerus dua sisi	ℓ/21
Kantilever	ℓ/8

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1.

Sedangkan untuk estimasi awal lebar balok dapat dipilih berdasarkan Persamaan 3-5.

$$\frac{1}{2}h \leq b_w \leq \frac{2}{3}h \quad (3\text{-}5)$$

Keterangan :

- ℓ adalah Panjang bentang pelat satu arah
- h adalah tinggi balok
- b_w adalah lebar badan balok
- Tabel rumus tinggi balok diaplikasikan pada beton mutu normal dan tulangan mutu 420 MPa, untuk penggunaan tulangan selain mutu tersebut maka tinggi harus dikalikan dengan $(0{,}4 + f_y/700)$.

3. Kolom

   Penentuan dimensi awal kolom dapat diestimasi berdasarkan perumusan 3-6.

$$A = 3\frac{P_U}{f'_c} \quad (3\text{-}6)$$

Keterangan :

- A = luas penampang
- Pu = gaya aksial ultimate
- f'_c = kuat tekan beton

3.5 Analisa Pembebanan

Pembebanan pada bangunan mengacu pada SNI 1727:2020 dan PPIUG 1983 dimana beban yang bekerja pada bagunan antara lain adalah beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, dan beban gempa. Penentuan beban-beban tersebut akan dipaparkan dalam penjelasan berikut.

3.5.1 Beban Mati

SNI 1727:2020 mendefinisikan beban mati sebagai berat seluruh bahan kontruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Beban mati terbagi menjadi dua

jenis yaitu beban senditi (self weight) dan berat sendiri tambahan (Superimposed Dead Load, SDL)

1. Beban Sendiri (Self Weight)

   Berat sendiri atau self weight merupakan beban yang berasal dari komponen struktural seperti balok, kolom, pelat. Dimana berat yang dihitung berdasarkan berat volume material yang digunakan. Pada gedung Rumah Susun Pasar Rabu material utama yang digunakan adalah beton bertulang dengan berat volume 2400 kg/m^3.

2. Beban Sendiri Tambahan (Superimosed Dead Load)

   Berat sendiri tambahan adalah beban yang diberikan akibat komponen komponen yang menetap pada struktur. Komponen tersebut seperti dinding, plafond, finishing, klading, plumbing, mechanical & electrial. Nilai berat sendiri tambahan diambil dari peraturan PPIUG 1983. Berat sendiri dari bahan-bahan tersebut adalah sebagai berikut.

   - Adukan dari semen per cm tebal 21 kg/m^2
   - Aspal pada lantai atap per cm tebal 14 kg/m^2
   - Dinding pasangan bata merah satu batu 450 kg/m^2
   - Dinding pasangan bata merah 1/2 batu 250 kg/m^2
   - Plafond 11 kg/m^2
   - Penggantung plafond 7 kg/m^2
   - Keramik 11 kg/m^2

3.5.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang berasal pengguna dan penghuni bangunan gedung. Beban hidup yang dipilih merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penggunaan bangunan akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang terdapat pada Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020. Berdasarkan fungsi bangunan sebagai hunian atau apartemen, maka dari tabel tersebut diambil beban hidup dengan nilai sebagai mana tertera pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Beban Hidup Pada Bangunan

Beban Hidup	Nilai Beban Merata (kg/m^2)
Ruang pribadi dan koridornya	192
Ruang publik dan koridornya	479
Atap untuk tempat berkumpul	479
Tangga dan jalan keluar	479

Sumber: SNI 1727:2020 Tabel Tabel 4.3-1.

3.5.3 Beban Hujan

Berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 8 setiap bagian dari atap harus mampu menahan beban dari air hujan yang terakumulasi apabila sistem drainase terhambat ditambah beban merata akibat kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran desainnya. Beban hujan dapat dihitung dengan Persamaan 3.7.

$$R = 0{,}0098(d_s + d_h) \qquad (3\text{-}7)$$

Dimana :

- d_s adalah tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran desainnya (yakni, kepala hidraulik), dalam mm.
- d_h adalah sistem drainase sekunder pada aliran desainnya (yakni, kepala hidraulik), dalam mm.

3.5.4 Beban Angin

Beban angin ditentukan berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 26 hingga 31. Berdasarkan aturan tersebut ditentukan bahwa beban angin gedung Rumah Susun Pasar Rabu dihitung berdasarkan prosedur terarah pada pasal 27 karena sifat gedung yang tertutup.

3.5.5 Beban Gempa

Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 dimana langkah langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi bangunan itu sendiri dan dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 3

2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa dapat ditentukan berdasarkan kategori resiko yang dapat dilihat pada **Tabel 3.7.**

Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 4

3. Definisi Kelas Situs

Pendefinisian kelas situs dapat ditentukan dengan mengacu pada **Tabel 3.8.**

Tabel 3.8 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_S \left(\frac{m}{detik}\right)$	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20 , 2. Kadar air, w ≥ 40% , 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u$ < 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m) Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plasitisitas PI > 75) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan $\bar{S}_u$ < 50 kPa		

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 5

Klasifikasi situs ditentukan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penentapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium serta dilakukan oleh otoritas yang berwenang. Karena data tanah yang digunakan adalah data N-SPT maka untuk menentukan klasifikasi situsnya digunakan Persamaan 3-8 sebagai mana tertera dalam SNI 1726:2019.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}} \quad (3\text{-}8)$$

Dimana :

$\bar{N}$ = Nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata

$\sum_{i=1}^{n} d_i$ = Ketebalam total lapisan tanah.

4. Penentuan S_S dan S_1

Penentuan S_S dan S_1 merupakan langkah awal untuk menentukan parameter percepatan spektral desain seperti S_{DS} dan S_{D1}. S_S didefinisikan sebagai parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek, sedangkan S_1didefinisikan sebagai parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik. Nilai dari S_S dapat ditentukan sesuai dengan peta parameter gerak tanah S_S pada Gambar 15 SNI 1726:2019. Sedangkan nilai S_1 diambil sesuai dengan peta parameter gerak tanah S_1 pada Gambar 16 SNI 1726:2019.

5. Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang ditentukan berdasarkan Persamaan 3-9 dan 3-10 :

$$S_{MS} = F_a \, S_S \quad (3\text{-}9)$$

$$S_{M1} = F_v \, S_1 \quad (3\text{-}10)$$

Nilai F_a dan F_v dapat diambil berdasarkan Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

6. Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spketral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} harus ditentukan melalui Persamaan 3-11 dan 3-12 :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3\text{-}11)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3\text{-}12)$$

7. Menentukan Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seimik dapat dilakukan dengan menggunakan nilai parameter respons percepatan periode pendek dan 1 detik, serta kategori resikonya. Penentuannya dapat mengacu pada **Tabel 3.9** dan **Tabel 3.10**.

Tabel 3.9 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_S**					
	$S_S \leq 0{,}25$	$S_S = 0{,}5$	$S_S = 0{,}75$	$S_S = 1$	$S_S = 1{,}25$	$S_S \geq 1{,}5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 6

Dimana :

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

Tabel 3.10 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0{,}1$	$S_1 = 0{,}2$	$S_1 = 0{,}3$	$S_1 = 0{,}4$	$S_1 = 0{,}5$	$S_1 \geq 0{,}6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 7

Dimana :

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

Tabel 3.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I , II , III	IV
$S_{DS} < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq S_{DS} < 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}5$	C	D
$0{,}5 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 8

Tabel 3.12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I , II , III	IV
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{DS1} < 0{,}133$	B	C
$0{,}133 \leq S_{DS1} < 0{,}2$	C	D
$0{,}2 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 9

8. Menentukan Koefisien Modifikasi Respon (R), Faktor Kuat Lebih sistem (Ω_0) Faktor Pembesaran Defleksi (C_d).

Faktor faktor tersebut dapat dipilih berdasarkan jenis sistem pemikul gaya seismiknya sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 12.

9. Menentukan Berat Seismik Efektif (W)

Berat seismik efektif struktur (W) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban hidup minimal 25%.

10. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan (T)

Periode fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil perkalian dari Cu pada **Tabel 3.13** dan periode fundamental pendekatan (Ta). Sebagai alternatif diperbolehkan menggunakan nilai periode fundamental pendekatan (Ta) untuk analisis lebih lanjut.

Tabel 3.13 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

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

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 17

Periode fundamental pendekatan (Ta) dihitung dengan Persamaan 3-13.

$$T_a = C_t \, {h_n}^x \qquad (3\text{-}13)$$

Koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan **Tabel 3.14.**

Tabel 3.14 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x

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

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 18

Keterangan :
C_u = Koefisien Untuk Batas Atas
h_n = Ketinggian struktur (m)
C_t = Koefisien parameter periode pendek
X = Koefisien parameter periode pendek

11. Menentukan Koefisien Respon Seismik (C_s)

Koefesien respon seismik dihitung berdasarkan Persamaan 3-14.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \qquad (3\text{-}14)$$

Keterangan :
S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral desain periode pendek
R = Koefisien modifiakasi respons
I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung berdasarkan persamaan diatas tidak perlu melebihi nilaia C_s yang dhitung berdasarkan rumusan berikut.

- Untuk $T \leq T_L$

  Nilai C_s dihitung berdasarkan Persamaan 3-15.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3\text{-}15)$$

- Untuk $T > T_L$

  Nilai C_s dihitung berdasarkan Persamaan 3-16.

$$C_s = \frac{S_{D1}\, T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3\text{-}16)$$

  Nilai C_s yang diperoleh harus tidak kurang dari rumusan 3-17.

$$C_s = 0{,}444\, S_{Ds}\, I_e \geq 0{,}01 \quad (3\text{-}17)$$

  Untuk struktur yang berlokasi pada daerah dengan nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s harus tidak kurang dari dari Persamaan 3-18.

$$C_s = \frac{0{,}5\, S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3\text{-}18)$$

  Keterangan :

  S_{D1} = Parameter percepatan respon spektral desain periode 1 detik
  T = Periode fundamental struktur
  S_1 = Parameter percepatan respons spektral maksimum
  T_L = Periode panjang

12. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar seismik dihitung ditiap arah yang ditetapkan dengan Persamaan 3-19.

$$V = C_s W \quad (3\text{-}19)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik
W = Berat seismik efektif

13. Membuat Spektrum Respons Desain

Respons spektrum desain dapat dibuat dengan mengikuti tahapan berikut.

i. Spektrum respons percepatan desain (S_a) saat periode lebih kecil dari T_0 ditentukan dengan Persamaan 3-20.

$$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right) \quad (3\text{-}20)$$

ii. Nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} saat periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts.

iii. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama edngan T_L maka respons percepatan desain (S_a) dihitung berdasarkan Persamaan 3-21.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3\text{-}21)$$

iv. Nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) saat periode lebih besar dari T_L dihitung berdasarkan Persamaan 3-22.

$$S_a = \frac{S_{D1}\,T_L}{T^2} \quad (3\text{-}22)$$

Keterangan :

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektral desain periode 1 detik

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral desain periode pendek

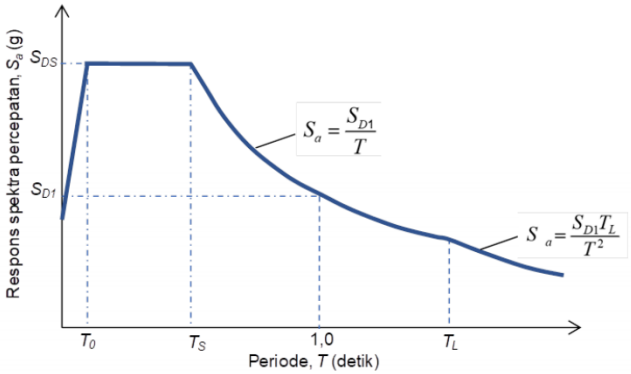
T = Periode getar fundamental struktur

T_0 = $0{,}2\ \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_s = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_L = Periode panjang

Ketentuan pegambaran respon spektrum dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**



Gambar 3.3 Ketentuan Penggambaran Grafik Respons Spektrum

3.5.6 Kombinasi Pembebanan

Digunakan kombinaasi pembebanan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 5.3.1 sebagai berikut.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r atau R)
3. 1,2D + 1,6(L_r atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r atau R)
5. 1,2D + 1,0E + 1,0L
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

Keterangan :

D = Beban mati
L = Beban hidup
Lr = Beban hidup pada atap
R = Beban hujan
W = Beban angin
E = Beban gempa

3.6 Perencanaan Struktur Sekunder

Setelah beban beban sudah terdefinisikan maka struktur sekunder dapat direncanakan untuk menopang beban beban tersebut. Struktur sekunder yang direncanakan adalah balok anak,

tangga, pelat lantai. Berikut merupakan tahap perencanaan dari elemen-elemen struktur sekunder.

3.6.1 Perencanaan Pelat Lantai

Perencanaan pelat lantai satu arah dan pelat dua arah memiliki tahapan yang berbeda. Konsep perhitungan dari elemen tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pelat Satu Arah

Ketebalan minimum pelat satu arah ditetapkan berdasarkan Tabel 3.1 pada sub bab *preliminary desain*. Pelat satu arah direncanakan untuk mampu menopang beban area berupa beban hidup maupun beban mati dengan faktor pembesaran sesuai dengan kombinasi pembebanannya. Kombinasi beban yang digunakan umumnya adalah 1,2D+1,6L. Pelat satu arah harus direncankan sesuai dengan ketentuan yang tertera pada SNI 2847:2019 pasal 7.

a. Kekuatan Perlu

Kekuatan perlu seperti momen ultimate (M_u) dan geser ultimate (V_u) dihitung berdasarkan **Tabel 3.15.**

Tabel 3.15 Geser Pendekatan Untuk Analisis Balok Menerus dan Pelat Satu Arah Nonprategang

Lokasi	Vu
Muka eksterior dari pendukung muka interior pertama	$1{,}15w_u\ell n/2$
Muka dari pendukung lainnya	$w_u\ell n/2$

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 6.5.4

Tabel 3.16 Momen Pendekatan Untuk Analisis Balok Menerus dan Pelat Satu Arah Nonprategang

Momen	Lokasi	Kondisi	Mu
Positif	Bentang ujung	Ujung tak menerus dan monolit dengan perletakan	$w_u \ell n^2/14$
		Ujung tak menerus dan tidak terkekang	$w_u \ell n^2/11$
	Bentang tengah	Semua	$w_u \ell n^2/16$
Negatif	Muka interior dari pendukung eksterior	Balok menyatu secara monolit dengan balok spandrel pendukung	$w_u \ell n^2/24$
		Balok monolit dengan kolom pendukung	$w_u \ell n^2/16$
	Muka eksterior dari pendukung interior pertama	Dua bentang	$w_u \ell n^2/9$
		Lebih dari dua bentang	$w_u \ell n^2/10$
	Muka dari pendukung lainnya	Semua	$w_u \ell n^2/11$
	Muka semua pendukung memenuhi (a) atau (b)	(a) Pelat dengan bentang tidak lebih dari 3 m (b) Balok dengan rasio jumlah kekakuan kolom terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada setiap ujung bentangnya	$w_u \ell n^2/12$

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 6.5.2.

Nilai momen nominal (Mn) ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.3 sedangkan geser nominal (Vn) sesuai dengan pasal 22.5.

b. Batasan tulangan

Tulangan lentur minimum pelat satu arah telah diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 7.6. Tulangan lentur ulir harus dipasang dengan spasi maksimum kurang dari 3h dan 450 mm. Luas minimum tulangan lentur (A_s min) pelat satu arah adalah sesuai dengan **Tabel 3.17.**

Tabel 3.17 As,min Untuk Pelat Satu Arah Nonprategang

Tipe tulangan	**f_y, MPa**	**As,min**	
Batang ulir	< 420	0,0020Ag	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0{,}0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0{,}0014\ A_g$

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 7.6.1.1.

Jika diperlukan tulangan geser, A_v min harus ditentukan berdasarkan perumusan berikut.

$$\frac{A_{v\,min}}{s} = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{b_w}{f_{yt}} \qquad (3\text{-}23)$$

Selain tulangan lentur dan tulangan geser, terdapat tulangan susut dan suhu minimum yang harus dipasang pada pelat satu arah. Pemasangannya diposisikan tegak lurus terhadap tulangan lentur dimana penentuannya sama sebagaimana luas minimum tulangan lentur pada Tabel 3.17 dan spasi tulangan susut dan suhu maksimum tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 5h dan 450 mm.

2. Pelat Dua Arah

Ketebalan awal pelat dua arah dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan pada sub bab preliminary pelat dua arah. Pelat dua arah direncanakan untuk mampu menopang beban area berupa beban hidup maupun beban mati dengan faktor pembesaran sesuai dengan kombinasi pembebanannya. Kombinasi beban yang umum digunakan pada perencanaan pelat adalah 1,2D+1,6L.

a. Kekuatan Perlu

Analisis momen yang digunakan pada pelat dua arah mengacu pada PBI **Tabel 3.18** dan **Tabel 3.19**.

Tabel 3.18 Koefisien Momen Pelat

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																	
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	> 2.5
I	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
	$M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
III	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13
	$M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79
IVA	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
IVB	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
VA	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
VB	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125
VIA	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
	$M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
VIB	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8
	$M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Keterangan :		= Terletak bebas																	
		= Terjepit penuh																	

Sumber: PBI 1971 Tabel 13.3.1

Tabel 3.19 Koefisien Momen Pelat Lanjutan

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																	
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	> 2.5
I	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II	$M_{lx} = -M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	33
	$-M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	38
III	$M_{lx} = -M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	48	55	61	67	71	76	79	82	84	86	88	89	90	91	92	92	94
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	19
	$-M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	56
IVA	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	22	28	34	41	48	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	25
	$-M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	75
IVB	$M_{lx} = -M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	51	54	57	59	60	61	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	13
VA	$M_{lx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	31	38	45	53	59	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	25
	$-M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	75
VB	$M_{lx} = -M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	60	66	71	76	79	82	85	87	88	89	90	91	91	92	92	93	94
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	12
VIA	$M_{lx} = -M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	38	46	53	59	65	69	73	77	80	83	85	86	87	88	89	90	54
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	19
	$-M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	50	49	49	48	48	56
VIB	$M_{lx} = -M_{tx} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	13	48	51	53	57	58	60	61	62	62	62	63	63	63	63	63	63
	$M_{ly} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	13
	$-M_{ty} = +0.001\ q_u l_x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	38
Keterangan :		= Terletak bebas																	
		= Menerus atau Terjepit elastis																	

Sumber: PBI 1971 Tabel 13.3.2

Dalam desain pelat dua arah diusahakan balok memiliki kekauan lebih besar atau sama dengan satu sehingga gaya geser yang terjadi sepenuhnya dipikul oleh balok.

b. Batasan Tulangan

Luasan tulangan lentur minimum pelat dua arah direncanakan sesuai dengan Tabel 3.17 Tulangan lentur pelat dua arah harus memiliki spasi maksimum yang terkecil dari 2 kali tebal pelat (h) dan 450 mm pada penampang kritis.

3.6.2 Tangga

Dimensi tangga direncanakan terhadap tinggi pijakan, lebar pijakan, sudut kemiringan tangga, dan ketebalan pelat. Ukuran anak tangga dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$60\ cm \leq 2r + t \leq 65\ cm \tag{3-24}$$

$$Jumlah\ anak\ tangga\ = \frac{Ketinggian\ Antara\ Lantai}{tread} \tag{3-25}$$

$$Riser = \frac{tinggi\ bordes}{jumlah\ anak\ tangga} \tag{3-26}$$

$$t_s = \frac{\ell}{20} \tag{3-27}$$

Dimana :

riser = tinggi tanjakan
tread = lebar pijakan
α = sudut kemiringan tangga ($25^o \leq \alpha \leq 40^o$)
t_s = ketebalan pelat tangga
ℓ = lebar anak tangga

Momen-momen yang bekerja pada tangga dihitung menggunakan program bantu dan apabila tangga terletak diantara dua tumpuan sederhana maka dapat dihitung menggunakan prinsip mekanika teknik.

3.6.3 Balok Anak

Balok anak akan direncanakan untuk menahan gaya-gaya dalam hasil analisis program bantu. Gaya-gaya dalam antara lain momen ultimate (Mu), geser ultimate (Vu), dan Torsi Ultimate (Tu)

Kemudian balok anak harus direncanakan lebih lanjut terhadap hal-hal berikut.

a. Kekuatan Perlu

Kekuatan perlu yang direncanakan pada balok anak meliputi kebutuhan momen, geser, dan torsi. Analisis gaya gaya tersebut dilakukan dengan menggunakan program bantu.

b. Batasan Tulangan

Luas tulangan lentur (A_s min) yang dihitung harus lebih besar dari persamaan berikut

$$\frac{0{,}25\sqrt{Fc'}}{f_y} b_w d \qquad (3\text{-}28)$$

$$\frac{1{,}4}{f_y} b_w d \qquad (3\text{-}29)$$

Keterangan :

b_w = Lebar badan balok

d = Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 tulangan geser atau sengkang harus dipasang pada sepanjang balok dimana Vu > 0,5ϕVc. Luas tulangan minimum tulangan sengkang dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{A_{v\,min}}{s} = 0{,}062\sqrt{f_c'}\,\frac{b_w}{f_{yt}} \qquad (3\text{-}30)$$

Spasi maksimum tulangan geser dihitung sesuai **Tabel 3.20.**

Tabel 3.20 Spasi Maksimum Tulangan Geser

Vs	Maksimum s, mm	
	Balok nonprategang	
$\leq 0{,}33\sqrt{f_c}b_w d$	Terkecil dari:	d/2
		600
$> 0{,}33\sqrt{f_c}b_w d$	Terkecil dari:	d/4
		300

Sumber SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2

c. Penulangan Balok

1. Penulangan Lentur

- Menentukan data tinggi efektif balok (d), mutu beton (Fc'), mutu tulangan (Fy), dan momen ultimate (Mu)
- Menentukan harga β_1

  Penentuan harga β_1 dapat menggunakan **Tabel 3.21.**

Tabel 3.21 Nilai β1 Untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen

Fc', MPa	β_1
17 ≤ Fc' ≤ 28	0,85
28 < Fc' < 55	$0{,}85 - \frac{0{,}05\,(f_c' - 28)}{7}$
Fc' ≥ 55	0,65

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3

- Menentukan nilai batas rasio tulangan

  Rasio tulangan maksimum dan minimum dihitung dengan persamaan berikut.

$$\rho_b = \frac{0{,}85\,\beta_1 f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \quad (3\text{-}31)$$

$$\rho_{max} = 0{,}025\ atau\ \rho_{max} = 0{,}75\,\rho_b \quad (3\text{-}32)$$

  ρ_{min} ditentukan dengan Persamaan 3.31 dan 3.32

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0{,}85\,f_c'} \quad (3\text{-}33)$$

- Menentukan Rn

$$Rn = \frac{Mu}{\phi . bw . d^2} \quad (3\text{-}34)$$

- Mengasumsikan bahwa beton dalam kondisi tension controlled sehingga $\phi = 0{,}9$
- Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . m . Rn}{fy}}\right) \quad (3\text{-}35)$$

Dimana : $\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$

- Menentukan luas tulangan perlu (A_s)

$$As\ perlu = \rho . bw . d \quad (3\text{-}36)$$

Menentukan jumlah tulangan (n) dan jarak tulangan (s)

$$n = \frac{A_s\ perlu}{0{,}25\ \pi\ D^2} \quad (3\text{-}37)$$

$$s = \frac{b_w - 2 . cover - 2 . D_{transversal} - n . D}{n - 1} > 25\ mm \quad (3\text{-}38)$$

- Mengecek regangan tulangan

$$tinggi\ blok\ tekan\ , a = \frac{A_{s\ pakai}\ fy}{0{,}85\ f_c{}'\ b_w} \quad (3\text{-}39)$$

$$Tinggi\ sumbu\ netral, C = \frac{a}{\beta_1} \quad (3\text{-}40)$$

$$Regangan\ tulagan, \varepsilon_t = 0{,}003\frac{(d - C)}{C} \quad (3\text{-}41)$$

Apabila $\varepsilon_t > 0{,}005$ maka penampang adalah tension controlled, apabila ε_t tidak lebih besar dari $0{,}005$ maka perlu adanya penyesuaian nilai Φ pada perumusan Mn, dimana nilai Φ dapat ditentukan dari **Tabel 3.22**.

Tabel 3.22 Faktor Reduksi Kekuatan (Φ) Untuk Momen, Gaya Aksial, Atau Kombinasi Momen Dan Gaya Aksial

Regangan tarik netto (εt)	**Klasifikasi**	**ϕ**			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai SNI 2847:2019 pasal 25.7.3		**Tulangan lainnya**	
$\varepsilon t \leq \varepsilon ty$	Tekanan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\varepsilon ty < \varepsilon t < 0{,}005$	Transisi	$0{,}75+0{,}15\frac{(\varepsilon t-\varepsilon ty)}{(0{,}005-\varepsilon ty)}$	c)	$0{,}65+0{,}25\frac{(\varepsilon t-\varepsilon ty)}{(0{,}005-\varepsilon ty)}$	d)
$\varepsilon t \geq 0{,}005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2

Dengan nilai ε_{ty} = 0,002

2. Penulangan Geser
   - Menentukan data tinggi efektif balok (d), mutu beton (Fc'), mutu tulangan (F_y), dan geser ultimate (V_u)
   - Menghitung tahanan geser balok (V_c)

     Untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial maka V_c dihitung berdasarkan persamaan berikut.

     $$V_C = 0{,}17\lambda\sqrt{F'c}\, b_w\, d \qquad (3\text{-}42)$$

     Perhitungan nilai Vn yang lebih detail dirumuskan pada **Tabel 3.23**.

Tabel 3.23 Metode Detail untuk Menghitung Vc

Vc		
Paling kecil di antara a), b), dan c):	$\left[0{,}16\lambda\sqrt{F'c} + 17\rho_w\frac{Vu\, d}{Mu}\right] b_w\, d$	a)
	$\left[0{,}16\lambda\sqrt{F'c} + 17\rho_w\right] b_w\, d$	b)
	$0{,}29\lambda\sqrt{F'c}\, b_w\, d$	c)

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 22.5.5.1.

   - Menentukan daerah pada balok yang membutuhkan tulangan geser

     Dibutuhkan tulangan geser apabila $V_u > 0{,}5\ \phi V_c$. Dimana nilai faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) adalah 0,75.

- Menghitung kebutuhan tulangan geser atau sengkang

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (3\text{-}43)$$

$$s = \frac{A_v \, f_y \, d}{V_s} \quad (3\text{-}44)$$

- Mengecek spasi maksimum tulangan geser berdasarkan Tabel 3.20.

3.6.4 Balok Lift

Balok lift direncanakan seperti balok anak. Beban yang bekerja pada lift adalah beban yang diambil dari brosur lift.

3.7 Permodelan Struktur *Fixed Based*

Permodelan struktur *fixed based* dilakukan menggunakan program bantu *ETABS*. Dalam permodelan ini akan diinputkan dimensi elemen struktur hasil *preliminary design* dan hasil perencanaan struktur sekunder serta input beban-beban yang telah dihitung. Setelah itu akan dilakukan analisa struktur dan kontrol design untuk mengecek kestabilan struktur dan untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan dalam perencanaan dimensi Friction Pendulum System. Parameter yang dibutuhkan antara lain :

1. Reaksi perletekan ditiap kolom untuk preliminary FPS. Dimana FPS dipilih sesuai dengan kapasitasnya dalam menahan beban vertikal yang terjadi sesuai dengan brosur yang tersedia.
2. Periode fundamental struktur fixed based. Periode ini akan menjadi acuan untuk periode struktur dengan base isolation dimana setelah diisolasi struktur harus memiliki periode fundamental yang lebih besar dari periode struktur fixed based.

3.8 Analisa Struktur Fixed Based dan Kontrol Desain

Setelah komponen-komponen struktur dan pembebanan sudah dimodelkan dengan menggunakan program bantu *ETABS*, maka dilakukan pengecekan dan kontrol terhadap hasil analisis struktur berupa:

1. *Base reaction*

Reaksi perletakkan dikontrol untuk mengecek permodelan serta input beban sudah benar. Reaksi perletakkan tidak boleh melebihi dari ± 5% dari beban yang dihitung.

2. Partisipasi massa

Partisipasi massa harus memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 dimana disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Akan tetapi terdapat keterangan tambahan bahwa dizinkan untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90%.

3. Gaya geser dasar

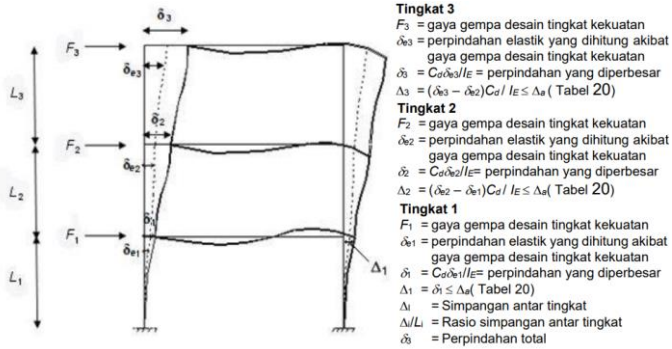
Gaya geser atau base shear harus memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 dimana disebutkan apabila gaya geser dari hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt, dimana. V adalah gaya geser dasar statik ekivalen.

4. Periode fundamental struktur

Nilai periode fundamental gedung (T) dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil kali dari nilai dari batasan atas pada perioda yang dihitung (Cu) dan perioda fundamental pendekatan (Ta) sebagai mana telah diatur dalam SNI 1726:2019 pasal 7.8.2. Perhitungan Cu.Ta dilakukan sebagaimana yang sudah dijelaskan pada sub bab pembebanan bagian gempa.

5. Story drift / simpangan antar lantainya

Simpangan antar tingkat yang terjadi harus sesuai dengan batasan-batasan yang telah ditentukan pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.6. Simpangan yang terjadi harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Perhitungan simpangan antar tingkat ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat
Sumber: Gambar 10 SNI 1726:2019

Simpangan antar tingkat yang sudah diperbesar (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti pada **Tabel 3.24**.

Tabel 3.24 Simpangan antar tingkat izin (Δ_a)

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

Sumber: Tabel 20 SNI 1726:2019

Keterangan :

Hsx = tinggi tingkat dibawah tingkat-x.

6. Pengaruh P-delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 bahwa P-delta tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) yang ditentukan pada Persamaan 3-45 sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta = \frac{P_x \, \Delta \, I_e}{V_x \, h_{sx} \, C_d} \tag{3-45}$$

Dimana nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan pada Persamaan 3-49 .

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta \, C_d} \leq 0{,}25 \tag{3-46}$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat

C_d = faktor pembesaran defleksi

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser

Pengecekan hasil analisis struktur diatas bertujuan untuk :

- Melakukan pengecekan apakah struktur yang dimodelkan sudah benar tanpa ada kesalahan dalam permodelan ataupun input pembebanan.
- Meninjau kestabilan dan kekuatan struktur yang akan dimodelkan dengan base isolator berdasarkan peraturan yang berlaku.
- Menentukan parameter kekakuan yang akan digunakan pada base isolator dalam permodelan struktur terisolasi.

3.9 Perencanaan Base Isolator

Perencanaan base isolator mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 12.

3.9.1 Pemilihan Prosedur Analisis

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.4 terdapat 3 metode untuk menganalisis struktur dengan isolasi dasar. Metode tersebut antara lain : prosedur gaya lateral ekivalen, spektrum respons, dan riwayat respons atau *time history analysis*.

1. Prosedur Gaya Lateral Ekivalen

Prosedur gaya lateral ekivalen dapat digunakan apabila perencanan struktur dengan isolasi seismik memenuhi kriteria sebagai berikut :

a. Struktur terletak pada kelas situs *SA, SB, SC,*atau *SD*.
b. Periode efektif struktur terisolasi saat perpindahan maksimum (D_M) kurang atau sama dengan 5 detik.
c. Tinggi struktur diatas isolator kurang atau sama dengan 4 lantai, atau dengan ketinggi 19,8 m diukur dari dasar.

Pengeceualian : Batasan-batasan boleh dilampaui apabila tidak terjadi cabut atau uplift pada isolasi.

d. Redaman efektif dari sistem isolasi pada perpindahan maksimum (D_M) adalah kurang atau sama dengan 30%
e. Periode efektif struktur dengan isolasi (T_M) lebih besar dari 3 kali periode elastik struktur terjepit dari struktur diatas sistem isolasi, ditentukan menggunakan analisis ragam rasional.
f. Struktur di atas sistem isolasi tidak memiliki tidakberaturan struktur yang ditetapkan menurut SNI 1726:2019 pasal 12.2.2.
g. Sistem isolasi harus memenuhi semua kriteria sebagai berikut :
    - Kekaun efektif sistem isolasi pada perpindahan maksumum lebih besar dari 1/3 kekakuan efektif pada saat 20% perpindahan maksimum.

- Sistem isolasi mampu menghasilkan suatu gaya pemulih seperti tertera pada SNI 1726:2019 pasal 12.2.4.4.
- Sistem isolasi tidak membatasi perpindahan gempa maksumum yang dipertimbangkan lebih kecil dari perpindahan maksumum total (D_{TM})

2. Prosedur Spektrum Respons

Prosedur spektrum respon tidak boleh digunakan untuk merencanakan struktur terisolasi kecuali struktur, situs, dan sistem isolasi memenuhi kriteria pada gaya lateral ekivalen ketentuan a, b, c, d, dan f.

3. Prosedur riwayat respons

Prosedur riwayat respons boleh digunakan untuk merencanakan semua struktur dengan isolasi seismik dan harus digunakan untuk perencanaan semua struktur dengan isolasi seismik yang tidak memenuhi kriteria pada analisis gaya lateral ekivalen.

3.9.2 Perpindahan Maksimum

Sistem isolasi harus didesain untuk menahan sekurang-kurangnya perpindahan maksimum (D_M) yang ditentukan berdasarkan properti batas atas dan batas bawah, bekerja pada arah yang paling menentukan dari respon lateral harus dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$D_M = \frac{g\, S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \qquad (3\text{-}47)$$

Keterangan :

g = Percepatan gravitasi

S_{M1} = Spektral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5 % pada periode 1 detik.

T_M = Periode efektif struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan maksimum

B_M = koefisien numerik redaman efektif sistem isolasi sesuai **Tabel 3.25.**

Tabel 3.25 Faktor Redaman, BM

Redaman efektif, B_M (persentase dari redaman kritis)	**Faktor B_M**
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 36

Keterangan :

- Faktor redaman harus berdasarkan redaman efektif sistem isolasi
- Untuk nilai redaman efektif di antara nilai-nilai yang diberikan maka dilakukan interpolasi linear untuk mendapatkan faktor redaman.

3.9.3 Periode Efektif Saat Terjadi Perpindahan Maksimum

Periode efektif struktur terisolasi harus ditentukan berdasarkan karakteristik deformasi batas atas dan batas bawah sistem isolasi dan dihitung berdasarkan Persamaan 3-48.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M\,min}\, g}} \qquad (3\text{-}48)$$

Keterangan :

W = berat seismik efektif struktur diatas sistem pemisah isolasi

K_M = kekakuan efektif minimum sistem isolasi pada perpindahan rencana diarah horizontal yang ditinjau, dimana dihitung berdasarkan Persamaan 127 SNI 1726:2019

g = Percepatan gravitasi

3.9.4 Perpindahan maksimum total

Perpindahan maksimum total (D_{TM}) dari komponen isolasi harus menyertakan perpindahan maksimum tambahan akibat torsi sesungguhnya dan torsi tak terduga. Perpindahan maksimum total

(D_{TM}) harus melebihi nilai yang ditentukan berdasarkan perumusan berikut.

$$D_{TM} = D_M \left(1 + \left(\frac{y}{{P_T}^2}\right)\frac{12e}{b^2 + d^2}\right) \quad (3\text{-}49)$$

Keterangan :

D_M = perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau.

y = jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban seismik yang ditinjau.

e = eksentrisitas sesungguhnya diukur dari denah antara titik pusat massa struktur di atas batas pemisahan isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, dalam mm, diambil sebesar 5 % dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus untuk arah gaya yang ditinjau.

B = ukuran denah struktur terpendek diukur tegak lurus terhadap D

D = ukuran terpanjang denah struktur

P_T = rasio dari periode translasi efektif sistem isolasi terhadap periode torsional efektif sistem isolasi, yang dihitung dengan analisis dinamik atau dihitung berdasarkan Persamaan 3-50 tetapi tidak perlu kurang dari 1,0

$$P_T = \frac{1}{r_1}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}({x_i}^2 + {y_i}^2)}{N}} \quad (3\text{-}50)$$

Keterangan :

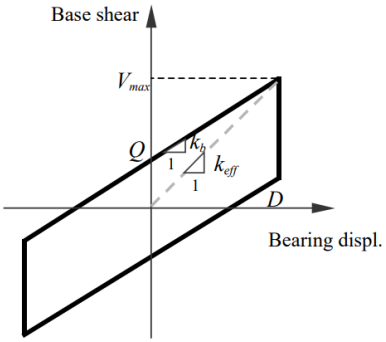
x_i,y_i = jarak horizontal antara pusat massa terhadap unit isolasi ke-I dalam dua sumbu horizontal sistem isolasi

N = jumlah unit isolasi

r_1 = jari-jari girasi dari sistem isolasi yang sama dengan $\left(\frac{(b^2+d^2)}{12}\right)^{\frac{1}{2}}$ untuk sistem isolasi dengan denah persegi

3.9.5 Gaya lateral minimum

Gaya lateral minimum yang dihitung adalah gaya lateral pada elemen struktur bawah dan struktur atas. Gaya lateral yang bekerja pada isolator dipengaruhi oleh kekakuan dan *displacement* dimana pengaruh tersebut dapat dilihat pada model gaya-perpindahan bilinear pada **Gambar 3.**5 sebagai berikut.



Gambar 3.5 Model Gaya-Perpindahan Bilinear Properti FPS

1. Gaya lateral minimum pada elemen struktural dibawah tingkat dasar

Sistem isolasi dan semua elemen struktural dibawah tingkat dasar harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya lateral minimum (V_b) yang dihitung berdasarkan perumusan 3-51.

$$V_b = k_M D_M \qquad (3\text{-}51)$$

Keterangan :

k_M = kekakuan efektif.

D_M = perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau.

2. Gaya lateral minimum pada elemen struktural di atas tingkat dasar

Struktur atas harus direncanakan untuk mampu menahan gaya geser minimum (V_s) yang dihitung berdasarkan perumusan berikut.

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I} \quad (3\text{-}52)$$

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W}\right)^{1-2,5\beta_m} \quad (3\text{-}53)$$

Keterangan:

R_I = koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe sistem pemikul gaya seismik di atas sistem isolasi

V_{st} = gaya rencana seismik lateral tak tereduksi atau geser pada elemen-elemen di atas tingkat dasar

W = berat seismik efektif dari struktur di atas pemisah isolasi.

W_s = berat seismik efektif, kN, dari struktur di atas pemisah isolasi, akan tetapi tidak termasuk berat seismik efektif pada tingkat dasar.

Nilai R_I dapat diambil 3/8 dari nilai R awal struktur tanpa isolasi, dengan nilai maksimum adalah 2 dan nilai minimum adalah 1.

3.9.6 Batas V_s

Nilai V_s tidak boleh diambil kurang dari batasan berikut :

1. Gaya seismik lateral yang disyaratkan untuk struktur yang terjepit di dasar dengan berat seismik efektif (W) yang sama, dan periodenya sama dengan periode struktur dengan isolasi seismik menggunakan properti batas atas (T_M)
2. Gaya geser dasar untuk beban angin rencana terfaktor
3. Gaya seismik lateral, Vst, dan dengan Vb ditetapkan sama dengan gaya yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi secara penuh menggunakan yang terbesar dari properti batas atas, atau
   - Properti nominal untuk tingkat leleh dari suatu sistem yang melunak (softening system), dikalikan dengan faktor 1,5.
   - Kapasitas ultimit suatu sistem pengekang angin,

- Tingkat friksi lepas dari suatu sistem gelincir (the break-away friction level of sliding system)
- Gaya pada perpindahan nol dari suatu sistem gelincir setelah satu siklus gerakan dinamik penuh pada D_M

3.9.7 Distribusi Vertikal Gaya

Gaya geser (V_s) harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur di atas tingkat dasar, dan dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$F_1 = \frac{(V_b - V_s)}{R_I} \tag{3-54}$$

$$F_x = C_{vx} V_s \tag{3-55}$$

$$C_{vs} = \frac{w_x \, h_x^k}{\sum_{i=2}^{n} w_i \, h_i^k} \tag{3-56}$$

$$k = 14 \beta_M T_{fb} \tag{3-57}$$

Keterangan :

F_1 = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat 1
F_x = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat x, x > 1
C_{vx} = faktor distribusi vertikal
V_s = gaya seismik lateral rencana total atau geser dari elemen-elemen di atas tingkat dasar
w_i , w_x = bagian dari W_s yang ditempatkan/dipasang di tingkat-i atau x
h_i , h_x = tinggi tingkat-i atau x dari pemisah isolasi.
T_{fb} = periode utama struktur di atas pemisah isolasi ditentukan menggunakan analisis ragam yang rasional dengan asumsi kondisi terjepit pada dasar.

3.9.8 Batas Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat maksimum struktur dengan sistem isolasi tidak boleh melebihi nilai $0{,}015h_{sx}$ dengan menggunakan faktor C_d dari sistem isolasi sama dengan faktor R_I.

3.9.9 Desain Dimensi Friction Pendulum

Adapun langkah langkah dalam mendesain base isolator tipe friction pendulum system adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan output gaya vertikal maksimum pada tiap kolom berdasarkan kombinasi pembebanan yang digunakan.
2. Memilih dimensi tipe friction pendulum dari katalog pabrikan yang memiliki kapasitas reaksi vertikal yang lebih besar dari pada beban vertikal yang bekerja.
3. Menghitung gaya horizontal maksimum yang mampu dipikul oleh friction pendulum. Gaya horizontal maksimum yang mampu dipikul oleh FPS dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$F_{max} = F_0 + F_r \tag{3-58}$$

Keterangan :
F_0 = Tahanan gesek FPS
F_r = Gaya restoring FPS

Adapun gaya-gaya tersebut dapat dihitung dengan perumusan berikut :

- Gaya Gesek Pendulum

  Tahanan gesek dari pendulum dapa dihitung berdasarkan perumusan berikut :

$$F_0 = \mu \, . \, N_{sd} \tag{3-59}$$

  Keterangan :
  F_0 = Tahanan gesek friction pendulum
  μ = Koefisien gesek friction pendulum
  N_{sd} = Beban vertikal maksimum pada kolom

- Gaya Restoring Pendulum

  Gaya restoring pendulum dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_r = \frac{N_{Sd}}{R} \, . \, d \tag{3-60}$$

Keterangan :

F_r = Gaya restoring FPS
R = Jari-jari kelengkungan FPS
N_{sd} = Beban vertikal maksimum pada kolom
d = Displacement rencana (yang dilakukan proses iterasi)

Nilai displacement rencana merupakan displacement yang harus diiterasikan hingga selisih antara displacement maksimum akibat gempa dengan displacement rencana sangat kecil. Jadi pada awalan perhitungan nilai displacement rencana harus dimisalkan.

4. Menghitung kekuan efektif dan redaman efektif FPS menggunakan perumusan 3-61 dan 3-62 sebagai berikut :

$$K_e = N_{Sd}\left(\frac{1}{R}+\frac{\mu}{d}\right) \quad (3\text{-}61)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi}.\frac{1}{\frac{d}{\mu.R}+1} \quad (3\text{-}62)$$

Keterangan :

K_e = Kekakuan efektif FPS
μ = Koefisien gesek friction pendulum
N_{sd} = Beban vertikal maksimum pada kolom
R = Jari-jari kelengkungan FPS
d = Displacement rencana (yang dilakukan proses iterasi)
ξ_e = Redaman efektif FPS

5. Menghitung periode fundamental efektif. Periode fundamental efektif berhubungan dengan nilai kekakuan efektif yang telah dihitung. Periode fundamental efektif dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$T_e = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{R}+\frac{\mu}{d}\right)}} \quad (3\text{-}63)$$

Keterangan :

g = Percepatan gravitasi

μ = Koefisien gesek friction pendulum

d = Displacement rencana (yang dilakukan proses iterasi)

6. Menghitung kekakuan efektif minimum dan maksimum sistem isolasi berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.2.8.6.
7. Menghitung gaya lateral minimum yang berkerja pada struktur dibawah sistem isolasi dan diatas sistem isolasi berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.4.
8. Menghitung periode efektif struktur yang diisolasi saat terjadi perpindahan maksimum (T_M) sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.2.
9. Menghitung koefisien redaman (B_M) berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 36.
10. Menghitung besar perpindahan maksimum translasi berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.1.
11. Menghitung besar perpindahan maksimum total yang menyertakan perpindahan akibat torsi sesungguhnya dan torsi tak terduga yang dapat dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.3.
12. Melakukan pengecekan bahwa nilai displacement rencana tidak boleh kurang dari nilai perpindahan maksimum pada langkah 10 dan 11. Apabila nilai displacement rencana sudah memenuhi maka FPS dapat digunakan.

3.10 Permodelan Struktur Terisolasi

Permodelan struktur terisolasi dilakukan menggunakan program bantu *ETABS*. Dalam permodelan ini akan dimodelkan struktur dengan isolasi dasar tipe *friction pendulum system* dengan menginputkan parameter isolator seperti kekakuan dan *damping* pada perletakkan struktur. Setelah itu dilakukan analisa struktur dan *kontrol design* untuk mengecek kestabilan struktur dan mengecek kesesuaian struktur dengan persyaratan-persyaratan pada peraturan. Apabila semua persyaratan telah terpenuhi maka

gaya dalam ditiap elemen struktur akan digunakan untuk melakukan perencanaan struktur primer.

3.11 Analisa Struktur Terisolasi dan Kontrol Desain

1. Partisipasi Massa

   Partisipasi massa harus memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 dimana disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Akan tetapi terdapat keterangan tambahan bahwa dizinkan untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90%.

2. Gaya Geser Dasar

   Gaya geser dasar pada struktur terisolasi dibatasi tidak kurang dari 100% Vs sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12.6.2.2.

3. Simpangan Antar lantai

   Simpangan antar lantai maksimum akibat gaya lateral termasuk perpindahan akibat deformasi vertikal dari sistem isolasi tidak boleh melebihi $0{,}015h_{sx}$ jika digunakan analisis respon spektrum sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12.6.4.3. Dimana nilai Cd dari struktur terisolasi sama dengan nilai faktor R_I yaitu 3/8 dari nilai R yang diberikan pada Tabel 9 SNI 1726:2019 dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2,0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1,0.

4. Pengaruh P-Delta

   Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 bahwa P-delta tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) yang ditentukan pada Persamaan 3-48 sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta = \frac{P_x \, \Delta \, I_e}{V_x \, h_{sx} \, C_d} \qquad (3\text{-}64)$$

   Dimana nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan pada Persamaan 3-49 .

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta\ C_d} \leq 0{,}25 \qquad (3\text{-}65)$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1

h_{sx}= tinggi tingkat di bawah tingkat

C_d = faktor pembesaran defleksi

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser

5. Simpangan Friction Pendulum System

   Perpindahan yang terjadi pada FPS tidak boleh melebihi perpindahan maksimum yang dihitung berdasarkan Persamaan 3-50 sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.1.

3.12 Perencanaan Struktur Primer

Perencanaan struktur primer dilakukan dengan mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 18.3 yang mana sistem rangka pemikul momen yang digunakan adalah SPRMB

3.12.1 Perencanaan Balok Induk

Adapun perencanaan balok induk adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan Tulangan Lentur.

   Langkah perencanaan tulangan lentur pada balok induk adalah sebagai berikut :

   - Menentukan data tinggi efektif balok (d), mutu beton (Fc'), mutu tulangan (Fy), dan momen ultimate (Mu)
   - Menentukan harga β_1
     Penentuan harga β_1 dapat menggunakan Tabel 3.21.
   - Menentukan nilai batas rasio tulangan
     Rasio tulangan maksimum dan minimum dihitung dengan persamaan berikut.

$$\rho_b = \frac{0{,}85\ \beta_1 f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \qquad (3\text{-}66)$$

$$\rho_{max} = 0{,}025 \; atau \; \rho_{max} = 0{,}75 \; \rho_b \qquad (3\text{-}67)$$

ρ_{min} ditentukan dengan Persamaan $3-31$ dan $3-32$

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0{,}85 \; f_c'} \qquad (3\text{-}68)$$

- Menentukan Rn

$$Rn = \frac{Mu}{\phi . bw . d^2} \qquad (3\text{-}69)$$

- Mengasumsikan bahwa beton dalam kondisi tension controlled sehingga $\phi = 0{,}9$

- Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \, . m \, . Rn}{fy}}\right) \qquad (3\text{-}70)$$

Dimana : $\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$

- Menentukan luas tulangan perlu (A_s)

$$As \; perlu = \rho . bw . d \qquad (3\text{-}71)$$

- Menentukan jumlah tulangan (n) dan jarak tulangan (s)

$$n = \frac{A_s \; perlu}{0{,}25 \; \pi \; D^2} \qquad (3\text{-}72)$$

$$s = \frac{b_w - 2 . cover - 2 . D_{transversal} - n . D}{n - 1} > 25 \; mm \qquad (3\text{-}73)$$

- Mengecek regangan tulangan

$$tinggi \; blok \; tekan \; , a = \frac{A_{s \; pakai} \; fy}{0{,}85 \; f_c' \; b_w} \qquad (3\text{-}74)$$

$$Tinggi \; sumbu \; netral, C = \frac{a}{\beta_1} \qquad (3\text{-}75)$$

$$Regangan \; tulagan, \varepsilon_t = 0{,}003 \frac{(d - C)}{C} \qquad (3\text{-}76)$$

Apabila $\varepsilon_t > 0{,}005$ maka penampang adalah *tension controlled*, apabila ε_t tidak lebih besar dari $0{,}005$ maka perlu adanya penyesuaian nilai Φ pada perumusan Mn, dimana nilai Φ dapat ditentukan dari Tabel 3.22.

2. Penulangan Geser
   - Menentukan data tinggi efektif balok (d), mutu beton (Fc'), mutu tulangan (Fy), dan geser ultimate (Vu)
   - Menghitung tahanan geser balok (V_c)

     Untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial maka V_c dihitung berdasarkan persamaan berikut.

     $$V_C = 0{,}17\lambda\sqrt{F'c}\, b_w\, d \qquad (3\text{-}77)$$

     Perhitungan nilai Vn yang lebih detail dirumuskan pada Tabel 3.23.
   - Menentukan daerah pada balok yang membutuhkan tulangan geser

     Dibutuhkan tulangan geser apabila $V_u > 0{,}5\ \phi V_c$. Dimana nilai faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) adalah 0,75.
   - Menghitung kebutuhan tulangan geser atau sengkang

     $$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \qquad (3\text{-}78)$$

     $$s = \frac{A_v\, f_y\, d}{V_s} \qquad (3\text{-}79)$$
   - Mengecek spasi maksimum tulangan geser berdasarkan Tabel 3.20.

3. Penulangan Torsi
   - Mengecek Pengaruh Torsi

     Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 22.7.1 dimana torsi dapat diabaikan jika torsi ,T_u memenuhi persyaratan berikut :

     $$T_u < \phi\, T_{th} \qquad (3\text{-}80)$$

$$T_u < \phi \,.\, 0{,}083\, \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{{A_{cp}}^2}{P_{cp}} \right) \quad (3\text{-}81)$$

Keterangan:

ϕ = Faktor reduksi kekuatan torsi = 0,75
λ = Faktor koreksi beton normal
A_{cp} = Luas penampang beton
P_{cp} = Keliling penampang beton

- Mengecek Dimensi Penampang Apakah Cukup Menahan Tu

  Perumusan yang digunakan untuk melakukan pengecekan penampang adalah sebagai berikut :

$$\text{Syarat} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{\text{Vu}}{\text{bw} \,.\, \text{d}}\right)^2 + \left(\frac{\text{Tu.Ph}}{1{,}7\ \text{Aoh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{\text{Vc}}{\text{bw} \,.\, \text{d}} + 0{,}66\sqrt{\text{Fc}}\right) \quad (3\text{-}82)$$

Dimana :

$$X1 = b - 2.cover - Db_{transversal} \quad (3\text{-}83)$$

$$Y1 = h - 2.cover - Db_{transversal} \quad (3\text{-}84)$$

$$Aoh = X1 \,.\, Y1 \quad (3\text{-}85)$$

$$Ph = 2(X1 + Y1) \quad (3\text{-}86)$$

- Menghitung Tulangan Torsi Transversal

  Kebutuhan tulangan torsi transversal dapat diperoleh dengan menggunakan perumusan berikut :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.Fy.\cot\theta} \quad (3\text{-}87)$$

Dimana:

Ao = $0{,}85 \,.\, Aoh$
θ = Sudut retak akibat torsi
Tn = Kekuatan nominal torsi

Kebutuan tulangan torsi transversal kemudian ditambakan dengan kebutuhan tulangan geser.

- Menghitung Tulangan Torsi Longitudinal

$$A_\ell = \frac{T_n \, . P_h}{2 \, A_o f_y \, cot \, \theta} \quad (3\text{-}88)$$

Dimana:

Ao = 0,85 . Aoh

θ = Sudut retak akibat torsi

Tn = Kekuatan nominal torsi

Ph = $2(X1 + Y1)$

4. Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran tulangan longitudinal balok dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.

3.12.2 Perencanaan Kolom

Perencaan kolom mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 10. Hal-hal yang direncanakan adalah sebagai berikut :

1. Dimensi kolom dan Penulangan Lentur

Perhitungan dimensi kolom dan penulangan lentur dianalisis dengan menggunakan program bantu *SP Column*. Kemudian kapasitas aksial kolom dicek dengan menggunakan perumusan berikut :

$$\phi \, P_{n\,max} = \phi \; 0{,}8 \left(0{,}85 . f'_c \left(A_g - A_{st}\right) + f_y \, A_{st}\right) \quad (3\text{-}89)$$

Keterangan :

A_g = Luas penampang kolom

A_{st} = Luas tulangan longitudinal kolom

Φ = Faktor reduksi kekuatan aksial kolom

f'_c = Mutu beton yang digunakan

f_y = Mutu tulangan yang digunakan

2. Penulangan Geser

Gaya geser desain (V_e) yang digunakan untuk perencanaan penulangan geser adalah sebagai berikut :

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u} \quad (3\text{-}90)$$

Dimana V_e tidak kurang dari V_u hasil analisis program bantu. Kemudian perhitungan penulangan geser dihitung sesuai

dengan langkah-langkah perhitungan tulangan geser pada balok induk.

3. Penulangan Torsi
   Penulangan torsi pada kolom dihitung sesuai dengan penulangan torsi pada balok induk.
4. Sambungan Lewatan
   Perhitungan panjang sambungan lewatan pada kolom mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.5.

3.13 Perencanaan Pondasi

Pada perhitungan daya dukung tanah dilakukan berdasarkan hasil penetrometer statis atau sondir. Alat sondir atau Cone Penetrometer Statis (CPT) yang berupa tabung silinder dengan ujung bawahnya berbentuk konus (Contique), dimasukkan ke dalam tanah dengan bantuan pision berkecapatan lambat dan konstan (V=3 mm/detik). Secara terpisah atau bersamaan, hambatan lekatan lateral (Frottement, Friction Laterale) dapat diukur dengan bantuan sebuah mantel 27 (Manchon) dari tabung sondirnya, yang terletak diatas elemen konus di ujung tiang. Hasil yang diperoleh adalah dalam bentuk kombinasi dari tegangan perlawanan tanah di ujung konus tiang (q_c) dan tegangan lekatan lateral disepanjang sisi luar mantel yang ada (q_s). Perhitung daya dukung tanah dengan data sondir atau cone penetrometer statis (CPT) dilakukan dengan metode Van Der Ween sebagai berikut.

Daya dukung nominal total sebuah pondasi tiang pondasi adalah :

$$Q_N = Q_p + Q_s \qquad (3\text{-}91)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung perlawanan tanah di ujung tanah

Q_s = Daya dukung akibat lekatan tanah di sepanjang tiang

$$Q_p = \frac{q_c}{3\alpha}\, A_p \qquad (3\text{-}92)$$

Dimana :

A_p = Luas penampang section ujung tiang

3 = angka keamanan unsur Q_p

α = koefisien yang tergantung dari jenis tanah dan tiang sesuai tabel

q_c = harga rata-rata conus disepanjang 3,5 B diatas dasar pondasi hingga B dibawah dasar pondasi (B=diameter tiang pondasi)

$$Q_s = \frac{1}{2} P \int_{pangkal\ tiang}^{dasar\ tiang} q_s\ dz \qquad (3\text{-}93)$$

Dimana :

q_s = q_c / β

2 = angka keamanan unsur Q_s

P = keliling tiang

β = koefisien sesuai tabel

Perumusan efisiensi grup tiang pancang dapat dihitung berdasarkan perumusan Conversi-Labarre sebagai berikut.

$$C_e = 1 - \frac{arctan\ \left(\frac{d}{s}\right)}{90}\left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \qquad (3\text{-}94)$$

Dimana :

m = Jumlah baris tiang dalam grup

n = Jumlah kolom tiang dalam grup

D = Diameter sebuah tiang pondasi

s = Jarak as ke as tiang dalam grup

Jarak tiang harus memenuhi batasan dalam perumusan berikut.

- Jarak as ke as tiang pancang
  2D < S < 2,5D
- Jarak as tiang pancang ke tepi poer
  1,5D < S1 < 2D

Perkiraan jumlah tiang pancang :

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (3\text{-}95)$$

$$P_{max} = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y . x_{max}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x . y_{max}}{\Sigma y^2} > P_{ijin} \quad (3\text{-}96)$$

$$P_{min} = \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y . x_{max}}{\Sigma x^2} - \frac{M_x . y_{max}}{\Sigma y^2} > 0 \quad (3\text{-}97)$$

Dimana:

n = Jumlah tiang pancang
M_x = Momen yang bekerja pada arah x
M_y = Momen yang bekerja pada arah y
X_{max} = Jarak terjauh as tiang pancang terhadap sumbu x
Y_{max} = Jarak terjauh as tiang pancang terhadap sumbu y
Σx^2 = Jumlah kuadrat jarak as tiang terhadap sumbu x
Σy^2 = Jumlah kuadrat jarak as tiang terhadap sumbu y

Kemudian Pile cap dapat direncanakan. Pile cap yang direncanakan harus dikontrol terhadap hal-hal berikut.

- Kontrol terhadap ketebalan pile cap
  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 13.4.2.1 yang membatasi bahwa ketebalan total pile harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang 300 mm.
- Kontrol geser pons pada pile cap akibat kolom
  - Kontrol geser satu arah

$$\emptyset Vn \geq Vu \quad (3\text{-}98)$$

$$Vn = Vc + Vs \quad (3\text{-}99)$$

$$Vc = 0{,}17 \lambda \sqrt{Fc}\, b_w\, d \quad (3\text{-}100)$$

  - Kontrol geser dua arah

$$\emptyset Vn \geq Vu \quad (3\text{-}101)$$

$$Vc = 0{,}17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{Fc}\, b_o\, d \quad (3\text{-}102)$$

$$Vc = 0{,}083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o}\right) \lambda \sqrt{Fc}\, b_o\, d \quad (3\text{-}103)$$

$$Vc = 0{,}33\,\lambda\,\sqrt{Fc}\;\;b_o\;d \qquad (3\text{-}104)$$

Keterangan:

Bc = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom

α = 40 untuk kolom dalam
= 30 untuk kolom tepi
= 20 untuk kolom sudut

b_o = Parameter penampang kritis

d = Tinggi efektif pelat

- Kontrol geser pons pada pile cap akibat beban aksial tiang pancang

$$\emptyset Vn \geq Vu \qquad (3\text{-}111)$$

Nilai Vc diambil dari persamaan berikut.

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{Fc}\;b_o\;d \qquad (3\text{-}112)$$

$$Vc = 0{,}083\left(\frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{Fc}\;b_o\;d \qquad (3\text{-}113)$$

$$Vc = 0{,}33\,\lambda\,\sqrt{Fc}\;\;b_o\;d \qquad (3\text{-}114)$$

Keterangan:

Bc = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom

α = 40 untuk kolom dalam
= 30 untuk kolom tepi
= 20 untuk kolom sudut

b_o = Parameter penampang kritis

d = Tinggi efektif pelat

3.14 Penggambaran Hasil Perencanaan

Hasil perencanaan dari tiap elemen struktur kemudian akan dituangkan dalam bentuk gambar teknik dengan program bantu Autocad.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

Preliminar design merupakan proses perencanaan awal untuk mengestimasi dimensi elemen struktur bangunan. Elemen struktur yang akan diestimasi adalah balok induk, balok anak, balok kantilever, kolom dan pelat lantai. *Preliminary design* dilakukan dengan mengacu pada SNI 2847:2019.

4.1.1 Data Perencanaan

Berikut adalah data bangunan yang akan direncanakan :

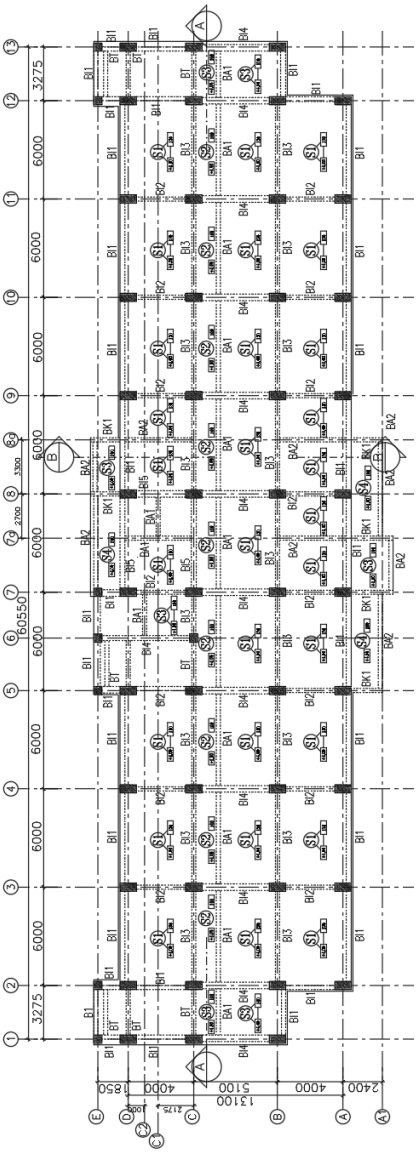
Fungsi bangunan	: Rumah susun
Jumlah lantai	: 13 lantai
Tinggi gedung	: 42,4 m
Panjang gedung	: 60,55 m
Lebar gedung	: 14,95 m
Material struktur	: Beton bertulang
Sistem pemikul gempa	: Sistem isolasi dasar
Mutu beton (F_c')	: - 30 MPa (kolom, balok, & pelat) - 35 MPa (kolom)
Mutu tulangan ulir (Fy)	: 400 MPa (BJTD 40)

4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok

Balok yang diestimasi meliputi balok induk, balok anak,dan balok kantilever dengan denah balok yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.

Estimasi dimensi balok mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 9.3.1 yang mengatur batasan minimum tinggi balok nonprategang dimana untuk setiap kondisi perletakkan memiliki batasan yang berbeda sebagaimana pada persamaan berikut :

Perletakkan sederhana	$\rightarrow h = \ell/16$
Menerus satu sisi	$\rightarrow h = \ell/18{,}5$
Menerus dua sisi	$\rightarrow h = \ell/21$
Kantilever	$\rightarrow h = \ell/8$



Gambar 4.1 Denah balok lantai 2

Rumusan tersebut diaplikasikan untuk beton mutu normal dan mutu tulangan 420 MPa, sehingga untuk kasus lain perlu dikalikan dengan (0,4 + fy/700). Maka untuk mutu tulangan 400 MPa faktor koreksi adalah sebagai berikut :

Faktor koreksi = 0,4 + 400 / 700 = 0,971

Sedangkan untuk lebar dari balok digunakan batasan pada persamaan berikut :

$$0{,}5 \leq {}^{b_w}/_{h} \leq 0{,}667$$

Dimana :

h = Tinggi keseluruhan balok

ℓ = panjang bentang

b_w = lebar badan balok

Perhitungan preliminary balok dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

Preliminary pelat lantai dilakukan untuk mengestimasi ketebalan pelat lantai. Terdapat dua jenis pelat yang akan diestimasi yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Ketebalan minimum yang disyaratkan tertera pada SNI 2847:2019. Adapun denah pelat lantai pada gedung rumah susun pasar rebo dapat dilihat pada **Gambar 4.2.**

4. Pelat Lantai Tipe S1

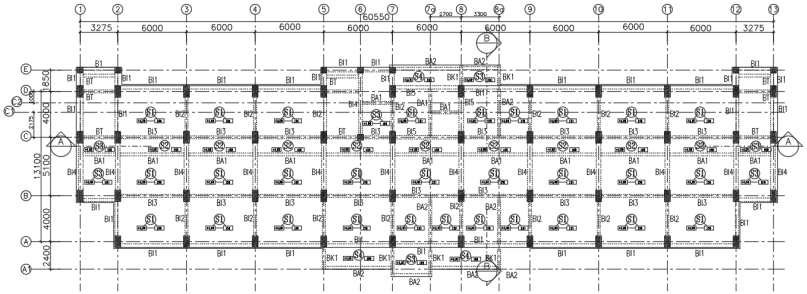
Untuk merencanakan ketebalan minimum pelat tipe S1, dipilih pelat dengan ukuran panjang dan lebar yang paling besar. Denah pelat S1 dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.

Dimensi balok yang mengelilingi pelat S1 :

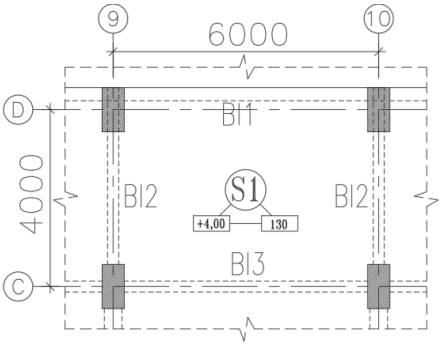
- BI 1 = 450 x 700 mm
- BI 2 = 400 x 600 mm
- BI 3 = 400 x 600 mm

Tabel 4.1 Perhitungan *preliminary* dimensi balok

Jenis Balok	Jenis Balok	ℓ (mm)	Syarat *h* minimum	Faktor Koreksi	*h* minimum pakai setelah koreksi (mm)	Dipakai *h* (mm)	Dipakai *bw* (mm)	Cek Rentang *bw/h*
BI1	B. Induk	6000	ℓ/18,5	0,971	315,06	700	450	OK
BI2	B. Induk	4000	ℓ/18,5	0,971	210,04	600	400	OK
BI3	B. Induk	6000	ℓ/18,5	0,971	315,06	600	400	OK
BI4	B. Induk	5100	ℓ/18,5	0,971	267,80	600	400	OK
BI5	B. Induk	6000	ℓ/18,5	0,971	315,06	500	300	OK
BA1	B.Anak	6000	ℓ/18,5	0,971	315,06	400	250	OK
BA2	B.Anak	6000	ℓ/18,5	0,971	315,06	400	250	OK
BK1	B.Kantilever	1900	ℓ/8	0,971	230,71	500	300	OK
BL1	B.Lift	6000	ℓ/18,5	0,971	315,06	400	250	OK
BL2	B.Lift	4000	ℓ/18,5	0,971	210,04	400	250	OK
BT	B.Tangga	3300	ℓ/18,5	0,971	173,28	400	250	OK



Gambar 4.2 Denah pelat lantai 2



Gambar 4.3 Denah pelat S1

- Bentang bersih arah memanjang:

$$\ell_n = 600 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} = 560\ cm$$

- Bentang bersih arah memendek :

$$s_n = 400 - \frac{45}{2} - \frac{40}{2} = 357{,}5\ cm$$

$$\beta = {}^{\ell_n}/_{s_n} = {}^{560}/_{357{,}5}$$

$$= 1{,}566 \leq 2 \rightarrow Pelat\ dua\ arah$$

Untuk mengetahui tebal pelat yang digunakan maka rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat (α_f), kemudian rasio dari balok disekeliling pelat dirata-rata (α_{fm}), seperti perhitungan berikut.

➢ <u>Balok BI 2 as 9 join C-D (Balok Interior)</u>

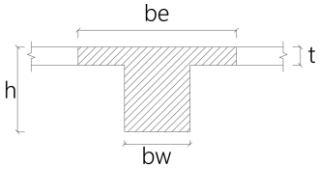
Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

$$be = bw + 2hw \leq bw + 8hf$$

$$be = 40 + 2.(60 - 15) \leq 25 + 8.15$$

$$be = 130\ cm \leq 160\ cm \rightarrow be = 130\ cm$$

Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be = 130 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sesuai dengan **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Ilustrasi lebar efektif pada balok interior

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{60}\right) + 4\left(\frac{15}{60}\right)^2 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)}$$

$$k = 1{,}642$$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}642 \times \frac{40\ .\ 60^3}{12}$$
$$= 1182712{,}5\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as 9 join C-D dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 600 cm dan 600 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(600 + 600).15^3}{12}$$
$$= 168750\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f1} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{1182712{,}5}{168750} = 7{,}008$$

- <u>Balok BI 1 as D join 9-10 (Balok Eksterior)</u>

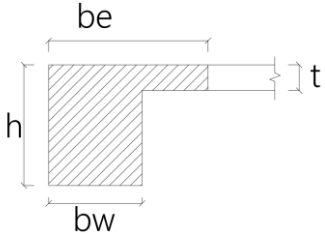
  Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

  $be = bw + hw \leq bw + 4hf$

  $be = 45 + (70 - 15) \leq 45 + 4.15$

  $be = 100\ cm \leq 105\ cm \rightarrow be = 100\ cm$

Dari perhitungan tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be = 100 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok berdasarkan **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Ilustrasi lebar efektif pada balok eksterior

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{100}{45} - 1\right)\left(\frac{15}{75}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{75}\right) + 4\left(\frac{15}{75}\right)^2 + \left(\frac{100}{45} - 1\right)\left(\frac{15}{75}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{100}{45} - 1\right)\left(\frac{15}{75}\right)}$$

$$k = 1{,}396$$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}396 \times \frac{45.70^3}{12}$$
$$= 1796135{,}024\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as D join 9-10 dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 0 cm dan 600 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(0 + 400).15^3}{12}$$
$$= 56250\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f2} = \frac{Ib}{Ip}$$
$$= \frac{1796135{,}024}{56250} = 31{,}931$$

- Balok BI 2 as 10 join C-D (Balok Interior)

Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

$be = bw + 2hw \leq bw + 8hf$

$be = 40 + 2.(60 - 15) \leq 40 + 8.15$

$be = 130\ cm \leq 160\ cm \rightarrow be = 130\ cm$

Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be=130 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sebagai berikut :

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{60}\right) + 4\left(\frac{15}{60}\right)^2 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)}$$

$k = 1{,}642$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}642 \times \frac{40.60^3}{12}$$
$$= 1182712{,}5\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as 10 join C-D dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 600 cm dan 600 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(600 + 600).15^3}{12}$$
$$= 168750\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f3} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{1182712{,}5}{168750} = 7{,}008$$

- Balok BI 3 as C join 9-10 (Balok Interior)

Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

$be = bw + 2hw \leq bw + 8hf$

$be = 40 + 2.(60 - 15) \leq 40 + 8.15$

$be = 130\ cm \leq 160cm \rightarrow be = 130\ cm$

Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be = 130 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sebagai berikut :

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{60}\right) + 4\left(\frac{15}{60}\right)^2 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)}$$

$k = 1{,}642$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}642 \times \frac{40.60^3}{12}$$
$$= 1182712{,}5\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as 10 join C-D dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 150 cm dan 600 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(150 + 600).15^3}{12}$$
$$= 105468{,}75\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f4} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{1182712{,}5}{105468{,}75} = 11{,}213$$

Dari keempat balok didapatkan rata-rata :

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha f_3 + \alpha f_4}{4}$$
$$= \frac{7{,}008 + 31{,}93 + 7{,}008 + 11{,}21}{4}$$
$$\alpha_{fm} = 14{,}29$$

Karena $\alpha_{fm} > 2$, maka digunakan persamaan berikut

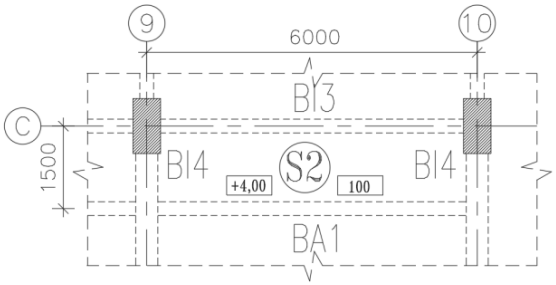
$$h = \frac{\ln\left(0{,}8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90\ mm$$

$$h = \frac{5600\left(0{,}8 + \frac{400}{1500}\right)}{36 + 9(1{,}566)} = 12{,}136\ cm \geq 9\ cm,$$

$$jadi\ dipakai\ h = 13\ cm$$

5. Pelat Lantai Tipe S2

Untuk merencanakan ketebalan minimum pelat tipe S2, dipilih pelat dengan ukuran panjang dan lebar yang paling besar. Denah pelat S1 dapat dilihat pada **Gambar 4.6.**



Gambar 4.6 Denah pelat S2

Dimensi balok yang mengelilingi pelat S2 :

- BI 3 = 400 x 600 mm
- BI 4 = 400 x 600 mm
- BA 1 = 250 x 400 mm

- Bentang bersih sumbu X :

  $\ell_n = 600 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} = 560\ cm$

- Bentang bersih sumbu Y :

  $s_n = 300 - \frac{40}{2} - \frac{25}{2} = 117{,}5\ cm$

  $\beta = {}^{\ell_n}/_{s_n} = {}^{560}/_{117{,}5} = 4{,}765 > 2 \rightarrow Pelat\ satu\ arah$

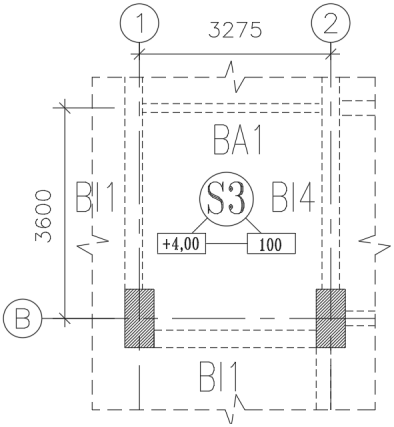
Sehingga perhitungan ketebalan pelat mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 7.3.1 pada Tabel 7.3.1.1. Dengan kondisi tumpuan satu ujung menerus maka ketebalan pelat dapat dihitung sebagai berikut :

$h = \frac{\ell}{24} = \frac{117,5}{24} = 4,895\ cm \sim 10\ cm,$

(untuk mencegah lendutan terlalu besar, digunakan tebal pelat tipe S2 10 cm)

6. Pelat Lantai Tipe S3

Untuk merencanakan ketebalan minimum pelat tipe S3, dipilih pelat dengan ukuran panjang dan lebar yang paling besar. Denah pelat S3 dapat dilihat pada **Gambar 4.7**



Gambar 4.7 Denah pelat S3

Perhitungan ketebalan pelat S3 adalah sebagai berikut :

- BI 1 = 450 x 700 mm
- BI 4 = 400 x 600 mm
- BA 1 = 250 x 400 mm

- Bentang bersih sumbu Y :
  $\ell_n = 372,5\ cm\ (Dari\ Autocad)$
- Bentang bersih sumbu X :
  $s_n = 307,5\ cm\ (Dari\ Autocad)$
  $\beta = {}^{\ell_n}/_{s_n} = {}^{372,5}/_{307,5} = 1,211 \leq 2 \rightarrow Pelat\ dua\ arah$

Untuk mengetahui tebal pelat yang digunakan maka rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat (α_f), kemudian rasio dari balok disekeliling pelat dirata-rata (α_{fm}), seperti perhitungan berikut.

- Balok BI 1 as 1 join B-C (Balok Eksterior)

  Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

  $be = bw + hw \leq bw + 4hf$

  $be = 45 + (70 - 15) \leq 45 + 4.15$

  $be = 100\ cm \leq 135\ cm \rightarrow be = 100\ cm$

  Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be = 100 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sebagai berikut :

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

  $$k = \frac{1 + \left(\frac{100}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{70}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{70}\right) + 4\left(\frac{15}{70}\right)^2 + \left(\frac{100}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{100}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{70}\right)}$$

  $k = 1{,}396$

  $$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}396 \times \frac{45\ .\ 60^3}{12}$$
  $$= 1796135{,}024\ cm^4$$

  Diketahui jarak balok as A9 join AC-AD dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 0 cm dan 327,5 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

  $$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(0 + 327{,}5).15^3}{12}$$
  $$= 46054{,}68\ cm^4$$

  $$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f1} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{1796135{,}024}{46054{,}68} = 39$$

- Balok BA 1 as C join 1-2 (Balok Interior)

Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

$be = bw + 2hw \leq bw + 8hf$

$be = 25 + 2(40 - 15) \leq 25 + 8.15$

$be = 75\ cm \leq 145\ cm \rightarrow be = 75\ cm$

Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be=75 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sebagai berikut :

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{75}{25} - 1\right)\left(\frac{15}{40}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{40}\right) + 4\left(\frac{15}{40}\right)^2 + \left(\frac{75}{25} - 1\right)\left(\frac{15}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{75}{25} - 1\right)\left(\frac{15}{30}\right)}$$

$k = 1{,}607$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}607 \times \frac{25.40^3}{12}$$
$$= 214360{,}119\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as AC join A1-A2 dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 150 cm dan 400 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(150 + 400).15^3}{12}$$
$$= 77343{,}75\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f2} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{214360{,}119}{77343{,}75} = 2{,}771$$

- Balok BI 4 as 2 join B-C (Balok Interior)

Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

$be = bw + 2hw \leq bw + 8hf$

$be = 40 + 2.(60 - 15) \leq 40 + 8.15$

$be = 130\ cm \leq 160\ cm \rightarrow be = 130\ cm$

Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be = 130 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sebagai berikut :

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{60}\right) + 4\left(\frac{15}{50}\right)^2 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{130}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{60}\right)}$$

$k = 1{,}642$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}642 \times \frac{40.60^3}{12}$$
$$= 1182712{,}5\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as A10 join AC-AD dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 327,5 cm dan 600 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(327{,}5\ + 600).15^3}{12}$$
$$= 130429{,}69\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f3} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{1182712{,}5}{130429{,}69} = 9{,}067$$

- <u>Balok BI 1 as B join 1-2 (Balok Eksterior)</u>

Menentukan lebar efektif sayap dengan asumsi tebal pelat 15 cm maka lebar efektif dapat dihitung sebagai berikut :

$be = bw + hw \leq bw + 4hf$

$be = 45 + (70 - 15) \leq 40 + 4.15$

$be = 100\ cm \leq 105\ cm \rightarrow be = 100\ cm$

Dari poin tersebut diambil nilai lebar efektif (be) terkecil yaitu be = 100 cm. Kemudian dihitung nilai inersia balok sebagai berikut :

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{100}{45} - 1\right)\left(\frac{15}{70}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{70}\right) + 4\left(\frac{15}{70}\right)^2 + \left(\frac{100}{45} - 1\right)\left(\frac{15}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{100}{45} - 1\right)\left(\frac{15}{70}\right)}$$

$$k = 1{,}396$$

$$Inersia\ Balok\ (Ib) = k \times \frac{bw.h^3}{12} = 1{,}396 \times \frac{45.70^3}{12}$$
$$= 1796135{,}024\ cm^4$$

Diketahui jarak balok as AB join A1-A2 dengan balok sejajar di kanan kirinya adalah 0 cm dan 400 cm. Kemudian dihitung inersia pelat lantai.

$$Inersia\ Pelat\ (Ip) = \frac{bp.t^3}{12} = \frac{0{,}5(0 + 400).15^3}{12}$$
$$= 56250\ cm^4$$

$$Rasio\ Kekakuan: \alpha_{f4} = \frac{Ib}{Ip} = \frac{1796135{,}024}{56250} = 31{,}931$$

Dari keempat balok didapatkan rata-rata :

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha f_3 + \alpha f_4}{4}$$
$$= \frac{39 + 2{,}771 + 9{,}067 + 31{,}931}{4} = 20{,}692$$

Karena $\alpha_{fm} > 2$, maka digunakan persamaan berikut

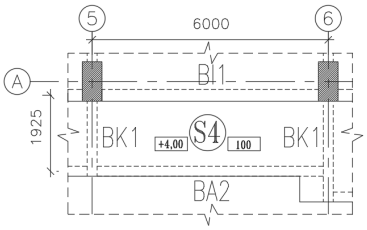
$$h = \frac{\ln\left(0{,}8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90\ mm$$

$$h = \frac{372{,}5\left(0{,}8 + \frac{400}{1500}\right)}{36 + 9(1{,}211)} = 8{,}622\ cm \geq 10\ cm$$

Untuk mencegah lendutan terlalu besar digunakan tebal pelat 10 cm

7. Pelat Lantai Tipe S4

Untuk merencanakan ketebalan minimum pelat tipe S4, dipilih pelat dengan ukuran panjang dan lebar yang paling besar. Denah pelat S4 dapat dilihat pada **Gambar 4.8.**



Gambar 4.8 Denah pelat S4

Dimensi balok yang mengelilingi pelat S4 :

- BI 1 = 450 x 700 mm
- BA 2 = 250 x 400 mm
- BK 1 = 300 x 500 mm

- Bentang bersih sumbu X :

  $\ell_n = 600 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2} = 570\ cm$

- Bentang bersih sumbu Y :

  $s_n = 192{,}5 - \frac{45}{2} - \frac{25}{2} = 157{,}5\ cm$

  $\beta = {}^{\ell_n}/_{s_n} = {}^{570}/_{157{,}5} = 3{,}619 > 2 \rightarrow Pelat\ satu\ arah$

  Sehingga perhitungan ketebalan pelat mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 7.3.1 pada Tabel 7.3.1.1. Dengan kondisi tumpuan diasumsikan sebagai kondisi satu ujung menerus maka ketebalan pelat dapat dihitung sebagai berikut:

  $h = \frac{\ell}{20} = \frac{157{,}5}{24} = 6{,}562\ cm \sim 10\ cm$

4.1.4 Perencanaan Dimensi Kolom

Mengacu pada SNI 2847:2019 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. Pada perencanaan gedung ini terdapat 3 jenis kolom yaitu kolom K1, K2, dan K3 serta digunakan variasi kolom disetiap beberapa lantai sebagai berikut :

Lantai 1 s/d 5 = Tipe A
Lantai 6 s/d 9 = Tipe B
Lantai 10 s/d Top Atap = Tipe C

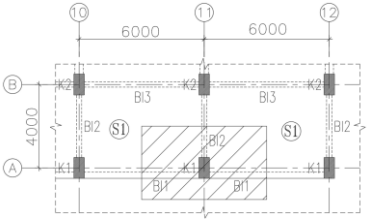
Beban yang dipikul kolom meliputi beban mati yang terdiri dari; balok, pelat lantai, dinding, penutup lantai, spesi, plafond dan penggantungnya, mechanical electrical, plumbing, dan sanitasi, kemudian beban hidup hidup yang terdiri dari beban hidup lantai, dan beban hidup atap. Adapun data perencanaan kolom adalah sebagai berikut :

Tinggi kolom lantai 1 = 4 m
Tinggi kolom lantai 2-Atap = 3,2 m
Mutu kolom lantai 1 – Atap = 35 MPa

Perencanaan dimensi kolom K1, K2, dan K3 adalah sebagai berikut:

1. K1

Mengacu pada denah kolom K1 merupakan kolom eksterior. Denah kolom K1 yang akan digunakan untuk perhitungan dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dengan perhitungan pada **Tabel 4.2 – 4.4.**



Gambar 4.9 Beban tributari area kolom tipe K

- Tipe Kolom K1-C (Lantai 10 s/d Atap)

Tabel 4.2 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K1-C

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	800	600	3200	1.536	-	2400	4	14745.6
BI1	2000	450	700	0.63	-	2400	4	6048
BI2	6000	400	600	1.44	-	2400	4	13824
Pelat	6000	2000	130	1.56	-	2400	4	14976
Finisihing lantai 2 cm	6000	2000	-	-	12	47.00	3	1692
Keramik	6000	2000	-	-	12	24	3	864
Aspal 2 cm	6000	2000	-	-	12	21	1	252
Dinding bata ringan 10 cm	8000	3000	100	2.4	-	650	4	6240
Gypsum 1,5 cm	6000	2000	-	-	12	13	4	624
Penggantung Plafond	6000	2000	-	-	12	11	4	528
Sanitasi	6000	2000	-	-	12	20	4	960
Plumbing	6000	2000	-	-	12	10	4	480
M&E	6000	2000	-	-	12	20	4	960
Beban Diatas								0
Total Beban Mati (DL)								**62193.6**
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	6000	2000	-	-	12	479	3	17244
Beban hidup lantai atap	6000	2000	-	-	12	479	1	5748
Beban hidup atas								0
Total Beban Hidup (LL)								**22992**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**111420**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65 & faktor reduksi momen dan torsi = 0,5							0.325	
Luas Penampangn Minimal Kolom							960.902	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							60	cm
Digunakan sisi kolom (h)							80	cm
Luas kolom yang digunakan							4800	cm^2
Cek							OK	

- Tipe Kolom K1-B (Lantai 6 s/d 9)

Tabel 4.3 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K1-B

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	800	600	3200	1.536	-	2400	4	14745.6
BI1	2000	450	700	0.63	-	2400	4	6048
BI2	6000	400	600	1.44	-	2400	4	13824
Pelat	6000	2000	130	1.56	-	2400	4	14976
Finisihing lantai 2 cm	6000	2000	-	-	12	47.00	4	2256
Keramik	6000	2000	-	-	12	24	4	1152
Dinding bata ringan 10 cm	8000	3000	100	2.4	-	650	4	6240
Gypsum 1,5 cm	6000	2000	-	-	12	13	4	624
Penggantung Plafond	6000	2000	-	-	12	11	4	528
Sanitasi	6000	2000	-	-	12	20	4	960
Plumbing	6000	2000	-	-	12	10	4	480
M&E	6000	2000	-	-	12	20	4	960
Beban Diatas								62193.6
Total Beban Mati (DL)								**124987**
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	6000	2000	-	-	12	479	4	22992
Beban hidup atas								22992
Total Beban Hidup (LL)								**45984**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**223559**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65 & faktor reduksi momen dan torsi = 0,5							0.325	
Luas Penampangn Minimal Kolom							1928.01	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							60	cm
Digunakan sisi kolom (h)							80	cm
Luas kolom yang digunakan							4800	cm^2
Cek							OK	

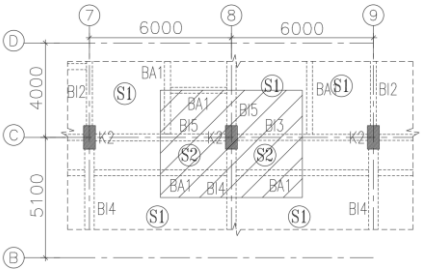
- Tipe Kolom K1-A (Lantai 1 s/d 5)

Tabel 4.4 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K1-A

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	800	600	3200	1.536	-	2400	4	14745.6
Beban sendiri kolom	1000	500	4000	2	-	2400	1	4800
BI1	2000	450	700	0.63	-	2400	5	7560
BI2	6000	400	600	1.44	-	2400	5	17280
BA1	2000	250	400	0.2	-	2400	1	480
BK1	2500	300	500	0.375	-	2400	1	900
Pelat S1	6000	2000	130	1.56	-	2400	5	18720
PelatS4	12063109.39		120	1.4476	-	2400	1	3474.18
Finisihing lantai 2 cm	6000	2000	-	-	12	47.00	5	2820
Keramik	6000	2000	-	-	12	24	5	1440
Dinding bata ringan 10 cm	8000	3000	100	2.4	-	650	5	7800
Gypsum 1,5 cm	6000	2000	-	-	12	13	5	780
Penggantung Plafond	6000	2000	-	-	12	11	5	660
Sanitasi	6000	2000	-	-	12	20	5	1200
Plumbing	6000	2000	-	-	12	10	5	600
M&E	6000	2000	-	-	12	20	5	1200
Beban Diatas								124987
Total Beban Mati (DL)								**209447**
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	6000	2000	-	-	12	479	5	28740
Beban hidup atas								45984
Total Beban Hidup (LL)								**28740**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**297320**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65 & faktor reduksi momen dan torsi = 0,5							0.325	
Luas Penampangn Minimal Kolom							2564.14	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							60	cm
Digunakan sisi kolom (h)							80	cm
Luas kolom yang digunakan							4800	cm^2
Cek							OK	

2. K2

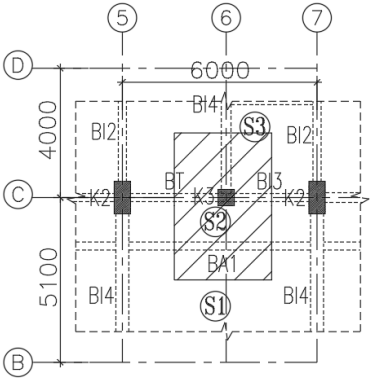
Mengacu pada denah, kolom K2 merupakan kolom interior. Denah kolom K2 yang akan digunakan untuk perhitungan dapat dilihat pada **Gambar 4.10** dan perhitungan dimensi kolom K2 pada **Tabel 4.5–4.7**.



Gambar 4.10 Beban tributari area kolom tipe K2

3. K3

Mengacu pada denah, kolom K3 merupakan kolom pada tangga dan juga terdapat pada bagian interior. Denah kolom K3 yang akan digunakan untuk perhitungan dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11 Beban tributari area kolom tipe K3

Perhitungan dimensi kolom K3 tertera pada **Tabel 4.8** – **Tabel 4.10**.

- Tipe Kolom K2-C (Lantai 10 s/d Atap)

Tabel 4.5 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K2-C

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	800	600	3200	1.536	-	2400	4	14745.6
BI3	3000	400	600	0.72	-	2400	4	6912
BI5	5000	300	500	0.75	-	2400	4	7200
BA1	8400	250	400	0.84	-	2400	4	8064
Pelat	6000	4550	130	3.549	-	2400	4	34070.4
Finisihing lantai 2 cm	6000	4550	-	-	27.3	47.00	3	3849.3
Keramik	6000	4550	-	-	27.3	24	3	1965.6
Aspal 2 cm	6000	4550	-	-	27.3	21	1	573.3
Dinding bata ringan 10 cm	8000	3000	100	2.4	-	650	4	6240
Gypsum 1,5 cm	6000	4550	-	-	27.3	13	4	1419.6
Penggantung Plafond	6000	4550	-	-	27.3	11	4	1201.2
Sanitasi	6000	4550	-	-	27.3	20	4	2184
Plumbing	6000	4550	-	-	27.3	10	4	1092
M&E	6000	4550	-	-	27.3	20	4	2184
Lift	-	-	-	-	-	6300	1	6300
Beban Diatas								0
Total Beban Mati (DL)								98001
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	6000	2000	-	-	12	479	3	17244
Beban hidup lantai atap	6000	2000	-	-	12	479	1	5748
Beban hidup atas								0
Total Beban Hidup (LL)								**22992**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**154388**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65 & faktor reduksi momen dan torsi = 0,5							0.325	
Luas Penampangn Minimal Kolom							1331.47	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							60	cm
Digunakan sisi kolom (h)							80	cm
Luas kolom yang digunakan							4800	cm^2
Cek							OK	

- Tipe Kolom K2-B (Lantai 6 s/d 9)

Tabel 4.6 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K2-B

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	800	600	3200	1.536	-	2400	4	14745.6
BI3	3000	400	600	0.72	-	2400	4	6912
BI5	5000	300	500	0.75	-	2400	4	7200
BA1	8400	250	400	0.84	-	2400	4	8064
Pelat	6000	4550	130	3.549	-	2400	4	34070.4
Finisihing lantai 2 cm	8400	250	-	-	2.1	47.00	4	394.8
Keramik	8400	250	-	-	2.1	24	4	201.6
Dinding bata ringan 10 cm	8000	3000	100	2.4	-	650	4	6240
Gypsum 1,5 cm	8400	250	-	-	2.1	13	4	109.2
Penggantung Plafond	8400	250	-	-	2.1	11	4	92.4
Sanitasi	8400	250	-	-	2.1	20	4	168
Plumbing	8400	250	-	-	2.1	10	4	84
M&E	8400	250	-	-	2.1	20	4	168
Beban Diatas								98001
Total Beban Mati (DL)								176451
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	6000	2000	-	-	12	479	4	22992
Beban hidup diatas								22992
Total Beban Hidup (LL)								**45984**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**285316**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65 & faktor reduksi momen dan torsi = 0,5							0.325	
Luas Penampangn Minimal Kolom							2460.61	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							60	cm
Digunakan sisi kolom (h)							80	cm
Luas kolom yang digunakan							4800	cm^2
Cek							OK	

- Tipe Kolom K2-A (Lantai 1 s/d 5)

Tabel 4.7 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K2-A

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	800	600	3200	1.536	-	2400	4	14745.6
Beban sendiri kolom	1000	500	4000	2	-	2400	1	4800
BI1	2000	450	700	0.63	-	2400	5	7560
BI2	6000	400	600	1.44	-	2400	5	17280
Pelat	6000	2000	130	1.56	-	2400	5	18720
Finisihing lantai 2 cm	6000	2000	-	-	12	47.00	5	2820
Keramik	6000	2000	-	-	12	24	5	1440
Dinding bata ringan 10 cm	8000	3000	100	2.4	-	650	5	7800
Gypsum 1,5 cm	6000	2000	-	-	12	13	5	780
Penggantung Plafond	6000	2000	-	-	12	11	5	660
Sanitasi	6000	2000	-	-	12	20	5	1200
Plumbing	6000	2000	-	-	12	10	5	600
M&E	6000	2000	-	-	12	20	5	1200
Beban diatas								176451
Total Beban Mati (DL)								256057
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	6000	2000	-	-	12	479	5	28740
Beban hidup diatas								45984
Total Beban Hidup (LL)								74724
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								426826
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65 & faktor reduksi momen dan torsi = 0,5							0.325	
Luas Penampangn Minimal Kolom							3681.03	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							60	cm
Digunakan sisi kolom (h)							80	cm
Luas kolom yang digunakan							4800	cm^2
Cek							OK	

- Tipe Kolom K3-C (Lantai 10 s/d Atap)

Tabel 4.8 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K3-C

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	500	500	3200	0.8	-	2400	4	7680
BI3	1400	400	600	0.336	-	2400	4	3225.6
BT	1600	250	400	0.16	-	2400	4	1536
BI4	2000	400	600	0.48	-	2400	4	4608
BA1	3000	250	400	0.3	-	2400	4	2880
Pelat	3000	4550	130	1.7745	-	2400	4	17035.2
Finisihing lantai 2 cm	3000	4550	-	-	13.65	47.00	3	1924.65
Keramik	3000	4550	-	-	13.65	24	3	982.8
Aspal 2 cm	3000	4550	-	-	13.65	21	1	286.65
Dinding bata ringan 10 cm	5000	3000	100	1.5	-	650	4	3900
Gypsum 1,5 cm	3000	4550	-	-	13.65	13	4	709.8
Penggantung Plafond	3000	4550	-	-	13.65	11	4	600.6
Sanitasi	3000	4550	-	-	13.65	20	4	1092
Plumbing	3000	4550	-	-	13.65	10	4	546
M&E	3000	4550	-	-	13.65	20	4	1092
Beban Diatas								0
Total Beban Mati (DL)								**48099.3**
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (m^3)	Volume (m^2)	Beban (kg/m^2)	Jumlah	Total Berat (Kg)
Beban hidup lantai	3000	4550	-	-	13.65	479	35	228842
Beban hidup lantai atap	3000	4550	-	-	13.65	479	1	6538.35
Beban hidup atas								0
Total Beban Hidup (LL)								**235381**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**434328**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi aksial = 0,65							0.65	
Luas Penampangn Minimal Kolom							1872.86	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							50	cm
Digunakan sisi kolom (h)							50	cm
Luas kolom yang digunakan							2500	cm^2
Cek							OK	

- Tipe Kolom K3-B (Lantai 6 s/d 9)

Tabel 4.9 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K3-B

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	500	500	3200	0.8	-	2400	4	7680
BI3	1400	400	600	0.336	-	2400	4	3225.6
BT	1600	250	400	0.16	-	2400	4	1536
BI4	2000	400	600	0.48	-	2400	4	4608
BA1	3000	250	400	0.3	-	2400	4	2880
Pelat	3000	4550	130	1.7745	-	2400	4	17035.2
Finisihing lantai 2 cm	3000	4550	-	-	13.65	47.00	4	2566.2
Keramik	3000	4550	-	-	13.65	24	4	1310.4
Dinding bata ringan 10 cm	5000	3000	100	1.5	-	650	4	3900
Gypsum 1,5 cm	3000	4550	-	-	13.65	13	4	709.8
Penggantung Plafond	3000	4550	-	-	13.65	11	4	600.6
Sanitasi	3000	4550	-	-	13.65	20	4	1092
Plumbing	3000	4550	-	-	13.65	10	4	546
M&E	3000	4550	-	-	13.65	20	4	1092
Beban Diatas								48099.3
Total Beban Mati (DL)								**96881.1**
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	3000	4550	-	-	13.65	479	4	26153.4
Beban hidup diatas								235381
Total Beban Hidup (LL)								**261534**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**534712**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi							0.65	
Luas Penampangn Minimal Kolom							2305.72	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							50	cm
Digunakan sisi kolom (h)							50	cm
Luas kolom yang digunakan							2500	cm^2
Cek							OK	

- Tipe Kolom K3-A (Lantai 1 s/d 5)

Tabel 4.10 Perhitungan *preliminary* dimensi kolom tipe K3-A

BEBAN MATI (DL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Berat Jenis**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban sendiri kolom	500	500	3200	0.8	-	2400	4	7680
Beban sendiri kolom	500	500	4000	1	-	2400	1	2400
BI3	1400	400	600	0.336	-	2400	5	4032
BT	1600	250	400	0.16	-	2400	5	1920
BI4	2000	400	600	0.48	-	2400	5	5760
BA1	3000	250	400	0.3	-	2400	5	3600
Pelat	3000	4550	130	1.7745	-	2400	5	21294
Finisihing lantai 2 cm	3000	4550	-	-	13.65	47.00	5	3207.75
Keramik	3000	4550	-	-	13.65	24	5	1638
Dinding bata ringan 10 cm	5000	3000	100	1.5	-	650	5	4875
Gypsum 1,5 cm	3000	4550	-	-	13.65	13	5	887.25
Penggantung Plafond	3000	4550	-	-	13.65	11	5	750.75
Sanitasi	3000	4550	-	-	13.65	20	5	1365
Plumbing	3000	4550	-	-	13.65	10	5	682.5
M&E	3000	4550	-	-	13.65	20	5	1365
Beban diatas								96881.1
Total Beban Mati (DL)								**158338**
BEBAN HIDUP (LL)								
Jenis Beban	**Panjang (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tebal (mm)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^2)**	**Beban (kg/m^2)**	**Jumlah**	**Total Berat (Kg)**
Beban hidup lantai	3000	4550	-	-	13.65	479	5	32691.8
Beban hidup diatas								261534
Total Beban Hidup (LL)								**294226**
BEBAN ULTIMATE 1,2 DL+1,6 LL								**660767**
DIMENSI KOLOM								
Mutu Beton							35	MPa
Faktor Reduksi							0.65	
Luas Penampangn Minimal Kolom							2849.29	cm^2
Digunakan sisi kolom (b)							50	cm
Digunakan sisi kolom (h)							60	cm
Luas kolom yang digunakan							3000	cm^2
Cek							OK	

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

Perencaan struktur sekunder meliputi perencanaan pelat lantai, balok anak, balok kantilever, balok lift,dan tangga.

4.2.1 Perencanaan Pelat Lantai dan Pelat Atap

Pelat yang akan direncanakan adalah pelat lantai dan pelat atap. Untuk mempermudah pelaksanaan dilapangan desain tulangan pelat lantai dan pelat atap disamakan. Pada denah terdapat empat tipe pelat yang akan direncanakan yang terdiri dari dua jenis pelat satu arah dan dua jenis pelat dua arah. Pada perencanaan tulangan digunakan tipe tulangan rangkap agar lebih tahan terhadap retak akibat susut dan suhu. Denah pelat lantai dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.

a. Data Perencanaan

Mutu beton $(F'c)$ = 30 MPa

Mutu baja (Fy) = 400 MPa

Tebal selimut (c) = 20 mm

Diameter tulangan (d_b) = 10 mm

$$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right) . 0{,}05$$

$$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right) . 0{,}05 = 0{,}835$$

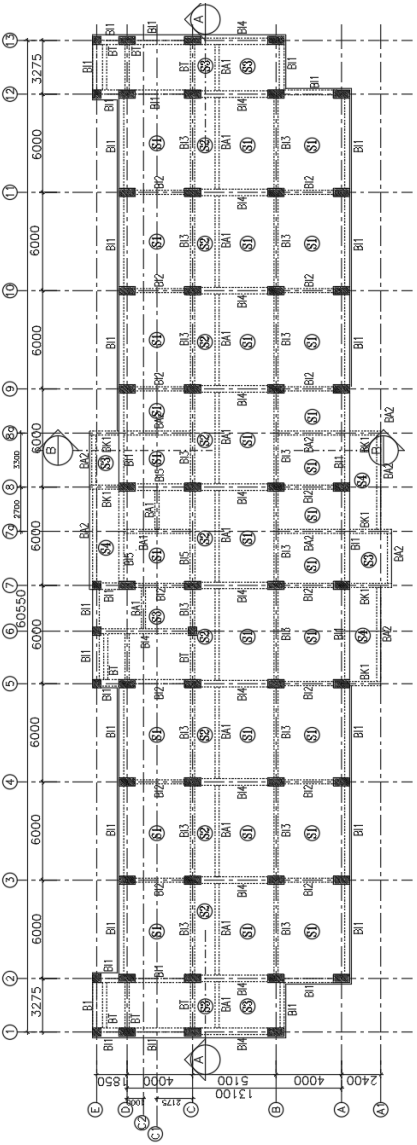
$$\rho_{bal} = \left(0{,}85 . \beta_1 . \frac{Fc'}{Fy}\right) . \left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$$

$$= \left(0{,}85 . 0{,}835 . \frac{30}{400}\right) . \left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}032$$

$$\rho_{max} = 0{,}75 . \rho_{bal} = 0{,}75 . 0{,}032 = 0{,}024$$

$$\rho_{min} = 0{,}002$$

$$m = \frac{Fy}{0{,}85 . F'c} = \frac{400}{0{,}85 . 30} = 15{,}686$$

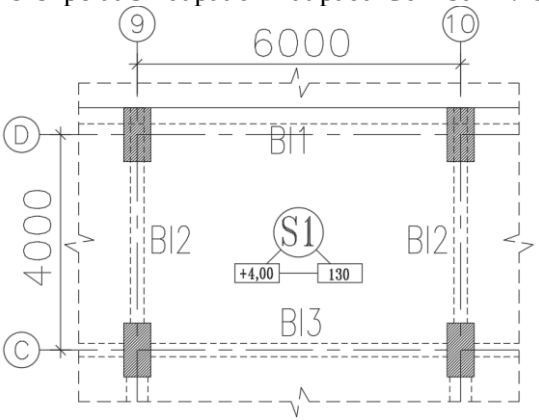


Gambar 4.12 Denah pelat lantai 2

b. Perhitungan Tulangan Pelat Dua Arah

1. Pelat S1

Dimensi pelat S1 dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.



Gambar 4.13 Denah pelat tipe S1

Tebal pelat = 13 mm

- Beban Mati (qdl)

Pelat Lantai	= 2400 kg/m^3 × 0,13 m
	= 312 kg/m^2
Gypsum 1,5 cm	= 13 kg/m^2
Penggantung Plafon	= 11 kg/m^2
Sanitasi dan Plumbing	= 30 kg/m^2
Beban M&E	= 20 kg/m^2
Beban Finishing 2 cm	= 47 kg/m^2
Keramik	= 24 kg/m^2
Bata ringan 10 cm	= 17,5.(3,2-0,13).0,1.650/(6.4)
	= 146 kg/m^2
qdl	= 603 kg/m^2

- Beban Hidup (qll)

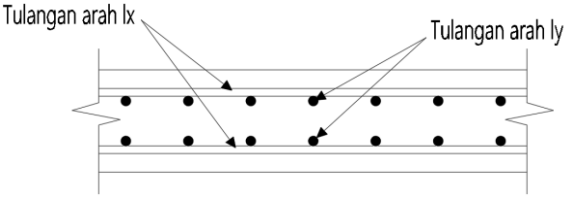
Beban Hidup lantai qll = 479 kg/m^2

qu = 1,2(qdl) + 1,6(qll)
= 1,2(603) + 1,6 (479)
= 1490 kg/m^2

Dengan menggunakan metode koefisien momen berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1 dan 13.3.2, besar momen pada pelat dihitung sebagai berikut :

$Mlx = 0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_1$
$= 0{,}001 \times 1490 \times 4^2 \times 5$
$= 1358{,}88\ kgm/m$
$Mly = 0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_2$
$= 0{,}001 \times 1490 \times 4^2 \times 37{,}5$
$= 894\ kgm/m$
$Mtx = -0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_3$
$= 0{,}001 \times 1490 \times 4^2 \times 57$
$= 1358{,}88\ kgm/m$
$Mty = -0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_4$
$= 0{,}001 \times 1490 \times 4^2 \times 36{,}5$
$= 870{,}16\ kgm/m$

Konfigurasi tulangan dapat dilihat pada **Gambar 4.14.**



Gambar 4.14 Konfigurasi tulangan arah Lx dan tulangan arah Ly pelat lantai

$dx = h - c - d_b/2 = 130 - 20 - 10/2$
$= 105\ mm$
$dy = h - c - d_b - db/2 = 130 - 20 - 10 - 10/2$
$= 95\ mm$

- Tulangan Lapangan dan Tumpuan Arah X

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{Mtx}{\emptyset . bw . dx^2} = \frac{1358{,}88 \ . 9{,}8 \ . 1000}{0{,}8 \ . 1000 \ . 125^2}$$
$$= 1{,}51 \ MPa$$
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \ . m \ . Rn}{fy}}\right)$$
$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \ . 15{,}686 \ . 1{,}51}{400}}\right)$$
$$\rho = 0{,}00389$$
$$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}00389 < \rho_{max} = 0{,}024 \ (OK)$$
$$As \ perlu = \rho . bw . d$$
$$= 0{,}00389 \ . 1000 \ . 105$$
$$= 408{,}82 \ mm^2/m$$
$$Dipakai \ tulangan \ D10$$
$$As = 0{,}25 \ . \pi \ . D^2 = 0{,}25 \ . \ \pi \ . 10^2$$
$$= \ 78{,}539 \ mm^2$$
$$Sperlu = \frac{As \times 1000}{As \ perlu \ per \ meter} = \frac{78539}{408{,}82}$$
$$= 192{,}11 \ mm \sim 150 \ mm$$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 2h = 2 \ . (130) = 390 \ mm$
- $Smaks \ \leq 450 \ mm$
  $Spakai = 150 \ mm < Smaks = 390 \ (OK)$

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{Mly}{\emptyset . bw . dy^2} = \frac{894 \ . 9{,}8 \ . 1000}{0{,}8 \ . 1000 \ . 95^2} = 1{,}213 \ MPa$$
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \ . m \ . Rn}{fy}}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,1{,}213}{400}}\right) = 0{,}0031$$

$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}0031 < \rho_{max} = 0{,}024\ (OK)$

$As\ perlu = \rho.bw.d = 0{,}0031\ .1000\,.95$

$= 295{,}40\ mm^2/m$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$As = 0{,}25\,.\pi\,.D^2$

$= 0{,}25\,.\pi\,.10^2$

$= 78{,}539\ mm^2$

$$Sperlu = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter}$$

$$= \frac{78539}{295{,}40}$$

$= 265{,}87\ mm \sim 250\ mm$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 2h = 2\,.(130) = 260\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

  $Spakai = 200\ mm < Smaks = 260\ (OK)$

- Tulangan Tumpuan Arah Y

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{Mty}{\emptyset.bw.dy^2} = \frac{870{,}16\,.\,9{,}8\,.\,1000}{0{,}8\,.\,1000\,.\,95^2}$$

$= 1{,}181\ MPa$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,1{,}181}{400}}\right) = 0{,}003$$

$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}003 < \rho_{max} = 0{,}024\ (OK)$

$As\ perlu = \rho.bw.d$

$= 0{,}003\ .1000\,.95$

$= 287{,}327\ mm^2/m$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$As = 0{,}25\ .\ \pi\ .\ D^2$

$= 0{,}25\ .\ \pi\ .\ 10^2$

$= 78{,}539\ mm^2$

$Sperlu = \dfrac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \dfrac{78539}{287{,}327}$

$= 273{,}34\ mm \sim 250\ mm$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 2h = 2\ .\ (130) = 260\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

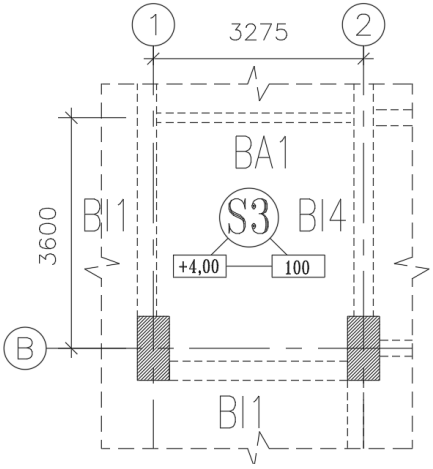
  $Spakai = 200\ mm < Smaks = 260(OK)$

∴ Jadi dipakai tulangan :

- Tulangan tumpuan dan lapangan arah X D10-150 mm
- Tulangan tumpuan dan lapangan arah Y D10-250 mm

2. Pelat S3

Dimensi pelat S3 dapat dilihat pada **Gambar 4.15**.



Gambar 4.15 Denah pelat tipe S3

Tebal pelat = 12 mm

- Beban Mati (qdl)

  Pelat Lantai = 2400 kg/m^3 × 0,12 m
  = 288 kg/m^2
  Gypsum 1,5 cm = 13 kg/m^2
  Penggantung Plafon = 11 kg/m^2
  Sanitasi dan Plumbing = 30 kg/m^2
  Beban M&E = 20 kg/m^2
  Beban Finishing 2 cm = 47 kg/m^2
  Keramik = 24 kg/m^2
  Bata ringan 10 cm = 10,7.(3,2-0,12).0,1.650/(11,45)
  = 188 kg/m^2
  Beban mati lantai, qdl = 621 kg/m^2

- Beban Hidup (qll)

  Beban Hidup lantai qll = 479 kg/m^2
  qu = 1,2(qdl) + 1,6(qll)
  = 1,2(621) + 1,6 (479)
  = 1511,6 kg/m^2

  Dengan menggunakan metode koefisien momen berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1 dan 13.3.2, besar momen pada pelat dihitung sebagai berikut :

  $Mlx = 0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_1$
  $= 0{,}001 \times 1511{,}6 \times 3{,}075^2 \times 46$
  $= 657{,}483 \text{ kgm/m}$
  $Mly = 0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_2$
  $= 0{,}001 \times 1511{,}6 \times 3{,}075^2 \times 38$
  $= 543{,}138 \text{ kgm/m}$
  $Mtx = -0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_3$
  $= 0{,}001 \times 1511{,}6 \times 3{,}075^2 \times 46$
  $= 657{,}483 \text{ kgm/m}$
  $Mty = -0{,}001 \times qu \times Ly^2 \times X_4$
  $= 0{,}001 \times 1511{,}6 \times 3{,}075^2 \times 38$
  $= 543{,}138 \text{ kgm/m}$
  $dx = h - c - d_b/2 = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$
  $dy = h - c - d_b - db/2 = 120 - 20 - 10 - 10/2 = 85 \text{mm}$

- Tulangan Lapangan dan Tumpuan Arah X

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{Mtx}{\emptyset . bw . dx^2} = \frac{657{,}483 \,.\, 9{,}8 \,.\, 1000}{0{,}8 \,.\, 1000 \,.\, 95^2}$$
$$= 0{,}892\ MPa$$
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.\, m \,.\, Rn}{fy}}\right)$$
$$\rho = \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.\, 15{,}686 \,.\, 0{,}892}{400}}\right) = 0{,}0022$$
$$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}0022 < \rho_{max} = 0{,}024\ (OK)$$
$$As\ perlu = \rho . bw . d$$
$$= 0{,}0022 \,.\, 1000 \,.\, 95$$
$$= 215{,}796 \frac{mm^2}{m}$$
$$Dipakai\ tulangan\ D10$$
$$As = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2$$
$$= 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 10^2$$
$$= 78{,}539\ mm^2$$
$$Sperlu = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{78539}{215{,}796}$$
$$= 363{,}952\ mm \sim 300\ mm$$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 2h = 2 \,.\, (120) = 240\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

  $Spakai = 240\ mm$

- Tulangan Lapangan dan Tumpuan Arah Y

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{Mly}{\emptyset . bw . dy^2} = \frac{543{,}138 \,.\, 9{,}8 \,.\, 1000}{0{,}8 \,.\, 1000 \,.\, 85^2} = 0{,}92\ MPa$$
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.\, m \,.\, Rn}{fy}}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,0{,}92}{400}}\right) = 0{,}0023$$

$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}0023 < \rho_{max} = 0{,}024\ (OK)$

$As\ perlu = \rho.bw.d = 0{,}0023\,.\,1000\,.\,85 = 199{,}35\ mm^2/m$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$As = 0{,}25\,.\,\pi\,.\,D^2$

$= 0{,}25\,.\,\pi\,.\,10^2$

$= 78{,}539\ mm^2$

$$Sperlu = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{78539}{199{,}35}$$

$= 393{,}965\ mm \sim 300\ mm$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 2h = 2\,.\,(120) = 240\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$
  $Spakai = 240\ mm$

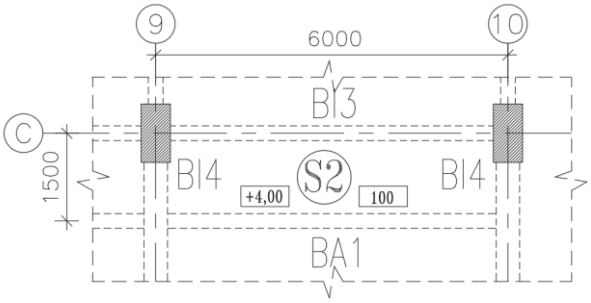
∴ Jadi dipakai tulangan :

- Tulangan tumpuan dan lapangan arah X D10-240 mm
- Tulangan tumpuan dan lapangan arah Y D10-240 mm

c. Perhitungan Tulangan Pelat Satu Arah

1. Pelat S2

Dimensi pelat S2 dapat dilihat pada **Gambar 4.16**.



Gambar 4.16 Denah pelat tipe S2

Tebal pelat = 10 mm

a. Beban Mati (qdl)

Pelat Lantai	= 2400 kg/m^3 × 0,10 m
	= 240 kg/m^2
Gypsum 1,5 cm	= 13 kg/m^2
Penggantung Plafon	= 11 kg/m^2
Sanitasi dan Plumbing	= 30 kg/m^2
Beban M&E	= 20 kg/m^2
Beban Finishing 2 cm	= 47 kg/m^2
Keramik	= 24 kg/m^2
Bata ringan 10 cm	= 2,4.(3,2-0,1).0,1.650/(7,125)
	= 68 kg/m^2 +
qdl	= 453 kg/m^2

b. Beban Hidup (qll)

Beban Hidup lantai

qll	= 479 kg/m^2
qu	= 1,2(qdl) + 1,6(qll)
	= 1,2(453) + 1,6 (479)
	= 1310 kg/m^2

Momen pada tumpuan dan lapangan dihitung berdasarkan rumusan yang tertera di SNI 2847-2019 Tabel 6.5.2 dan diambil perumusan momen :

Momen positif/lapangan = $Mlx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{16}$

Momen negatif/tumpuan = $Mtx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{10}$

Ln pada perhitungan momen negatif adalah rata rata dari panjang bentang bersih bersebelahan. maka didapatkan momen :

$$Mlx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{16} = \frac{1310.\ 1{,}225^2}{16} = 122{,}863\ kgm/m$$

$$Mtx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{10} = \frac{1310\,.\,\left(\frac{1{,}225+4}{2}\right)^2}{10} = 894{,}095\ kgm/m$$

$$dx = h - dec - \frac{db}{2} = 100 - 20 - \frac{10}{2} = 75\ mm$$

c. Tulangan Tumpuan Arah X

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{Mtx}{\emptyset . bw . dx^2}$$

$$= \frac{894{,}095\ .9{,}8\ .1000}{0{,}8\ .1000\ .75^2}$$

$$= 1{,}73\ MPa$$

$$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85\ .30} = 15{,}686$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .15{,}686\ .1{,}73}{400}}\right)$$

$$= 0{,}0044$$

$$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}0044 < \rho_{max} = 0{,}025\ (OK)$$

$$As\ perlu = \rho . bw . d$$

$$= 0{,}0044\ .1000\ .75$$

$$= 336{,}354\ mm^2/m$$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$$As = 0{,}25\ .\ \pi\ .D^2 = 0{,}25\ .\mu\ .10^2 = 78{,}539\ mm^2$$

Kontrol Jarak Spasi

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{78539}{336{,}354}$$

$$= 233{,}503\ mm \sim 200\ mm$$

- $Smaks = 3h = 3\ .(120) = 360\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

  $Spakai = 200\ mm < Smaks = 360\ (OK)$

d. Tulangan Lapangan Arah X

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{Mlx}{\emptyset . bw . dx^2}$$

$$= \frac{122{,}863 \ . 9{,}8 \ . 1000}{0{,}8 \ . 1000 \ . 75^2}$$

$$= 0{,}237 \ MPa$$

$$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85 \ . 30} = 15{,}686$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \ . 15{,}686 \ . 0{,}237}{400}}\right) = 0{,}000597$$

$\rho_{min} = 0{,}002$

$\rho_{max} = 0{,}024$

$\rho_{min} = 0{,}002 > \ \rho = 0{,}00059 \ldots dipakai \ \rho_{min} = 0{,}002$

$As \ perlu = \rho . bw . d = 0.002 \ . 1000 \ . 75 = 150 \ mm^2/m$

$Dipakai \ tulangan \ D10$

$As = 0{,}25 \ . \pi \ . D^2$

$= 0{,}25 \ . \mu \ . 10^2$

$= 78{,}539 \ mm^2$

Kontrol Jarak Spasi

$$S = \frac{As \times 1000}{As \ perlu \ per \ meter} = \frac{78539}{150}$$

$$= 523{,}598 \ mm \sim 520 \ mm$$

- $Smaks = 3h = 3 \ . (120) = 360 \ mm$
- $Smaks \ \leq 450 \ mm$

$S = 520 \ mm > Smaks = 360 \ mm,$

$sehingga \ dipakai \ S; S = 350 \ mm \ (OK)$

e. Tulangan Susut dan Suhu Arah Y

$Asb = 0{,}002 \,.\, bw \,.\, d$

$= 0{,}002 \,.\, 1000 \,.\, 65$

$= 130\ mm^2$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$S = \dfrac{0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2}{Asb}$

$= \dfrac{0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 10^2 . 1000}{130} = 604{,}152\ mm$

$S = 604{,}152\ mm > Smaks = 450\ mm$

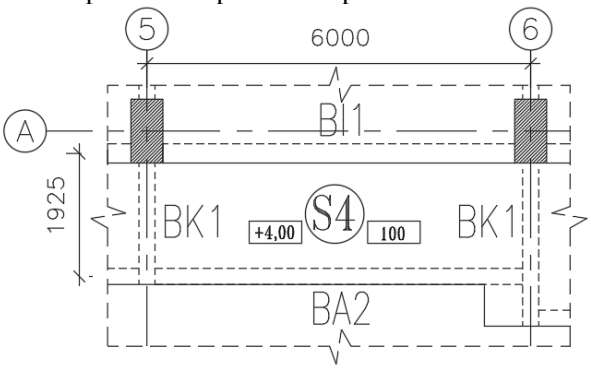
$sehingga\ dipakai\ S = 450\ mm$

∴ Jadi dipakai tulangan :

- Tulangan tumpuan arah X D10-200 mm
- Tulangan lapangan arah X D10-350 mm
- Tulangan susut dan suhu arah Y D10-450 mm

2. Pelat S4

Dimensi pelat S4 dapat dilihat pada **Gambar 4.17**.



Gambar 4.17 Denah pelat tipe S4

Tebal pelat = 10 mm

Beban Mati (qdl)

Pelat Lantai	= 2400 kg/m^3 × 0,10 m
	= 240 kg/m^2
Gypsum 1,5 cm	= 13 kg/m^2
Penggantung Plafon	= 11 kg/m^2
Beban M&E	= 20 kg/m^2
Beban Finishing 2 cm	= 47 kg/m^2+
qdl	= 331 kg/m^2

Beban Hidup (qll)

Beban Hidup lantai qll	= 100 kg/m^2
qu	= 1,2(qdl) + 1,6(qll)
	= 1,2(379) + 1,6 (100)
	= 557,2 kg/m^2

Momen pada tumpuan dan lapangan dihitung berdasarkan rumusan yang tertera di SNI 2847-2019 Tabel 6.5.2 dan diambil perumusan momen :

Momen positif/lapangan = $Mlx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{14}$

Momen negatif/tumpuan = $Mtx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{10}$

Ln pada perhitungan momen negatif adalah rata rata dari panjang bentang bersih bersebelahan maka didapatkan momen :

$$Mlx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{14} = \frac{557{,}2\,.\,1{,}65^2}{14} = 108{,}355\ kgm/m$$

$$Mtx = \frac{qu\,.\,Ln^2}{10} = \frac{557{,}2\,.\,\left(\frac{1{,}65+4}{2}\right)^2}{10} = 444{,}68\ kgm/m$$

$$dx = h - dec - \frac{db}{2} = 100 - 20 - \frac{10}{2} = 75\ mm$$

a. Tulangan Tumpuan Arah X

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{Mtx}{\emptyset.bw.dx^2} = \frac{444{,}68\ .9{,}8\,.1000}{0{,}8\,.1000\,.75^2}$$
$$= 0{,}860\ MPa$$

$$m = \frac{fy}{0{,}85.f'c} = \frac{400}{0{,}85\,.\,30} = 15{,}686$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,0{,}860}{400}}\right) = 0{,}00218$$

$\rho_{min} = 0{,}002$

$\rho_{max} = 0{,}024$

$\rho_{min} = 0{,}002 < \rho = 0{,}00218 < \rho_{max} = 0{,}025\ (OK)$

$As\ perlu = \rho.bw.d = 0{,}00218\,.\,1000\,.\,75$

$= 164{,}222\ mm^2/m$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$As = 0{,}25\,.\,\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\mu\,.10^2 = 78{,}539\ mm^2$

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{78539}{164{,}222}$$

$= 478{,}25\ mm \sim 470\ mm$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 3h = 3\,.(120) = 360\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

  $Spakai = 470\ mm > Smaks = 360\ mm,$

  $sehingga\ dipakai\ S = 360\ mm\ (OK)$

b. Tulangan Lapangan Arah X

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{Mlx}{\emptyset.bw.dx^2} = \frac{108{,}355\ \ .9{,}8\,.1000}{0{,}8\,.1000\,.75^2}$$

$= 0{,}2097\ MPa$

$$m = \frac{fy}{0{,}85.f'c} = \frac{400}{0{,}85\,.\,30} = 15{,}686$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,0{,}2097}{400}}\right)$$

$= 0{,}000526$

$\rho_{min} \quad = 0{,}002$

$\rho_{max} \quad = 0{,}024$

$\rho_{min} = 0{,}002 > \ \rho = 0{,}000526 \ldots dipakai\ \rho_{min} = 0{,}002$

$As\ perlu = \rho . bw . d$

$= 0{,}002\,.\,1000\,.\,95$

$= 190\ mm^2/m$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$As \quad = 0{,}25\ .\ \pi\ .\ D^2$

$= 0{,}25\ .\ \mu\ .\ 10^2$

$= \ 78{,}539\ mm^2$

$Spakai \quad = \dfrac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \dfrac{78539}{190}$

$= 413{,}367\ mm \sim 360\ mm$

Kontrol Jarak Spasi

- $Smaks = 3h = 3\,.\,(120) = 360\ mm$
- $Smaks\ \leq 450\ mm$

  $Spakai = 350\ mm < Smaks = 360\ (OK)$

c. Tulangan Susut dan Suhu Arah Y

$Asb = 0{,}002\,.\,bw\,.\,d$

$= 0{,}002\,.\,1000\,.\,65$

$= 150\ mm^2$

$Dipakai\ tulangan\ D12$

$S \quad = \dfrac{0{,}25\,.\,\pi\,.\,D^2}{Asb}$

$= \dfrac{0{,}25\,.\,\pi\,.\,10^2.1000}{150} = 523{,}598\ mm$

$S \quad = 523{,}598\ \ mm > 450\ mm,$

$sehingga\ digunakan\ S = 450\ mm\ (Ok)$

∴ Jadi dipakai tulangan :

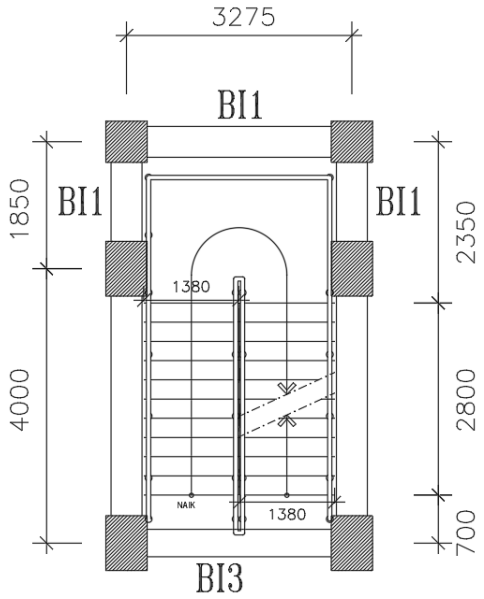
- Tulangan tumpuan dan lapangan arah X D10-350 mm
- Tulangan susut dan suhu arah Y D10-450 mm

4.2.2 Perencanaan Tangga

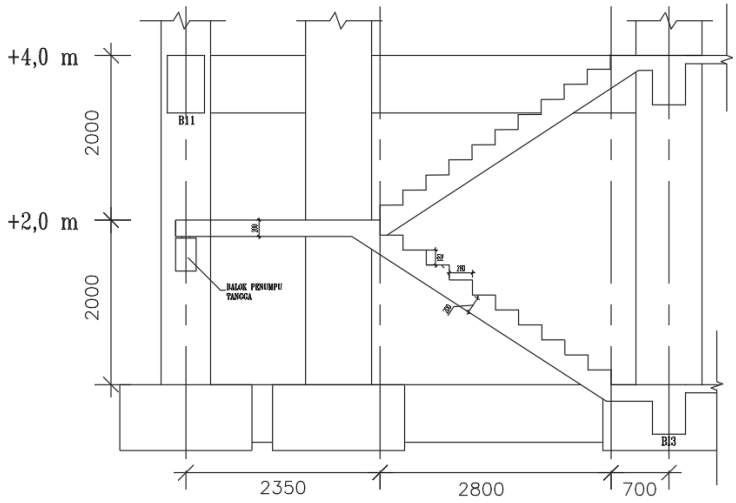
Pada gedung rumah susun pasar rebo terdapat dua jenis tangga yang digunakan. Struktur tangg yang direncanakan meliputi pelat tangga, pelat bordes, serta balok bordes. Pada perencanaan ini tangga dimodelkan dengan perletakkan sendi-rol dengan data perencanaan sebagai berikut :

1. Perencanaan Tangga Tipe 1
   a. Data Perencanaan
      - Panjang bentang tangga (l) = 585 cm
      - Tinggi lantai = 400 cm
      - Elevasi bordes = 200 cm
      - Lebar injakan (i) = 28 cm
      - Tinggi tanjakan (t) = 18,2 cm
      - Panjang pelat tangga = 280 cm
      - Jumlah tanjakan (nt) = 11 buah
      - Jumlah injakan (ni) = nt – 1 = 10 buah
      - Kemiringan tangga (α) = arctan $\left(\frac{200}{280}\right)$ = 35,537 °
      - Tebal pelat tangga (tp) = 20 cm
      - Panjang bordes = 200 cm
      - Lebar bordes = 277,5 cm
      - Lebar tangga = 138,5 cm
      - Cek syarat batas =
        1. $60 \leq (2t+i) \leq 65$
           $60 \leq (2(18,2)+28) = 64,2 \leq 65$ (OK)
        2. $25^o \leq \alpha \leq 40^o$
           $25^o \leq 35,537^o \leq 40^o$ (OK)

   Gambar perencanaan tangga tipe 1 dapat dilihat pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**.



Gambar 4.18 Denah tangga tipe 1



Gambar 4.19 Potongan memanjang tangga tipe 1

b. Data Material dan Tulangan

Mutu beton $(F'c)$	= 30 MPa
Mutu baja (Fy)	= 400 MPa
Tebal pelat tangga (tp)	= 20 cm
Tebal selimut (c)	= 20 mm
Diameter tulangan utama (d_b)	= 13 mm
Diameter tulangan susut suhu	= 10 mm

$dx = h - c - d_b/2$
$= 200 - 20 - 13/2$
$= 173{,}5\ mm$

$dy = h - c - d_b - db/2$
$= 200 - 20 - 13 - 10/2$
$= 162\ mm$

$$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right).0{,}05$$
$$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right).0{,}05 = 0{,}835$$

$$\rho_{bal} = \left(0{,}85 .\beta_1 . \frac{Fc'}{Fy}\right).\left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$$
$$= \left(0{,}85 .0{,}848 . \frac{30}{400}\right).\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}032$$

$$\rho_{max} = 0{,}75 . \rho_{ballance} = 0{,}75 . 0{,}032 = 0{,}024$$

$$\rho_{min} = 0{,}002$$

$$m = \frac{Fy}{0{,}85.F'c} = \frac{400}{0{,}85 . 30} = 15{,}686$$

c. Pembebanan

- Pelat Tangga

  <u>Beban Mati</u>

  Berat sendiri
  = 2400 x (0,2 x $\sqrt{0{,}28^2 + 0{,}182^2}$/ 0,28) = 572,49 Kg/m^2
  Berat step = 2400 x (0,5 x 0,182) = 218,4 Kg/m^2
  Berat keramik = 24 Kg/m^2 = 24 Kg/m^2

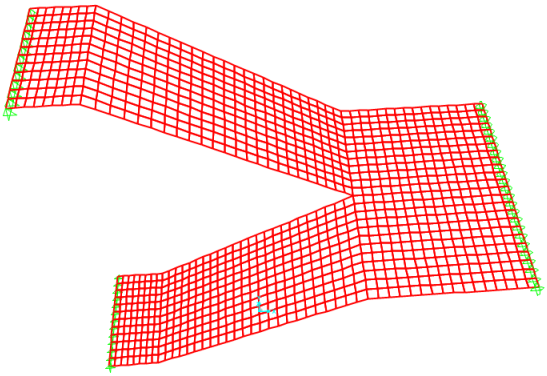
Berat spesi = 23 Kg/m^2	= 23 Kg/m^2
Berat Pegangan = 25 Kg/m^2	= 25 Kg/m^2+
Total beban mati, qdl	= 862,89 Kg/m^2
Beban Hidup	
Total beban hidup, qll	= 479 Kg/m^2
Beban Ultimate	
qu = 1,2 . qdl + 1,6 . qll	
= 1,2 . 862,89 + 1,6 . 479	=1801,8 Kg/m^2

- Pelat Bordes

Beban Mati	
Berat sendiri = 2400 x 0,2	= 480 Kg/m^2
Berat tegel = 24 Kg/m^2	= 24 Kg/m^2
Berat spesi = 23 Kg/m^2	= 23 Kg/m^2
Berat Pegangan = 25 Kg/m^2	= 25 Kg/m^2+
Total beban mati, qdl	= 552 Kg/m^2
Beban Hidup	
Beban hidup tangga qll	= 479 Kg/m^2
Beban Ultimate	
qu = 1,2 . qdl + 1,6 . qll	
= 1,2 . 552 + 1,6 . 479	= 1428,8 Kg/m^2

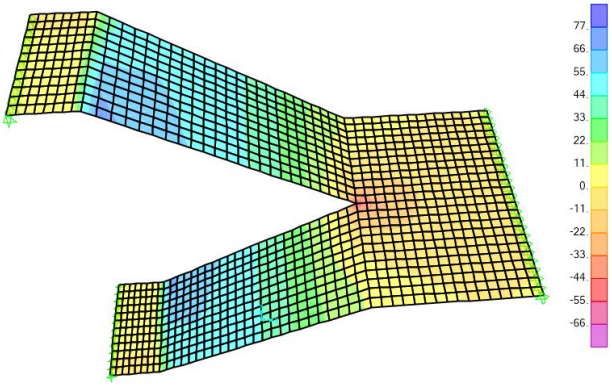
d. Permodelan Tangga

Untuk menganalisis tangga digunakan program bantu Sap 2000. Dalam permodelan tangga elemen yang dimodelkan meliputi balok dan pelat. Tangga dimodelkan dengan tumpuan sendi dan rol. Permodelan tangga seperti pada **Gambar 4.20**.



Gambar 4.20 Permodelan tangga tipe 1 pada program SAP 2000

e. Analisis Gaya Dalam
Diagram Momen Area Arah Memanjang Tangga



Gambar 4.21 Gaya dalam momen pada tangga tipe 1

Didapatkan:
Momen positif maksimum arah memanjang (M+ max)
M+ max = 72,13 kNm/m
Momen negatif maksimum arah memanjang (M- max)
M- max = 56,67 kNm/m

f. Perhitungan Penulangan Tangga

➢ Tulangan Lentur Utama Sisi Bawah Pelat Tangga dan Bordes

Mu SAP = 72130 Nm/m

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . dx^2} = \frac{72130 \,.\, 1000}{0{,}9 \,.\, 1000 \,.\, 173{,}5^2} = 2{,}66\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.\, 15{,}686 \,.\, 2{,}66}{400}}\right) = 0{,}007$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \,.\, Ag$$

$$= 0{,}007 \,.\, 1000 \,.\, 173{,}5 = 1222{,}36\ mm^2/m$$

$Dipakai\ tulangan\ D13$

$$As = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2$$

$$= 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 13^2$$

$$= 132{,}732\ mm^2$$

Kontrol Jarak Spasi

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{132732}{1222{,}36}$$

$$= 108{,}58\ mm \sim 100\ mm$$

- $Smaks = 3h = 3 \,.\, (120) = 360\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

$Spakai = 100\ mm < Smaks = 360\ (OK)$

Jadi digunakan tulangan lentur utama sisi bawah D13-100 mm.

➢ Tulangan Lentur Utama Sisi Atas Pelat Tangga dan Bordes

Mu ETABS = 56670 Nm/m

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . dx^2} = \frac{56670 \,.\, 1000}{0{,}8 \,.\, 1000 \,.\, 173{,}5^2} = 2{,}091\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.15{,}686\,.2{,}091}{400}}\right) = 0{,}0054$$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\,.Ag = \ 0{,}0054\,.1000\,.173{,}5$

$= 1092{,}703\ mm^2/m$

$Dipakai\ tulangan\ D13$

$As = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\ \pi\,.13^2 = \ 132{,}732\ mm^2$

Kontrol Jarak Spasi

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{132{,}732}{1092{,}703}$$

$= 121{,}47\ mm \sim 120\ mm$

- $Smaks = 3h = 3\,.(120) = 360\ mm$
- $Smaks\ \leq 450\ mm$

  $Spakai = 300\ mm < Smaks = 360\ (OK)$

Jadi digunakan tulangan lentur utama sisi atas D13-120 mm

➢ Tulangan Melintang Pelat Tangga dan Bordes

$As \quad = 0{,}002\,.bw\,.dy = 0{,}002\,.1000\,.162 \ = \ 324\frac{mm2}{m}$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$As \quad = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\ \pi\,.10^2 = \ 78{,}539\ mm^2$

Kontrol Jarak Spasi

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{78539}{324}$$

$= 242{,}406\ mm \sim 200\ mm$

Jadi digunakan tulangan melintang sisi atas dan bawah D10-200 mm

∴ Jadi dipakai tulangan :

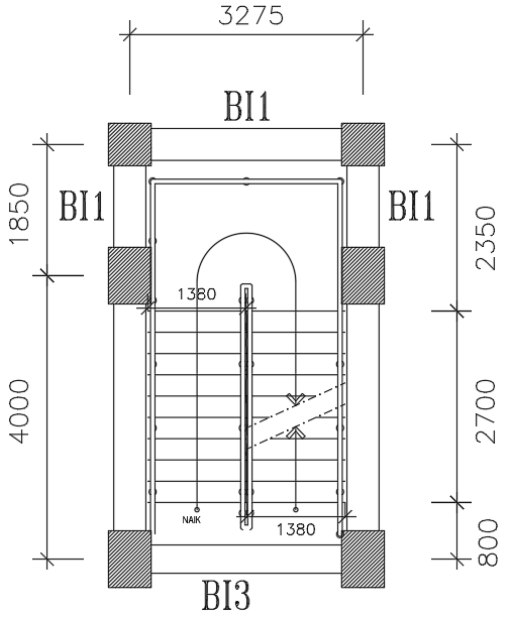
- Tulangan lentur utama sisi bawah pelat tangga dan bordes D13-100 mm.
- Tulangan lentur utama sisi atas pelat tangga dan bordes D13-120 mm.
- Tulangan melintang sisi atas dan bawah pelat tanga dan bordes D10-200 mm.

2. Perencanaan Tangga Tipe 2

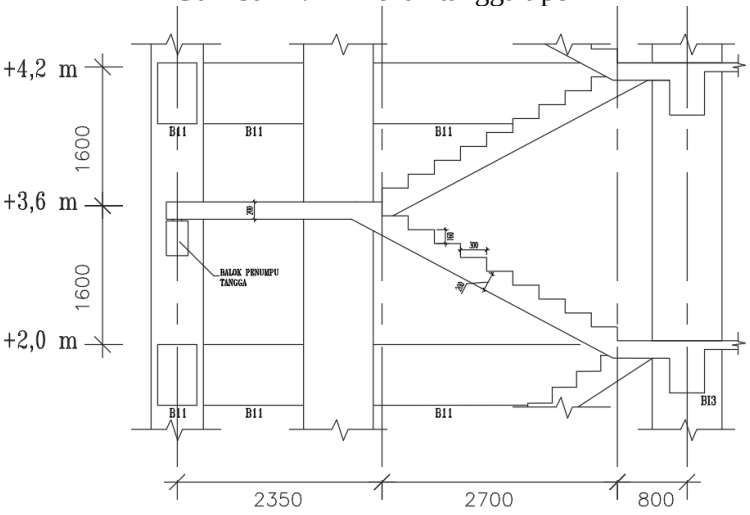
a. Data Perencanaan

- Panjang bentang tangga (l) = 585 cm
- Tinggi lantai = 320 cm
- Elevasi bordes = 160 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Tinggi tanjakan (t) = 16 cm
- Panjang horizontal pelat tangga = 270 cm
- Jumlah tanjakan (nt) = 10 buah
- Jumlah injakan (ni) = nt – 1 = 9 buah
- Kemiringan tangga (α) = $\arctan\left(\frac{200}{270}\right) = 30{,}65^{o}$
- Tebal pelat tangga (tp) = 20 cm
- Panjang bordes = 200 cm
- Lebar bordes = 277,5 cm
- Lebar tangga = 138,5 cm
- Cek syarat batas =
  1. $60 \leq (2t+i) \leq 65$
     $60 \leq (2(16)+30) = 62 \leq 65$ (OK)
  2. $25^{o} \leq \alpha \leq 40^{o}$
     $25^{o} \leq 30{,}65^{o} \leq 40^{o}$ (OK)

  Gambar perencanaan tangga tipe 2 dapat dilihat pada **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.23**.



Gambar 4.22 Denah tangga tipe 2



Gambar 4.23 Potongan memanjang tangga tipe 2

b. Data Material dan Tulangan

Mutu beton $(F'c)$	= 30 MPa
Mutu baja (Fy)	= 400 MPa
Tebal pelat tangga (tp)	= 20 cm
Tebal selimut (c)	= 20 mm
Diameter tulangan utama (d_b)	= 13 mm
Diameter tulangan susut suhu	= 10 mm

$dx = h - c - d_b/2 = 200 - 20 - 13/2 = 173{,}5\ mm$

$dy = h - c - d_b - db/2 = 200 - 20 - 13 - 10/2 = 162\ mm$

$$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right).0{,}05$$

$$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right).0{,}05$$

$$= 0{,}835$$

$$\rho_{bal} = \left(0{,}85 \,.\, \beta_1 \,.\, \frac{Fc'}{Fy}\right).\left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$$

$$= \left(0{,}85\,.0{,}848\,.\frac{30}{400}\right).\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}032$$

$$\rho_{max} = 0{,}75\,.\,\rho_{ballance} = 0{,}75\,.0{,}032 = 0{,}024$$

$$\rho_{min} = 0{,}002$$

$$m = \frac{Fy}{0{,}85.F'c} = \frac{400}{0{,}85\,.30} = 15{,}686$$

c. Pembebanan

- Pelat Tangga

  <u>Beban Mati</u>

  Berat sendiri

= 2400 x (0,2 x $\sqrt{0{,}3^2 + 0{,}16^2}$/ 0,3)	= 544 Kg/m^2
Berat step = 2400 x (0,5 x 0,16)	= 192 Kg/m^2
Berat keramik	= 24 Kg/m^2
Berat spesi	= 23 Kg/m^2
Berat Pegangan	= 25 Kg/m^2+
Total beban mati, qdl	= 808 Kg/m^2

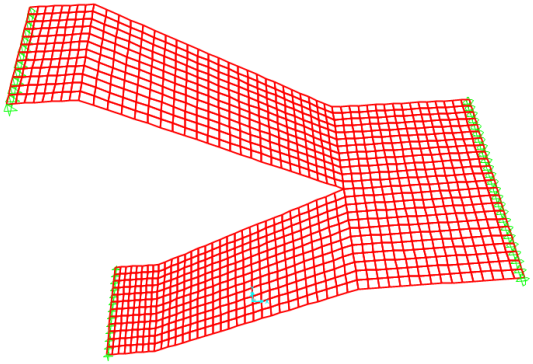
Beban Hidup
Beban hidup tangga ,qll = 479 Kg/m^2 = 479 Kg/m^2
Beban Ultimate
qu = 1,2 . qdl + 1,6 . qll
= 1,2 . 808 + 1,6 . 479 = 1736 Kg/m^2

- Pelat Bordes

Beban Mati
Berat sendiri= 2400 x 0,2 = 480 Kg/m^2
Berat tegel = 24 Kg/m^2 = 24 Kg/m^2
Berat spesi = 23 Kg/m^2 = 23 Kg/m^2
Berat Pegangan = 25 Kg/m^2 = 25 Kg/m^2+
Total beban mati, qdl = 552 Kg/m^2
Beban Hidup
Beban hidup tangga ,qll = 479 Kg/m^2 = 479 Kg/m^2
Beban Ultimate
Qu = 1,2 . qdl + 1,6 . qll
= 1,2 . 552 + 1,6 . 479 = 1428,8 Kg/m

d. Permodelan Tangga

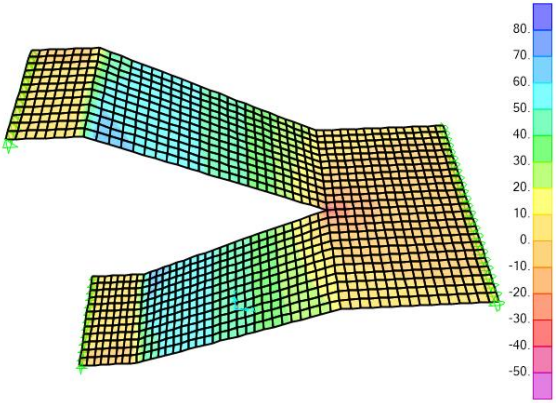
Untuk menganalisis tangga digunakan program bantu Sap 2000. Dalam permodelan tangga elemen yang dimodelkan meliputi balok dan pelat. Tangga dimodelkan dengan tumpuan sendi dan rol. Permodelan tangga seperti pada **Gambar 4.24** dan **Gambar 4.25.**



Gambar 4.24 Permodelan tangga tipe 2 pada program SAP 2000

e. Analisis Gaya Dalam

Diagram Momen Area Arah Memanjang Tangga



Gambar 4.25 Gaya dalam momen tangga tipe 2

Didapatkan :

Momen positif maksimum arah memanjang (M+ max)

M+ max = 68,68 kNm/m

Momen negatif maksimum arah memanjang (M- max)

M- max = 38,91 kNm/m

f. Perhitungan Penulangan Tangga

➢ Tulangan Lentur Utama Sisi Bawah Pelat Tangga dan Bordes

Mu SAP = 68680 Nm/m

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . dx^2} = \frac{68680 . 1000}{0{,}9 . 1000 . 173{,}5^2} = 2{,}535\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 15{,}686 . 2{,}535}{400}}\right) = 0{,}0066$$

As_{perlu} $= \rho_{perlu} . Ag = 0{,}0066 . 1000 . 173{,}5$
$= 1160{,}46\ mm^2/m$
$Dipakai\ tulangan\ D13$
As $= 0{,}25 . \pi . D^2 = 0{,}25 . \pi . 13^2$
$= 132{,}732\ mm^2$
Kontrol Jarak Spasi
$Spakai$ $= \dfrac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \dfrac{132732}{1160{,}46}$
$= 114{,}37\ mm \sim 110\ mm$

- $Smaks = 3h = 3 . (120) = 360\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

$Spakai = 100\ mm < Smaks = 360\ (OK)$

Jadi digunakan tulangan lentur utama sisi bawah D13-110 mm

- Tulangan Lentur Utama Sisi Atas Pelat Tangga dan Bordes

Mu ETABS = 38910 Nm/m

$Rn = \dfrac{Mu}{\emptyset . bw . dx^2} = \dfrac{38910 . 1000}{0{,}8 . 1000 . 173{,}5^2} = 1{,}436\ MPa$

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

$= \dfrac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \dfrac{2 . 15{,}686 . 1{,}436}{400}}\right)$

$= 0{,}00369$

$As_{perlu} = \rho_{perlu} . Ag = 0{,}00369 . 1000 . 173{,}5$
$= 641{,}565\ mm^2/m$
$Dipakai\ tulangan\ D13$
$As = 0{,}25 . \pi . D^2$
$= 0{,}25 . \pi . 13^2$
$= 132{,}732\ mm^2$

Kontrol Jarak Spasi

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{132732}{641{,}565}$$
$$= 206{,}88\ mm \sim 200\ mm$$

- $Smaks = 3h = 3\ .(120) = 360\ mm$
- $Smaks \leq 450\ mm$

  $Spakai = 200\ mm < Smaks = 360\ (OK)$

Jadi digunakan tulangan lentur utama sisi atas D13-200 mm

➢ Tulangan Melintang Pelat Tangga dan Bordes

$$As = 0{,}002\ .bw\ .dy = 0{,}002\ .1000\ .162 = 324\frac{mm2}{m}$$

$Dipakai\ tulangan\ D10$

$$As = 0{,}25\ .\pi\ .D^2$$
$$= 0{,}25\ .\ \pi\ .10^2$$
$$= 78{,}539\ mm^2$$

Kontrol Jarak Spasi

$$Spakai = \frac{As \times 1000}{As\ perlu\ per\ meter} = \frac{78539}{324}$$
$$= 242{,}406\ mm \sim 200\ mm$$

Jadi digunakan tulangan melintang sisi atas dan bawah D10-200 mm

∴ Jadi dipakai tulangan :

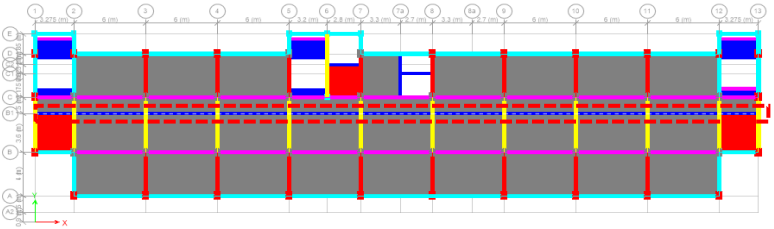
- Tulangan lentur utama sisi bawah pelat tangga dan bordes D13-100 mm
- Tulangan lentur utama sisi atas pelat tangga dan bordes D13-200 mm
- Tulangan melintang sisi atas dan bawah pelat tanga dan bordes D10-200 mm

4.2.3 Perencanaan Balok Anak

Balok anak merupakan elemen struktur sekunder yang berfungsi sebagai penyalur beban dari pelat lantai ke balok induk. Dalam perencanaan gedung rumah susus pasar rebo terdapat dua tipe balok anak yang digunakan yaitu BA1 dan BA2. Balok tersebut direncanakan sesuai dengan persyaratan yang terdapat pada SNI 2847:2019.

1. Balok Anak BA1

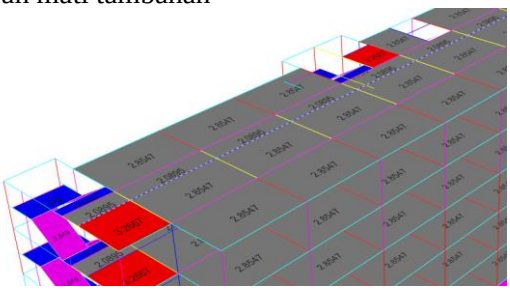
Untuk memperoleh gaya dalam yang akan digunakan dalam mendesain balok anak, permodelan pada program bantu ETABS dilakukan. Balok anak dimodelkan dengan realese moment karena pada balok anak memiliki sambungan sederhana. Permodelan balok anak pada ETABS tedapat pada **Gambar 4.26**:



Gambar 4.26 Permodelan balok anak tipe BA1 di ETABS

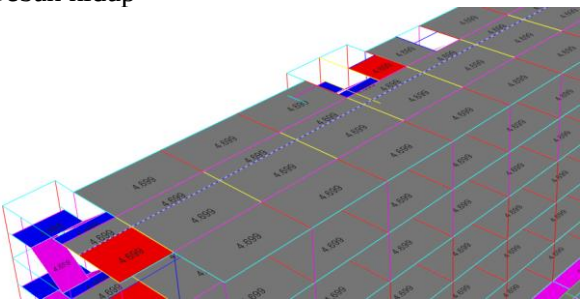
Permodelan pembebanan dapat dilihat pada **Gambar 4.27** – **Gambar 4.29**.

- Beban mati tambahan



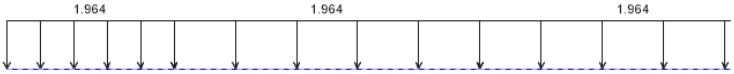
Gambar 4.27 Input beban mati tambahan pada pelat lantai

- Beban hidup



Gambar 4.28 Input beban hidup pada pelat lantai

- Beban dinding bata ringan



Gambar 4.29 Input beban dinding bata ringan pada balok anak

Setelah dilakukan running dengan kombinasi 1,2D + 1,6L didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

Mu tumpuan = 22,1687 kNm
Mu lapangan = 38,0552 kNm
Vu = 34,61 kN
Tu = 7,1125 kNm

a. Data Perencanaan

Mutu beton (Fc')	=	30 MPa
Mutu tulangan (Fy)	=	400 MPa
Lebar penampang (b)	=	250 mm
Tinggi penampang (h)	=	400 mm
Selimut beton (c)	=	40 mm
Db tulangan longitudinal	=	16 mm
Db tulangan sengkang	=	10 mm
Tinggi efektif (d)	=	$h - 2.40 - 10 - 0{,}5.16$
	=	342 mm

$$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right) . 0{,}05 \geq 0{,}65 \rightarrow \beta_1$$

$$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right) . 0{,}05 = 0{,}835$$

$$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85 . 30} = 15{,}686$$

$$\rho_{min1} = 0{,}25 . \frac{\sqrt{Fc'}}{Fy} = 0{,}25 . \frac{\sqrt{30}}{400} = 0{,}0034$$

$$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{Fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{\min pakai} = terbesar\ dari\ \rho_{min1}\ \&\ \rho_{min2} = 0{,}0035$$

$$\rho_{ballance} = \left(0{,}85 . \beta_1 . \frac{Fc'}{Fy}\right) . \left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$$

$$\rho_{ballance} = \left(0{,}85 . 0{,}848 . \frac{30}{400}\right) . \left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}0319$$

$$\rho_{max1} = 0{,}75 . \rho_{ballance} = 0{,}75 . 0{,}0319 = 0{,}0239$$

b. Penulangan Lentur

➢ Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan

Mu = 22,1687 kNm

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{22{,}1687 . 10^6}{0{,}9 . 250 . 342^2} = 0{,}8586\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 15{,}686 . 0{,}8586}{400}}\right)$$

$$= 0{,}00218$$

$\rho_{min} = 0{,}00335 > \rho = 0{,}00218\ dipakai\ \rho = 0{,}00335$

$As\ perlu = \rho . bw . d = 0{,}00335 . 400 . 342$

$= 299{,}25\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$As \quad = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 16^2 = 201{,}06\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As} = \frac{299{,}25}{201{,}06} = 1{,}488 \sim 2\ Buah$

$As\ pakai \ = \ n \,.\, 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = \ 2 \,.\, 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 16^2$

$= 402{,}12\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n \,.\, Db_{long}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 2 \,.\, 16}{2 - 1}$$

$= 118\ mm > 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai \,.\, Fy}{0{,}85 \,.\, Fc'. \ b}$$

$$= \frac{402{,}12 \ . \ 400}{0{,}85 \,.\, 30 \,.\, 250} = 25{,}231\ mm$$

$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25{,}231}{0{,}8357}$$

$= 30{,}191\ mm$

$$\epsilon_t = 0{,}003 \,.\, \left(\frac{d - c}{c}\right)$$

$$= 0{,}003 \,.\, \left(\frac{342 - 30{,}191}{30{,}191}\right) = 0{,}03098$$

$\epsilon_t \quad = 0{,}03098 \geq 0{,}005 \ \ldots Tension\ Controlled,$
$jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$$\emptyset \,.\, Mn = 0{,}9 \,.\, As \,.\, Fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{0{,}9 \,.\, 402{,}12 \,.\, 400 \left(342 - \frac{25{,}231}{2}\right)}{10^6}$$

$= 47{,}683\ kNm$

$\emptyset \,.\, Mn \quad = 47{,}683\ kNm \geq Mu = 22{,}1687\ kNm \ldots (OK)$

$\therefore Jadi\ di\ tumpuan\ digunakan\ tulangan\ negatif\ 2\ D16$

- Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan

Mu = 38,0552 kNm

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{38{,}0552 . 10^6}{0{,}9 . 250 . 342^2}$$
$$= 1{,}474\ MPa$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . m . Rn}{fy}}\right)$$
$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 15{,}686 . 1{,}474}{400}}\right)$$
$$= 0{,}00379$$

$\rho_{min} = 0{,}00335 < \rho = 0{,}00379 < \rho_{max}$

$= 0{,}0239\ (OK)$

$As\ perlu = \rho . bw . d = 0{,}00379 . 400 . 342$

$= 324{,}751\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$As = 0{,}25 . \pi . D^2 = 0{,}25 . \pi . 16^2$

$= 201{,}061\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

$$= \frac{324{,}751}{201{,}061} = 1{,}615 \sim 2\ Buah$$

$As\ pakai = n . 0{,}25 . \pi . D^2 = 2 . 0{,}25 . \pi . 16^2$

$= 402{,}123\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n . Db_{long}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 2 . 16}{2 - 1}$$

$= 118\ mm > 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\ .Fy}{0{,}85\ .\ Fc'.\ b}$$
$$= \frac{402{,}123\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 30\ .\ 250}$$
$$= 25{,}231\ mm$$
$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25{,}231}{0{,}8357}$$
$$= 30{,}191\ mm$$
$$\epsilon_t = 0{,}003\ .\left(\frac{d-c}{c}\right)$$
$$= 0{,}003\ .\left(\frac{340{,}5 - 30{,}191}{30{,}191}\right) = 0{,}0309$$
$$\epsilon_t = 0{,}0309 \geq 0{,}005\ \ldots$$

$Tension\ Controlled, jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$$\emptyset\ .Mn = 0{,}9\ .As\ .Fy\ \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9\ .402{,}123\ .400\ \left(342 - \frac{25{,}231}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 65{,}87\ kNm$$

$\emptyset\ .Mn = 47{,}683\ kNm \geq Mu = 38{,}055\ kNm\ \ldots (OK)$

$\therefore Jadi\ di\ lapangan\ digunakan\ tulangan\ positif\ 2\ D16$

c. Tulangan Geser

$Vu = 34{,}61\ kN$

- Cek kebutuhan tulangan geser

$Syarat \rightarrow Vu \geq 0{,}5\ Vc\ \ldots maka\ butuh\ tulangan\ geser$

$\emptyset = 0{,}75$

$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc}\ .b.d$

$= 0{,}17.1.\sqrt{30}\ .250.342 = 79611{,}473\ N$

$Vu = 34610\ N > 0{,}5\ \emptyset\ Vc = 29854{,}302\ N$

$\ldots butuh\ tulangan\ geser$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset.Vc}{\emptyset} = \frac{34{,}61 - 0{,}75\,.\,79{,}611}{0{,}75}$$
$$= -33{,}464\ kN(digunakan\ tulangan\ min)$$

karena nilai V_S negatif maka perhitungan dilanjutkan ke penulangan torsi dan menggunakan persyaratan minimun pada penulangan transversal torsi.

d. Perhitungan Tulangan Torsi
Tu = 7,1125 kNm

- Cek apakah perlu tulangan torsi

$$Acp = b\,.\,h = 250\,.\,400 = 100000\ mm^2$$
$$Pcp = 2(b + h) = 2(250 + 400)$$
$$= 1300\ mm$$
$$T_{cr} = \left(\frac{\sqrt{Fc}}{3}\right)\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$
$$= \left(\frac{\sqrt{30}}{3}\right)\left(\frac{100000^2}{1300}\right)\frac{1}{10^6} = 14{,}04\ kNm$$
$$\emptyset = 0{,}75$$
$$\lambda = 1\ (beton\ normal)$$
$$\frac{\emptyset\,.\,Tcr}{4} = \frac{0{,}75\,.\,14{,}04}{4} = 2{,}633\ kNm$$
$$Syarat \rightarrow Tu \geq \frac{\emptyset\,.\,Tcr}{4}\ \ldots butuh\ tulangan\ torsi$$
$$Tu = 7{,}1125\ kNm \geq \frac{\emptyset\,.\,Tcr}{4} = 2{,}633\ kNm$$
$$\ldots Butuh\ tulangan\ torsi$$

- Hitung properti penampang

$$X1 = b - 2.c - Db_{trans}$$
$$= 250 - 2.40 - 10$$
$$= 160\ mm$$
$$Y1 = h - 2.c - Db_{trans}$$
$$= 400 - 2.40 - 10$$
$$= 310\ mm$$

$Aoh = X1 \,.\, Y1$
$= 160 \,.\, 310$
$= 49600\ mm^2$
$Ao = 0{,}85 \,.\, Aoh$
$= 0{,}85 \,.\, 49600$
$= 42160\ mm^2$
$d = 342\ mm$
$Ph = 2(X1 + Y1) = 2(160 + 310)$
$= 940\ mm$

- Cek apakah penampang cukup menahan Tu

$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc} \,.\, b.d$
$= 0{,}17.1.\sqrt{30} \,.\, 250 \,.\, 342$
$= 79611{,}473\ N$

$$Syarat \rightarrow \sqrt{\left(\frac{Vu}{bw \,.\, d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1{,}7\ Aoh^2}\right)^2} \leq \emptyset\left(\frac{Vc}{bw \,.\, d} + 0{,}66\sqrt{Fc}\right)$$

$$Ruas\ kiri \rightarrow \sqrt{\left(\frac{34{,}61 \,.\, 10^3}{250 \,.\ 342}\right)^2 + \left(\frac{7{,}1125.10^6 \,.940}{1{,}7 \,.\, 49600^2}\right)^2} = 1{,}635\ MPa$$

$$Ruas\ kanan \rightarrow 0{,}75 \,.\left(\frac{79611{,}473}{250 \,.342} + 0{,}66\sqrt{30}\right) = 3{,}409\ Mpa$$

$Ruas\ kiri \leq Ruas\ kanan \ldots Penampang\ Cukup\ Besar$

- Menentukan kebutuhan tulangan torsi

$\emptyset = 0{,}75$

$$Tn = \frac{Tu}{\emptyset} = \frac{7{,}1125}{0{,}75} = 9{,}483\ kNm$$

$Sudut\ retak\ akibat\ torsi, \theta = 45°, \cot(45) = 1$

$$Kebutuhan\ tul.torsi \rightarrow \frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.Fy.cot\ \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.Fy.cot\ \theta} = \frac{9{,}483\ .\ 10^6}{2\ .42160{,}65\ .400\ .1}$$
$$= \frac{0{,}281\ mm^2}{mm}\ (untuk\ 1\ tulangan)$$

$$\frac{Av}{s} = 0\ mm^2/mm$$

- Total tulangan torsi + geser
  $2\,.\left(\frac{At}{s}\right)+\left(\frac{Av}{s}\right)=2\,.\,(0{,}281)+(0)=0{,}562\;mm^2/mm$
- Cek luas tulangan minimum
  $0{,}062\sqrt{Fc}\left(\frac{b_w}{Fy}\right)=0{,}062\sqrt{30}\left(\frac{250}{400}\right)=0{,}2122\;mm^2/mm$
  $0{,}35\,.\frac{bw}{Fy}\qquad=0{,}35\,.\frac{250}{400}=0{,}218\;mm^2/mm$
  Luas tulangan pakai = $0{,}562\frac{mm^2}{mm}$
  $Dipakai\ jumlah\ tulangan\ geser+torsi, n=2$
  Dipakai Db transversal = 10 mm
  $Av\qquad=0{,}25\,.\pi\,.D^2=0{,}25\,.\pi\,.10^2$
  $=78{,}539\;mm^2$
  $Spasi\ tulangan\ , S=\dfrac{n.Av}{2\,.\left(\frac{At}{s}\right)+\left(\frac{Av}{s}\right)}$
  $=\dfrac{2\,.78{,}539}{0{,}562}=279{,}33\;mm$
- Cek syarat spasi tulangan :
  - $\frac{Ph}{8}=\frac{940}{8}=117{,}5\;mm\;(menentukan)$
  - $s=300\;mm$
  Dipakai $S=117{,}5\;mm\sim100\;mm$
  Jadi dipakai tulangan transversal 2 D10-110 mm

e. Desain Tulangan Torsi Longitudinal

$Al\qquad=\left(\frac{At}{s}\right)Ph\left(\frac{Fyt}{Fy}\right)cot^2\theta$
$=0{,}281\,.940\,.\frac{400}{400}\,.1$
$=264{,}30\;mm^2$

- Cek Al min
  $0{,}42\;\sqrt{Fc}\;\frac{A_{cp}}{Fy}-\left(\frac{A_t}{s}\right)Ph\;\frac{fyt}{fy}=310{,}8\;mm^2\;(Menentukan)$

$$0{,}42\sqrt{Fc}\,\frac{A_{cp}}{Fy}-\left(\frac{0{,}175bw}{fyt}\right)Ph\frac{fyt}{fy}=182{,}441\,mm^2$$

- Pendistribusian tulangan ke tiap sisi balok

  Dipakai $Al = 310{,}8\,mm^2$

  $$\frac{Al}{3} = \frac{310{,}8}{3} = 103{,}602$$

  Tulangan longitudinal Tumpuan

  As yang dibutuhkan untuk Mu tumpuan = 299,25 mm^2

  $Al + As = 103{,}602 + 299{,}25 = 402{,}85\ mm^2$

  Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

  $As = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\pi\,.16^2 = 201{,}06\,mm^2$

  $Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

  $$= \frac{402{,}852}{201{,}06} = 2{,}003 \sim 2\ Buah$$

  Tulangan longitudinal Lapangan

  As yang dibutuhkan untuk Mu lapangan = 324,751 mm^2

  $Al + As = 103{,}602 + 324{,}751 = 428{,}353\,mm^2$

  Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

  $As = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\pi\,.16^2 = 201{,}06\,mm^2$

  $Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

  $$= \frac{428{,}353}{201{,}06} = 2{,}13 \sim 3\ Buah$$

  Tulangan longitudinal sisi tengah

  $Al = 103{,}602\,mm^2$

  Dipakai Db Longitudinal = 10 mm

  $As = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\pi\,.10^2 = 78{,}539\,mm^2$

  $Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

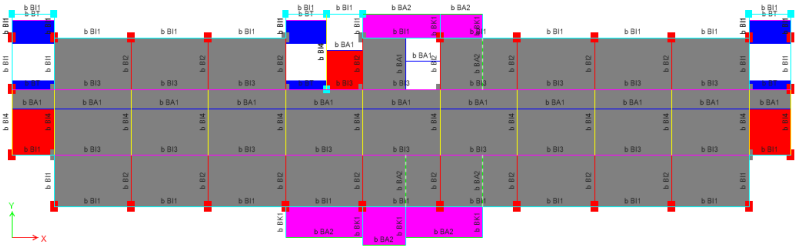
  $$= \frac{103{,}602}{78{,}539} = 1{,}319 \sim 2\ Buah$$

f. Rekapitulasi Perhitungan

- Dimensi Penampang Balok:
  - b = 250 mm
  - h = 400 mm
- Properti Material
  - Fc = 30 MPa
  - Fy = 400 MPa
- Tulangan Longitudinal Sepanjang Balok
  - Tulangan longitudinal tumpuan atas : 2 D16
  - Tulangan longitudinal tumpuan bawah : 2 D16
  - Tulangan longitudinal lapangan atas : 2 D16
  - Tulangan longitudinal lapangan bawah : 3 D16
  - Tulangan longitudinal tengah : 2 D10
- Tulangan Sengkang Sepanjang Balok
  - Tulangan sengkang : 2-D10-100

2. Balok Anak BA2

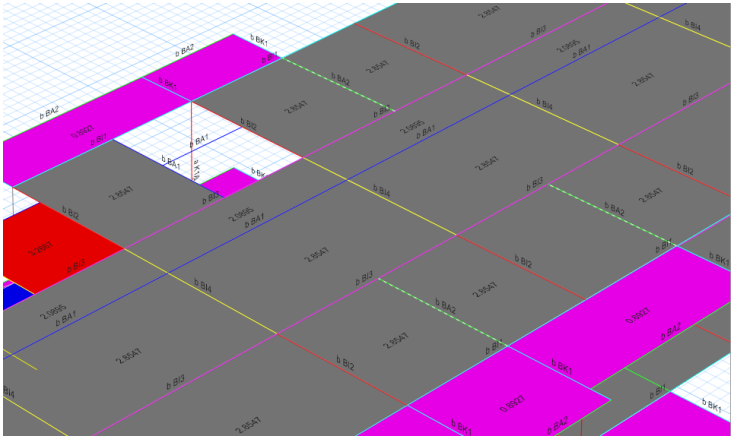
Untuk memperoleh gaya dalam yang akan digunakan dalam mendesain balok anak, permodelan pada program bantu ETABS dilakukan. Balok anak dimodelkan dengan realese moment karena pada balok anak memiliki sambungan sederhana. Permodelan balok anak pada ETABS adalah sebagai berikut:



Gambar 4.30 Permodelan balok anak tipe BA2 pada program ETABS

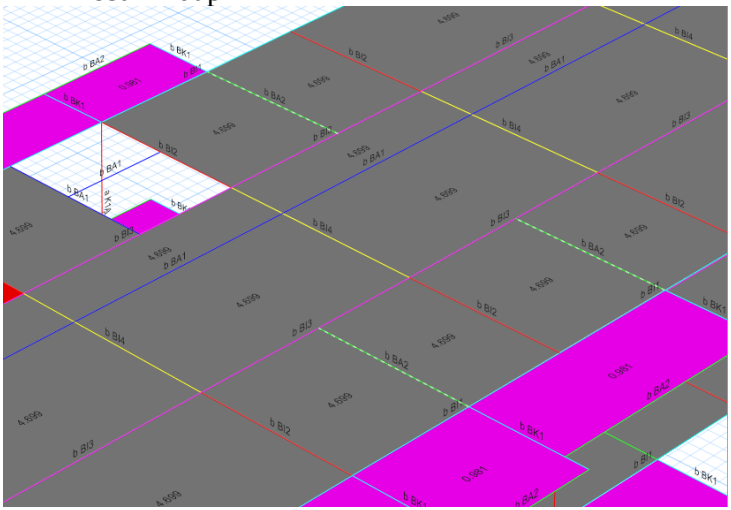
Permodelan pembebanan dapat dilihat pada **Gambar 4.31** dan **Gambar 4.32**. :

- Beban mati tambahan



Gambar 4.31 Input beban mati tambahan pada pelat lantai

- Beban hidup



Gambar 4.32 Input beban hidup pada pelat lantai

Setelah dilakukan running dengan kombinasi 1,2D + 1,6L didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

Mu tumpuan = 6,5771 kNm
Mu lapangan = 26,1885 kNm
Vu = 17,6381 kN
Tu = 6,5984 kNm

a. Data Perencanaan

Mutu beton (Fc') = 30 MPa
Mutu tulangan (Fy) = 400 MPa
Lebar penampang (b) = 250 mm
Tinggi penampang (h) = 400 mm
Selimut beton (c) = 40 mm
Db tulangan longitudinal = 16 mm
Db tulangan sengkang = 10 mm
Tinggi efektif (d) = $h - 2.40 - 10 - 0{,}5.16$
= 342 mm

$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right) . 0{,}05 \geq 0{,}65$

$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right) . 0{,}05 = 0{,}835$

$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85 . 30} = 15{,}686$

$\rho_{min1} = 0{,}25 . \frac{\sqrt{Fc'}}{Fy} = 0{,}25 . \frac{\sqrt{30}}{400} = 0{,}0034$

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{Fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

$\rho_{\min pakai} = terbesar\ dari\ \rho_{min1}\ \&\ \rho_{min2}$

$= 0{,}0035$

$\rho_{bal} = \left(0{,}85 . \beta_1 . \frac{Fc'}{Fy}\right) . \left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$

$= \left(0{,}85 . 0{,}835 . \frac{30}{400}\right) . \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$

$= 0{,}0319$

$\rho_{max1} = 0{,}75 . \rho_{ballance} = 0{,}75 . 0{,}0319 = 0{,}0239$

b. Penulangan Lentur

➢ Tulangan Lentur Tumpuan

Mu = 6,5771 kNm

Asumsi $\emptyset$ $= 0,9$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{6,5771 . 10^6}{0,9 . 250 . 342^2} = 0,254\ MPa$

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

$= \frac{1}{15,686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 15,686 . 0,254}{400}}\right)$

$= 0,00064$

$\rho_{min} = 0,0035 > \rho = 0,00064\ dipakai\ \rho$

$= 0,00335$

$As\ perlu = \rho . bw . d = 0,00335 . 400 . 342$

$= 299,25\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$As = 0,25 . \pi . D^2 = 0,25 . \pi . 16^2$

$= 201,061\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As} = \frac{299,25}{201,061}$

$= 1,488 \sim 2\ Buah$

$As\ pakai = n . 0,25 . \pi . D^2 = 2 . 0,25 . \pi . 16^2$

$= 402,123\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$S = \frac{Bw - 2 . c - 2 . Db_{trans} - n . Db_{long}}{n - 1}$

$S = \frac{400 - 2.40 - 2 . 10 - 2 . 16}{2 - 1} = 118\ mm$

$> 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\ .Fy}{0{,}85\ .\ Fc'.\ b}$$
$$= \frac{402{,}12\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 30\ .\ 250}$$
$$= 25{,}23\ mm$$
$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1}$$
$$= \frac{25{,}23}{0{,}8357} = 30{,}191\ mm$$
$$\epsilon_t = 0{,}003\ .\left(\frac{d-c}{c}\right)$$
$$= 0{,}003\ .\left(\frac{342-30{,}191}{30{,}191}\right) = 0{,}0309$$
$$\epsilon_t = 0{,}0309 \geq 0{,}005\ \ldots$$

$Tension\ Controlled, jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$$\emptyset\ .Mn = 0{,}9\ .As\ .Fy\ \left(d-\frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9\ .402{,}123\ .400\ \left(342-\frac{25{,}23}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 47{,}683\ kNm$$
$$\emptyset\ .Mn = 47{,}683\ kNm \geq Mu$$
$$= 6{,}5771\ kNm\ \ldots (OK)$$

$\therefore\ Jadi\ di\ tumpuan\ digunakan\ tulangan\ negatif\ 2\ D16$

- Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan

Mu = 26,1885 kNm

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{26{,}1885\ .10^6}{0{,}9\ .250\ .\ 342^2} = 1{,}0143\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,1{,}0143}{400}}\right)$$

$$= 0{,}00258$$

$\rho_{min} = 0{,}0035 > \rho = 0{,}00258$

$dipakai\ \rho = 0{,}0035$

$As\ perlu = \rho.bw.d = 0{,}0035\ .400\,.342$

$= 299{,}25\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$As = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\pi\,.16^2$

$= 201{,}06\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

$$= \frac{299{,}25}{201{,}0} = 1{,}488 \sim 2\ Buah$$

$As\ pakai = n\,.0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 2\,.0{,}25\,.\pi\,.16^2$

$= 402{,}12\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n\,.Db_{long}}{n-1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 2\,.16}{2-1} = 118\ mm$$

$> 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\,.Fy}{0{,}85\,.\ Fc'.\ b}$$

$$= \frac{402{,}12\ .\ 400}{0{,}85\,.\ 30\,.\ 250} = 25{,}23\ mm$$

$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25{,}23}{0{,}8357}$$

$$= 30{,}191\ mm$$

$$\epsilon_t = 0{,}003 \,.\left(\frac{d-c}{c}\right)$$
$$= 0{,}003 \,.\left(\frac{342-30{,}191}{30{,}191}\right) = 0{,}0309$$
$$\epsilon_t = 0{,}0309 \geq 0{,}005 \ldots$$

$Tension\ Controlled, jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$$\emptyset \,.Mn = 0{,}9 \,.As \,.Fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9 \,.402{,}12 \,.400 \left(342 - \frac{25{,}23}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 65{,}87\ kNm$$

$\emptyset \,.Mn = 47{,}68\ kNm \geq Mu = 26{,}1885\ kNm \ldots (OK)$

$\therefore Jadi\ di\ lapangan\ digunakan\ tulangan\ positif\ 2\ D16$

c. Perhitungan Tulangan Geser

$Vu = 17{,}6381\ kN$

- Cek kebutuhan tulangan geser

$Syarat \rightarrow Vu \geq 0{,}5\ Vc \ldots maka\ butuh\ tulangan\ geser$

$\emptyset = 0{,}75$

$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc}\,.b.d$
$= 0{,}17.1.\sqrt{30}\,.250.342$
$= 79611{,}47\ N$

$Vu = 17638{,}1\ N \geq 0{,}5\ \emptyset\ V = 29854{,}302\ N$
$\ldots\ butuh\ tulangan\ geser$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset.Vc}{\emptyset} = \frac{17{,}6381 - 0{,}75\,.79{,}611}{0{,}75}$$
$$= -56{,}094\ kN\ (digunakan\ tulangan\ min)$$

karena nilai V_S negatif maka perhitungan dilanjutkan ke penulangan torsi dan menggunakan persyaratan minimun pada penulangan transversal torsi.

d. Perhitungan Tulangan Torsi
Tu = 6,5984 kNm

- Cek apakah perlu tulangan torsi

$Acp = b \,.\, h = 250 \,.\, 400 = 100000\ mm^2$

$Pcp = 2(b + h) = 2(250 + 400)$
$= 1300\ mm$

$T_{cr} = \left(\frac{\sqrt{Fc}}{3}\right)\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$
$= \left(\frac{\sqrt{30}}{3}\right)\left(\frac{100000^2}{1300}\right)\frac{1}{10^6}$
$= 14{,}04\ kNm$

$\emptyset = 0{,}75$

$\lambda = 1\ (beton\ normal)$

$\frac{\emptyset \,.\, Tcr}{4} = \frac{0{,}75 \,.\, 14{,}04}{4} = 2{,}633\ kNm$

$Syarat \rightarrow Tu \geq \frac{\emptyset \,.\, Tcr}{4}$ ... *Maka butuh tulangan torsi*

$Tu = 6{,}5984\ kNm \geq \frac{\emptyset \,.\, Tcr}{4} = 2{,}633\ kNm$

... *Butuh tulangan torsi*

- Hitung properti penampang

$X1 = b - 2.c - Db_{trans}$
$= 250 - 2.40 - 10$
$= 160\ mm$

$Y1 = h - 2.c - Db_{trans}$
$= 400 - 2.40 - 10$
$= 310\ mm$

$Aoh = X1 \,.\, Y1 = 160 \,.\, 310$
$= 49600\ mm^2$

$Ao = 0{,}85 \,.\, Aoh$
$= 0{,}85 \,.\, 49600$
$= 42160\ mm^2$

$d = 342\ mm$

$Ph = 2(X1 + Y1)$
$= 2(160 + 310)$
$= 940\ mm$

- Cek apakah penampang cukup menahan Tu

$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc}\,.b.d$
$= 0{,}17.1.\sqrt{30}\,.250\,.342$
$= 79611{,}47\ N$

$Syarat \rightarrow \sqrt{\left(\frac{Vu}{bw\,.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1{,}7\ Aoh^2}\right)^2} \leq \emptyset\left(\frac{Vc}{bw\,.d} + 0{,}66\sqrt{Fc}\right)$

$Ruas\ kiri \rightarrow \sqrt{\left(\frac{17638{,}1}{250\,.\ 342}\right)^2 + \left(\frac{6{,}5984\,.10^6\,.940}{1{,}7\ 49600^2}\right)^2} = 1{,}5096\ MPa$

$Ruas\ kanan \rightarrow 0{,}75\,.\left(\frac{79611{,}47}{250\,.342} + 0{,}66\sqrt{30}\right)\ = 3{,}41\ Mpa$

$Ruas\ kiri \leq Ruas\ kanan \ldots Penampang\ Cukup\ Besar$

- Menentukan kebutuhan tulangan torsi

$\emptyset = 0{,}75$

$Tn = \frac{Tu}{\emptyset} = \frac{6{,}5984}{0{,}75} = 8{,}894\ kNm$

$Sudut\ retak\ akibat\ torsi, \theta = 45°, \cot(45) = 1$

$Kebutuhan\ tul.torsi \rightarrow \frac{At}{s} = \frac{8{,}550}{2.Ao.Fy.\cot\theta}$

$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.Fy.\cot\theta} = \frac{8{,}894\ .\ 10^6}{2\,.\,42160{,}65\,.400\,.1}$
$= 0{,}2637\frac{mm^2}{mm}\ \ (untuk\ 1\ tulangan)$

$\frac{Av}{s} = 0\ mm^2/mm$

- Total tulangan torsi + geser

$2\,.\left(\frac{At}{s}\right) + \left(\frac{Av}{s}\right) = 2\,.\,(0{,}2637) + (0)$
$= 0{,}5274\ mm^2/mm$

- Cek luas tulangan minimum

$0{,}062\sqrt{Fc}\left(\frac{b_w}{Fy}\right) = 0{,}062\sqrt{30}\left(\frac{250}{400}\right)$

$= 0{,}2122\frac{mm^2}{mm}$

$0{,}35\,.\frac{bw}{Fy} = 0{,}35\,.\frac{250}{400}$

$= \frac{0{,}218\ mm^2}{mm}$

Av pakai = $0{,}5274\ mm^2/mm$

$Dipakai\ jumlah\ tulangan\ geser + torsi, n = 2$

Dipakai Db transversal = 10 mm

$Av = 0{,}25\,.\pi\,.D^2 = 0{,}25\,.\pi\,.10^2$

$= 78{,}539\ mm^2$

$Spasi\ tulangan\ , S = \frac{n.Av}{2\,.\left(\frac{At}{s}\right) + \left(\frac{Av}{s}\right)} = \frac{2\,.78{,}539}{0{,}5274}$

$= 297{,}835\ mm$

- Cek syarat spasi tulangan :
  - $\frac{Ph}{8} = \frac{940}{8} = 117{,}5\ mm\ (menentukan)$
  - $s = 300\ mm$
  - $0{,}33\,.\sqrt{Fc}.b.d = 0{,}33\,.\sqrt{30}\,.250\,.342/10^3$

    $= 154{,}539\ kN$

    $2.0{,}33\,.\sqrt{Fc}.b.d = 2.0{,}33\,.\sqrt{30}\,.250\,.342/10^3$

    $= 309{,}079\ kN$

    $Vs = 0\ kN$

    $Vs = 0\ kN \quad < 0{,}33\,.\sqrt{Fc}.b.d \ldots s\ maks = \frac{d}{2}$

    $s\ maks = \frac{342}{2} = 171\ mm$

    Dipakai $S = 117{,}5\ mm \sim 100\ mm$

e. Desain Tulangan Torsi Longitudinal

$$Al = \left(\frac{At}{s}\right) Ph \left(\frac{Fyt}{Fy}\right) cot^2\theta$$
$$= 0{,}2637.940 \,.\, \frac{400}{400} \,.\, 1$$
$$= 247{,}879\ mm^2$$

- Cek Al min

$$0{,}42\sqrt{Fc}\ \frac{A_{cp}}{Fy} - \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph\ \frac{fyt}{fy}$$
$$= 327{,}229\ mm^2\ (Menentukan)$$
$$0{,}42\sqrt{Fc}\ \frac{A_{cp}}{Fy} - \left(\frac{0{,}175bw}{fyt}\right) Ph \frac{fyt}{fy} = 182{,}441\ mm^2$$

- Pendistribusian tulangan ke tiap sisi balok

Dipakai $Al = 327{,}229\ mm^2$

$$\frac{Al}{3} = \frac{327{,}229}{3} = 109{,}076\ mm^2$$

Tulangan longitudinal sisi atas

As yang dibutuhkan untuk Mu tumpuan = 299,25 mm^2

$$Al + As = 109{,}076 + 299{,}25 = 408{,}326\ mm^2$$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$$As = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 16^2$$
$$= 201{,}061\ mm^2$$
$$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$$
$$= \frac{408{,}326}{201{,}061} = 2{,}0 \sim 2\ Buah$$

Tulangan longitudinal sisi bawah

As yang dibutuhkan untuk Mu tumpuan = 299,25 mm^2

$$Al + As = 109{,}076 + 299{,}25 = 408{,}326\ mm^2$$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$$As = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 16^2$$
$$= 201{,}061\ mm^2$$
$$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$$
$$= \frac{408{,}326}{201{,}061} = 2{,}0 \sim 2\ Buah$$

Tulangan longitudinal sisi tengah

$Al = 109{,}076\ mm^2$

Dipakai Db Longitudinal = 10 mm

$As = 0{,}25\ .\pi\ .D^2 = 0{,}25\ .\pi\ .10^2$

$= 78{,}539\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

$= \frac{109{,}076}{78{,}539} = 1{,}38 \sim 2\ Buah$

f. Rekapitulasi Perhitungan

- Dimensi Penampang Balok:
  - b = 250 mm
  - h = 400 mm
- Properti Material
  - Fc = 30 MPa
  - Fy = 400 MPa
- Tulangan Longitudinal Sepanjang Balok
  - Tulangan longitudinal tumpuan atas : 2 D16
  - Tulangan longitudinal tumpuan bawah : 2 D16
  - Tulangan longitudinal lapangan atas : 2 D16
  - Tulangan longitudinal lapangan bawah : 2 D16
  - Tulangan longitudinal tengah : 2 D10
- Tulangan Sengkang Sepanjang Balok
  - Tulangan sengkang : 2-D10-100

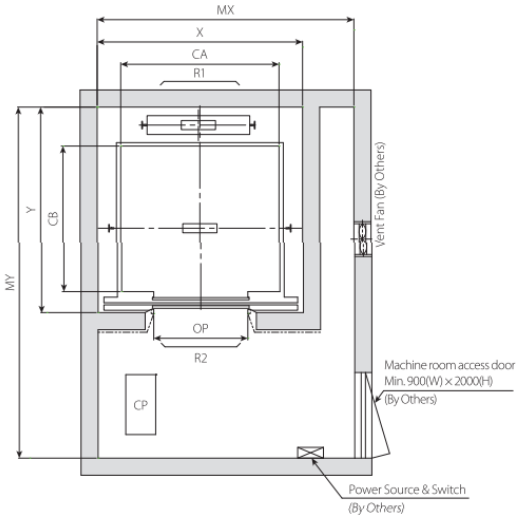
4.2.4 Perencanaan Balok Lift

Perencanaan balok lift meliputi balok-balok yang berkaitan dengan ruang mesin lift, yaituterdiri dari balok penumpu dan balok penggantung lift. Pada perancangan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh Hyundai dengan spesifikasi sebagai berikut :

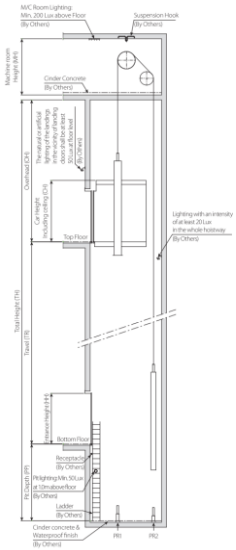
- Merek : Hyundai Elevator
- Kapasitas orang : 10 orang
- Kapasitas beban : 800 kg
- Kecepatan : 1 m/s
- Lebar pintu : 800 mm

- Car size :
  Width = 1400 mm
  Depth = 1350 mm
- Hoistway size (Duplex):
  Width = 1800 mm
  Depth = 2000 mm
- Machine room size:
  Width = 2150 mm
  Depth = 3800 mm
- Machine room reaction load :
  R1 = 4550 kg
  R2 = 2800 kg

Layout lift dapat dilihat pada **Gambar 4.33** dengan spesifikasi yang tertera pada **Tabel 4.11.**



(a)



(b)

Gambar 4.33 Layout lift (a) dan potongan lift (b)

Tabel 4.11 Spesifikasi lift

Capacity		Speed (m/sec)	Opening Type	Door Width (mm)	C.WT Drop	Car Insize (mm)	Hoistway Insize (mm)	Machine Room Size (mm)	M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)	
Persons	kg			OP		CA × CB	X × Y	MX × MY	R1	R2	PR1	PR2
6	450			700	Rear	1100 × 1100	1600 × 1700	1950 × 3500	3600	2000	5500	4500
7	550			800	Rear	1300 × 1100	1750 × 1700	2100 × 3500	4050	2250	6000	4900
8	600 (630)			800	Rear	1400 × 1100	1800 × 1700	2150 × 3500	4100	2450	6300	5100
				900	Rear	1100 × 1400	1950 × 2000	2300 × 3800				
9	700			800	Rear	1400 × 1250	1800 × 1850	2150 × 3650	4200	2700	6800	5400
10	750			800	Rear	1400 × 1300	1800 × 1900	2150 × 3700	4550	2800	7100	5600
	800			800	Rear	1400 × 1350	1800 × 2000	2150 × 3800	4550	2800	7400	5800
12	900			900	Rear	1600 × 1350	2050 × 2000	2400 × 3800	5100	3750	8100	6300
13	1000	1.0		900	Rear	1600 × 1400	2050 × 2050	2400 × 3850	5450	4300	8600	6600
		1.5	1S-CO	1100	Rear	2100 × 1100	2550 × 1750	2900 × 3550				
15	1150	1.75		1000	Rear	1800 × 1400	2300 × 2050	2650 × 3850	6600	5100	11000	8700
				900	Side	1200 × 2200	2200 × 2600	2500 × 3750				
18	1350			1000	Rear	1800 × 1600	2300 × 2300	2650 × 4100	7800	6000	12200	9500
				1100	Rear	2000 × 1450	2500 × 2150	2850 × 3950				
21	1600			1100	Rear	2000 × 1700	2500 × 2400	2850 × 4200	8500	6800	13600	10400
					Rear	2150 × 1550	2650 × 2250	3000 × 4050				
24	1800			1100	Rear	2000 × 1800	2550 × 2500	2900 × 4300	8800	7200	14200	10900
					Rear	2150 × 1700	2700 × 2400	3050 × 4200				
26	2000			1200	Rear	2100 × 1900	2650 × 2600	3000 × 4400	9500	7700	15100	12000
					Rear	2150 × 1850	2700 × 2550	3050 × 4350				
12	900			900	Rear	1600 × 1350	2100 × 2050	2450 × 3850	12030	6630	12400	10600
13	1000			900	Rear	1600 × 1400	2100 × 2100	2450 × 3900	12810	6950	13300	11300
15	1150			1000	Rear	1800 × 1400	2300 × 2100	2650 × 3900	13080	7100	14500	12200
				900	Side	1200 × 2200	2250 × 2600	2550 × 3750				
18	1350	2.0		1000	Rear	1800 × 1600	2300 × 2300	2650 × 4100	14360	7650	16500	13800
			1S-CO	1100	Rear	2000 × 1450	2500 × 2150	2850 × 3950				
21	1600	2.5		1100	Rear	2000 × 1700	2500 × 2400	2850 × 4200	15100	8100	18100	14900
					Rear	2150 × 1550	2650 × 2250	3000 × 4050				
24	1800			1100	Rear	2000 × 1800	2550 × 2550	2900 × 4350	15500	8500	18450	15300
					Rear	2150 × 1700	2700 × 2450	3050 × 4250				

Beban yang bekerja merupakan beban terpusat akibat reaksi pada ruang mesin. Mengacu pada pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 dalam pembebanan balok lift perlu mempertimbangkan koefisien kejut yang ditentukan berdasarkan rumusan dan ketentuan berikut :

$\psi = (1+k_1k_2v) \geq 1,15$

Dimana,

ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/det.

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-sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan dapat diambil sebesar 1,3.

Sehingga koefisien kejut yang bekerja pada balok adalah

$\psi = (1 + 0,6.1,3.1) = 1,78 \geq 1,15$, maka

$P = R \cdot \psi = (R_1 + R_2)\ \psi = (4550 + 2800)\ 1,78 = 13083$ kg

a. Data perencanaan balok penggantung lift

Mutu beton (Fc')	= 30	MPa
Mutu tulangan (Fy)	= 400	MPa
Lebar penampang (b)	= 250	mm
Tinggi penampang (h)	= 400	mm
Selimut beton (c)	= 40	mm
Db tulangan longitudinal	= 19	mm
Db tulangan sengkang	= 10	mm
Tinggi efektif (d)	$= h - 2.40 - 10 - 0,5.19$	
	$= 340,5$ mm	

$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right) . 0{,}05 \geq 0{,}65 \rightarrow \beta_1$

$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right) . 0{,}05 = 0{,}835$

$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85 . 30} = 15{,}686$

$\rho_{min1} = 0{,}25 . \frac{\sqrt{Fc'}}{Fy} = 0{,}25 . \frac{\sqrt{30}}{400} = 0{,}0034$

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{Fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

$\rho_{\min pakai} = terbesar\ dari\ \rho_{min1}\ \&\ \rho_{min2} = 0{,}0035$

$\rho_{ballance} = \left(0{,}85 . \beta_1 . \frac{Fc'}{Fy}\right) . \left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$

$= \left(0{,}85 . 0{,}835 . \frac{30}{400}\right) . \left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}0319$

$\rho_{max1} = 0{,}75 . \rho_{ballance} = 0{,}75 . 0{,}0319 = 0{,}0239$

b. Data perencanaan balok penumpu

Mutu beton (Fc')	=	30	MPa
Mutu tulangan (Fy)	=	400	MPa
Lebar penampang (b)	=	250	mm
Tinggi penampang (h)	=	400	mm
Selimut beton (c)	=	40	mm
Db tulangan longitudinal	=	25	mm
Db tulangan sengkang	=	10	mm

Tinggi efektif (d) $= 400 - 2.40 - 10 - 0{,}5.25$

$= 340{,}5$ mm

$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right) . 0{,}05 \geq 0{,}65 \rightarrow \beta_1$

$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right) . 0{,}05 = 0{,}835$

$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85 . 30} = 15{,}686$

$$\rho_{min1} = 0{,}25 \,.\, \frac{\sqrt{Fc'}}{Fy} = 0{,}25 \,.\, \frac{\sqrt{30}}{400} = 0{,}0034$$

$$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{Fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{\min pakai} = terbesar\ dari\ \rho_{min1}\ \&\ \rho_{min2}$$

$$= 0{,}00333$$

$$\rho_{ballance} = \left(0{,}85 \,.\, \beta_1 \,.\, \frac{Fc'}{Fy}\right) \,.\, \left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$$

$$= \left(0{,}85 \,.0{,}835 \,.\, \frac{30}{400}\right) \,.\, \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$= 0{,}0319$$

$$\rho_{max1} = 0{,}75 \,.\, \rho_{ballance} = 0{,}75 \,.\, 0{,}0319$$

$$= 0{,}0239$$

c. Beban Balok penggantung lift

Beban Mati (qdl)

Balok 25 x 40 cm= 2400 kg/m^3×0,25×0,4 = 240 kg/m

Pelat Lantai = 2400 kg/m^3 × 0,12 × 1,19 = 342,72 kg/m

Beban Finishing 2 cm = 47 kg/m^2 × 1,19 = 55,93 kg/m +

Beban Mati qdl = 638,65 kg/m

Beban Hidup (qll)

Beban Hidup lantai,qll =192 kg/m^2 × 1,19 = 228,48 kg/m

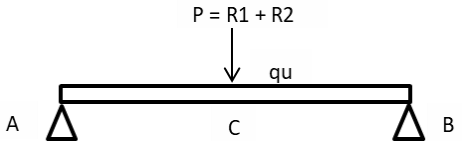
Beban Ultimate (qu)

qu = 1,2(qdl) + 1,6(qll)

= 1,2(638,65) + 1,6 (228,48)

= 1131,948 kg/m

Pu = 1,4 P = 1,4 × 13083 = 18316,2 kg



Gambar 4.34 Pembebanan balok penggantung

$R_A = R_B$ = 0,5×qu + 0,5×Pu
= 0,5×1131,948 + 0,5×18316,2
= 10233,4506 kg
$V_u = R_A = R_B$ = 10233,4506 kg
$M_u = M_C$ = ½ R_A.L– 1/8.qu.L^2 = 9210,98 kgm

d. Beban Balok penumpu lift

Beban Mati (qdl)

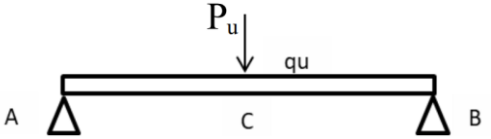
Balok 25 x 40 cm = 2400 kg/m^3×0,25×0,4 = 240 kg/m
Pelat Lantai = 2400 kg/m^3 × 0,12 × 0,72 = 207,36 kg/m
Beban Finishing 2 cm = 47 kg/m^2 × 0,72 = 33,84 kg/m +
Beban mati, qdl = 481,2 kg/m

Beban Hidup (qll)

Beban Hidup lantai, qll = 192 kg/m^2 × 0,72
= 138,24 kg/m

Beban Ultimate (qu)

qu = 1,2(qdl) + 1,6(qll)
= 1,2(481,2) + 1,6 (138,24)
= 798,624 kg/m
Pu = 2 $V_{u\ Penggantung}$ = 2 × 10233,45 = 20466,9 kg



Gambar 4.35 Pembebanan balok penumpu

$R_A = R_B$ = 0,5×qu + 0,5×Pu = 0,5×798,624+ 0,5×20466,9
= 11181,82 kg
$V_u = R_A = R_B$ = 11181,82 kg
$M_u = M_C$ = ½ R_A.L– 1/8.qu.L^2
= 12715,31 kgm

e. Perencanaan Tulangan Balok Penggantung Lift

➢ Tulangan lentur lapangan

Mu = 9210,986535 kgm = 90,36 kNm

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{90{,}36 . 10^6}{0{,}9 . 250 \ . \ 340{,}5^2}$$
$$= 3{,}53\ MPa$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . m . Rn}{fy}}\right)$$
$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 15{,}686 . 3{,}53}{400}}\right)$$
$$= 0{,}0095$$

$\rho_{min} = 0{,}0033 < \ \rho = 0{,}0095 \ < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

$As\ perlu = \rho . bw . d = 0{,}0095 . 400 . 340{,}5$
$= 812{,}207\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 19 mm

$As = 0{,}25 . \pi . D^2 = 0{,}25 . \pi . 19^2$
$= 283{,}528\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$
$= \frac{812{,}207}{283{,}52} = 2{,}864 \sim 3\ Buah$

$As\ pakai = \ n . 0{,}25 . \pi . D^2 = \ 3 . 0{,}25 . \pi . 19^2$
$= 850{,}586\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2 . c - 2 . Db_{trans} - n . Db_{long}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2 . 10 - 3 . 19}{3 - 1}$$
$$= 46{,}5\ mm > 30\ mm\ (OK)$$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\ .Fy}{0{,}85\ .\ Fc'.\ b}$$
$$= \frac{850{,}586\ \ .\ 400}{0{,}85\ .\ 30\ .\ 250} = 53{,}37\ mm$$
$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{53{,}37}{0{,}8357} = 63{,}86\ mm$$
$$\epsilon_t = 0{,}003\ .\left(\frac{d-c}{c}\right) = 0{,}003\ .\left(\frac{340{,}5-63{,}86}{63{,}86}\right) = 0{,}013$$
$$\epsilon_t = 0{,}013 \geq 0{,}005\ \ldots Tension\ Controlled,$$
$$jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$$
$$\emptyset\ .Mn = 0{,}9\ .As\ .Fy\ \left(d-\frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9\ .567{,}05\ .400\ \left(340{,}5-\frac{53{,}37}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 96{,}093\ kNm$$
$$\emptyset\ .Mn\ = 96{,}093\ kNm \geq Mu = 90{,}36\ kNm\ \ldots (OK)$$
$$\therefore Jadi\ di\ lapangan\ digunakan\ tulangan\ 3\ D19$$

➢ <u>Tulangan lentur tumpuan</u>

Mu = 0,5 Mu lapangan = 4605,493 kgm
= 45,18 kNm

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{45{,}18\ .10^6}{0{,}9\ .250\ \ .\ 340{,}5^2}$$
$$= 1{,}765\ MPa$$
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\ .m\ .Rn}{fy}}\right)$$
$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\ .15{,}686\ .1{,}765}{400}}\right)$$
$$= 0{,}00457$$

$\rho_{min} = 0{,}0033 < \rho = 0{,}00457 < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

$As\ perlu = \rho . bw . d = 0{,}00457 . 400 . 340{,}5$

$= 389{,}706\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 19 mm

$As = 0{,}25 . \pi . D^2 = 0{,}25 . \pi . 19^2$

$= 283{,}528\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

$= \frac{389{,}706}{283{,}52} = 1{,}374 \sim 2\ Buah$

$As\ pakai = n . 0{,}25 . \pi . D^2 = 2 . 0{,}25 . \pi . 19^2$

$= 567{,}05\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n . Db_{long}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 2 . 19}{2 - 1}$$

$= 112\ mm > 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai . Fy}{0{,}85 . Fc' . b}$$

$$= \frac{567{,}05 . 400}{0{,}85 . 30 . 250} = 35{,}58\ mm$$

$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{35{,}58}{0{,}8357} = 42{,}57\ mm$$

$$\epsilon_t = 0{,}003 . \left(\frac{d - c}{c}\right)$$

$$= 0{,}003 . \left(\frac{340{,}5 - 42{,}57}{42{,}57}\right) = 0{,}021$$

$\epsilon_t = 0{,}021 \geq 0{,}005 \ldots$

$Tension\ Controlled, jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$$\emptyset . Mn = 0{,}9 . As . Fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9 . 567{,}05 . 400 \left(340{,}5 - \frac{35{,}58}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 65{,}878\ kNm$$
$$\emptyset . Mn = 65{,}878\ kNm \geq Mu = 45{,}18\ kNm \ldots (OK)$$
$$\therefore Jadi\ di\ lapangan\ digunakan\ tulangan\ 2\ D19$$

- Perhitungan Tulangan Geser

$Vu = 10233{,}45\ kg = 100{,}39\ kN$

- Cek kebutuhan tulangan geser

$Syarat \rightarrow Vu \geq 0{,}5\ Vc \ldots maka\ butuh\ tulangan\ geser$

$\emptyset = 0{,}75$

$Vc = 0{,}17 . \lambda . \sqrt{Fc} . b . d$
$= 0{,}17 . 1 . \sqrt{30} . 250 . 340{,}5 = 79262{,}3\ N$

$Vu = 100390{,}15\ N \geq 0{,}5\ \emptyset\ Vc = 29723{,}36\ N$
$\ldots butuh\ tulangan\ geser$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset . Vc}{\emptyset} = \frac{100{,}39 - 0{,}75 . 79{,}2623}{0{,}75}$$
$$= 54{,}591\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{Fy . d} = \frac{54{,}591 . 10^3}{400 . 340{,}5} = 0{,}4008 \frac{mm^2}{mm}$$

$Dipakai\ jumlah\ tulangan\ geser, n = 2$

Dipakai Db transversal = 10 mm

$Av = 0{,}25 . \pi . D^2 = 0{,}25 . \pi . 10^2$
$= 78{,}539\ mm^2$

$$Spasi\ tulangan, S = \frac{n . Av}{\left(\frac{Av}{s}\right)} = \frac{2 . 78{,}539}{0{,}4008} = 391{,}89\ mm$$

Cek spasi tulangan :

- $s = 300\ mm$
- $0{,}33 . \sqrt{Fc} . b . d = 0{,}33 . \sqrt{30} . 250 . 342/10^3$
  $= 154{,}539\ kN$
  $2 . 0{,}33 . \sqrt{Fc} . b . d = 2 . 0{,}33 . \sqrt{30} . 250 . 342/10^3$

$2.0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d \quad = 309{,}079\ kN$

$Vs \quad = 54{,}591\ kN$

$Vs \quad = 54{,}591 < 0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d$

$s\ maks \quad = \frac{d}{2}$

$s\ maks \quad = \frac{340{,}5}{2} = 170{,}25\ mm$

Dipakai $S \quad = 170{,}25\ mm \sim 150\ mm$

➢ <u>Rekapitulasi Perhitungan</u>

- Dimensi Penampang Balok :
  - b = 250 mm
  - h = 400 mm
- Properti Material
  - Fc = 30 MPa
  - Fy = 400 MPa
- Tulangan Longitudinal Sepanjang Balok
  - Tulangan longitudinal tumpuan atas : 2 D19
  - Tulangan longitudinal tumpuan bawah : 2 D19
  - Tulangan longitudinal lapangan atas : 2 D19
  - Tulangan longitudinal lapangan bawah : 3 D19
- Tulangan Sengkang Sepanjang Balok
  - Tulangan sengkang : 2-D10-110

f. Perencanaan Tulangan Balok Penumpu Lift

➢ <u>Tulangan lentur lapangan</u>

Mu = 12715,31 kgm = 124,737 kNm

Asumsi $\emptyset \quad = 0{,}9$

$Rn \quad = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{124{,}737\ .10^6}{0{,}9\ .250\ .\ 337{,}5^2}$

$= 4{,}961\ MPa$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,4{,}961}{400}}\right)$$

$$= 0{,}0139$$

$\rho_{min} = 0{,}0033 < \rho = 0{,}0139 < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

$As\ perlu = \rho.bw.d = 0{,}0139\,.\,400\,.\,337{,}5$

$= 1174{,}82\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 25 mm

$As = 0{,}25\,.\,\pi\,.\,D^2 = 0{,}25\,.\,\pi\,.\,25^2$

$= 490{,}87\ mm^2$

$Jumlah\ tulangan, n = \frac{As\ perlu}{As}$

$= \frac{1174{,}82}{490{,}87} = 2{,}39 \sim 3\ Buah$

$As\ pakai = n\,.\,0{,}25\,.\,\pi\,.\,D^2 = 3\,.\,0{,}25\,.\,\pi\,.\,25^2$

$= 1472{,}62\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n\,.\,Db_{long}}{n-1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 3\,.\,25}{3-1}$$

$= 37{,}5\ mm > 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\,.\,Fy}{0{,}85\,.\,Fc'.\,b}$$

$$= \frac{1472{,}62\ .\ 400}{0{,}85\,.\,30\,.\,250} = 92{,}39\ mm$$

$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{92{,}39}{0{,}8357} = 110{,}56\ mm$$

$$\epsilon_t = 0{,}003 \,.\left(\frac{d-c}{c}\right)$$
$$= 0{,}003 \,.\left(\frac{340{,}5 - 110{,}56}{110{,}56}\right)$$
$$= 0{,}00615$$
$$\epsilon_t = 0{,}00615 \geq 0{,}005 \ldots$$

$Tension\ Controlled, jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$$\emptyset \,.Mn = 0{,}9 \,.As \,.Fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9 \,.1472{,}62 \,.400 \left(337{,}5 - \frac{92{,}39}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 154{,}43\ kNm$$

$\emptyset \,.Mn = 154{,}43\ kNm \geq Mu = 124{,}73\ kNm \ldots (OK)$

$\therefore Jadi\ di\ lapangan\ digunakan\ tulangan\ 3\ D25$

- <u>Tulangan lentur tumpuan</u>

Mu = 0,5 Mu lapangan = 6357,65 kgm = 62,368 kNm

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{62{,}368 \,.10^6}{0{,}9 \,.250 \ . \ 337{,}5^2}$$
$$= 2{,}48\ MPa$$
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.m \,.Rn}{fy}}\right)$$
$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.15{,}686 \,.2{,}48}{400}}\right)$$
$$= 0{,}0065$$

$\rho_{min} = 0{,}0033 < \rho = 0{,}0065 < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

$$As\ perlu = \rho . bw . d = 0{,}0065.400 \,.337{,}5$$
$$= 551{,}54\ mm^2/mm$$

Dipakai Db Longitudinal = 25 mm

$$As = 0{,}25 \,.\pi \,.D^2 = 0{,}25 \,.\pi \,.25^2$$
$$= 490{,}87\ mm^2$$

$Jumlah\ tulangan\ , n = \frac{As\ perlu}{As}$

$= \frac{551{,}54}{490{,}87} = 1{,}12 \sim 2\ Buah$

$As\ pakai \quad = n\ .\ 0{,}25\ .\ \pi\ .\ D^2 = 2\ .\ 0{,}25\ .\ \pi\ .\ 25^2$

$= 981{,}74\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$S \quad = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n\ .\ Db_{long}}{n - 1}$

$S \quad = \frac{400 - 2.40 - 2.10 - 2\ .\ 19}{2 - 1}$

$= 112\ mm > 30\ mm\ (OK)$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\ .\ Fy}{0{,}85\ .\ Fc'.\ b}$

$= \frac{981{,}74\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 30\ .\ 250} = 61{,}59\ mm$

$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{61{,}59}{0{,}8357} = 73{,}7\ mm$

$\epsilon_t \quad = 0{,}003\ .\left(\frac{d - c}{c}\right)$

$= 0{,}003\ .\left(\frac{337{,}5 - 73{,}7}{73{,}7}\right) = 0{,}0107$

$\epsilon_t \quad = 0{,}0107 \geq 0{,}005 \ldots$

$Tension\ Controlled, jadi\ tidak\ perlu\ penggantian\ \emptyset$

$\emptyset\ .Mn \quad = 0{,}9\ .As\ .Fy\ \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= \frac{0{,}9\ .567{,}05\ .400\ \left(337{,}5 - \frac{61{,}59}{2}\right)}{10^6}$

$= 108{,}396\ kNm$

$\emptyset\ .Mn \quad = 108{,}396\ kNm \geq Mu$

$= 62{,}368\ kNm \ldots (OK)$

$\therefore Jadi\ di\ lapangan\ digunakan\ tulangan\ 2\ D25$

➢ Perhitungan Tulangan Geser

$Vu = 11181{,}816\ kg = 109{,}693\ kN$

- Cek kebutuhan tulangan geser

$Syarat \rightarrow Vu \geq 0{,}5\ Vc \ldots maka\ butuh\ tulangan\ geser$

$\emptyset = 0{,}75$

$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc}\ .b.d$

$= 0{,}17.1.\sqrt{30}\ .250.340{,}5 = 79262{,}3\ N$

$Vu = 109693{,}62\ N \geq 0{,}5\ \emptyset\ Vc = 29723{,}3\ N$

$\ldots butuh\ tulangan\ geser$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset.Vc}{\emptyset}$$

$$= \frac{109{,}693\ - 0{,}75\ .79{,}2623}{0{,}75}$$

$= 67{,}694\ kN$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{Fy\ .d} = \frac{67{,}694\ .\ 10^3}{400\ .337{,}5}$$

$= 0{,}5014\ mm^2/mm$

$Dipakai\ jumlah\ tulangan\ geser, n = 2$

Dipakai Db transversal = 10 mm

$Av = 0{,}25\ .\pi\ .D^2 = 0{,}25\ .\pi\ .10^2$

$= 78{,}539\ mm^2$

$$Spasi\ tulangan\ , S = \frac{n.Av}{\left(\frac{Av}{s}\right)} = \frac{2\ .78{,}539}{0{,}5014} = 313{,}25\ mm$$

Cek spasi tulangan :

- $s = 300\ mm$
- $0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d = 0{,}33\ .\sqrt{30}\ .250\ .342/10^3$

  $= 154{,}539\ kN$

  $2.0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d = 2.0{,}33\ .\sqrt{30}\ .250\ .342/10^3$

  $= 309{,}079\ kN$

  $Vs = 67{,}694\ kN$

  $Vs = 67{,}694\ kN < 0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d$

  $s\ maks = \frac{d}{2}$

$s\ maks$ $= \frac{337{,}5}{2} = 168{,}75\ mm$

Dipakai S $= 168{,}75\ mm \sim 150\ mm$

- Dimensi Penampang Balok:
  - b = 250 mm
  - h = 400 mm
- Properti Material
  - Fc = 30 MPa
  - Fy = 400 MPa
- Tulangan Longitudinal Sepanjang Balok
  - Tulangan longitudinal tumpuan atas : 2 D25
  - Tulangan longitudinal tumpuan bawah : 2 D25
  - Tulangan longitudinal lapangan atas : 2 D25
  - Tulangan longitudinal lapangan bawah : 3 D25
- Tulangan Sengkang Sepanjang Balok
  - Tulangan sengkang : 2D10-150

4.3 Pembebanan

Sebelum melakukan permodelan dan analisis struktur dengan program bantu, perlu dilakukan perhitungan beban yang akan diinputkan ke program bantu analisis. Adapun beban yang diperhitungkan meliputi beban mati dan beban hidup, serta beban gempa.

a. Beban Mati

Beban mati meliputi berat sendiri elemen struktur (Self Weight) dan beban sendiri tambahan. Besar beban mati mengacu pada SNI 1727:2020 dan PPIUG 1983. Beban mati yang bekerja pada gedung antara lain :

1. Beban Mati

   Beban mati yang bekerja pada gedung merupakan berat sendiri dari tiap elemen struktur beton bertulang dengan berat jenis 2400 kg/m^3

2. Beban Sendiri Tambahan

   Beban sendiri tambahan yang diterima struktur sebagaimana tertera pada SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1 adalah sebagai berikut :

   - Adukan dari semen per cm tebal = 23,5 kg/m^2
   - Aspal pada lantai atap per cm tebal = 10,5 kg/m^2
   - Dinding bata ringan 10 cm = 100 kg/m^2
     (Brosur bata ringan Brika)
   - Gypsum 1,5 cm = 12,5 kg/m^2
   - Penggantung plafond = 11 kg/m^2
   - Keramik = 11 kg/m^2
   - Sanitasi = 20 kg/m^2
   - Plumbing = 10 kg/m^2
   - Mechanical & electrical = 20 kg/m^2

b. Beban Hidup

   Beban hidup pada struktur meliputi beban hidup lantai apartemen dan beban hidup pada lantai atap sesuai dengan SNI 1727:2020 sebagai berikut :

   - Lantai apartemen = 479 kg/m^2
   - Lantai atap = 479 kg/m^2

c. Beban Gempa

   Beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 1726:2019. Berikut langkah-langkah dalam menghitung beban gempa.

   1. Menentuukan Kategori Risiko Bangunan

      Bangunan dengan fungsi sebagai apartemen/rumah susun termasuk dalam kategori risiko II dengan faktor keutamaan gempa Ie adalah 1.

   2. Penentuan Kelas Situs

      Klasifikasi situs tanah untuk memberikan kriteria desain seismik mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 5.3. Penentuan klasifikasi situs dapat menggunakan data N-SPT, dimana parameter yang digunakan adalah tahanan penetrasi standar rata-rata ($\bar{N}$) pada kedalaman 0 sampai 30 m. Nilai ($\bar{N}$) dihitung sesuai perumusan berikut :

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

Dimana :

$\bar{N}$ = Nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata

$\sum_{i=1}^{n} d_i$ = Ketebalam total lapisan tanah.

Karena data tanah terlampir merupakan pengetesan cone penetration test, maka data tersebut perlu dikorelasikan ke nilai N-SPT dengan perumusan mayerhof (1956) sebagai berikut :

$N = 4 \,.\, q_c$

Dimana :

N = Jumlah pukulan

q_c = Tahanan conus kg/cm^2

Tabel 4.12 Tabel perhitungan klasifikasi kelas situs berdasarkan data CPT

Lapisan Ke-	h (m)	qc (kg/cm^2)	N_i (m)	d_i (m)	d_i/N_i
1	0	0	0	0,2	0
2	0,2	0	0	0,2	0
3	0,4	0	0	0,2	0
4	0,6	0	0	0,2	0
5	0,8	8	2	0,2	0
6	1	8	2	0,2	0,100
...	...	...	...	...	...
90	25	215	53,75	1	0,019
91	26	215	53,75	1	0,019
92	27	215	53,75	1	0,019
93	28	215	53,75	1	0,019
94	29	215	53,75	1	0,019
95	30	215	53,75	1	0,019
			$\sum$ =	30	1,981
			$\bar{N}$ =	15,1437	

Berdasarkan **Tabel 4.12** nilai ($\bar{N}$) adalah 15,143 sehingga kelas situs gedung rumah susun Pasar Rebo adalah tanah sedang (SD).

3. Parameter Ss (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik)
   Penentuan S_S dan S_1 di kota Jakarta Timur diambil dari desain spektra 2021 yang diambil dari website berikut: http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/ dan didapatkan nilai parameter sebagai berikut :
   S_S = 0,8557 g
   S_1 = 0,4061 g
4. Koefisien Situs F_a dan F_v
   Penentuan koefisien situs Fa dan Fv mengacu pada Tabel 6 dan Tabel 7 SNI 1726:2019 dan didapatkan nilai koefisien situs sesuai dengan kelas situs yaitu SD, nilai S_S, dan S_1 sebagai berikut :
   F_a = 1,12
   F_v = 1,85
5. Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1})
   Parameter S_{MS} dan S_{M1} dihitung sebagai berikut :
   $S_{MS} = F_a\ S_S = 1{,}12\ \times 0{,}8557\ = 0{,}99$ g
   $S_{M1} = F_v\ S_1 = 1{,}85 \times 0{,}4061\ = 0{,}77$ g
6. Parameter percepatan spketral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1}
   Parameter S_{DS} dan S_{D1} dihitung sebagai berikut :
   $S_{DS} = \frac{2}{3}\ S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0{,}99 = 0{,}66$ g
   $S_{D1} = \frac{2}{3}\ S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0{,}77\ =\ 0{,}514$ g
7. Spektrum respon desain
   Grafik respon spektrum desain mengacu pada SNI 1729:2019 pasal 6.4 dan perhitungannya adalah sebagai berikut :
   $T_o = 0{,}2\ \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0{,}2\ \frac{0{,}66}{0{,}514} = 0{,}155\ s$
   $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0{,}66}{0{,}514} = 0{,}778\ s$

$T_L = 20\ s$

Respon spektrum dibuat dengan memenuhi persyaratan dan ketentuan berikut.

(i). Spektrum respons percepatan desain (S_a) saat periode lebih kecil dari T_0 ditentukan dengan persamaan berikut.

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

(ii). Nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} saat periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts.

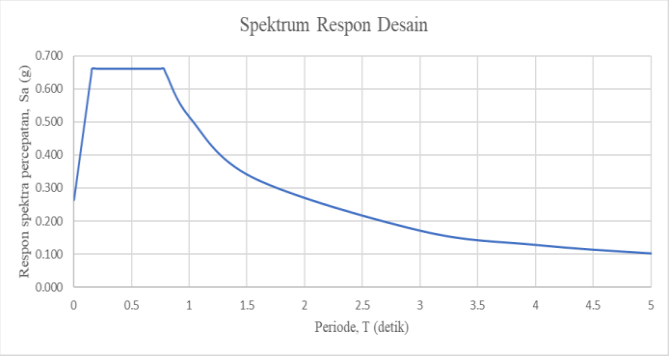
(iii). Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama edngan T_L maka respons percepatan desain (S_a) dihitung berdasarkan persamaan berikut.

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

(iv). Nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) saat periode lebih besar dari T_L dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}\,T_L}{T^2}$$

Sehingga didapatkan plot titik respons spektrum dan Gambar kurva respon spektrum pada **Tabel 4.13** dan **Gambar 4.36**.



Gambar 4.36 Grafik respon spektrum Jakarta Timur

Tabel 4.13 Nilai periode (T) dan percepatak tanah (Sa)

$T < T_0$		$T_0 \leq T \leq T_s$		$T_s < T \leq T_L$		$T \geq T_L$	
T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)
0	0,264	0,156	0,660	0,8	0,643	21	0,023
0,025	0,328	0,200	0,660	1	0,514	22	0,021
0,05	0,391	0,250	0,660	2	0,257	23	0,019
0,075	0,455	0,300	0,660	3	0,171	24	0,018
0,1	0,519	0,350	0,660	4	0,129	25	0,016
0,125	0,582	0,400	0,660	5	0,103	26	0,015
0,15	0,646	0,450	0,660	6	0,086	27	0,014
		0,500	0,660	7	0,073	28	0,013
		0,550	0,660	8	0,064	29	0,012
		0,600	0,660	9	0,057	30	0,011
		0,650	0,660	10	0,051		
		0,700	0,660	11	0,047		
		0,750	0,660	12	0,043		
		0,779	0,660	13	0,040		
				14	0,037		
				16	0,032		
				18	0,029		
				20	0,026		

8. Kategori Desain Seismik
   Kategori desain seimik dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Berdasarkan nilai $S_{DS} = 0{,}66$ g dan $S_{D1} = 0{,}514$ g serta dengan kategori risiko II maka ketogri desain seimsik dari bangunan ini adalah D.
9. Faktor Koefisien Modifikasi Respons (R), Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0), Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)
   Berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019 dengan sistem pemikul gaya seismik yaitu sistem rangka pemikul momen khusus dan tinggi bangunan 42,4 m serta kategori desain seismik D maka didapatkan nilai R, Ω_0, C_d sebagai berikut :
   R = 8
   Ω_0 = 3
   C_d = 5,5

10. Faktor Skala Gempa
    Berdasarkan prosedur kombinasi ortogonal pada SNI 1726:2019, pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya seismik pada struktur dianggap terpenuhi jika elemen struktur dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi bebanbeban yang ditetapkan berikut: 100 % gaya untuk satu arah ditambah 30 % gaya untuk arah tegak lurus. Akan tetapi faktor skala nilai respon spektrum sebesar $\frac{g\ .I_e}{R}$ perlu dihitung sebagai berikut :

    $$100\%\ \frac{g\ .I_e}{R} = 100\%\ \frac{9{,}81\ .1}{8} = 1{,}226$$

    $$30\%\ \frac{g\ .I_e}{R} = 30\%\ \frac{9{,}81\ .1}{8} = 0{,}367$$

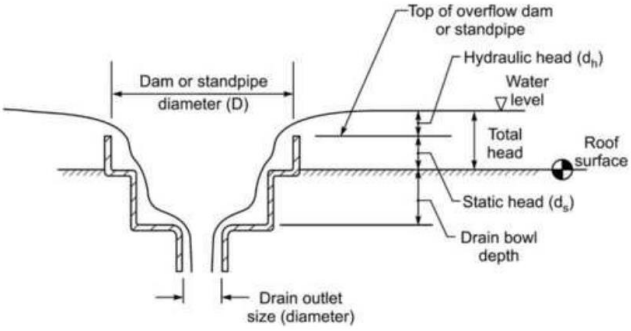
d. Beban Hujan
   Perhitungan beban hujan mengacu pada SNI 1727:2020 dan ASCE 7-16, dimana besarnya dihitung berdasarkan Persamaan 3-7 sebagai berikut :

   $$R = 0{,}0098(d_s + d_h)$$

   Dimana :

   - d_s adalah tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran desainnya (yakni, kepala hidraulik), dalam mm.
   - d_h adalah sistem drainase sekunder pada aliran desainnya (yakni, kepala hidraulik), dalam mm.

     Tinggi d_s dan d_h dapat dilihat pada **Gambar 4.37**.



Gambar 4.37 Ilustrasi aliran air hujan dan parameter untuk perhitungan beban hujan

Berdasarkan ASCE nilai d_h dapat ditentukan berdasarkan Tabel C8.3-2 seperti **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Penentuan nilai kepala hidraulik (d_h)

	Overflow Dam 203 mm Diameter			Overflow Dam 329 mm Diameter		Overflow Dam 432 mm Diameter	Overflow Standpipe 152 mm Diameter
	Drain Outlet Size (mm)						
	76	102	152	152	203	254	102
	Drain Bowl Depth (mm)						
Flow Rate (m^3/s)	51	51	51	51	83	108	51
0.0032	13	13	13	13	13	—	25
0.0047	25	—	'	—	—	—	—
0.0063	38	25	25	25	13	25	38
0.0079	51	—	—	—	—	—	—
0.0095	51	38	38	25	—	—	64
0.0110	76	—	—	—	—	—	—
0.0126	—	51	51	38	38	38	64
0.0142	—	—	—	—	—	—	—
0.0158	—	64	64	38	—	—	64
0.0189	—	76	76	51	51	38	76
0.0221	—	89	89	64	—	—	89
0.0252	—	140	89	76	64	51	—
0.0284	—	—	102	76	—	—	—
0.0315	—	—	127	89	76	64	—
0.0347	—	—	140	102	—	—	—
0.0379	—	—	152	140	89	64	—
0.0410	—	—	—	—	—	—	—
0.0442	—	—	—	—	89	76	—
0.0505	—	—	—	—	114	76	—
0.0568	—	—	—	—	127	89	—
0.0631	—	—	—	—	140	89	—
0.0694	—	—	—	—	—	102	—
0.0757	—	—	—	—	—	114	—

Flow rate dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$Q = 0{,}278 \times 10^{-6} \times A \times i$

Dimana :

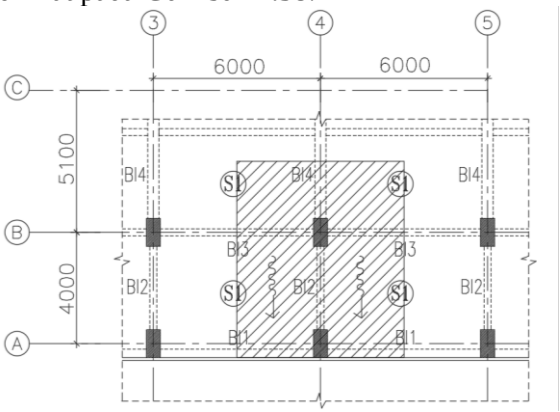
Q = Flow rate (m^3/s)

A = Tributari area yang dilayani tiap drainase (m^2)

i = Intensitas hujan desain (mm/jam)

Diketahui curah hujan tertinggi di Jakarta adalah 377 mm/hari (berdasarkan BMKG) sehingga apabila dikonversikan menjadi curah hujan per jam yaitu 15,7 ≈ 20 mm/jam.

Sedangkan tributari area yang dilayani tiap drainase adalah dapat dilihat pada **Gambar 4.38**.



Gambar 4.38 Tributari aliran air yang tiang talang

A = 6 x 6,55 = 39,3 m^2

Sehingga flowrate dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q = 0{,}278 \times 10^{-6} \times A \times i$$
$$= 0{,}278 \times 10^{-6} \times 39{,}3 \times 20$$
$$= 0{,}00022\ m^3/s$$

Beberapa hal yang diasumsi berdasarkan ASCE tabel C8.3-2 adalah sebagai berikut :

Drain bowl depth (d_s) = 51 mm

Drain outlet size = 102 mm (Overflow standpipe 152 mm diameter)

Dengan asumsi yang ada maka didapatkan nilai d_h= 25 mm

Maka nilai beban hujan (R) dapat dihitung sebagai berikut :

$$R = 0{,}0098(d_s + d_h) = 0{,}0098(13 + 25) = 0{,}7448\frac{kN}{m^2}$$

e. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.2.2. adalah sebagai berikut :

1. U = 1,4D
2. U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r atau R)
3. U = 1,2D + 1,6(L_r atau R)+ (1,0L atau 0,5W)
4. U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r atau R)
5. U = 0,9D + 1,0W
6. U = 1,2D + 1,0E_h + 1,0E_v + 1,0L
7. U = 0,9D + 1,0E_h - 1,0E_v

Dimana $E_h = \rho.QE$ dan $E_v = 0{,}2.S_{DS}.D$

Keterangan :

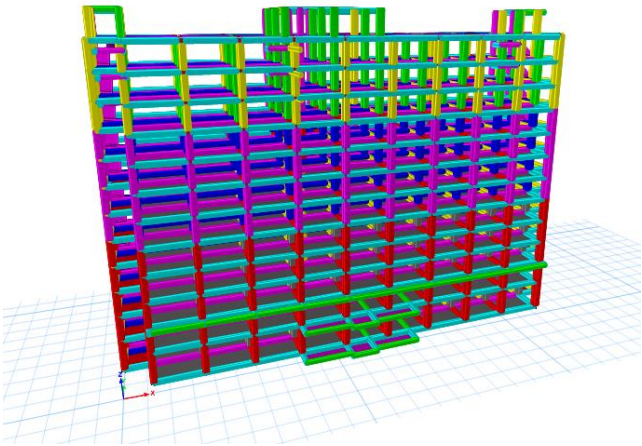
U	= Beban ultimate	W	= Beban angin
D	= Beban mati	E_v	= Beban gempa arah vertikal
L	= Beban hidup	E_h	= Beban gempa arah horizontal
R	= Beban air hujan	ρ	= Faktor redundansi
Lr	= Beban hidup atap		
Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal		

4.4 Permodelan Struktur & Analisis Struktur Fixed Based

4.4.1 Permodelan Struktur Fixed Based

Perancangan gedung Rumah Susun Pasar Rebo dimodelkan menggunakan program bantu ETABS V.16. Gedung ini akan dimodelkan dalam dua tahap, permodelan tahap pertama adalah permodelan gedung dengan fixed based dan tahap kedua adalah permodelan gedung dengan *base isolation*. Permodelam Tahap pertama yaitu permodelan struktur fixed dimana gedung dimodelkan dengan perletekan jepit. Tahap ini diperlukan untuk memperoleh periode fundamental gedung (T) yang akan diperpanjang dengan menggunakan sistem isolasi dan untuk memperoleh gaya aksial didasar kolom yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi isolator tipe *friction pendulum* sesuai

dengan brosur yang ada. Pada permodelan tahap kedua yaitu permodelan gedung dengan sistem isolasi, gedung akan dimodelkan dengan perletakkan *friction pendulum*. Pada tahap ini gaya dalam yang terjadi pada tiap elemen akan digunakan untuk merencanakan struktur primer yaitu balok induk dan kolom. Adapun permodelan struktur fixed based gedung Rumah Susun Pasar Rebo yang berlokasi di Jakarta Timur dengan 13 lantai dapat dilihat pada **Gambar 4.39.**



Gambar 4.39 Permodelan Struktur Pada ETABS

4.4.2 Analisis Struktur Fixed Based

Analisis struktur fixed based dilakukan dengan tujuan antara lain : untuk melakukan pengecekan apakah struktur yang dimodelkan sudah benar tanpa ada kesalahan dalam permodelan ataupun input pembebanan; meninjau kestabilan dan kekuatan struktur yang akan dimodelkan dengan base isolator berdasarkan peraturan yang berlaku; menentukan parameter yang akan digunakan pada base isolator dalam permodelan struktur terisolasi. Adapun proses analisis struktur meliputi : *base reaction*, partisipasi

massa, gaya geser dasar, periode fundamental struktur, *story drift*, pengaruh p-delta, dan ketidakberaturan horizontal serta vertikal.

1. Kontrol berat struktur

Reaksi perletakkan dikontrol untuk mengecek permodelan serta input beban sudah benar. Reaksi perletakkan tidak boleh melebihi dari ± 5% dari beban struktur yang dihitung manual. Perhitungan berat struktur meliputi berat sendiri elemen, beban mati tambahan, dam beban hidup. Perhitungan berat struktur juga akan digunakan pada perhitungan gaya geser dasar. Detail perhitungan berat struktur dapat dilihat pada **Tabel 4.15** hingga **Tabel 4.21**

a. Beban Mati dan Beban Mati Tambahan

Tabel 4.15 Perhitungan beban mati pada lantai dasar

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	156,2	0,45	0,7	2400	(kg/m3)	1	1	118087,2
	BI-2	64	0,4	0,6	2400	(kg/m3)	1	1	36864
	BI-3	104,8	0,4	0,6	2400	(kg/m3)	1	1	60364,8
	BI-4	67,05	0,4	0,6	2400	(kg/m3)	1	1	38620,8
Balok Anak	BA-1	70,05	0,25	0,4	2400	(kg/m3)	1	1	16812
	BA-2	36,6	0,25	0,4	2400	(kg/m3)	1	1	8784
Balok Kantilever	BK1	14,5	0,3	0,5	2400	(kg/m3)	1	1	5220
Balok Tangga	BT	9,75	0,25	0,4	2400	(kg/m3)	1	1	2340
Pelat Lantai	S1	591,6		0,13	2400	(kg/m3)	1	1	184579,2
	S2	85,913		0,12	2400	(kg/m3)	1	1	24742,94
	S3	31,98		0,12	2400	(kg/m3)	1	1	9210,24
	S4	52,395		0,12	2400	(kg/m3)	1	1	15089,76
	Bordes	6,825		0,15	2400	(kg/m3)	1	1	2457
Dinding Pada Pelat S1		591,6		1	146	(kg/m2)	1	1	86373,6
Dinding Pada Pelat S2		85,913		1	68	(kg/m2)	1	1	5842,084
Dinding Pada Pelat S3		31,98		1	188	(kg/m2)	1	1	6012,24
Plafond+Penggantung		768,713		1	24	(kg/m2)	1	1	18449,11
Sanitasi+Plumbing		709,493		1	30	(kg/m2)	1	1	21284,79
MEP		761,888		1	20	(kg/m2)	1	1	15237,76
Finishing		768,713		1	47	(kg/m2)	1	1	36129,51
Keramik		716,318		1	24	(kg/m2)	1	1	17191,63
Dinding		473,7	0,1	3,2	650	(kg/m3)	1	1	98529,6
Total Beban Mati									828222,3

Tabel 4.16 Perhitungan beban mati pada lantai 1

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	165,45	0,45	0,7	2400	(kg/m^3)	1	1	125080,2
	BI-2	64	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	36864
	BI-3	104,8	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	60364,8
	BI-4	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	41990,4
Balok Anak	BA-1	70,05	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	16812
	BA-2	36,6	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	8784
Balok Kantilever	BK1	14,5	0,3	0,5	2400	(kg/m^3)	1	1	5220
Balok Tangga	BT	29,25	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	7020
Kolom	K1-A	4	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	24	1	110592
	K2-A	4	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	22	1	101376
	K3-A	4	0,5	0,5	2400	(kg/m^3)	8	1	19200
Pelat Lantai	S1	591,6		0,13	2400	(kg/m^3)	1	1	184579,2
	S2	85,913		0,12	2400	(kg/m^3)	1	1	24742,94
	S3	31,98		0,12	2400	(kg/m^3)	1	1	9210,24
	S4	52,395		0,12	2400	(kg/m^3)	1	1	15089,76
	Bordes	25,1063		0,15	2400	(kg/m^3)	1	1	9038,268
	Tangga	35,1		0,15	2400	(kg/m^3)	1	1	12636
Dinding Pada Pelat S1		591,6		1	146	(kg/m^2)	1	1	86373,6
Dinding Pada Pelat S2		85,913		1	68	(kg/m^2)	1	1	5842,084
Dinding Pada Pelat S3		31,98		1	188	(kg/m^2)	1	1	6012,24
Plafond+Penggantung		761,888		1	24	(kg/m^2)	1	1	18285,31
Sanitasi+Plumbing		709,493		1	30	(kg/m^2)	1	1	21284,79
MEP		761,888		1	20	(kg/m^2)	1	1	15237,76
Finishing		822,0943		1	47	(kg/m^2)	1	1	38638,43
Keramik		769,6993		1	24	(kg/m^2)	1	1	18472,78
Dinding		473,7	0,1	3,2	650	(kg/m^3)	1	1	98529,6
Total Beban Mati									1097276

Tabel 4.17 Perhitungan beban mati pada lantai 2

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	165,45	0,45	0,7	2400	(kg/m^3)	1	1	125080,2
	BI-2	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	41990,4
	BI-3	104,8	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	60364,8
	BI-4	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	41990,4
Balok Anak	BA-1	70,05	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	16812
	BA-2	102	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	24480
Balok Kantilever	BK1	26,1	0,3	0,5	2400	(kg/m^3)	1	1	9396
Balok Tangga	BT	29,25	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	7020
Kolom	K1-A	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	24	1	88473,6
	K2-A	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	22	1	81100,8
	K3-A	3,2	0,5	0,5	2400	(kg/m^3)	8	1	15360
Pelat Lantai	S1	591,6		0,13	2400	(kg/m^3)	1	1	184579,2
	S2	85,913		0,12	2400	(kg/m^3)	1	1	24742,94
	S3	31,98		0,12	2400	(kg/m^3)	1	1	9210,24
	S4	153		0,12	2400	(kg/m^3)	1	1	44064
	Bordes	26,0813		0,15	2400	(kg/m^3)	1	1	9389,268
	Tangga	35,1		0,15	2400	(kg/m^3)	1	1	12636
Dinding Pada Pelat S1		591,6		1	146	(kg/m^2)	1	1	86373,6
Dinding Pada Pelat S2		85,913		1	68	(kg/m^2)	1	1	5842,084
Dinding Pada Pelat S3		31,98		1	188	(kg/m^2)	1	1	6012,24
Plafond+Penggantung		862,493		1	24	(kg/m^2)	1	1	20699,83
Sanitasi+Plumbing		709,493		1	30	(kg/m^2)	1	1	21284,79
MEP		862,493		1	20	(kg/m^2)	1	1	17249,86
Finishing		923,6743		1	47	(kg/m^2)	1	1	43412,69
Keramik		770,6743		1	24	(kg/m^2)	1	1	18496,18
Dinding		473,7	0,1	3,2	650	(kg/m^3)	1	1	98529,6
Total Beban Mati									1114591

Tabel 4.18 Perhitungan beban mati pada lantai 3-5

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	165,45	0,45	0,7	2400	(kg/m^3)	1	3	375240,6
	BI-2	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	3	125971,2
	BI-3	104,8	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	3	181094,4
	BI-4	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	3	125971,2
Balok Anak	BA-1	70,05	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	3	50436
	BA-2	0	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	3	0
Balok Kantilever	BK1	0	0,3	0,5	2400	(kg/m^3)	1	3	0
Balok Tangga	BT	29,25	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	3	21060
Kolom	K1-A	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	24	3	265420,8
	K2-A	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	22	3	243302,4
	K3-A	3,2	0,5	0,5	2400	(kg/m^3)	8	3	46080
Pelat Lantai	S1	591,6		0,13	2400	(kg/m^3)	1	3	553737,6
	S2	85,913		0,12	2400	(kg/m^3)	1	3	74228,83
	S3	31,98		0,12	2400	(kg/m^3)	1	3	27630,72
	S4	0		0,12	2400	(kg/m^3)	1	3	0
	Bordes	26,0813		0,15	2400	(kg/m^3)	1	3	28167,8
	Tangga	35,1		0,15	2400	(kg/m^3)	1	3	37908
Dinding Pada Pelat S1		591,6		1	146	(kg/m^2)	1	3	259120,8
Dinding Pada Pelat S2		85,913		1	68	(kg/m^2)	1	3	17526,25
Dinding Pada Pelat S3		31,98		1	188	(kg/m^2)	1	3	18036,72
Plafond+Penggantung		709,493		1	24	(kg/m^2)	1	3	51083,5
Sanitasi+Plumbing		709,493		1	30	(kg/m^2)	1	3	63854,37
MEP		709,493		1	20	(kg/m^2)	1	3	42569,58
Finishing		770,6743		1	47	(kg/m^2)	1	3	108665,1
Keramik		770,6743		1	24	(kg/m^2)	1	3	55488,55
Dinding		473,7	0,1	3,2	650	(kg/m^3)	1	3	295588,8
Total Beban Mati									3068183

Tabel 4.19 Perhitungan beban mati pada lantai 6-9

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	165,45	0,45	0,7	2400	(kg/m^3)	1	4	500320,8
	BI-2	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	4	167961,6
	BI-3	104,8	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	4	241459,2
	BI-4	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	4	167961,6
Balok Anak	BA-1	70,05	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	4	67248
	BA-2	0	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	4	0
Balok Kantilever	BK1	0	0,3	0,5	2400	(kg/m^3)	1	4	0
Balok Tangga	BT	29,25	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	4	28080
Kolom	K1-B	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	24	4	353894,4
	K2-B	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	22	4	324403,2
	K3-B	3,2	0,5	0,5	2400	(kg/m^3)	8	4	61440
Pelat Lantai	S1	591,6		0,13	2400	(kg/m^3)	1	4	738316,8
	S2	85,913		0,12	2400	(kg/m^3)	1	4	98971,78
	S3	31,98		0,12	2400	(kg/m^3)	1	4	36840,96
	S4	0		0,12	2400	(kg/m^3)	1	4	0
	Bordes	26,0813		0,15	2400	(kg/m^3)	1	4	37557,07
	Tangga	35,1		0,15	2400	(kg/m^3)	1	4	50544
Dinding Pada Pelat S1		591,6		1	146	(kg/m^2)	1	4	345494,4
Dinding Pada Pelat S2		85,913		1	68	(kg/m^2)	1	4	23368,34
Dinding Pada Pelat S3		31,98		1	188	(kg/m^2)	1	4	24048,96
Plafond+Penggantung		709,493		1	24	(kg/m^2)	1	4	68111,33
Sanitasi+Plumbing		709,493		1	30	(kg/m^2)	1	4	85139,16
MEP		709,493		1	20	(kg/m^2)	1	4	56759,44
Finishing		770,6743		1	47	(kg/m^2)	1	4	144886,8
Keramik		770,6743		1	24	(kg/m^2)	1	4	73984,73
Dinding		473,7	0,1	3,2	650	(kg/m^3)	1	4	394118,4
Total Beban Mati									4090911

Tabel 4.20 Perhitungan beban mati pada lantai 10-12

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	165,45	0,45	0,7	2400	(kg/m^3)	1	3	375240,6
	BI-2	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	3	125971,2
	BI-3	104,8	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	3	181094,4
	BI-4	72,9	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	3	125971,2
Balok Anak	BA-1	70,05	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	3	50436
	BA-2	0	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	3	0
Balok Kantilever	BK1	0	0,3	0,5	2400	(kg/m^3)	1	3	0
Balok Tangga	BT	29,25	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	3	21060
Balok Lift	BL1	6,375	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	1530
	BL2	4	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	960
Beban R1+R2 Lift							1	1	7350
Kolom	K1-C	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	24	3	265420,8
	K2-C	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	22	3	243302,4
	K3-C	3,2	0,5	0,5	2400	(kg/m^3)	8	3	46080
Pelat Lantai	S1	591,6		0,13	2400	(kg/m^3)	1	3	553737,6
	S2	85,913		0,12	2400	(kg/m^3)	1	3	74228,83
	S3	31,98		0,12	2400	(kg/m^3)	1	3	27630,72
	S4	0		0,12	2400	(kg/m^3)	1	3	0
	Bordes	26,0813		0,15	2400	(kg/m^3)	1	3	28167,8
	Tangga	35,1		0,15	2400	(kg/m^3)	1	3	37908
Dinding Pada Pelat S1		591,6		1	146	(kg/m^3)	1	3	259120,8
Dinding Pada Pelat S2		85,913		1	68	(kg/m^3)	1	3	17526,25
Dinding Pada Pelat S3		31,98		1	188	(kg/m^3)	1	3	18036,72
Plafond+Penggantung		709,493		1	24	(kg/m^2)	1	3	51083,5
Sanitasi+Plumbing		709,493		1	30	(kg/m^2)	1	3	63854,37
MEP		709,493		1	20	(kg/m^2)	1	3	42569,58
Finishing		770,6743		1	47	(kg/m^2)	1	3	108665,1
Keramik		770,6743		1	24	(kg/m^2)	1	3	55488,55
Dinding		473,7	0,1	3,2	650	(kg/m^3)	1	3	295588,8
Total Beban Mati									3078023

Tabel 4.21 Perhitungan beban mati pada lantai atap

Beban Mati	Nama	p (m)	l (m)	t (m)	γ		Jumlah	n-lantai	Total (kg)
Balok Induk	BI-1	88,75	0,45	0,7	2400	(kg/m^3)	1	1	67095
	BI-2	12	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	6912
	BI-4	21,15	0,4	0,6	2400	(kg/m^3)	1	1	12182,4
Balok Anak	BA-1	12	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	2880
	BA-2	6,55	0,25	0,4	2400	(kg/m^3)	1	1	1572
Balok Kantilever	BK1	6	0,3	0,5	2400	(kg/m^3)	1	1	2160
Kolom	K1-C	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	7	1	25804,8
	K2-C	3,2	0,8	0,6	2400	(kg/m^3)	10	1	36864
	K3-C	3,2	0,5	0,5	2400	(kg/m^3)	8	1	15360
Pelat Lantai	S1	192,023		0,13	2400	(kg/m^3)	1	1	59911,18
Plafond+Penggantung		192,023		1	24	(kg/m^2)	1	1	4608,552
Sanitasi+Plumbing		192,023		1	30	(kg/m^2)	1	1	5760,69
MEP		192,023		1	20	(kg/m^2)	1	1	3840,46
Finishing		192,023		1	47	(kg/m^2)	1	1	9025,081
Total Beban Mati									253976,2

b. Beban Hidup

Tabel 4.22 Perhitungan beban hidup seluruh lantai

Jenis Beban	p (m)	l (m)	γ		Jumlah	Total (kg)
Beban Hidup Lantai	9963,4346		479	(kg/m^2)	1	4772485
Beban Hidup Atap	449,813		479	(kg/m^2)	1	215460
Total Beban Hidup						4987945,6

Berdasarkan perhitungan berat struktur diperoleh total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup adalah sebagai berikut:

D + SDL = 13531182,91 kg = 132740,904 kN

L = 4987945,6 kg = 48931,7463 kN

D + SDL + L = 181672,65 kN

Kemudian dari hasil analisis ETABS didapatkan base reaction sebesar 179606,2586 kN, sehingga rasio selisih dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{181672{,}6 - 179606{,}2586}{179606{,}2586} . 100\% = 1{,}151\ \% < 5\ \%$$

Jadi dapat disimpulkan input berupa input dimensi elemen struktur dan pembebanan pada ETABS benar.

2. Kontrol Partisipasi Massa

Partisipasi massa harus memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 dimana disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Akan tetapi terdapat keterangan tambahan bahwa dizinkan untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90%.

Dari analisis ETABS didapatkan bahwa struktur telah memenuhi persyaratan partisipasi massa lebih dari 90% di arah X pada mode ke 7 dan di arah Y pada mode ke 8 sebagaimana tertera pada **Tabel 4.23**.

Tabel 4.23 Partisipasi massa

Mode	Periode (s)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,317	0,795	0,000	0,795	0,000
2	1,239	0,000	0,760	0,795	0,760
3	1,063	0,002	0,002	0,796	0,762
4	0,43	0,099	0,000	0,895	0,762
5	0,394	0,000	0,122	0,895	0,883
6	0,338	0,000	0,000	0,895	0,884
7	0,249	0,034	0,000	0,929	0,884
8	0,219	0,000	0,037	0,929	0,921
9	0,187	0,000	0,000	0,929	0,921
10	0,184	0,000	0,000	0,929	0,921
11	0,171	0,016	0,000	0,945	0,921
12	0,161	0,000	0,000	0,945	0,921
13	0,15	0,000	0,018	0,945	0,940
14	0,128	0,003	0,000	0,948	0,940
15	0,128	0,003	0,000	0,952	0,940
16	0,127	0,002	0,000	0,954	0,940
17	0,112	0,000	0,010	0,954	0,950
18	0,102	0,002	0,000	0,956	0,950
19	0,101	0,003	0,000	0,958	0,950
20	0,097	0,000	0,000	0,959	0,950

3. Kontrol Periode Fundamental Struktur

Mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 nilai periode fundamental gedung (T) dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil kali dari nilai dari batasan atas pada perioda yang dihitung (Cu) dan perioda fundamental pendekatan (Ta) seperti persamaan berikut :

$$T_a \leq T \leq C_u T_a$$

Namun berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.1.4 menyatakan apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$.

Perhitungan nilai T_a

Berdasarkan Persamaan 3-13 nilai T_a ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_a = C_t \, {h_n}^x$$

Karena tipe struktur adalah rangka beton pemikul momen maka nilai $C_t = 0{,}0466$ dan $x = 0{,}9$. Tinggi struktur adalah 42,4 m sehingga nilai T_a adalah sebagai berikut :

$$T_a = C_t \, {h_n}^x = 0{,}0466 \, . \, 42{,}4^{0{,}9} = 1{,}358 \; s$$

Perhitungan nilai $C_u T_a$

Berdasarkan tabel 3.13 nilai C_u ditentukan berdasarkan nilai S_{D1}, pada perhitungan sebelumnya nilai S_{D1} adalah 0,514 g ≥ 0,4 sehingga nilai C_u adalah 1,4 maka nilai $C_u T_a$ adalah sebagai berikut:

$$C_u T_a = 1{,}4 \, . \, 1{,}358 \; = 1{,}901 \; s$$

Pengecekan Syarat Periode Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2

Dari program bantu ETABS didapatkan nilai periode fundamental gedung diarah X adalah sebesar 1,639 detik dan di arah Y adalah 1,415 detik maka pengecekan terhadap SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 adalah sebagai berikut :

- Arah X

  $T = 1{,}317 \text{ s} \; < T_a = 1{,}358 \; s \rightarrow (Not \; OK)$

  Digunakan T = Ta = $1{,}358 \; s$
- Arah Y

  $T = 1{,}239 \text{ s} \; < T_a = 1{,}358 \; s \rightarrow (Not \; OK)$

  Digunakan T = Ta = $1{,}358 \; s$

4. Kontrol Gaya Geser Dasar

Gaya geser atau base shear harus memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 dimana disebutkan apabila gaya geser dari hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya

tersebut harus dikalikan dengan V/Vt, dimana. V adalah gaya geser dasar statik ekivalen. Berdasarkan Persamaan 3-19 perumusan gaya geser dasar adalah sebagai berikut :

$$V = C_s W$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismik, dihitung sesuai dengan Persamaan 3-14 s/d 3-18.

W = Berat seismik efektif, didapatkan dari perhitungan berat struktur

= 1 (D+SDL) + 0,3 (L)

= 100% (116044,447 kN) + 30% (47665,3113)

= 130035,675 kN

Perhitungan Nilai Koefisien Respon Seismik (C_s)

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 nilai Cs dihitung sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}66}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0{,}0825$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu melebihi nilai C_s yang dihitung sebagai berikut.

- Arah X

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}5143}{1{,}358\ \left(\frac{8}{1}\right)} = 0{,}0473$$

- Arah Y

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}5143}{1{,}358\ \left(\frac{8}{1}\right)} = 0{,}0473$$

Nilai C_s harus tidak kurang dari nilai C_s berikut.

$C_s = 0{,}0444\, S_{Ds}\, I_e = 0{,}444\,.\,0{,}66\,.\,1 = 0{,}0293 \geq 0{,}01$

Karena nilai S_1 = 0,4061 g maka Persamaan 3-18 tidak digunakan.

Maka digunakan :

Diarah X → C_S = 0,0473

Diarah Y → C_S = 0,0473

Perhitungan Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen

V adalah gaya geser dasar statik ekivalen. Berdasarkan Persamaan 3-19 gaya geser dasar diarah X dan Y dihitung sebagai berikut :

- Gempa Arah X

  $V_{Ex\,X} = C_{sx}W = 0{,}0473.146406{,}03 = 6930{,}253$ kN

  $V_{Ex\,Y} = 0{,}3\ V_{Ex\,X} = 0{,}3\,.\,6930{,}253 = 2079{,}076$ kN

- Gempa Arah Y

  $V_{Ey\,Y} = C_{sy}W = 0{,}0473\,.\ 146406{,}03 = 6930{,}253$ kN

  $V_{Ey\,X} = 0{,}3\ V_{Ex\,X} = 0{,}3\,.\,6930{,}253 = 2079{,}076$ kN

Untuk tujuan membandingkan gaya geser dasar statik ekivalen (V) struktur terisolasi dan struktur fixed based, diambil beberapa nilai R dari tiap jenis sistem rangka beton pemikul momen sesuai dengan SNI 1726:2019 tabel 12. Gaya geser fixed based yang dihitung meliputi gaya geser struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan R=8, sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dengan R=5, sistem rangka pemikul momen biasa (SPRMB) dengan R=3, dan SRMB dengan R=2 yang merupakan sistem penahan gempa pada struktur base isolation.

Dengan cara yang sama seperti perhitungan sebelumnya dapat dihitung gaya geser dasar dengan nilai R yang berbeda-beda. Rekapitulasi gaya geser dasar statik ekivalen (V) untuk tiap sistem rangka beton pemikul momen dapat dilihat pada **Tabel 4.24**.

Tabel 4.24 Gaya geser dasar statik ekivalen (V) tiap sistem rangka pemikul momen

Gaya geser	SPRMK	SPRMM	SPRMB	SPRMB
	R=8	R=5	R=3	R=2
V (kN)	6930,254	11088,41	18480,68	27721,02

Output Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Ragam (V_t)

Gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) dengan nilai R=8 yang didapatkan dari program bantu ETABS dapat dilihat pada **Tabel 4.25**.

Tabel 4.25 Gaya geser dasar (V_t) awal hasil ETABS

Load Case	FX (kN)	FY (kN)
EQX Max	5563,454	1711,62
EQY Max	1669,248	5704,71

Penskalaan

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt, dimana. V adalah gaya geser dasar statik ekivalen. Detail penskalaan gaya dapat dilihat pada **Tabel 4.26**.

Tabel 4.26 Penskalaan gaya geser (V_t)

Load Case		V_t	V	V_t/V	V/V_t
EQX Max	V_t X	5563,454	6930,254	0,803	1,246
	V_t Y	1711,62	2079,076	0,823	1,215
EQY Max	V_t X	1669,248	2079,076	0,803	1,246
	V_t Y	5704,71	6930,254	0,823	1,215

Faktor ini (V/V_t) kemudian diinputkan ke program bantu ETABS pada tiap-tiap arah. Setelah dilakukan running pada program bantu didapatkan output gaya geser dasar sebagaimana tertera pada **Tabel 4.27**.

Tabel 4.27.Gaya geser setelah diskala

Load Case		V_t	V	V/V_t
EQX Max	V_t X	6932,056	6930,254	100%
	V_t Y	2079,652	2079,076	100%
EQX Max	V_t X	2079,889	2079,076	100%
	V_t Y	6931,215	6930,254	100%

Dari Tabel 4.27 nilai gaya geser dasar statik ekivalen dan hasil analisis ragam hampir sama.

5. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat pada struktur harus memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.6. Simpangan yang terjadi dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar tingkat dihitung menggunakan perumusan berikut :

$$\Delta_{en} = \delta_{en} - \delta_{e(n-1)}$$

Dimana :

Δ_{en} = Simpangan antar lantai pada lantai n
δ_{en} = Perpindahan di lantai n
$\delta_{e(n-1)}$ = Perpindahan di bawah lantai n

Simpangan antar lantai yang diperbesar (Δ_n) harus memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin (Δ_a) sebagai berikut:

$$\Delta_n = \frac{\Delta_{en} \cdot C_d}{I_e} \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_n = Simpangan antar lantai yang diperbesar
C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral = 5,5
I_e = Faktor keutamaan gempa = 1
Δ_a = Simpangan antar lantai izin = 0,020 h_{sx}
h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat n

Kontrol simpangan antar tingkat dapat dilihat pada **Tabel 4.28** dan **Tabel 4.29**. Dari tabel tersebut kontrol simpangan antar lantai telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6.

Tabel 4.28 Kontrol simpangan antara lantai pada gempa arah X

Load Case EQX Arah X (Maksimum)								
Story	**δn (mm)**	**Δen (mm)**	**Cd**	**Ie**	**Δn (mm)**	**h_{sx} (mm)**	**Δa (mm)**	**Cek Δn ≤ Δa**
Top Atap	34,92	0,949	5,5	1	5,2195	3200	64	OK
Lantai Atap	33,971	0,86	5,5	1	4,73	3200	64	OK
11	33,111	1,31	5,5	1	7,205	3200	64	OK
10	31,801	1,772	5,5	1	9,746	3200	64	OK
9	30,029	2,207	5,5	1	12,1385	3200	64	OK
8	27,822	2,605	5,5	1	14,3275	3200	64	OK
7	25,217	2,963	5,5	1	16,2965	3200	64	OK
6	22,254	3,28	5,5	1	18,04	3200	64	OK
5	18,974	3,538	5,5	1	19,459	3200	64	OK
4	15,436	3,755	5,5	1	20,6525	3200	64	OK
3	11,681	3,906	5,5	1	21,483	3200	64	OK
2	7,775	3,948	5,5	1	21,714	3200	64	OK
1	3,827	3,827	5,5	1	21,0485	4000	80	OK
Lanta GF	0,00	0	5,5	1	0	0	0	OK

Tabel 4.29 Kontrol simpangan antara lantai pada gempa arah Y

Load Case EY Arah Y (Maksimum)								
Story	**δn (mm)**	**Δen (mm)**	**Cd**	**Ie**	**Δn (mm)**	**h_{sx} (mm)**	**Δa (mm)**	**Cek Δn ≤ Δa**
Top Atap	33,77	1,165	5,5	1	5,2195	3200	64	OK
Lantai Atap	32,605	1,433	5,5	1	4,73	3200	64	OK
11	31,172	1,798	5,5	1	7,205	3200	64	OK
10	29,374	2,163	5,5	1	9,746	3200	64	OK
9	27,211	2,49	5,5	1	12,1385	3200	64	OK
8	24,721	2,767	5,5	1	14,3275	3200	64	OK
7	21,954	2,997	5,5	1	16,2965	3200	64	OK
6	18,957	3,178	5,5	1	18,04	3200	64	OK
5	15,779	3,286	5,5	1	19,459	3200	64	OK
4	12,493	3,36	5,5	1	20,6525	3200	64	OK
3	9,133	3,36	5,5	1	21,483	3200	64	OK
2	5,773	3,174	5,5	1	21,714	3200	64	OK
1	2,599	2,599	5,5	1	21,0485	4000	80	OK
Lanta GF	0,00	0	5,5	1	0	0	0	OK

6. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 bahwa P-delta tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) yang ditentukan pada Persamaan 3-45 sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta = \frac{P_x \, \Delta \, I_e}{V_x \, h_{sx} \, C_d}$$

Dimana nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan pada Persamaan 3-49 .

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta \, C_d} \leq 0{,}25$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x
Δ = simpangan antar tingkat desain
I_e = faktor keutamaan gempa = 1
V_x = gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x & x-1
h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat
C_d = faktor pembesaran defleksi = 5,5
β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser, diizinkan diambil nilai 1

Analisis P-Delta dapat dilihat pada **Tabel 4.30** dan **Tabel 4.31**. Dari perhitungan tabel tersebut syarat P-Delta dari struktur telah terpenuhi, sehingga struktur dinyatakan stabil.

Tabel 4.30 Kontrol pengaru P-delta pada gempa arah X

Load Case EQX Arah X (Maksimum)								
Story	**h_{sx} (mm)**	**P (kN)**	**V (kN)**	**δ (mm)**	**Δ (mm)**	**θ**	**θ_{Maks}**	**Cek $\theta \leq \theta_{Max}$**
TopAtap	3200	2109,645	148,687	34,92	0,949	0,0008	0,0909	OK
Lt.Atap	3200	14698,933	902,597	33,971	0,86	0,0008	0,0909	OK
11	3200	27077,988	1629,54	33,111	1,31	0,0012	0,0909	OK
10	3200	39457,044	2292,42	31,801	1,772	0,0017	0,0909	OK
9	3200	51836,099	2893,41	30,029	2,207	0,0022	0,0909	OK
8	3200	64215,155	3434,08	27,822	2,605	0,0028	0,0909	OK
7	3200	76594,210	3915,17	25,217	2,963	0,0033	0,0909	OK
6	3200	88973,266	4336,27	22,254	3,28	0,0038	0,0909	OK
5	3200	101381,601	4696,51	18,974	3,538	0,0043	0,0909	OK
4	3200	113789,937	4993,14	15,436	3,755	0,0049	0,0909	OK
3	3200	126206,132	5221,79	11,681	3,906	0,0054	0,0909	OK
2	3200	139738,463	5394,35	7,775	3,948	0,0058	0,0909	OK
1	4000	153037,001	5478,52	3,827	3,827	0,0049	0,0909	OK
Lt. GF	0	0	0	0	0	0,0000	0,0909	OK

Tabel 4.31 Kontrol pengaru P-delta pada gempa arah Y

Load Case EQY Arah Y (Maksimum)								
Story	**h_{sx} (mm)**	**P (kN)**	**V (kN)**	**δ (mm)**	**Δ (mm)**	**θ**	**θ_{Maks}**	**Cek $\theta \leq \theta_{Max}$**
TopAtap	3200	2109,645	148,582	33,77	1,165	0,0009	0,0909	OK
Lt.Atap	3200	14698,933	929,787	32,605	1,433	0,0013	0,0909	OK
11	3200	27077,988	1667,51	31,172	1,798	0,0017	0,0909	OK
10	3200	39457,044	2326,59	29,374	2,163	0,0021	0,0909	OK
9	3200	51836,099	2913,47	27,211	2,49	0,0025	0,0909	OK
8	3200	64215,155	3433,23	24,721	2,767	0,0029	0,0909	OK
7	3200	76594,210	3889,58	21,954	2,997	0,0034	0,0909	OK
6	3200	88973,266	4284,29	18,957	3,178	0,0037	0,0909	OK
5	3200	101381,601	4618,34	15,779	3,286	0,0041	0,0909	OK
4	3200	113789,937	4890,65	12,493	3,36	0,0044	0,0909	OK
3	3200	126206,132	5097,71	9,133	3,36	0,0047	0,0909	OK
2	3200	139738,463	5248,85	5,773	3,174	0,0048	0,0909	OK
1	4000	153037,001	5318,42	2,599	2,599	0,0034	0,0909	OK
Lt. GF	0	0	0	0	0	0,0000	0,0909	OK

7. Pengecekan Ketidakberaturan Struktur

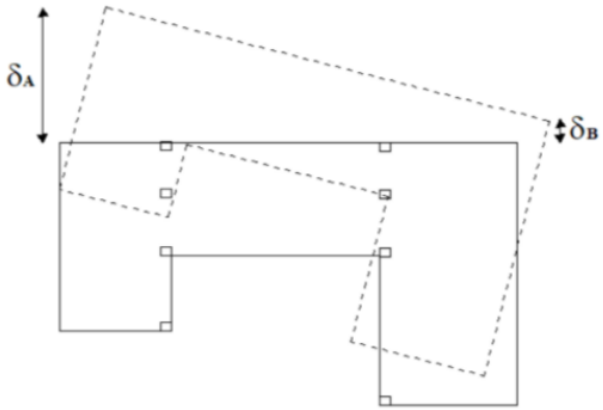
Bedasarkan pasal 7.3.2 struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam pasal ini. Klasifiasi harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur. Sebagai catatan SNI 1726:2019 pada pasal 7.3.3.1 menyebutkan bahwa untuk kategori desain seismik D, struktur tidak diperbolehkan memiliki ketidak beraturan vertikal tipe 5b. Adapun penentuan ketidakberaturan struktur adalah sebagai berikut.

A. Ketidakberaturan horizontal

Definisi ketidakberaturan struktur terdapat pada tabel 13 SNI 1726:2019. Penentuan ketidakberaturan horizontal struktur adalah sebagai berikut.

a. Pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Berikut adalah syarat pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b yang digambarkan seperti **Gambar 4.40** dengan perhitungan pada **Tabel 4.32** dan **Tabel 4.33**.



Gambar 4.40 Ketidakberaturan 1a dan 1b

Tabel 4.32 Ketidakberaturan torsi arah X

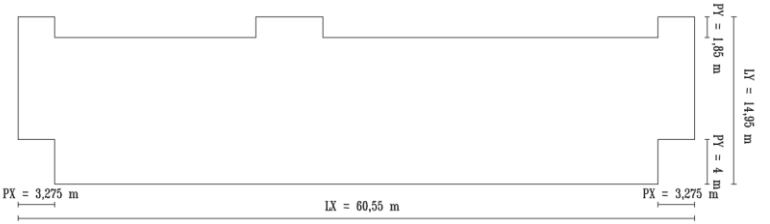
Story	Maximum Drift (mm)	Average Drift (mm)	Rasio	Cek Rasio < 1,2
Top Atap	36,216	35,325	1,025	Tanpa ketidakberaturan
Lantai Atap	34,87	34,36	1,015	Tanpa ketidakberaturan
11	33,935	33,484	1,013	Tanpa ketidakberaturan
10	32,553	32,149	1,013	Tanpa ketidakberaturan
9	30,705	30,348	1,012	Tanpa ketidakberaturan
8	28,416	28,109	1,011	Tanpa ketidakberaturan
7	25,726	25,469	1,01	Tanpa ketidakberaturan
6	22,677	22,464	1,009	Tanpa ketidakberaturan
5	19,315	19,146	1,009	Tanpa ketidakberaturan
4	15,692	15,563	1,008	Tanpa ketidakberaturan
3	11,858	11,768	1,008	Tanpa ketidakberaturan
2	7,91	7,838	1,009	Tanpa ketidakberaturan
1	3,991	3,884	1,028	Tanpa ketidakberaturan

Tabel 4.33 Ketidakberaturan torsi arah Y

Story	Maximum Drift (mm)	Average Drift (mm)	Rasio	Cek Rasio < 1,2
Top Atap	42,308	38,115	1,11	Tanpa ketidakberaturan
Lantai Atap	40,338	36,569	1,103	Tanpa ketidakberaturan
11	38,446	34,901	1,102	Tanpa ketidakberaturan
10	36,142	32,842	1,1	Tanpa ketidakberaturan
9	33,43	30,396	1,1	Tanpa ketidakberaturan
8	30,336	27,595	1,099	Tanpa ketidakberaturan
7	26,909	24,488	1,099	Tanpa ketidakberaturan
6	23,204	21,127	1,098	Tanpa ketidakberaturan
5	19,292	17,569	1,098	Tanpa ketidakberaturan
4	15,264	13,905	1,098	Tanpa ketidakberaturan
3	11,18	10,172	1,099	Tanpa ketidakberaturan
2	7,163	6,479	1,106	Tanpa ketidakberaturan
1	3,393	3,008	1,128	Tanpa ketidakberaturan

b. Pengecekan Ketidakberaturan 2 (ketidakbearturan sudut dalam)

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 13 ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.



Gambar 4.41 Dimensi sudut dalam bangunan

Sehingga pengecekan ketidakberaturan sudut dalam dapat dihitung sebagaimana pada **Tabel 4.34**.

Tabel 4.34 Perhitungan ketidakberaturan sudut dalam

Px (m)	Lx (m)	Px / Lx	Cek < 15%	Py (m)	Ly (m)	Py / Ly	Cek < 15%
6,55	60,55	10,82%	Ok	4	14,95	26,7 %	Not Ok

Walaupun disumbu Y rasio Py/Ly > 15% akan tetapi nilai rasio Px/Lx <15% sehingga struktur tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

c. Pengecekan ketidakberaturan 3 (ketidakberaturan diskontinu-itas diafragma)

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 13 ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Ketidakberaturan ini diilustrasikan pada **Gambar 4.42** berikut.

Gambar 4.42 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

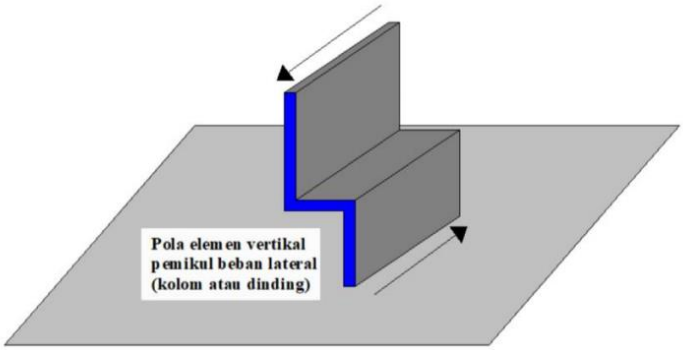
Karena denah pada tiap lantai adalah sama maka perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah sebagai berikut :

$$\frac{A_{bukaan}}{A_{total}} = \frac{76{,}83\ m^2}{790{,}22\ m^2} \times 100\% = 9{,}723\% < 50\%\ \ldots\ (OK)$$

Karena rasio luas bukaan lantai terhadap luas total lantai kurang dari 50% maka struktur tidak memiliki ketidakberaturan 3.

d. Pengecekan ketidakberaturan 4 (ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang)

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Ketidakberaturan ini diilustrasikan pada **Gambar 4.43** berikut.

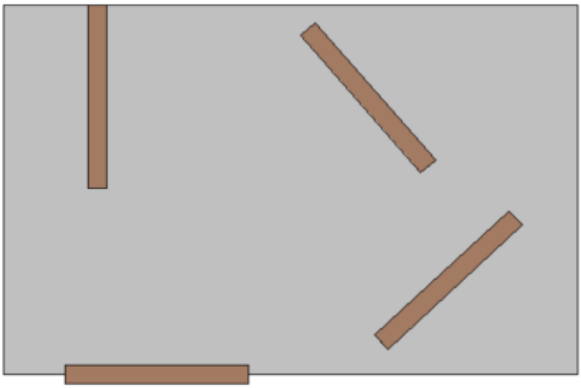


Gambar 4.43 Ketidakberaturan 4

Karena semua kolom dari lantai bawah hingga lantai atas menerus sehingga struktur tidak memiliki ketidakberaturan 4.

e. Pengecekan ketidakberaturan 5 (ketidakberaturan sistem nonparalel)

Ketidakberaturan sistem nonparalel didefninisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Ketidakberaturan ini diilustrasikan pada **Gambar 4.44** berikut.



Gambar 4.44 Ketidakberaturan 5

Karena semua kolom pada denah memiliki posisi yang tegak lurus terhadap sumbu X dan sumbu Y maka struktur dapat dikatakan tidak memiliki ketidakberaturan 5.

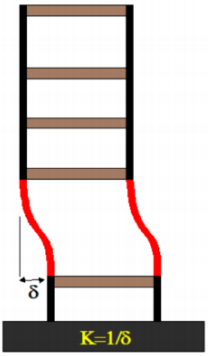
B. Ketidakberaturan vertikal

Definisi ketidakberaturan struktur terdapat pada tabel 14 SNI 1726:2019. Penentuan ketidakberaturan horizontal struktur adalah sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan 1a dan 1b

Ketidakberaturan 1a atau ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Sedangkan ketidakberaturan 1b atau ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Ketidakberaturan ini diilustrasikan pada **Gambar 4.45** dengan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b terdapat pada **Tabel 4.35.**



Gambar 4.45 Ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b

Tabel 4.35 Cek ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan (kN/m)	Cek	Kekakuan (kN/m)	Cek
Top Atap	7934,78	OK	8386,64	OK
Lantai Atap	517013	OK	452814	OK
11	706563	OK	678566	OK
10	803094	OK	817448	OK
9	863356	OK	912838	OK
8	907940	OK	988674	OK
7	947127	OK	1059620	OK
6	985465	OK	1137911	OK
5	1033744	OK	1232765	OK
4	1082482	OK	1354054	OK
3	1183938	OK	1527248	OK
2	1378181	OK	1896682	OK
1	1670058	OK	2416176	OK

b. Ketidakberaturan 2 (ketidakberaturan berat)

Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Perhitungan ketidakberaturan 2 terdapat pada **Tabel 4.36.**

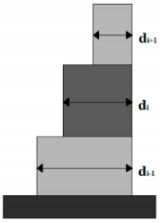
Tabel 4.36 Cek ketidakberaturan berat

Lantai	Massa(Kg)	M_{ln}/M_{ln+1}	M_{ln}/M_{ln-1}	Cek
Top Atap	157797,2	0,0%	16,5%	OK
Lantai Atap	958861,3	607,7%	95,5%	OK
11	1003621	104,7%	100,0%	OK
10	1003621	100,0%	100,0%	OK
9	1003621	100,0%	100,0%	OK
8	1003621	100,0%	100,0%	OK
7	1003621	100,0%	100,0%	OK
6	1003621	100,0%	99,9%	OK
5	1005040	100,1%	99,8%	OK
4	1006607	100,2%	99,9%	OK
3	1007408	100,1%	90,8%	OK
2	1109107	110,1%	103,8%	OK
1	1068401	96,3%	0,0%	OK

Karena pada lantai atap lebih ringan daripada lantai dibawahnya maka tabel dengan arsir berwarna kuning merupakan hal yang diizinkan. Sehingga struktur dikatakan tidak memiliki ketidakberaturan 2.

c. Ketidakberaturan 3 (ketidakberaturan geometri vertikal)

Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya. Ketidakberaturan ini diilustrasikan pada **Gambar 4.46**



Gambar 4.46 Ketidakberaturan vertikal 3

Perhitungan pengecekan ketidakberaturan 3 terdapat pada **Tabel 4.37**.

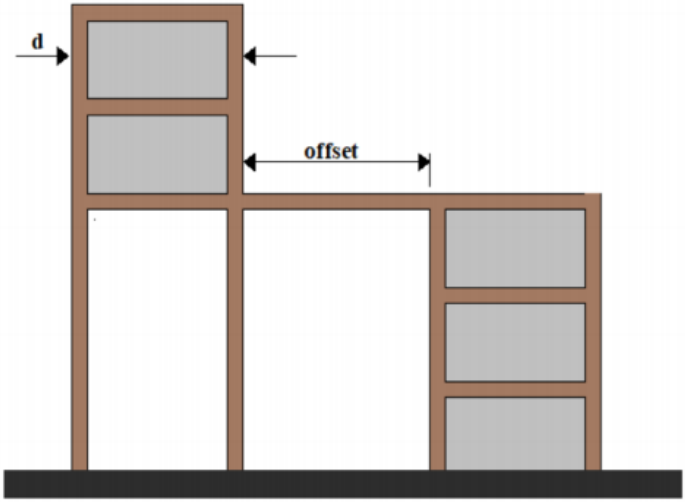
Tabel 4.37 Cek ketidakberaturan vertikal 3

Lantai	d_i (mm)	d_i/d_{i+1}	d_i/d_{i-1}	Cek
Top Atap	800	-	100%	OK
Lantai Atap	800	100%	100%	OK
11	800	100%	100%	OK
10	800	100%	100%	OK
9	800	100%	100%	OK
8	800	100%	100%	OK
7	800	100%	100%	OK
6	800	100%	100%	OK
5	800	100%	100%	OK
4	800	100%	100%	OK
3	800	100%	100%	OK
2	800	100%	100%	OK
1	800	100%	-	OK

Dari perhitungan diatas struktur dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan 3.

d. Ketidakberaturan 4 (Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral)

Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya. Ketidakberaturan ini diilus-trasikan pada **Gambar 4.47.**

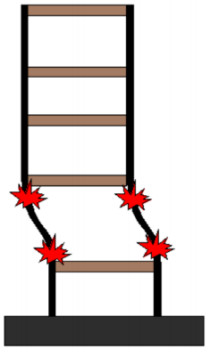


Gambar 4.47 Ketidakbertauran vertikal 4

Semua kolom dari lantai bawah hingga lantai atas adalah menerus sehingga struktur dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan 4.

e. Ketidakberaturan 5a dan 5b

Ketidakberaturn 5a atau ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. Sedangkan ketidakberaturan 5b atau ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. Ketidakberaturan ini diilustrasikan pada **Gambar 4.48.**



Gambar 4.48 Ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b

Perhitungan ketidakberaturan 5a dan 5b dapat dilihat pada **Tabel 4.38**.

Tabel 4.38 Cek ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Vex (kN)	$V_n/V_{(n+1)}$	Cek $V_n/V(n+1)<$ 65%	Vey (kN)	$V_n/V_{(n+1)}$	Cek $V_n/V(n+1)<$ 65%
Top Atap	204,682	-	OK	222,087	-	OK
Lantai Atap	1193,97	583,3%	OK	1199,54	540,1%	OK
11	2111,38	176,8%	OK	2078,42	173,3%	OK
10	2918,69	138,2%	OK	2823,85	135,9%	OK
9	3633,1	124,5%	OK	3464,28	122,7%	OK
8	4268,7	117,5%	OK	4019,51	116,0%	OK
7	4837,07	113,3%	OK	4506,77	112,1%	OK
6	5347,37	110,5%	OK	4940,17	109,6%	OK
5	5803,07	108,5%	OK	5330,69	107,9%	OK
4	6193,63	106,7%	OK	5667,35	106,3%	OK
3	6537,14	105,5%	OK	5969,61	105,3%	OK
2	6830,48	104,5%	OK	6210,65	104,0%	OK
1	6998,83	102,5%	OK	6740,55	108,5%	OK

Dari tabel diatas karena selisih gaya geser desain pada setiap lantai lebih besar dari lantai diatasnya maka struktur dikatakan tidak memliki ketidakberaturan 5a dan 5b.

4.5 Perencanaan Base Isolation Tipe Friction Pendulum

Struktur dengan *base isolation* direncanakan sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12 dan dari literatur lainnya . Prosedur analisis yang digunakan adalah analisis dinamik yaitu respon spektrum (SNI 1729:2019 pasal 12.4.2) . Adapun prosedur desain *friction pendulum* melibatkan proses iterasi, secara singkat prosedur desain *friction pendulum* adalah sebagai berikut :

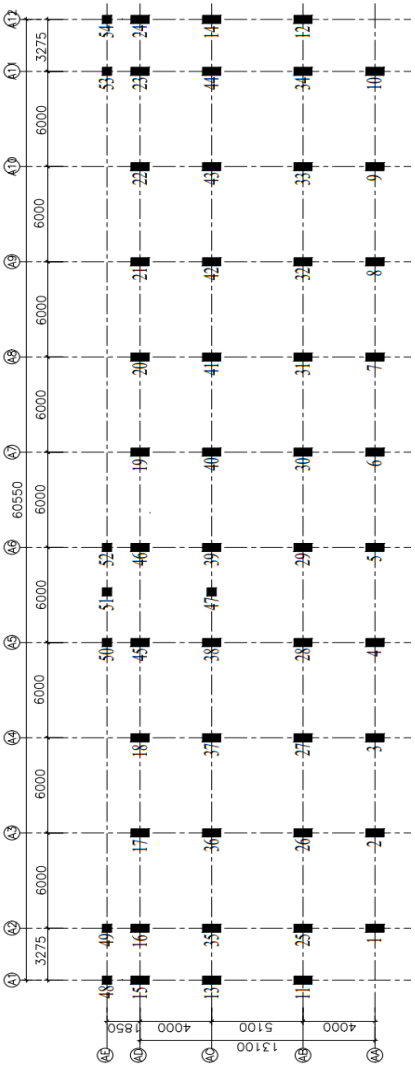
1. Posisikan isolator tepat dibawah setiap kolom, hitung beban gravitasi yang dipikul tiap isolator, dan klasifikasikan isolator berdasarkan beban tersebut.
2. Tentukan target properti sistem isiolasi seperti target rasio redaman *viscous* (β_M), target periode efektif (T_M), dan estimasi kekakuan sistem yang dibutuhkan saat perpindahan rencana maksimum (D_M) dari sistem isolator. Berdasarkan buku Design of Seismic Isolated Structure karangan Farzad Naeim dan James M.Kelly besar periode struktur terisolasi dapat dipilih diantara 2 sampai 3 detik atau nilai tersebut dapat dilihat dari brosur yang ada apabila data periode efektif disediakan.
3. Tentukan properti tiap isolator *friction pendulum* seperti :
   - Jari-jari kurvatur (R) piringan konkav FPS.
   - Nilai koefisien friksi (μ)
4. Lakukan iterasi untuk mendapatkan properti isolator yang sesuai dengan target sistem isolasi.

4.5.1 Preliminary Design Friction Pendulum

Proses preliminary dari friction pendulum adalah sebagai berikut.

1. Lokasi & pengelompokkan isolator

   Denah dan nama join pada tiap titik kolom dapat dilihat pada **Gambar 4.49**.



Gambar 4.49 Denah dan nama join pada tiap titik kolom yang akan diberi isolator

Perencanaan awal FPS dilakukan dengan menghitung beban pada masing-masing titik kolom hasil analisis struktur fixed based. Beban vertikal, $N_{Ed\ Etabs}$, yang digunakan adalah beban vertikal terbesar saat gempa yang berasal dari kombinasi beban 1,2D+L+E, dan $N_{Sd\ Etabs}$, Beban vertikal non seismik. Kemudian dilakukan pengelompokkan isolator menjadi beberapa tipe berdasarkan beban dari 2 jenis beban vertikal tersebut. Adapun pengelompokkan isolator dapat dilihat pada **Tabel 4.39**.

Tabel 4.39 Tipe FPS setiap kolom

Join	Tipe Kolom	$N_{Sd\ etabs}$ (kN)	$N_{Ed\ etabs}$ (kN)	Tipe FPS
26	K2	3516,57	5752,428	P 2
27	K2	3598,35	5899,282	P 2
28	K2	3606,46	5883,728	P 2
29	K2	3651,45	5955,591	P 2
30	K2	3665,37	5989,902	P 2
31	K2	3612,1	5925,636	P 2
32	K2	3598,5	5904,54	P 2
33	K2	3516,84	5753,1	P 2
35	K2	2819,18	5775,052	P 2
36	K2	3598,15	5856,681	P 2
37	K2	3641,79	5932,586	P 2
38	K2	3313,17	6059,276	P 2
39	K2	3307,05	5585,162	P 2
40	K2	3557,41	5628,123	P 2
41	K2	3667,1	5970,008	P 2
42	K2	3662,23	5976,77	P 2
43	K2	3598,35	5857,452	P 2
44	K2	2811,5	5969,22	P 2

Join	Tipe Kolom	$N_{Sd\ etabs}$ (kN)	$N_{Ed\ etabs}$ (kN)	Tipe FPS
1	K1	1927,99	4703,94	P 1
2	K1	2239,03	5376,525	P 1
3	K1	2324,69	5455,695	P 1
4	K1	2413,71	5534,218	P 1
5	K1	2495,36	5606,129	P 1
6	K1	2448,68	5633,973	P 1
7	K1	2419,66	5526,579	P 1
8	K1	2314,08	5531,091	P 1
9	K1	2228,82	5497,32	P 1
10	K1	1912,91	4899,281	P 1
11	K1	1740,2	4344,942	P 1
12	K1	1734,26	4344,954	P 1
13	K1	2043,81	4456,117	P 1
14	K1	2032,43	4692,47	P 1
15	K1	1507,22	3082,297	P 1
16	K1	2101,4	4050,151	P 1
17	K1	2397,03	5199,632	P 1
18	K1	2428,9	5216,282	P 1
19	K1	2475,25	4956,673	P 1
20	K1	2442,48	5381,776	P 1
21	K1	2464,82	5435,283	P 1
22	K1	2408,24	5354,488	P 1
23	K1	2111,46	4190,704	P 1
24	K1	1512,45	3142,566	P 1
25	K2	2492,33	4384,626	P 1
34	K2	2493,33	4387,932	P 1
45	K2	2221,08	3840,815	P 1
46	K2	2071,91	3434,728	P 1
47	K3	2154,67	3923,824	P 1
48	K3	882,424	3350,251	P 1
49	K3	1087,85	3636,688	P 1
50	K3	1221,07	3672,954	P 1
51	K3	1345,12	3194,769	P 1
52	K3	1145,65	3435,384	P 1
53	K3	1101,98	3968,453	P 1
54	K3	893,405	3609,669	P 1

2. Menentukan properti target sistem isolasi

Dalam merencanakan properti isolator, target sistem isolasi perlu ditentukan. Properti isolator nantinya akan diiterasi hingga properti yang direncanakan mendekati target sistem isolasi. Adapun target properti sistem yang perlu ditentukan adalah target periode struktur terisolasi (T_M) dan target rasio redaman *viscous* (β_D) saat terjadi perpindahan maksimum (D_M). Penentuan target properti sistem isolasi adalah sebagai berikut.

- Periode fundamental struktur fixed based (T_o) = 1,358 s
- Target periode fundamental struktur terisolasi (T_M)= 3,6
- Target rasio redaman *viscous* (β_M) = 25 %
- Faktor B_M

  $B_M = \left(\frac{25-20}{30-20}\right).(1{,}7-1{,}5)+1{,}5 = 1{,}6$
- Target perpindahan maksimum (D_M)

  $S_{M1} = 0{,}77$ g

  $D_M = \frac{g\,S_{M1}T_M}{4\pi^2 B_M} = \frac{9{,}81\,.\,0{,}77\,.\,3{,}6}{4\pi^2\,1{,}6} = 0{,}431\ m$
- Estimasi kekakuan sistem isolasi yang diperlukan

  Berat struktur (W) = 146406,0359 kN

  $K_{Mmin} = \left(\frac{4\pi^2}{g}\right)\frac{W}{{T_M}^2} = \left(\frac{4\pi^2}{9{,}81}\right)\frac{146406{,}0359}{3{,}6^2}$

  $= 45461{,}599\frac{kN}{m}$

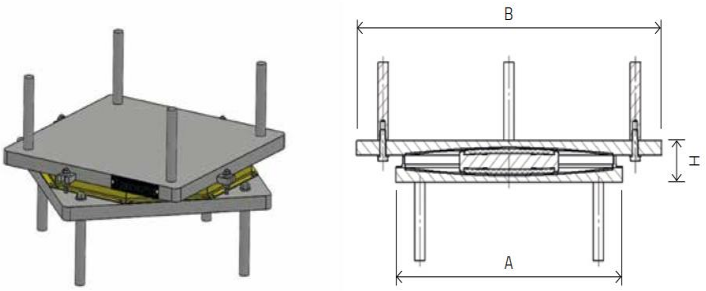
Proses perencanaan tiap isolator *friction pendulum* akan dilakukan iterasi displacement sehingga nilai displacement pada tiap isolator sama dengan dispalcement (D_M) target. Setelah iterasi dispalcement tiap isolator dilakukan akan didapatkan nilai kekuan efektif dan redaman efektif, iterasi displacement akan dilakukan hingga nilai kekuan dan redaman tiap isolator mendekati nilai kekuan dan redaman target yang telah dihitung.

4.5.2 Perencanaan Friction Pendulum

Pada perencanaan isolator *friction pendulum* digunakan spesifikasi dari brosur *MAURER Curved Surface Slider SIP-D. Friction pendulum* yang direncanakan adalah tipe *double concave*, pada brosur tersebut merupakan tipe *FIP-D Standart*. Tipe isolator pada brosur ini juga dibedakan lagi berdasarkan koefisien friksinya yaitu tipe low friction dengan nilai minimum koefisien friksi sebesar 3% (dinotasikan dengan huruf LF) dan tipe medium friction dengan nilai minimum 5,5% (dinotasikan dengan huruf HF), pada perencanaan FPS akan digunakan nilai koefisien minimum. Perencanaan isolator melibatkan proses iterasi akibat dari nilai kekauan dan nilai redaman yang dipengaruhi oleh perpindahan, sehingga proses iterasi dilakukan sampai nilai perpindahan asumsi mendekati nilai perpindahan yang ditargetkan. Tipe FPS yang dipilih harus memiliki kapasitas perpindahan yang lebih besar dari target perpindahan sistem isolasi (D_M) dan kapasitas daya dukungnya lebih besar dari beban vertikal maksimum akibat kombinasi yang menyertakan gempa. Pada perencanaan gedung ini digunakan 2 tipe FPS yaitu P1 dan P2 dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada **Tabel 4.40** dan diilustrasikan pada **Gambar 4.50**. Sebagai tambahan informasi akibat perencanaan perpindahan pada isolator, perlu disediakan ruang yang cukup untuk memfasilitasi perpindahan dari isolator. Sebagai contohnya pada perimeter bangunan dapat disediakan dinding sejarak perpindahan maksimum yang direncanakan, sehingga saat gempa terjadi bangunan dapat leluasa bergerak tanpa ada penghalang. Selain itu pada dasar bangunan, sistem utilitas harus direncanakan untuk mampu berdeformasi saat gempa terjadi yaitu dengan memasang sistem utilitas yang fleksibel.

Tabel 4.40 Spesifikasi FPS yang digunakan

Type Friction Pendulum		**Kapasitas Displacement ± =**				**500**	**mm**
		R (mm)	**N_{Sd} (kN)**	**N_{Ed} (kN)**	**A (mm)**	**B (mm)**	**H (mm)**
P 1	SIP-D-HF-325	5000	2500	8500	960	1360	210
P 2	SIP-D-HF-326	5000	4000	144000	1050	1490	240



Gambar 4.50 Skema friction pendulum SIP-D dengan 4 dowel

1. Perencanaan properti tiap isolator

Pada perencanaan isolator, proses iterasi *displacement* harus dilakukan pada setiap isolatornya untuk mendapatkan properti kekakuan dan redaman. Adapun perhitungan desain isolator *friction pendulum* adalah sebagai berikut.

a. Contoh perhitungan *friction pendulum* tipe P1 pada join 1

$N_{Sd\ Etabs}$ = 1927,99 kN $N_{Ed\ Etabs}$ = 4703,94 kN

N_{Sd} = 2500 kN N_{Ed} = 8500 kN

μ (Tipe HF) = 5,5 %

R = 5 m

D_{asumsi} = 431 mm (Displacement setelah iterasi)

- Gaya horizontal maksimum isolator (F_{max})

Gaya horizontal maksimum merupakan penjumlahan gaya gesek isolator dan gaya pemulihan dikalikan dengan perpindahan yang terjadi.

$$F_{max} = \mu \,.\, N_{Sd} + \frac{N_{Sd}}{R} \,.\, d$$

$$= 5{,}5\% \,.\, 1927{,}99 + \frac{1927{,}99}{5}\ 0{,}431$$

$$= 272{,}385 \text{ kN}$$

- Kekauan efektif dan redaman *viscous* efektif

$$K_{eff} = N_{Sd}\left(\frac{1}{R}+\frac{\mu}{d}\right)$$
$$= 1927{,}99\left(\frac{1}{5}+\frac{5{,}5\ \%}{0{,}431}\right)$$
$$= 631{,}40\frac{kN}{m}$$
$$\beta_M = \frac{2}{\pi}.\frac{1}{\frac{d}{\mu.R}+1} = \frac{2}{\pi}.\frac{1}{\frac{0{,}431}{5{,}5\%\,.\,5}+1}$$
$$= 24{,}78\ \%$$

Perlu diingat bahwa kekakuan efektif dan redaman *viscous* efektif dipengaruhi oleh perpindahan. Sehingga kekauan dan redaman final yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya merupakan nilai setelah perpindahan asumsi dan perpindahan yang ditargetkan memiliki selisih yang kecil.

- Faktor B_M

Dari redaman viscous efektif, faktor B_M dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.25. Faktor B_M dihitung dengan interpolasi sebagai berikut.

$$B_M = \left(\frac{24{,}78\ -20}{30-20}\right).(1{,}7-1{,}5)+1{,}5 = 1{,}595$$

- Periode efektif (T_e)

Periode fundamental efektif, yaitu periode yang terkait dengan kekakuan efektif, dari struktur yang diisolasi dengan *friction pendulum* dapat dihitung sebagai berikut :

$$T_e = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{R}+\frac{\mu}{d}\right)}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{5}+\frac{5{,}5\ \%}{0{,}431}\right)}} = 3{,}505\ s$$

- Periode efektif (T_M) berdasarkan SNI 1726:2019

Periode efektif struktur terisolasi saat terjadi perpindahan maksimum (T_M) dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.2 sebagaimana berikut.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M\,min}\, g}} = 2\pi \sqrt{\frac{1927{,}99}{631{,}40\,.\ 9{,}81}} = 3{,}505\ \ s$$

- Perpindahan maksimum (D_M)

Perpindahan maksimum (D_M) pada isolator dihitung sebagai berikut.

$S_{M1} = 0{,}77$ g

$$D_M = \frac{g\, S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} = \frac{9{,}81\,.0{,}77\,.3{,}505}{4\pi^2\,.1{,}595} = 0{,}431\ m$$

Proses perhitungan ini diulangi pada semua isolator tipe P1 sehingga setiap FPS tipe P1 akan memiliki kekakuan efektif dan redaman *viscous* efektif yang berbeda-beda. Untuk memodelkan 1 tipe isolator FPS pada ETABS diperlukan input nilai yang mewakili keberagaman nilai kekauan dan redaman oleh karena itu nilai tersebut akan dirata-rata. Nilai kekauan efektif dan redaman *viscous* efektif rata-rata itulah yang akan diinputkan pada permodelan struktur terisolasi di ETABS. Adapun setelah dilakukan perhitungan yang serupa pada setiap FPS tipe P1 didapatkan nilai kekauan dan redaman sebagai berikut.

K_{eff} rata-rata P1 = 648,031 kN/m

β_M = 24,78 %

b. Contoh perhitungan *friction pendulum* tipe P2 pada join 26

$N_{Sd\ Etabs}$ = 3516,568 kN $N_{Ed\ Etabs}$ = 5752,427 kN

N_{Sd} = 4000 kN N_{Ed} =14400 kN

μ (Tipe HF)= 5,5 %

R = 5 m

D_{asumsi} = 0,431 m (Displacement setelah iterasi)

- Gaya horizontal maksimum isolator (F_{max})

Gaya horizontal maksimum merupakan penjumlahan gaya gesek isolator dan gaya pemulihan dikalikan dengan perpindahan yang terjadi.

$$F_{max} = \mu \,.\, N_{Sd} + \frac{N_{Sd}}{R} \,.\, d$$
$$= 5{,}5\ \% \,.\, 3516{,}56 + \frac{3516{,}568}{5}\ 0{,}431$$
$$= 496{,}819\ \text{kN}$$

- Kekauan efektif dan redaman *viscous* efektif

$$K_{eff} = N_{Sd}\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)$$
$$= 3516{,}568\left(\frac{1}{5} + \frac{5{,}5\%}{0{,}431}\right)$$
$$= 1151{,}65\frac{kN}{m}$$

$$\beta_M = \frac{2}{\pi}.\frac{1}{\frac{d}{\mu.R} + 1} = \frac{2}{\pi}.\frac{1}{\frac{0{,}431}{5{,}5\% \,.\, 5} + 1}$$
$$= 24{,}78\ \%$$

Perlu diingat bahwa kekakuan efektif dan redaman *viscous* efektif dipengaruhi oleh perpindahan. Sehingga kekakuan dan redaman final yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya merupakan nilai setelah perpindahan asumsi dan perpindahan yang ditargetkan memiliki selisih yang kecil.

- Faktor B_M

Dari redaman viscous efektif, faktor B_M dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.25. Faktor B_M dihitung dengan interpolasi sebagai berikut.

$$B_M = \left(\frac{24{,}78 - 20}{30 - 20}\right) . (1{,}7 - 1{,}5) + 1{,}5 = 1{,}595$$

- Periode efektif (T_e)

Periode fundamental efektif, yaitu periode yang terkait dengan kekakuan efektif, dari struktur yang diisolasi dengan *friction pendulum* dapat dihitung sebagai berikut :

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)}} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{5} + \frac{5{,}5\%}{0{,}431}\right)}} = 3{,}505\ s$$

- Periode efektif (T_M) berdasarkan SNI 1726:2019

Periode efektif struktur terisolasi saat terjadi perpindahan maksimum (T_M) dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.2 sebagaimana berikut.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M\,min}\, g}} = 2\pi \sqrt{\frac{3516{,}568}{1151{,}65\ .\ 9{,}81}} = 3{,}505\ s$$

- Perpindahan maksimum (D_M)

Perpindahan maksimum (D_M) pada isolator dihitung sebagai berikut.

$$S_{M1} = 0{,}77 \text{ g}$$

$$D_M = \frac{g\, S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} = \frac{9{,}81\ .\ 0{,}77\ .\ 3{,}505}{4\pi^2\ .\ 1{,}595} = 0{,}431\ m$$

Proses perhitungan ini diulangi pada semua isolator tipe P2 sehingga setiap FPS tipe P2 akan memiliki kekakuan efektif dan redaman *viscous* efektif yang berbeda-beda. Untuk memodelkan 1 tipe isolator FPS pada ETABS diperlukan input

nilai yang mewakili keberagaman nilai kekauan dan redaman oleh karena itu nilai tersebut akan dirata-rata. Nilai kekauan efektif dan redaman *viscous* efektif rata-rata itulah yang akan diinputkan pada permodelan struktur terisolasi di ETABS. Adapun setelah dilakukan perhitungan yang serupa pada setiap FPS tipe P2 didapatkan nilai kekauan dan redaman sebagai berikut.

K_{eff} rata-rata P2 = 1141,521 kN/m

β_M = 24,78 %

c. Rekapitulasi properti isolator

Rekapitulasi properti isolator yang telah dihitung dapat dilihat pada **Tabel 4.41.** Dari properti isolator tersebut akan dihitung properti sistem isolasi untuk mengetahui apakah desain isolator mendekati target properti sistem isolasi yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 4.41 Rekapitulasi perencanaan tiap tipe FPS

Parameter	P 1	P 2
R (mm)	5000	5000
Keff (kN/m)	648,031	1141,521
β_M (%)	24,78	24,78
D_M (mm)	431	431
Jumlah Isolator (n)	36	18
Kapasitas N_{Sd} (kN)	2500	4000
Kapasitas N_{Ed} (kN)	8500	14400

2. Perhitungan properti sistem isolasi

Dari dua tipe properti isolator yang telah dihitung sebelumnya, properti tersebut akan digunakan untuk menghitung properti sistem isolasi, untuk mengetahui apakah target sistem isolasi yang direncanakan diawal tercapai. Pada tahap ini proses trial and error dilakukan hingga properti dari tiap tipe isolator menghasilkan properti sistem isolasi seperti yang ditargetkan diawal. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

- Menghitung kekauan sistem isolasi

$$K_{eff}\ sistem \quad = \Sigma\, Ki = K_{P\,1}\,.\,n_1 + K_{P\,2}\,.\,n_2$$
$$K_{eff}\ sistem \quad = 648{,}031\,.\,36 + 1141{,}521.\,18$$
$$= 43876{,}53\,\frac{kN}{m}$$

- Menghitung redaman viscous sistem isolasi

$$\beta_M\ sistem = \frac{\Sigma\, K_{P\,1}\,.\,\xi_{P\,1} + \Sigma\, K_{P\,2}\,.\,\xi_{P\,2}}{K_{eff}\ sistem}$$
$$\beta_M\ sistem = \frac{648{,}03\,.\,36\,.\,24{,}78\% + 11141{,}52.\,18.\,24{,}78\%}{43876{,}53}$$
$$= 24{,}78\ \%$$

- Menghitung faktor B_M

$$B_M = \left(\frac{24{,}78 - 20}{30 - 20}\right).\,(1{,}7 - 1{,}5) + 1{,}5 = 1{,}595$$

- Menghitung periode efektif sistem isolasi

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{eff}\ sistem\,.\,g}} = 2\pi\sqrt{\frac{146406{,}035}{43876{,}53\,.\ 9{,}81}}$$
$$= 3{,}664\ s$$

- Menghitung perpindahan maksimum sistem isolasi

$$D_M = \frac{g\ S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} = \frac{9{,}81\,.\,0{,}77\,.\ 3{,}664}{4\pi^2\,.\,1{,}595} = 0{,}440\ m$$

Nilai properti tersebut sudah mendekati nilai yang ditargetkan sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 4.42** berikut.

Tabel 4.42 Perbandingan properti sistem isolasi hasil perhitungan dan properti sistem isolasi target

Properti	Hasil Perhitungan	Target
T_M (s)	3,664	3,6
D_M (m)	0,440	0,431
Keff (kN/m)	43876,53	45461,599
β_M (%)	24,78%	25%
B_M	1,595	1,6

- Menghitung kekakuan minimum sistem isolasi ($K_{M\ Min}$)

Nilai kekakuan minimum dari sistem isolasi merupakan nilai kekakuan efektif itu sendiri sehingga nilai kekakuan minimum adalah sebagai berikut.

$K_{M\ Min} = K_{M\ eff} = 43876{,}53$ kN

- Menghitung kekakuan maksimum sistem isolasi ($K_{M\ Maks}$)

$K_{M\ Maks} = 1{,}1\ K_{M\ min} = 1{,}1\ .\ 43876{,}53$
$= 48264{,}187$ kN

- Menghitung gaya geser dasar

Perhitungan gaya geser dasar pada struktur mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 12.5.4.1 sebagai berikut.

  - Menghitung gaya geser dasar pada struktur bawah (V_b)

$V_b = K_{Maks}.\ D_M$
$V_b = 48264{,}187\ .\ 0{,}431 = 21251{,}339$ kN

  - Menghitung gaya geser dasar pada struktur atas (V_s)

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_S}{W}\right)^{(1-2{,}5\beta_M)}$$

$Berat\ efektif\ struktur, W = 146406{,}0359\ kN$
$Berat\ efektif\ struktur\ tanpa\ lantai\ dasar, W_s = 138281{,}175\ kN$

$$V_{st} = 19105{,}88 \left(\frac{138281{,}175}{146406{,}0359}\right)^{(1-2{,}5\ .\ 24{,}78\%)} = 20794{,}747\ kN$$

$$V_S = \frac{V_{st}}{R_I} = \frac{20794{,}747}{2} = 10397{,}373\ kN$$

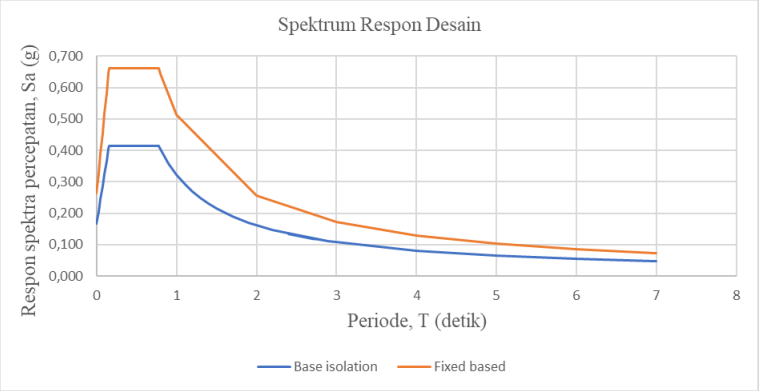
$$C_s = \frac{V_s}{W} = \frac{10397{,}373}{146406{,}035} = 0{,}071$$

4.5.3 Pembebanan Gempa Struktur Terisolasi

Pada struktur terisolasi respon spektrum pada struktur fixed based dimodifikasi dengan membagi nilai percepatan respon spektra (S_a) dengan nilai faktor redaman (B_M) sehingga apabila nilai redaman lebih besar dari 5% akan didapatkan percepatan respon spektra yang lebih kecil sebagai berikut.

Sa = S_a / B_M

Sehingga didapatkan percepatan respon spektra (S_a) grafik respon spektrum yang dapat dilihat pada **Gambar 4.51**.



Gambar 4.51 Respon spektrum *isolated structure* dan *fixed based structure*

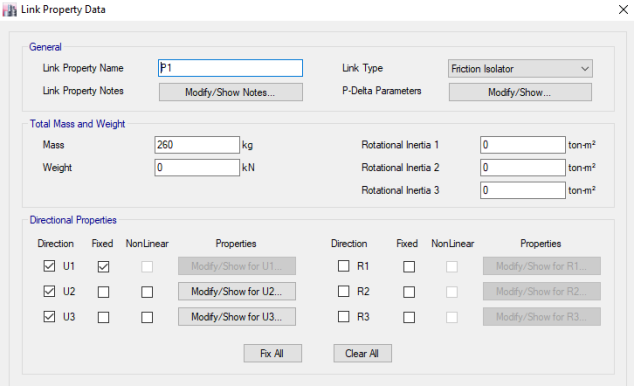
4.5.4 Permodelan Struktur dengan Base Isolator

Permodelan base isolator pada ETABS dimulai dengan mengganti perletakkan jepit pada struktur *fixed based* dengan base isolator tipe FPS. Pada ETABS *base isolator* akan dimodelkan sebagai link. Adapun langkah-langkah adalah sebagai berikut.

1. Mendefinisikan perletakkan *base isolator* tipe *Friction Pendulum*

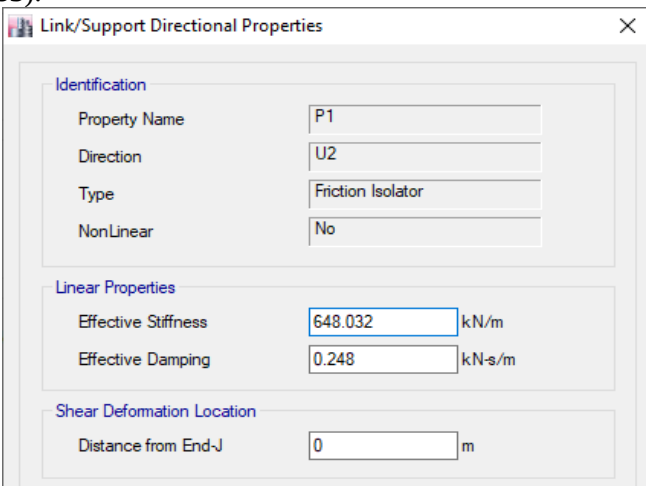
   Define > Section Properties > Link/Support Properties > Add new property.

2. Masukkan data spesifikasi base isolator base isolator yang akan digunakan yaitu FPS. Centang arah U1, U2, U3 dan pilih fixed pada arah U1. Analisis awal ini menggunakan metode linear sehingga tidak perlu mencentang non linear disetiap arahnya (**Gambar 4.52**).



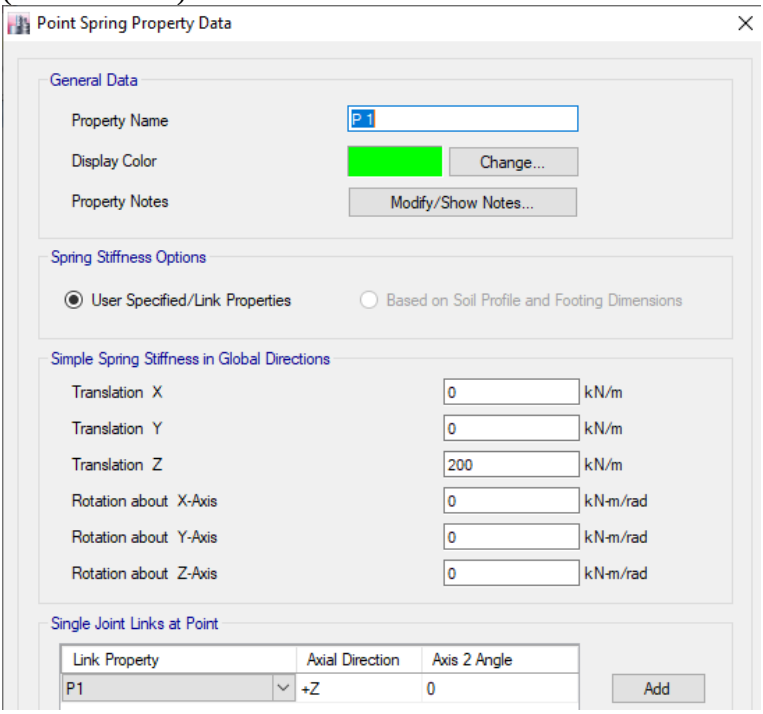
Gambar 4.52 Input directiona properti FPS

3. Klik Modify for U2 dan U3, lalu input data kekakuan efektif dan redaman efektif yang telah dihitung sebelumnya (**Gambar 4.53**).



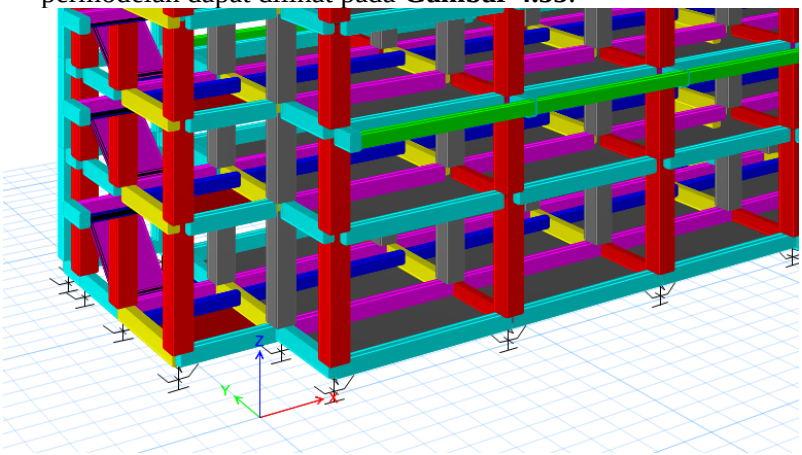
Gambar 4.53 Input kekakuan dan redaman tiap tipe FPS

4. Mendefinisikan spring
   Program ETABS tidak seperti SAP 2000 yang bisa menggambar base isolator menggunakan link secara langsung. Dalam software ETABS, drawing base isolator tidak bisa langsung menggunakan link. Oleh karena itu, diperlukan pemasangan spring untuk mewakili property dari link yang telah didefinisikan yakni P1 dan P2.
   Define > Spring Properties > Point Spring > Add new property.
5. Pilih link property yang akan direncanakan. Dalam tugas akhir ini direncanakan dua tipe spring (FPS) yaitu P 1 dan P 2 (**Gambar 4.54**).



Gambar 4.54 Input data spring

6. Klik semua perletakan yang akan dipasang FPS. Klik me menu *Assign* > *joint* > *springs* > pilih *spring*. Lalu *Run Analyze*. Hasil permodelan dapat dilihat pada **Gambar 4.55**.



Gambar 4.55 Permodelan perletakkan base isolator pada ETABS

4.6 Analisis Struktur Terisolasi dan Kontrol Desain

Analisis struktur terisolasi dilakukan dengan tujuan antara lain meninjau kestabilan dan kekuatan struktur yang dimodelkan dengan base isolator tipe *Friction Pendulum System* berdasarkan peraturan yang berlaku. Adapun proses analisis struktur meliputi pengecekan terhadap hal-hal berikut: *base reaction*, partisipasi massa, gaya geser dasar, periode fundamental struktur, *story drift*, pengaruh p-delta.

1. Kontrol partisipasi massa

Partisipasi massa harus memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 dimana disebutkan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Akan tetapi terdapat keterangan tambahan bahwa dizinkan untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90%.

Dari analisis ETABS didapatkan bahwa struktur telah memenuhi persyaratan partisipasi massa lebih dari 90% di arah X dan Y pada mode ke 2 sebagaimana tertera pada **Tabel 4.43**.

Tabel 4.43 Partisipasi massa struktur dengan *base isolation*

Mode	Periode (s)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	4,309	0,933	0,025	0,933	0,025
2	4,254	0,031	0,961	0,964	0,986
3	3,897	0,034	0,012	0,998	0,998
4	0,676	0,002	0,000	1,000	0,998
5	0,671	0,000	0,002	1,000	1,000
6	0,575	0,000	0,000	1,000	1,000
7	0,332	0,000	0,000	1,000	1,000
8	0,301	0,000	0,000	1,000	1,000
9	0,254	0,000	0,000	1,000	1,000
10	0,217	0,000	0,000	1,000	1,000
11	0,194	0,000	0,000	1,000	1,000
12	0,184	0,000	0,000	1,000	1,000
13	0,167	0,000	0,000	1,000	1,000
14	0,163	0,000	0,000	1,000	1,000
15	0,160	0,000	0,000	1,000	1,000

2. Kontrol gaya geser dasar

Gaya geser atau base shear harus memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 12.6.2.2. gaya geser lateral tidak kurang dari 100% V_s. Dari hasil analisis ETABS didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut. Gaya geser dasar (V_t) yang didapatkan dari program bantu ETABS seperti pada **Tabel 4.44**

Tabel 4.44 Gaya geser dasar struktur dengan *base isolation*

Load Case	FX (kN)	FY (kN)
EQX Max	6710,7388	2015,7878
EQY Max	2022,3292	6687,2603

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.6.4.2 nilai Vs tidak boleh diambil kurang dari 100 % batas batas yang ditetapkan sebagaimana perhitungan sebelumnya. V adalah gaya geser dasar

statik ekivalen. Detail penskalaan gaya dapat dilihat pada **Tabel 4.45**

Tabel 4.45 Penskalaan gaya geser dinamik ke gaya geser statik struktur dengan base isolation

Load Case		**V_t**	**V**	**V_t/V**	**V_t > V**
EQX Max	V_t X	6710,739	10397,37	0,645	1,549
	V_t Y	2015,788	3119,212	0,646	1,547
EQY Max	V_t X	2022,329	3119,212	0,648	1,542
	V_t Y	6687,26	10397,37	0,643	1,555

Berikut adalah gaya geser setelah dilakukaan penskalaan

Tabel 4.46 Gaya geser dinamik yang telah diskala pada struktur terisolasi

Load Case		**V_t**	**V**	**V_t/V**
EQX Max	V_t X	10399,19	10397,37	100%
	V_t Y	3119,261	3119,212	100%
EQX Max	V_t X	3119,611	3119,212	100%
	V_t Y	10398,68	10397,37	100%

3. Kontrol simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai maksimum akibat gaya lateral termasuk perpindahan akibat deformasi vertikal dari sistem isolasi tidak boleh melebihi $0{,}015h_{sx}$ jika digunakan analisis respon spektrum sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12.6.4.3. Dimana nilai Cd dari struktur terisolasi sama dengan nilai faktor R_I yaitu 3/8 dari nilai R yang diberikan pada tabel 9 SNI 1726:2019 dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2,0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1,0. Perhitungan simpangan antar tingkat pada struktur harus memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.6. Simpangan yang terjadi dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar tingkat dihitung menggunakan perumusan berikut :

$$\Delta_{en} = \delta_{en} - \delta_{e(n-1)}$$

Dimana :

Δ_{en} = Simpangan antar lantai pada lantai n

δ_{en} = Perpindahan di lantai n

$\delta_{e(n-1)}$ = Perpindahan di bawah lantai n

Simpangan antar lantai yang diperbesar (Δ_n) harus memenuhi persyaratan simpangan antar lantai izin (Δ_a) sebagai berikut:

$$\Delta_n = \frac{\Delta_{en} \cdot C_d}{I_e} \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_n = Simpangan antar lantai yang diperbesar

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral = 2

I_e = Faktor keutamaan gempa = 1

Δ_a = Simpangan antar lantai izin = 0,015h_{sx}

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat n

Kontrol simpangan antar tingkat dapat dilihat pada **Tabel 4.47** dan **Tabel 4.48**:

Tabel 4.47 Kontrol simpangan antar lantai pada gempa arah X (struktur terisolasi)

Load Case EQX Arah X (Maksimum)								
Story	**δn (mm)**	**Δen (mm)**	**Cd**	**Ie**	**Δn (mm)**	**h_{sx} (mm)**	**Δa (mm)**	**Cek Δn ≤ Δa**
Top Atap	344,802	-4,528	2	1	-9,056	3200	48	OK
Lt. Atap	349,33	0,531	2	1	1,062	3200	48	OK
11	348,799	1,425	2	1	2,85	3200	48	OK
10	347,374	1,974	2	1	3,948	3200	48	OK
9	345,4	2,532	2	1	5,064	3200	48	OK
8	342,868	3,094	2	1	6,188	3200	48	OK
7	339,774	3,656	2	1	7,312	3200	48	OK
6	336,118	4,217	2	1	8,434	3200	48	OK
5	331,901	4,765	2	1	9,53	3200	48	OK
4	327,136	5,34	2	1	10,68	3200	48	OK
3	321,796	6,358	2	1	12,716	3200	48	OK
2	315,438	6,188	2	1	12,376	3200	48	OK
1	309,25	9,576	2	1	19,152	4000	60	OK
Lt. GF	299,674	0	2	1	0	0	0	OK

Tabel 4.48 Kontrol simpangan antar lantai pada gempa arah Y (struktur terisolasi)

Load Case EY Arah Y (Maksimum)								
Story	**δn (mm)**	**Δen (mm)**	**Cd**	**Ie**	**Δn (mm)**	**h_{sx} (mm)**	**Δa (mm)**	**Cek Δn ≤ Δa**
Top Atap	345,185	2,037	2	1	4,074	3200	48	OK
Lt. Atap	343,148	1,553	2	1	3,106	3200	48	OK
11	341,595	1,978	2	1	3,956	3200	48	OK
10	339,617	2,408	2	1	4,816	3200	48	OK
9	337,209	2,833	2	1	5,666	3200	48	OK
8	334,376	3,237	2	1	6,474	3200	48	OK
7	331,139	3,626	2	1	7,252	3200	48	OK
6	327,513	4,007	2	1	8,014	3200	48	OK
5	323,506	4,346	2	1	8,692	3200	48	OK
4	319,16	4,677	2	1	9,354	3200	48	OK
3	314,483	5,245	2	1	10,49	3200	48	OK
2	309,238	5,678	2	1	11,356	3200	48	OK
1	303,56	7,621	2	1	15,242	4000	60	OK
Lt GF	295,939	0	2	1	0	0	0	OK

Dari tabel diatas kontrol simpangan antar lantai telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 dan pasal 12.6.4.3.

4. Kontrol pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 bahwa P-delta tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) yang ditentukan pada Persamaan 3-45 sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta = \frac{P_x \, \Delta \, I_e}{V_x \, h_{sx} \, C_d}$$

Dimana nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan pada Persamaan 3-49 .

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta \, C_d} \leq 0{,}25$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa = 1

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat

C_d = faktor pembesaran defleksi = 2

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser, diizinkan diambil nilai 1

Analisis P-Delta dapat dilihat pada **Tabel 4.49** dan **Tabel 4.50**

Tabel 4.49 Kontrol pengaruh P-Delta akibat gempa arah X (struktur terisolasi)

Load Case EQX Arah X (Maksimum)								
Story	**h_{sx} (mm)**	**P (kN)**	**V (kN)**	**δ (mm)**	**Δ (mm)**	**θ**	**θ_{Maks}**	**Cek $\theta \leq \theta_{Max}$**
Top Atap	3200	2109,645	148,687	344,802	-4,528	-0,010	0,250	OK
Lt. Atap	3200	14698,933	902,597	349,33	0,531	0,001	0,250	OK
11	3200	27077,988	1629,54	348,799	1,425	0,004	0,250	OK
10	3200	39457,044	2292,42	347,374	1,974	0,005	0,250	OK
9	3200	51836,099	2893,41	345,4	2,532	0,007	0,250	OK
8	3200	64215,155	3434,08	342,868	3,094	0,009	0,250	OK
7	3200	76594,210	3915,17	339,774	3,656	0,011	0,250	OK
6	3200	88973,266	4336,27	336,118	4,217	0,014	0,250	OK
5	3200	101381,601	4696,51	331,901	4,765	0,016	0,250	OK
4	3200	113789,937	4993,14	327,136	5,34	0,019	0,250	OK
3	3200	126206,132	5221,79	321,796	6,358	0,024	0,250	OK
2	3200	139738,463	5394,35	315,438	6,188	0,025	0,250	OK
1	4000	153037,001	5478,52	309,25	9,576	0,033	0,250	OK
Lt. GF	0	0	0	299,674	0	0,000	0,250	OK

.

Tabel 4.50 Kontrol pengaruh P-Delta akibat gempa arah Y (struktur terisolasi)

Load Case EQY Arah Y (Maksimum)								
Story	**h_{sx} (mm)**	**P (kN)**	**V (kN)**	**δ (mm)**	**Δ (mm)**	**θ**	**θ_{Maks}**	**Cek $\theta \leq \theta_{Max}$**
Top Atap	3200	2109,645	148,582	345,185	2,037	0,0045	0,250	OK
Lt. Atap	3200	14698,933	929,787	343,148	1,553	0,0038	0,250	OK
11	3200	27077,988	1667,51	341,595	1,978	0,0050	0,250	OK
10	3200	39457,044	2326,59	339,617	2,408	0,0064	0,250	OK
9	3200	51836,099	2913,47	337,209	2,833	0,0079	0,250	OK
8	3200	64215,155	3433,23	334,376	3,237	0,0095	0,250	OK
7	3200	76594,210	3889,58	331,139	3,626	0,0112	0,250	OK
6	3200	88973,266	4284,29	327,513	4,007	0,0130	0,250	OK
5	3200	101381,601	4618,34	323,506	4,346	0,0149	0,250	OK
4	3200	113789,937	4890,65	319,16	4,677	0,0170	0,250	OK
3	3200	126206,132	5097,71	314,483	5,245	0,0203	0,250	OK
2	3200	139738,463	5248,85	309,238	5,678	0,0236	0,250	OK
1	4000	153037,001	5318,42	303,56	7,621	0,0274	0,250	OK
Lt. GF	0	0	0	295,939	0	0,0000	0,250	OK

Dari perhitungan tabel diatas syarat P-Delta dari struktur telah terpenuhi, sehingga struktur dinyatakan stabil.

5. Kontrol simpangan friction pendulum system

Simpangan pada FPS harus dikontrol dan tidak boleh melebihi perpindahan maksimum (D_M) yang telah dihitung yaitu sebesar 0,431 m. Adapun simpangan FPS pada tiap join hasil analisis ETABS dapat dilihat pada **Tabel 4.51**.

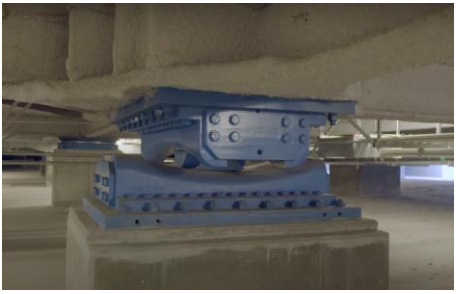
Tabel 4.51 Simpangan tiap base isolator

Join	**Tipe FPS**	**Ux $_{max}$ (mm)**	**Uy $_{max}$ (mm)**
1	P 1	315,89	344,85
2	P 1	315,89	332,45
3	P 1	315,88	320,51
4	P 1	315,86	309,09
5	P 1	315,84	298,27
6	P 1	315,84	305,97
7	P 1	315,84	326,63
8	P 1	315,85	347,81
9	P 1	315,87	369,46
10	P 1	315,86	391,49
11	P 1	305,68	351,90
12	P 1	305,72	403,77
13	P 2	294,86	352,04
14	P 2	294,98	403,93
...	...	...	...
40	P 2	295,01	305,95
41	P 2	295,03	326,62
42	P 2	295,04	347,80
43	P 2	295,02	369,45
44	P 2	294,98	391,56
45	P 1	291,60	309,09
46	P 1	291,76	298,24
47	P 1	294,97	303,17
48	P 1	289,36	352,01
49	P 1	289,39	345,00
50	P 1	290,41	309,07
51	P 1	290,42	303,18
52	P 1	290,42	298,24
53	P 1	289,57	391,66
54	P 1	289,55	403,89
Nilai maksimum		**315,89**	**403,93**

Dari tabel tersebut didapatkan nilai maksimum Ux_{max} = 315,89 mm dan Uy_{max} = 403,93 mm dimana nilai tersebut kurang dari simpangan maksimum (D_M) = 431 mm. Disimpulkan bahwa FPS mampu mengakomodasi simpangan aktual yang terjadi. Sebagai catatan nilai displacement yang beragam adalah akibat adanya rotasi pada struktur sehingga program bantu membaca displacement pada tiap FPS berbeda-beda, akan tetapi struktur tetap bergerak bersama-sama karena bagian dasar kolom terikat oleh balok.

6. Kontrol cabut pada FPS

Dari hasil ouput perletakkan ETABS didapatkan terjadi cabut akibat kombinasi envelope minimum pada kolom-kolom eksterior. Karena FPS yang direncanakan pada tugas akhir ini tidak memiliki tahanan terhadap cabut diperlukan FPS anti uplift atau yang biasa disebut FPS X-Y sebagai mana **Gambar 4.55**.



Gambar 4.55. FPS anti cabut

4.7 Perencanaan Struktur Primer

4.7.1 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan elemen struktur utama yang meneruskan beban dari struktur sekunder yaitu pelat ke kolom. Perencanaan balok induk meliputi perencanaan dimensi, tulangan lentur, tulangan transversal akibat geser dan torsi, panjang penyaluran, dan penjang lewatan. Adapun gaya dalam yang akan digunakan untuk merencanakan masing-masing tipe balok dapat dilihat pada **Tabel 4.52**.

Tabel 4.52 Gaya dalam balok maksimum balok akibat kombinasi envelope

Tipe Balok	M ult (kNm)			V ult (kN)	T ult (kNm)	N ult (kN)	
	Mu Tumpuan (-)	Mu Tumpuan (+)	Mu Lapangan (+)	V tump		Nu max	Nu min
BI1	596,935	490,508	325,27	264,2613	46,723	28,21	-22,049
BI2	405,995	349,561	195,360	290,800	24,300	9,680	-15,850
BI3	418,041	263,944	200,097	237,693	34,370	59,220	-15,397
BI4	393,248	287,155	205,466	256,687	35,382	7,557	-10,263
BI5	133,673	51,734	94,607	146,526	23,984	4,616	50,151

Sebagai contoh perhitungan direncanakan balok induk BI 1 sebagai berikut.

a. Data perencanaan

Mutu beton (Fc') = 30 MPa
Mutu tulangan (Fy) = 400 MPa
Lebar penampang (b) = 450 mm
Tinggi penampang (h) = 700 mm
Selimut beton (c) = 40 mm
Db tulangan longitudinal = 29 mm
Db tulangan sengkang = 13 mm
Tinggi efektif (d) = $h - 2.c - Db_{trans} - 0{,}5.Db_{long}$
= 632,5 mm
Panjang bentang = 6 m

$$\beta_1 = 0{,}85 - \left(\frac{Fc' - 28}{7}\right).0{,}05 \geq 0{,}65 \rightarrow \beta_1$$

$$= 0{,}85 - \left(\frac{30 - 28}{7}\right).0{,}05 = 0{,}835$$

$$\rho_{min1} = 0{,}25.\frac{\sqrt{Fc'}}{Fy} = 0{,}25.\frac{\sqrt{30}}{400} = 0{,}00342$$

$$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{Fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035 \text{ (Menentukan)}$$

$\rho_{ballance} = \left(0{,}85 \,.\, \beta_1 \,.\, \frac{Fc'}{Fy}\right) . \left(\frac{600}{600 + Fy}\right)$

$= \left(0{,}85 \,.0{,}835 \,.\, \frac{30}{400}\right) . \left(\frac{600}{600+420}\right) = 0{,}0319$

$\rho_{max1} = 0{,}75 \,.\, \rho_{ballance} = 0{,}75 \,.\, 0{,}0319 = 0{,}0239$

$m = \frac{fy}{0{,}85 . f'c} = \frac{400}{0{,}85 \,.\, 30} = 15{,}686$

b. Gaya dalam hasil analisis struktur terisolasi

Gaya aksial (P_u)	=	28,21 kN
Gaya geser (V_u)	=	264,261 kN
Torsi (T_u)	=	46,723 kNm
Momen tumpuan + (M_u)	=	490,508 kNm
Momen tumpuan - (M_u)	=	596,935 kNm
Momen lapangan +(M_u)	=	325,27 kNm

c. Cek definisi penampang lentur

- Cek Definisi Komponen Lentur
  $Syarat\ komponen\ lentur \rightarrow Pu \leq 0{,}1 \,.\, Ag \,.\, Fc$
  $Pu = 475{,}269kN \leq 0{,}1 \,.\, Ag \,.\, Fc = 0{,}1.450.700.30/10\text{^}3$
  $Pu = 475{,}269\ kN \leq 0{,}1 \,.\, Ag \,.\, Fc = 945\ kN \ldots (Ok)$
- Cek b/h
  $\frac{b}{h} \geq 0{,}3 \rightarrow \frac{b}{h} = \frac{450}{700} = 0{,}642 \geq 0{,}3 \ldots (Ok)$
- Cek tinggi efektif
  Syarat → ln (Bentang bersih) ≥ 4.d,
  apabila 4d > ln, maka balok termasuk ke dalam *Deep Beam*
  $ln(Bentang\ bersih) = Span - b\ kolom = 6000 - 600$
  $= 5400\ mm$
  $4 \,.\, d = 4 \,.\, 632{,}5 = 2530$ mm
  ln $(Bentang\ bersih) = 5400\ mm \geq 4 \,.\, d$
  $= 2530\ mm \ldots (OK)$
- Cek batasan lebar balok
  $Syarat \rightarrow 250\ mm < b \leq b\ kolom + 2\left(\frac{3}{4}h\right)$

$250\ mm < b = 450\ mm \leq b\ kolom + 2\left(\frac{3}{4}h\right) = 1650\ \text{mm}(OK)$

d. Penulangan lentur

Tulangan positif lapangan

Asumsi $\emptyset$ $= 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{325{,}27 . 10^6}{0{,}9\ .450\ .\ 632{,}5^2} = 2{,}007\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .15{,}686\ .2{,}007}{400}}\right)$$

$$= 0{,}0052$$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \rho = 0{,}0052 < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

As perlu $= \rho . bw . d = 0{,}0052\ .450\ .632{,}5$

$= 1489{,}65\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$As = 0{,}25\ .\mu\ .D^2 = 0{,}25\ .\mu\ .29^2$

$= 660{,}52\ mm^2$

Jumlah bar , $n = \frac{As\ perlu}{As}$

$$= \frac{1489{,}65}{660{,}52} = 2{,}255 \sim 3\ Buah$$

As pakai $= n\ .0{,}25\ .\mu\ .D^2 = 3\ .0{,}25\ .\mu\ .29^2$

$= 1981{,}559\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - Db_{trans} - n\ .Db_{long}}{n - 1}$$

$$= \frac{450 - 2.40 - 2.13 - 3\ .29}{3 - 1}$$

$= 128{,}5\ mm > 30\ mm \ldots$ (OK)

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

Tinggi blok tekan $(a) = \dfrac{As\ Pakai\ .Fy}{0{,}85\ .\ Fc'.\ b}$

$= \dfrac{1981{,}559.400}{0{,}85.30.450} = 69{,}073\ mm$

Tinggi sumbu netral $(c) = \dfrac{a}{\beta_1} = \dfrac{69{,}073}{0{,}835} = 82{,}652\ mm$

$\epsilon_t = 0{,}003\ .\left(\dfrac{d-c}{c}\right)$

$= 0{,}003\ .\left(\dfrac{632{,}5-82{,}652}{82{,}652}\right) = 0{,}0199$

$\epsilon_t = 0{,}0199 \geq 0{,}005$ ...

Tension Controlled, jadi tidak perlu penggantian ∅

$\emptyset\ .Mn = 0{,}9\ .As\ .Fy\ \left(d-\dfrac{a}{2}\right)$

$= \dfrac{0{,}9\ .1981{,}559\ .400\ \left(632{,}5-\dfrac{69{,}073}{2}\right)}{10^6}$

$= 426{,}563\ kNm$

$\emptyset\ .Mn = 426{,}563\ kNm \geq Mu\ = 325{,}27\ kNm\ ...(OK)$

Jadi di daerah lapangan digunakan tulangan positif longtudinal 3 D29 .

Tulangan negatif lapangan

Pada tulangan negatif lapangan digunakan tulangan dengan As ≥ As $_{\text{positif lapangan}}$ sebagai berikut.

As perlu $= 1489{,}65\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$As = 0{,}25\ .\mu\ .D^2 = 0{,}25\ .\mu\ .29^2$

$= 660{,}52\ mm^2$

Jumlah tulangan , $n = \dfrac{As\ perlu}{As}$

$= \dfrac{1489{,}65}{660{,}52} = 2{,}255 \sim 3\ Buah$

Jadi di daerah lapangan digunakan tulangan negatif longitudinal 3 D29 .

Tulangan positif tumpuan

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset . bw . d^2} = \frac{490{,}508 . 10^6}{0{,}9 . 450 \ . \ 632{,}5^2} = 3{,}027\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 15{,}686 . 3{,}027}{400}}\right)$$

$$= 0{,}008$$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \ \rho = 0{,}008 \ < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

As perlu $= \rho . bw . d = 0{,}008 \ . 450 . 632{,}5$

$= 2299{,}95\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$As = 0{,}25 . \mu . D^2 = 0{,}25 . \mu . 29^2$

$= 660{,}52\ mm^2$

Jumlah bar , $n = \frac{As\ perlu}{As}$

$$= \frac{2299{,}95}{660{,}52} = 3{,}482 \sim 4\ Buah$$

As pakai $= \ n . 0{,}25 . \mu . D^2 = \ 4 . 0{,}25 . \mu . 29^2$

$= 2642{,}079\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n . Db_{long}}{n - 1}$$

$$= \frac{450 - 2.40 - 2.13 - 4 . 29}{4 - 1}$$

$$= 76\ mm > 30\ mm$$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\ .Fy}{0{,}85\ .\ Fc'.\ b}$$
$$= \frac{2642{,}079\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 30\ .\ 450} = 92{,}098\ mm$$
$$Tinggi\ sumbu\ netral\ (c) = \frac{a}{\beta_1} = \frac{92{,}098}{0{,}835}$$
$$= 110{,}203\ mm$$
$$\epsilon_t = 0{,}003\ .\left(\frac{d-c}{c}\right)$$
$$= 0{,}003\ .\left(\frac{632{,}5 - 110{,}203}{110{,}203}\right) = 0{,}0142$$

$\epsilon_t = 0{,}0142 \geq 0{,}005$ ... Tension Controlled, jadi tidak perlu penggantian $\emptyset$

$$\emptyset\ .Mn = 0{,}9\ .As\ .Fy\ \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9\ .2642{,}079\ .400\ \left(632{,}5 - \frac{92{,}098}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 557{,}801\ kNm$$
$$\emptyset\ .Mn = 557{,}801\ kNm \geq Mu = 490{,}508\ kNm\ ...\ (OK)$$

Jadi di daerah lapangan digunakan tulangan positif longtudinal 4 D29 .

Tulangan negatif tumpuan

Asumsi $\emptyset = 0{,}9$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset.bw.d^2} = \frac{596{,}935.10^6}{0{,}9\ .500\ .\ 632{,}5^2}$$
$$= 3{,}684\ MPa$$

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

$$= \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}686\,.\,3{,}684}{400}}\right)$$

$$= 0{,}0099$$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \rho = 0{,}0099 < \rho_{max} = 0{,}0239\ (OK)$

As perlu $= \rho.\,bw.\,d = 0{,}0099\,.\,500\,.\,632{,}5$

$= 2844{,}554\ mm^2/mm$

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$As = 0{,}25\,.\,\mu\,.\,D^2 = 0{,}25\,.\,\mu\,.\,29^2$

$= 660{,}52\ mm^2$

Jumlah tulangan , $n = \frac{As\ perlu}{As} = \frac{2844{,}554}{660{,}52} = 4{,}306 \sim 5\ Buah$

As pakai $= n\,.\,0{,}25\,.\,\mu\,.\,D^2 = 5\,.\,0{,}25\,.\,\mu\,.\,29^2$

$= 3302{,}599\ mm^2$

- Cek Spasi Tulangan Longitudinal

$$S = \frac{Bw - 2.c - 2.Db_{trans} - n\,.\,Db_{long}}{n-1}$$

$$= \frac{450 - 2.40 - 2\,.\,13 - 5\,.\,29}{5-1}$$

$$= 49{,}75\ mm > 30\ mm$$

- Cek Tegangan Pada Penampang Balok

$$Tinggi\ blok\ tekan\ (a) = \frac{As\ Pakai\,.\,Fy}{0{,}85\,.\,Fc'.\,b}$$

$$= \frac{33302{,}599\ .\ 400}{0{,}85\,.\,30\,.\,450}$$

$$= 115{,}123\ mm$$

$$\text{Tinggi sumbu netral } (c) = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{115{,}123}{0{,}835}$$

$$= 137{,}754\ mm$$

$$\epsilon_t = 0{,}003 \cdot \left(\frac{d-c}{c}\right)$$
$$= 0{,}003 \cdot \left(\frac{632{,}5 - 137{,}754}{137{,}754}\right) = 0{,}0107$$

$\epsilon_t = 0{,}0107 \geq 0{,}005$ ... Tension Controlled, jadi tidak perlu penggantian $\emptyset$

$$\emptyset \cdot Mn = 0{,}9 \cdot As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= \frac{0{,}9 \cdot 33302{,}599 \cdot 400 \left(632{,}5 - \frac{115{,}123}{2}\right)}{10^6}$$
$$= 683{,}564\ kNm$$

$\emptyset \cdot Mn = 683{,}564\ \ kNm \geq Mu = 596{,}935\ \ kNm \ldots (OK)$

Jadi di daerah tumpuan digunakan tulangan positif longtudinal 5 D29.

e. Penulangan geser

Tulangan geser tumpuan

$Vu = 264{,}261\ kN$

- Cek kebutuhan tulangan geser

$Syarat \rightarrow Vu \geq 0{,}5\, Vc \ldots maka\ butuh\ tulangan\ geser$

$\emptyset = 0{,}75$

$Vc = 0{,}17 . \lambda . \sqrt{Fc} \,.\, b . d$

$= 0{,}17 . 1 . \sqrt{30} \,.450 . 632{,}5 = 265022\ N$

$Vu = 264261\ N \geq 0{,}5\ \emptyset\ Vc = 132511\ N$

$\ldots butuh\ tulangan\ geser$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset . Vc}{\emptyset} = \frac{264{,}261\ - 0{,}75 \,.\, 265{,}022}{0{,}75}$$
$$= 87{,}326\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{Fy \,.\, d} = \frac{87{,}326 \,.\, 10^3}{400 \,.\, 632{,}5} = 0{,}345 \frac{mm^2}{mm}$$

$Dipakai\ jumlah\ tulangan\ geser, n = 2$

Dipakai Db transversal = 13 mm

$Av = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 13^2$
$= 132{,}732\ mm^2$

$Spasi\ tulangan\ , S = \dfrac{n.Av}{\left(\dfrac{Av}{s}\right)} = \dfrac{2\,.\,132{,}732}{0{,}345} = 769{,}101\ mm$

Cek spasi tulangan sesuai SNI 2847:2019 pasal 25.7.2 :

- $s \leq 16\ Db\ long = 16\,.\,29 = 464\ mm$
- $s \leq 48\ Db\ trans = 48\,.\,13 = 624\ mm$
- $s \leq dimensi\ penampang\ terkecil = 500\ mm$
- $0{,}33\,.\sqrt{Fc}.b.d = 0{,}33\,.\sqrt{30}\,.\,450\,.\,632{,}5/10^3$
  = 514,455 kN

  $Vs = 87{,}3269\ kN < 0{,}33\,.\sqrt{Fc}.b.d\,..s\ maks = \dfrac{d}{2}$

  $s\ maks = \dfrac{632{,}5}{2} = 316{,}25\ mm$

  Dipakai $S = 316{,}25\ mm$

f. Penulangan torsi
Tu = 46,723 kNm

- Cek apakah perlu tulangan torsi

$Acp = b\,.\,h = 450\,.\,700 = 315000\ mm^2$

$Pcp = 2(b + h) = 2(450 + 700) = 2300\ mm$

$T_{cr} = \left(\dfrac{\sqrt{Fc}}{3}\right)\left(\dfrac{Acp^2}{Pcp}\right) = \left(\dfrac{\sqrt{30}}{3}\right)\left(\dfrac{315000^{\,2}}{2300}\right)\dfrac{1}{10^6}$
$= 78{,}765\ kNm$

$\emptyset = 0{,}75$

$\lambda = 1\ (beton\ normal)$

$\dfrac{\emptyset\,.\,Tcr}{4} = \dfrac{0{,}75\,.\,78{,}765}{4} = 14{,}768\ kNm$

$Syarat \rightarrow Tu \geq \dfrac{\emptyset\,.\,Tcr}{4}\ \ldots butuh\ tulangan\ torsi$

$Tu = 46{,}723\ \ kNm \geq \dfrac{\emptyset\,.\,Tcr}{4} = 14{,}768\ \ kNm$
$\ldots Butuh\ tulangan\ torsi$

- Hitung properti penampang

$X1 = b - 2.c - Db_{trans} = 450 - 2.40 - 13$
$= 357\ mm$
$Y1 = h - 2.c - Db_{trans} = 700 - 2.40 - 13$
$= 607\ mm$
$Aoh = X1\ .Y1 = 357\ .607 = 216699\ mm^2$
$Ao = 0{,}85\ .Aoh = 0{,}85\ .216699$
$= 184194{,}150\ mm^2$
$d = 632{,}5\ mm$
$Ph = 2(X1 + Y1) = 2(357 + 607) = 1928\ mm$

- Cek apakah penampang cukup menahan Tu

$Vu = 264{,}261\ kN$
$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc}\ .b.d$
$= 0{,}17.1.\sqrt{30}\ .450\ .632{,}5 = 265022\ N$

$Syarat \rightarrow \sqrt{\left(\frac{Vu}{bw\ .d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1{,}7\ Aoh^2}\right)^2} \leq \emptyset\left(\frac{Vc}{bw\ .d} + 0{,}66\sqrt{Fc}\right)$

$Ruas\ kiri \rightarrow = \sqrt{\left(\frac{264{,}261\ .10^3}{400\ .\ 632{,}5}\right)^2 + \left(\frac{46{,}723\ .10^6\ .1928}{1{,}7\ .216699^{\ 2}}\right)^2}$
$= 0{,}928\ MPa$
$Ruas\ kanan \rightarrow = 0{,}75\ .\left(\frac{265022}{400\ .632{,}5} + 0{,}66\sqrt{30}\right) = 3{,}410\ Mpa$

$Ruas\ kiri \leq Ruas\ kanan \ldots Penampang\ Cukup\ Besar$

- Menentukan kebutuhan tulangan torsi

$\emptyset = 0{,}75$
$Tn = \frac{Tu}{\emptyset} = \frac{46{,}723}{0{,}75} = 62{,}297\ kNm$
$Sudut\ retak\ akibat\ torsi, \theta = 45°, \cot(45) = 1$
$Kebutuhan\ tul.torsi \rightarrow \frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.Fy.\cot\theta}$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.Fy.\cot\theta} = \frac{62{,}297\ .\ 10^6}{2\ .\ 209991{,}65\ .\ 400\ .\ 1}$$
$$= 0{,}423\ mm^2/mm\ (untuk\ 1\ tulangan)$$
$$\frac{Av}{s} = 0{,}345\frac{mm^2}{mm}$$

- Total tulangan torsi + geser

$$2\ .\left(\frac{At}{s}\right) + \left(\frac{Av}{s}\right) = 2\ .\ (0{,}423) + (0{,}345) = 1{,}191\ mm^2/mm$$

- Cek luas tulangan minimum

$$0{,}062\sqrt{\mathrm{Fc}}\left(\frac{\mathrm{b_w}}{\mathrm{Fy}}\right) = 0{,}062\sqrt{30}\left(\frac{450}{400}\right) = 0{,}382\ \mathrm{mm^2/mm}$$

$$0{,}35\ .\frac{\mathrm{bw}}{\mathrm{Fy}} = 0{,}35\ .\frac{450}{400} = 0{,}394\ \mathrm{mm^2/mm}$$

Luas tulangan pakai = $1{,}191\ \mathrm{mm^2/mm}$
Dipakai jumlah tulangan geser + torsi, $\mathrm{n} = 2$
Dipakai Db transversal = 13 mm

$$\mathrm{Av} = 0{,}25\ .\ \pi\ .\ \mathrm{D^2} = 0{,}25\ .\ \pi\ .\ 13^2 = 132{,}732\ \mathrm{mm^2}$$

Spasi tulangan , $\mathrm{S} = \frac{\mathrm{n.\,Av}}{2\ .\left(\frac{\mathrm{At}}{\mathrm{s}}\right) + \left(\frac{\mathrm{Av}}{\mathrm{s}}\right)} = \frac{2\ .\ 132{,}732}{1{,}191} = 222{,}9\ \mathrm{mm}$

- Cek syarat spasi tulangan :
  - $\frac{Ph}{8} = \frac{1928}{8} = 241\ mm$
  - $s = 300\ mm$
  - $0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d = 0{,}33\ .\sqrt{30}\ .\ 450\ .\ 632{,}5/10^3$
    $= 514{,}455\ \mathrm{kN}$

    $Vs = 87{,}326\ kN < 0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d\ ..s\ maks = \frac{d}{2}$

    $s\ maks = \frac{632{,}5}{2} = 316{,}25\ mm$

Dipakai $S = 222{,}948\ mm \sim 200\ mm$
Jadi dipakai tulangan transversal torsi + geser pada daerah tumpuan yaitu 2 D13-200 mm

Desain tulangan torsi longitudinal

$$Al = \left(\frac{At}{s}\right) Ph \left(\frac{Fyt}{Fy}\right) cot^2\theta = 0{,}423 \,.\, 1928 \,.\, \frac{400}{400} \,.\, 1$$
$$= 815{,}1\ mm^2$$

- Cek Al min

$$0{,}42\sqrt{Fc}\ \frac{A_{cp}}{Fy} - \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph\ \frac{fyt}{fy} \qquad = 996{,}493\ mm^2$$

$$0{,}42\sqrt{Fc}\ \frac{A_{cp}}{Fy} - \left(\frac{0{,}175bw}{fyt}\right) Ph \frac{fyt}{fy} = 1432{,}017\ mm^2$$

- Pendistribusian tulangan ke tiap sisi balok

Dipakai Al $= 1432{,}017$ mm^2

$$\frac{\text{Al}}{3} = \frac{1432{,}017}{3} = 477{,}339 \text{ mm}^2$$

<u>Tulangan longitudinal tumpuan sisi atas</u>

Al $= 477{,}339$ mm^2

$Al + As = 477{,}339 + 2844{,}555$

$= 3321{,}894$ mm^2

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$$\text{As} = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, \text{D}^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 29^2 = 660{,}519 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bar , n} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{3321{,}894}{660{,}519}$$

$= 5{,}03 \sim 6$ Buah

<u>Tulangan longitudinal tumpuan sisi bawah</u>

Al $= 477{,}339$ mm^2

Al + As $= 477{,}339 + 2299{,}950$

$= 2777{,}290$ mm^2

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$$\text{As} = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, \text{D}^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 29^2 = 660{,}519 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah bar , n} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{2777{,}290}{660{,}519}$$

$= 4{,}20 \sim 5$ Buah

Tulangan longitudinal lapangan sisi atas dan bawah

Al $= 477{,}339\ \text{mm}^2$

Al + As $= 477{,}339 + 1489{,}651$

$= 1966{,}990\ \text{mm}^2$

Dipakai Db Longitudinal = 29 mm

$As = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 29^2 = 660{,}519\ mm^2$

Jumlah tulangan , n = $\frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{1966{,}990}{660{,}519} = 2{,}98 \sim$ 3 Buah

Penambahan tulangan longitudinal tengah

$Al = 477{,}339\ mm^2$

Dipakai Db Longitudinal = 16 mm

$\text{As} = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, \text{D}^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 16^2 = 201{,}062\ \text{mm}^2$

Jumlah tulangan , n = $\frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{477{,}339}{201{,}062} = 2{,}374 \sim$ 3 Buah

g. Panjang penyaluran tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.2 panjang penyaluran Ld untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus yang terbesar dari 300 mm dan persamaan berikut :

$$L_d = \left(\frac{F_y}{1{,}1\ \lambda \sqrt{F'c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dimana :

Ψt = 1,3 , cover >30 mm (SNI 2847:2019 tabel 25.4.2.4)

Ψe = 1 , untuk yang tidak dilapisi epoksi (SNI 2847:2019 tabel 25.4.2.4)

Ψs = 1 , untuk tulangan D22 dan yang lebih besar (SNI 2847:2019 tabel 25.4.2.4)

λ = 1, beton normal

D_b = diameter batang tulangan

C_b = jarak dari pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

= $c + D_s + 0{,}5D_b = 40 + 13 + 0{,}5 \,.\, 29 = 67{,}5$ mm

Ktr = 0

$$L_d = \left(\frac{F_y}{1{,}1\ \lambda\sqrt{F'c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

$$= \left(\frac{400}{1{,}1\ .1.\sqrt{30}} \frac{1{,}3\ .1\ .1}{\left(\frac{67{,}5 + 0}{29}\right)} \right) 29$$

$$= 1075{,}3 \sim 1200mm$$

h. Panjang penyaluran kait standar

Perencanaan panjang penyaluran kait pada balok (l_{dh}) direncanakan dalam kondisi tarik sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.4.3 sebagai berikut.

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ F_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda\ \sqrt{Fc'}} \right) d_b$$

Dimana :

Ψe = 1, tulangan tanpa epoksi (SNI 2847:2019 tabel 25.4.3.2)

Ψc = 1, selimut < 50 mm (SNI 2847:2019 tabel 25.4.3.2)

Ψr = 1,faktor tulangan pengekang (SNI 2847:2019 tabel 25.4.3.2)

λ = 1, beton normal

D_b = diameter batang tulangan

Perhitungan panjang penyaluran kait standar adalah sebagai berikut.

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ F_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda\ \sqrt{Fc'}} \right) d_b$$

$$= \left(\frac{0{,}24\ .400\ .1\ .1.1}{1\ \sqrt{30}} \right) 29 = 508{,}286\ mm\ (menentukan)$$

$$l_{dh} = 8\ \text{db} = 8\ .29\ =\ 232\ \text{mm}$$

l_{dh} =150 mm

$l_{dh} pakai = 508{,}286\ mm \sim 550\ mm$

i. Perencanaan sambungan lewatan

Perhitungan sambungan lewatan sesaui dengan SNI 2847:2019 pasal 25.5.2 pada tabel 25.5.2.1. Sambungan lewatan pada balok direncanakan dalam kondisi tarik dengan perhitunga sebagai berikut.

Panjang sambungan lewatan diambil yang terbesar dari :

- $l_{st} = 1{,}3\ ld = 1{,}3\ ld = 1{,}3\ .1200$
  $= 1560\ mm \sim 1600\ mm\ (menentukan)$
- $l_{st} = 300\ mm$

Spasi pada sambungan lewatan harus sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.3 sebagai berikut.

- $s = \frac{d}{4} = \frac{532{,}5}{4} = 133{,}125\ mm$
- $s = 100\ mm$ (menentukan)

Jadi dipakai panjang sambungan lewatan 1600 mm dengan 2D13-100 mm

Rekapitulasi perencanaan penulangan seluruh balok induk dapat dilihat pada **Tabel 4.53** dan **Tabel 4.54.**

Tabel 4.53 Rekapitulasi perencanaan penulangan balok induk

Tipe Balok Induk	bxh (cm)	Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Tul. Tengah	Sengkang
		atas	bawah	atas	bawah		
BI1	45x70	6D29	5D29	3D29	3D29	4D16	2D13-200
BI2	40x60	5D29	4D29	3D29	3D29	2D16	2D13-150
BI3	40x60	5D29	3D29	3D29	3D29	2D16	2D13-150
BI4	40x60	4D29	3D29	3D29	3D29	2D16	2D13-150
BI5	30x50	3D25	2D25	2D25	2D25	2D16	2D13-150

Tabel 4.54 Rekapitulasi perencanaan panjang penyaluran dan panjang lewatan balok

Tipe Balok Induk	**Panjang Penyaluran (mm)**	**Panjang pengangkuran (mm)**	**Sambungan lewatan**	
			Panjang (mm)	**Sengkang**
BI1	1200	550	1600	2D13-100
BI2	1200	550	1600	2D13-100
BI3	1200	550	1600	2D13-100
BI4	1200	550	1600	2D13-100
BI5	1200	550	1600	2D13-100

4.7.2 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan elemen struktur utama yang meneruskan beban lantai struktur sekunder dari balok induk menuju kolom dibawahnya hingga ke pondasi. Pada tugas akhir ini akan direncanakan 9 tipe kolom seperti pada **Tabel 4.55** berikut. Dimensi tiap jenis kolom dibuat sama dengan penulangan yang berbeda.

Tabel 4.55 Jenis dan dimensi kolom

Jenis Kolom	Tipe Kolom	Lantai	h (mm)	bxh (cm)
K1	A	1 s/d 5	4000	60x80
	B	6 s/d 9	3200	60x80
	C	10 s/d atap	3200	60x80
K2	A	1 s/d 5	4000	60x80
	B	6 s/d 9	3200	60x80
	C	10 s/d atap	3200	60x80
K3	A	1 s/d 5	4000	60x60
	B	6 s/d 9	3200	50x50
	C	10 s/d atap	3200	50x50

Berikut adalah contoh perencanaan kolom Rumah Susun Pasar Rebo. Kolom yang dihitung adalah kolom tipe K1A dengan dimensi 600/800 mm

a. Data perencanaan

Mutu beton (Fc') = 35 MPa
Mutu tulangan (Fy) = 400 MPa
Lebar penampang (b) = 600 mm
Tinggi penampang (h) = 800 mm
Selimut beton (c) = 40 mm
Db tulangan longitudinal = 29 mm
Db tulangan sengkang = 13 mm
Tinggi efektif arah x (d_x) $= b - 2.c - Db_{trans} - 0{,}5.Db_{long}$
= 532,55 mm

Tinggi efektif arah x (d_y) $= h - 2.c - Db_{trans} - 0{,}5.Db_{long}$
$= 732{,}55$ mm
Tinggi kolom $= 4{,}2$ m

b. Gaya dalam hasil analisis struktur terisolasi

Gaya aksial (P_u)	=	5633,9733	kN
Momen arah x ($M_{ux} = M_2$)	=	715,7691	kNm
Momen arah y ($M_{uy} = M_3$)	=	1164,041	kNm
Gaya geser arah x ($V_{ux} = V_3$)	=	329,9864	kN
Gaya geser arah y ($V_{uy} = V_2$)	=	635,1468	kN
Torsi (T_u)	=	16,1386	kNm

c. Kontrol batasan dimensi

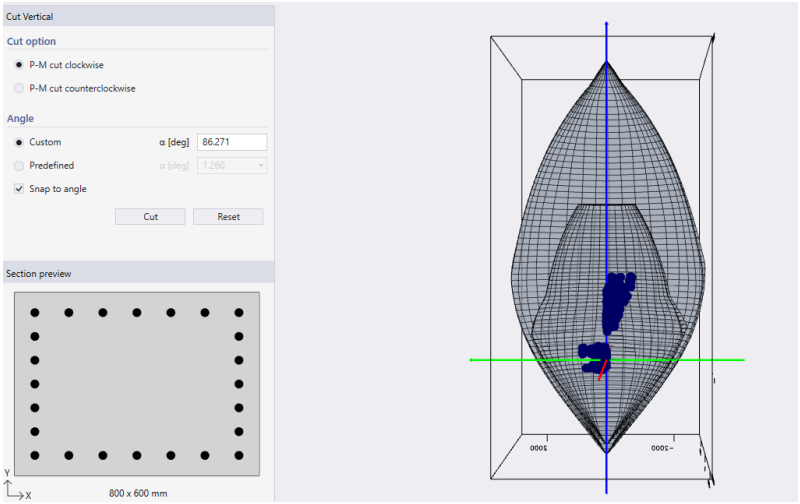
Dimensi kolom harus harus memenuhi batasan dimensi sebagaimana tertera pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.2 sebagai berikut :

- Dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm
  b = 600 mm ≥ 300 mm dan h = 800 mm ≥ 300 mm (OK)
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4

$$\frac{b}{h} = \frac{600}{800} = 0{,}75 \geq 0{,}4\ (OK)$$

d. Perencanaan tulangan longitudinal

Tulangan longitudinal kolom direncanakan dengan program bantu SPColumn. Dalam SPColumn dengan menginputkan beban terfaktor hasil analisis ETABS yaitu beban aksial (P), momen di arah x ($M_{ux} = M_3$) dan momen diarah y ($M_{uy} = M_2$) akan didapatkan jumlah tulangan longitudinal yang dibutuhkan. Dari hasil *trial error* untuk kolom tipe K1A dengan program SPColumn didapatkan tulangan longitudinal 24D29 dengan rasio tulangan 3,3% sebagaimana terdapat pada **Gambar 4.56**.



Gambar 4.56 Diagram interaksi aksial dan momen pada kolom tipe K1A

e. Kontrol batasan tulangan longitudinal

Luas tulangan longitudinal (A_{st}) harus memenuhi SNI 2847:2019 pasal 10.6.1 dimana luas tulangan harus sekurang-kurangnya $0{,}01A_g$ namun tidak boleh melebihi $0{,}08\ A_g$.

$A_s = 0{,}25\ \pi\ D^2 = 0{,}25\ .\pi\ .29^2 = 660{,}519\ mm^2$

$A_{st} = n\ .A_s = 24\ .660{,}519\ =\ 15852{,}48\ mm^2$

$0{,}01\ A_g = 0{,}01\ .\ 480000 = 4800\ mm^2$

$0{,}08\ A_g = 0{,}08\ .\ 480000 = 38400\ mm^2$

Maka $0{,}01A_g < A_{st} < 0{,}08\ A_g$ (OK)

f. Kontrol spasi antar tulangan

Spasi antar tulangan harus memenuhi SNI 2847:2019 pasal 25.2.1 dimana untuk tulangan yang sejajar pada suat lapisan horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari d_b dan 25 mm.

$$S = \frac{Bw - 2.c - Db_{trans} - n.Db_{long}}{n-1}$$

$$S_x = \frac{600 - 2.40 - 13 - 7.29}{7-1} = 48{,}5\ mm \geq 25\ mm$$

$$S_y = \frac{800 - 2.40 - 13 - 7.29}{7-1} = 81{,}83\ mm \geq 25\ mm$$

g. Kontrol kapasitas beban aksial kolom

SNI 2847:2019 pasal 22.4.2 menetapkan besarnya beban kapasitas kolom yang harus dikontrol terhadap beban aksial terfaktor hasil analisis struktur. Perhitungan kapasitas kolom dan kontrolnya adalah sebagai berikut :

$$\emptyset P_{n\,max} = \emptyset\ 0{,}8\ (0{,}85\ .F'_c\ (A_g - A_{st}) + F_y\ .A_{st}$$
$$= 10477677\ N = 10477{,}677\ kN \geq 5633{,}973\ kN\ (OK)$$

h. Perencanaan tulangan geser

$Vuy = 635{,}147\ kN$

- Cek kebutuhan tulangan geser

$Syarat \rightarrow Vu \geq 0{,}5\ Vc \ldots maka\ butuh\ tulangan\ geser$

$\emptyset = 0{,}75$

$Vc = 0{,}17.\lambda.\sqrt{Fc}\ .b.d$

$= 0{,}17.1.\sqrt{35}\ .600\ .732{,}5$

$= 442020\ N$

$Vu = 635147\ N \geq 0{,}5\ \emptyset\ Vc = 221010\ N$

$\ldots butuh\ tulangan\ geser$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset.Vc}{\emptyset}$$

$$= \frac{635{,}147\ - 0{,}75\ .442{,}020}{0{,}75} = 404{,}84\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{Fy\ .d} = \frac{404{,}842\ .10^3}{400\ .732{,}5} = 1{,}38\ mm^2/mm$$

Cek luas tulangan minimum

$$0{,}062\sqrt{Fc}\left(\frac{b_w}{Fy}\right) = 0{,}062\sqrt{35}\left(\frac{600}{400}\right) = 0{,}550\ mm^2/mm$$

$$0{,}35\ .\frac{bw}{Fy} = 0{,}35\ .\frac{600}{400} = 0{,}525\ mm^2/mm$$

Luas tulangan pakai = $1{,}382\ \text{mm}^2/\text{mm}$
Dipakai jumlah tulangan geser, $\text{n} = 4$
Dipakai Db transversal = 13 mm
$\text{Av} = 0{,}25\ .\ \pi\ .\ \text{D}^2 = 0{,}25\ .\ \pi\ .\ 13^2 = 132{,}732\ \text{mm}^2$

Spasi tulangan , $\text{S} = \dfrac{\text{n. Av}}{\left(\dfrac{\text{Av}}{\text{s}}\right)} = \dfrac{4\ .\ 132{,}732}{1{,}382} = 384{,}254\ \text{mm}$

Cek spasi tulangan sesuai SNI 2847:2019 pasal 25.7.2 :

- $s \leq 16\ Db\ long = 16\ .\ 29 = 464\ mm$
- $s \leq 48\ Db\ trans = 48\ .\ 13 = 624\ mm$
- $s \leq dimensi\ penampang\ terkecil = 600\ mm$
- $0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d = 0{,}33\ .\sqrt{35}\ .\ 600\ .\ 732{,}5/10^3$
  $= 858{,}039\ kN$
  $Vs = 404{,}842\ kN < 0{,}33\ .\sqrt{Fc}.b.d$
  $s\ maks = \dfrac{d}{2}$
  $s\ maks = \dfrac{732{,}5}{2} = 366{,}25\ mm$

Dipakai $S = 366{,}25\ mm \sim 250\ mm$
Digunakan tulangan sengkang 4D13-250.

Cek syarat sengkang ikat kolom

Sengkang ikat kolom direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2 dengan jarak kaki tulangan transversal atau ikat silang maksimum yaitu 350 mm sehingga kebutuhan ikat silang dihitung sebagai berikut :

Diameter sengkang, Dbt = 13 mm
Jumlah kaki pakai, n = 2
Dimensi arah x kolom , h1 = 600 mm
Dimensi arah y kolom , h2 = 800 mm

Arah x
Cek jarak sengkang ikat = 155 mm (dari autocad)
= 155 mm < 350 mm (ok)
Sehingga diarah x digunakan sengkang 4D13-250.
Arah y
Cek jarak sengkang ikat = 221 mm (dari autocad)
= 221 mm > 350 mm (ok)
Sehingga diarah y digunakan sengkang 4D13-250.

i. Perencanaan tulangan torsi
Tu = 16,138 kNm
- Cek apakah perlu tulangan torsi

$Acp = b \,.\, h = 600 \,.\, 800 = 480000 \text{ mm}^2$

$Pcp = 2(b + h) = 2(600 + 800) = 2800 \text{ mm}$

$T_{cr} = \left(\frac{\sqrt{Fc}}{3}\right)\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right) = \left(\frac{\sqrt{35}}{3}\right)\left(\frac{480000^2}{2800}\right)\frac{1}{10^6}$

$= 162{,}269 \text{ kNm}$

$\emptyset = 0{,}75$

$\lambda = 1$ (beton normal)

$\frac{\emptyset \,.\, Tcr}{4} = \frac{0{,}75 \,.\, 162{,}269}{4}$

$= 30{,}425 \; kNm$

$Syarat \rightarrow Tu \geq \frac{\emptyset \,.\, Tcr}{4} \; \ldots butuh \; tulangan \; torsi$

$Tu = 16{,}138 \; kNm < \frac{\emptyset \,.\, Tcr}{4}$

$= 30{,}425 \; kNm \ldots Tidak$ butuh tulangan torsi

j. Perencanaan sambungan lewatan
Sambungan lewatan kolom direncanakan dalam kondisi tarik. Digunakan tipe sambungan kelas B (SNI 2847:2019 pasal 25.4.2). Panjang minimum sambungan lewatan untuk kelas B diihitung sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.4.2 yaitu sebesar 1,3 l_d dan tidak kurang dari 300 mm. Perhitungan sambungan lewatan adalah sebagai berikut :

$$L_d = \left(\frac{F_y}{1{,}1\ \lambda\sqrt{F'c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

Dimana :

Ψt = 1,3 , cover >30 mm (SNI 2847:2019 tabel 25.4.2.4)
Ψe = 1 , untuk yang tidak dilapisi epoksi (SNI 2847:2019 tabel 25.4.2.4)
Ψs = 1 , untuk tulangan D22 dan yang lebih besar (SNI 2847:2019 tabel 25.4.2.4)
λ = 1, beton normal
D_b = diameter batang tulangan
C_b = jarak dari pusat tulangan ke permukaan beton terdekat
= $c + D_s + 0{,}5D_b = 40 + 13 + 0{,}5 \cdot 32 = 69$ mm
Ktr = Indek tulangan transversal = 0 (SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.3)

$$L_d = \left(\frac{F_y}{1{,}1\ \lambda\sqrt{F'c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

$$= \left(\frac{400}{1{,}1 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \frac{1{,}3 \cdot 1 \cdot 1}{\left(\frac{67{,}5 + 0}{29}\right)} \right) 29 = 995{,}563$$

$1{,}3\ L_d = 995{,}563 \cdot 1{,}3 = 1294{,}23 \sim 1300\ mm > 300\ mm$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.3 sambungan lewatan diizinkan jika sengkang pengekang dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi dari d/4 dan 100 mm, sebagaimana perhitungan berikut :

$s = \frac{d}{4} = \frac{732{,}5}{4} = 183{,}125\ mm > 100\ mm$,

$s\ pakai\ =\ 100\ mm$

Maka digunakan jarak spasi sengkang 100 mm dengan tulangan 2D13.

k. Rekapitulasi perhitungan tulangan kolom

Hasil perhitungan tulangan longitudinal dan tulangan transversal kolom dapat dilihat pada **Tabel 4.56**.

Tabel 4.56 Rekapitulasi perencanaan penulangan kolom

Kode	bxh (cm)	Tulangan longitudinal	Tulangan transversal	Sambungan lewatan	
				Panjang (mm)	Sengkang
K1A	60x80	24D29	4D13-250	1300	4D13-100
K1B	60x80	20D25	4D13-250	1000	4D13-100
K1C	60x80	12D25	4D13-250	1000	4D13-100
K2A	60x80	24D29	4D13-250	1300	4D13-100
K2B	60x80	20D25	4D13-250	1000	4D13-100
K2C	60x80	12D25	4D13-250	1000	4D13-100
K3A	60x60	20D29	3D13-200	1300	3D13-100
K3B	50x50	12D25	3D13-200	1000	3D13-100
K3C	50x50	8D25	3D13-200	1000	3D13-100

4.7.3 Perencanaan Sambungan Base Isolator

Untuk menghubungkan *base isolator* dengan kolom pedestal ataupun kolom struktur atas digunakan sambungan dengan *base plate*. Perencanaan *base plate* adalah sebagai berikut.

Dari hasil output ETABS didapatkan gaya yang bekerja pada kolom pedestal adalah sebagai berikut:

Pu = 7697,146 kN

V_{ux} = 680,243 kN V_{uy} = 871,965 kN

M_{ux} = 220,146 kNm M_{uy} = 171,856 kNm

a. Perencanaan base plate

Dimensi kolom pedesatal :

B_p = 1200 mm H = 1200 mm

Direncanakan dimensi *base plate* :

B = 1100 mm N = 1100 mm

Cek eksentrisitas

$e = \frac{M_u\,max}{P_u} = \frac{220,146}{7697,146}$ = 0,0286 m = 2,86 cm

1/6h = 1/6 . 110 = 18,33 cm > e = 2,86 cm (Eksentrisitas kecil)

Karena termasuk eksentrisitas kecil, tidak terjadi tarik pada base plate sehingga cukup digunakan baut angkur praktis.

Cek tegangan desain bantalan maksimum

Perumusan untuk menghitung tegangan maksimum yang dapat diterima base plate adalah sebagai berikut .

$$Fp = 0,85\ \varphi_c\ Fc' \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$$

$$Fp = 0,85.0,6.30\sqrt{\frac{1200\,.\,1200}{1100.1100}} = 16,69\ MPa$$

Tegangan yang terjadi pada bantalan dihitung sebagai berikut.

$$f_{1,2} = \frac{P}{B.N} \pm \frac{M\,c}{I}$$

$$f_1 = \frac{7697,146\,.\,10^3}{1100.1100} + \frac{220,146.10^6\ \frac{1}{2}.1100}{1/12\,BN^3} = 7,353\ Mpa$$

$f_2 = \frac{7697{,}146 \,.\, 10^3}{1100.1100} - \frac{220{,}146.\, 10^6 \,\frac{1}{2}.1100}{1/12\, BN^3} = 5{,}368\ Mpa$

Sehingga $f_{max} = 7{,}353\ MPa < Fp = 16{,}69\ MPa\ (OK)$

Menghitung tebal pelat

m $= \frac{N-0{,}95d}{2} = \frac{1100-0{,}9.1050}{2} = 77{,}5$ mm

n $= \frac{B-0{,}95d}{2} = \frac{1100-0{,}9.1050}{2} = 77{,}5$ mm

$M_{plu} = \frac{1}{2} f_1 m^2 B = \frac{1}{2}.7{,}353.77{,}5^2.1100 = 24292396{,}49\ Nmm$

$t_p = \sqrt{\frac{4\ M_{plu}}{0{,}9\ B\ Fy}} = \sqrt{\frac{4\,.\,24292396{,}49}{0{,}9\,.\,1100\,.\,240}} = 20{,}222\ mm \sim 2{,}5\ mm$

Sehingga digunakan base plate dengan ketebalan 2,5 cm

b. Perencanaan baut angkur

Direncanakan baut dengan properti sebagai berikut.

$\emptyset baut$ = M30 (Ab = 7,07 cm^2)

Mutu baut F1554 grade 105 (fu^b = 7379,714 kg/cm^2)

Kekuatan geser baut

ØRn = Ø fu^b m Ab = 0,75 . 7379,714 . 1. 7,07

= 39123,096 kg

Kekuatan tumpu baut

Lc = 5-0,5(3+0,2) = 3,4 cm

Rn = 1,2 . Lc . t . Fu ≤ 2,4 . d . t . Fu

= 1,2 . 3,4 . 2,5 .3700 ≤ 2,4 . 3 . 2,5 . 3700

= 37740 kg < 66600 kg (OK)

ØRn = 0,75 . 37740 = 28305 kg

ØRn tumpu = 28305 kg (Menentukan) < ØRn geser = 39123 kg

Dipakai jumlah baut, n = 8

$\frac{V_u}{n} = \frac{871{,}965\,.100}{8} = 10899{,}5625$ kg

ØRn = 28305kg > $\frac{V_u}{n}$ = 10899,5625 kg (OK)

Kekuatan rencana tarik

Td = Ø . 0,75 . fub . Ab

= 0,75 . 0,75 . 7379,714 . 7,07 = 21799,12 kg

Dipasang 8 baut angkur Ø30 mm mutu F1554 untuk menjaga stabilitas struktur.

Panjang baut angkur

L_{db} = 0,06 . d. Fy = 0,06 . 30 . 250 = 450 mm

Maka digunakan panjang angkur 450 mm.

4.8 Verifikasi kapasitas FPS dengan analisis nonlinear *time history*

Untuk mengecek kapasitas dari Friction Pendulum, histeresis loop dari gempa yang terjadi harus berada didalam kapasitas histeresis dari isolator. Histeresis loop akibat gempa pada tiap isolator bisa didapatkan dengan analisis nonlinear time history. Digunakan 7 rekaman gempa yang diskalakan terhadap respon spektrum kota Jakarta Timur sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 4.57** berikut.

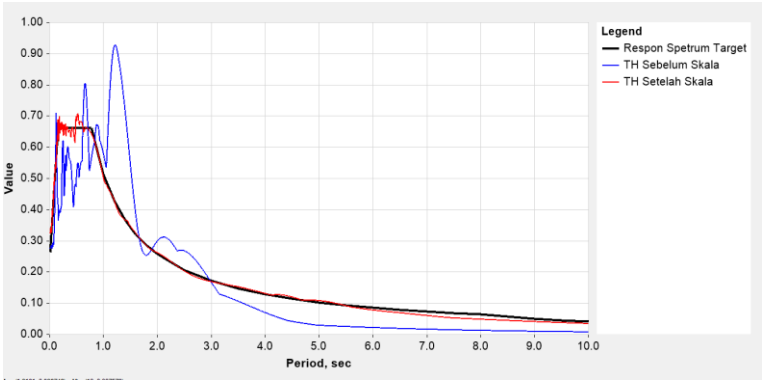
Tabel 4.57 Rekaman Gempa

No	Rekaman Gempa	Magnitude (sr)	PGA (g)
1	Kobe (1995)	6,90	0,4520
2	Imperial Valley (1938)	6,95	0,1781
3	Kern County (1952)	7,36	0,1108
4	Landers (1992)	7,28	0,8233
5	Chi-Chi Taiwan (1999)	7,62	0,7302
6	El Alamo (1996)	6,28	0,0144
7	Helena,Montana (1935)	6,00	0,0991

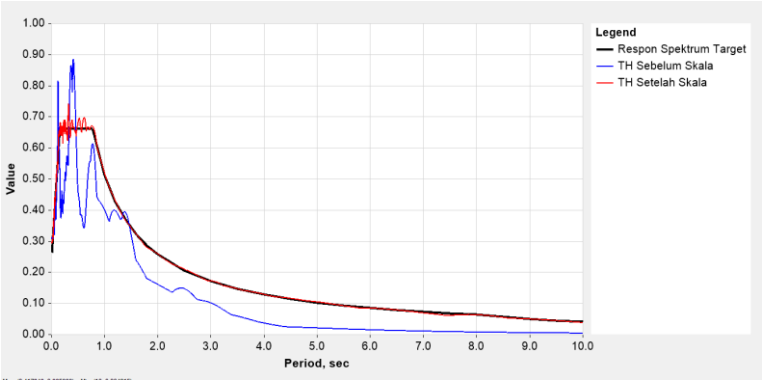
4.8.1. Penskalaan 7 rekaman gempa

Penskalaan rekaman gempa dilakukan dengan program bantu ETABS dengan metode *Spectral matching in time domain*. Adapun penskalaan dari tiap gempa tersebut terhadap respon spektrum kota Jakarta Timur dapat dilihat pada **Gambar 4.57 – Gambar 4.70.**

- Kobe 1995

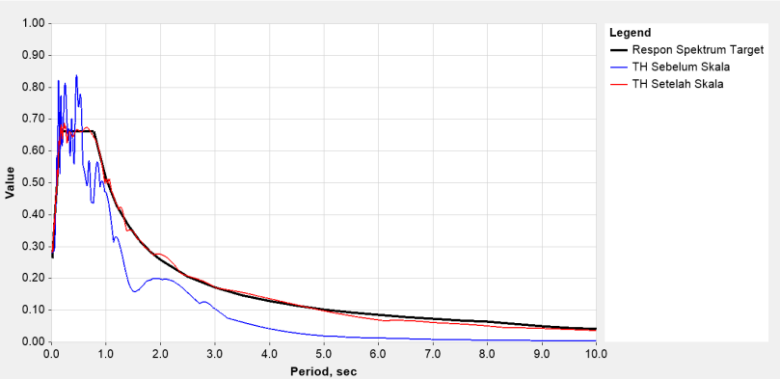


Gambar 4.57 Penskalaan gempa Kobe (1995) arah X

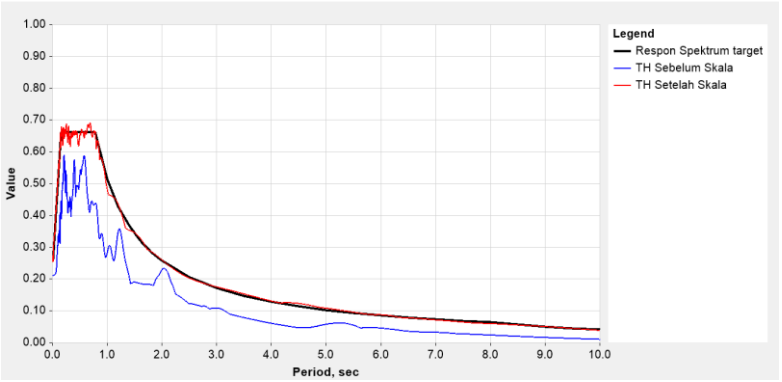


Gambar 4.58 Penskalaan gempa Kobe (1995) arah Y

- Imperial Valley (1938)

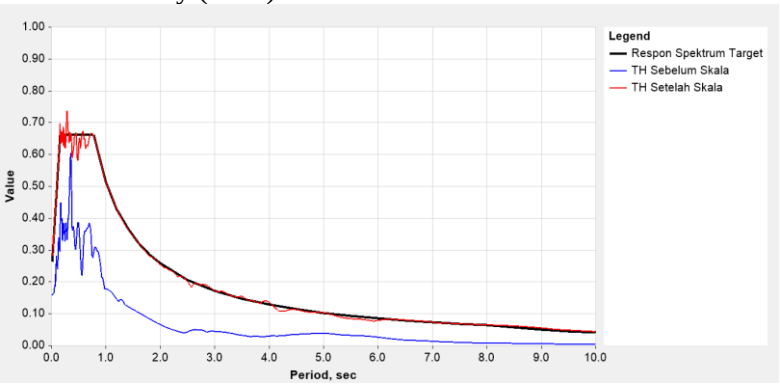


Gambar 4.59 Penskalaan gempa Imperial Valley (1938) arah X

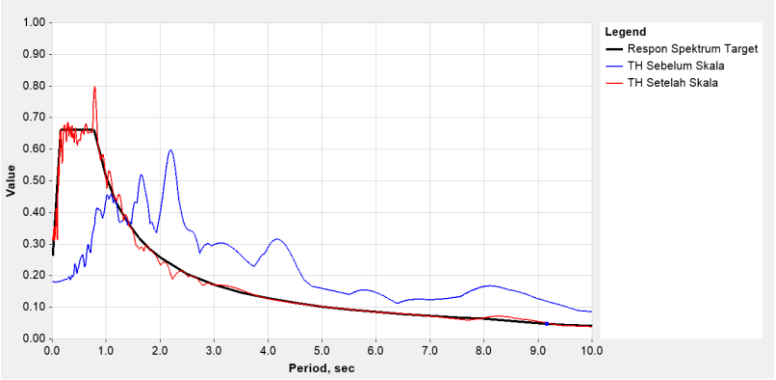


Gambar 4.60 Penskalaan gempa Imperial Valley (1938) arah Y

- Kern County (1952)

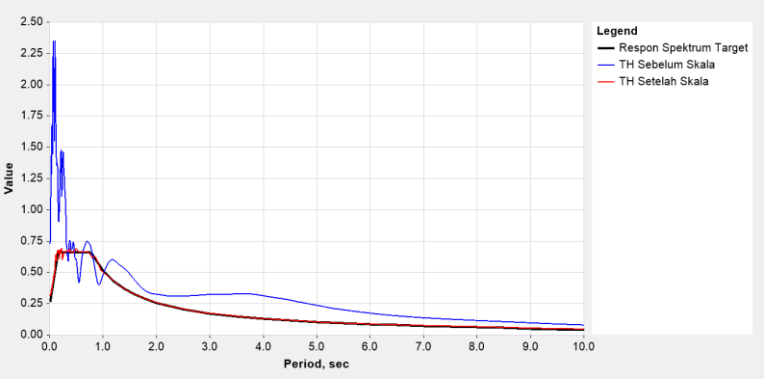


Gambar 4.61 Penskalaan gempa Kern County (1938) arah X

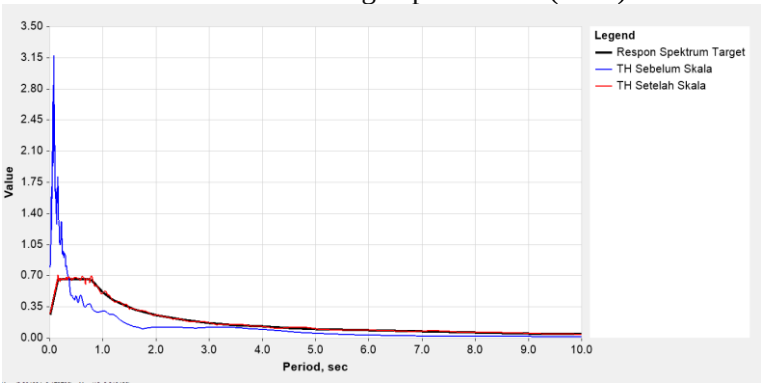


Gambar 4.62 Penskalaan gempa Kern County (1938) arah Y

- Landers (1992)

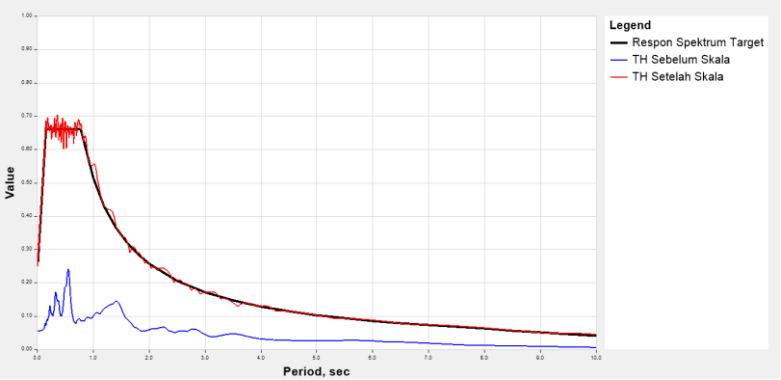


Gambar 4.63 Penskalaan gempa Landers (1992) arah X

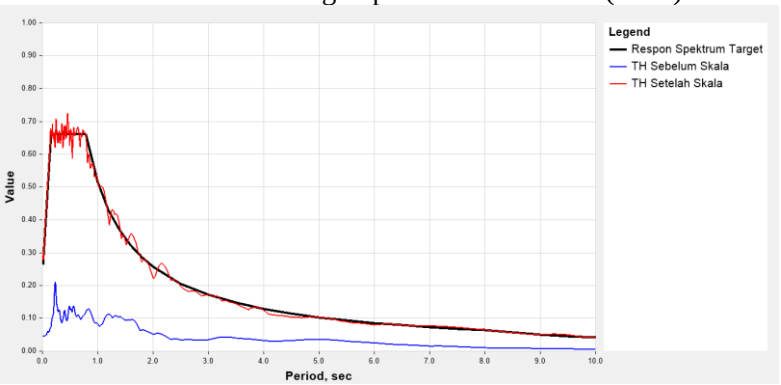


Gambar 4.64 Penskalaan gempa Landers (1992) arah Y

- Chi-Chi Taiwan (1999)

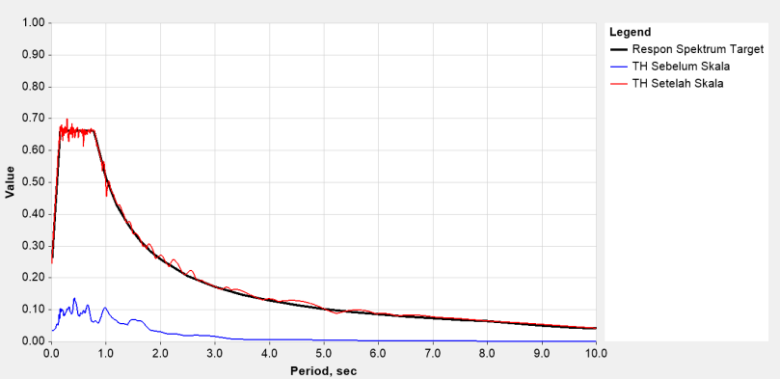


Gambar 4.65 Penskalaan gempa Chi-Chi Taiwan (1999) arah X

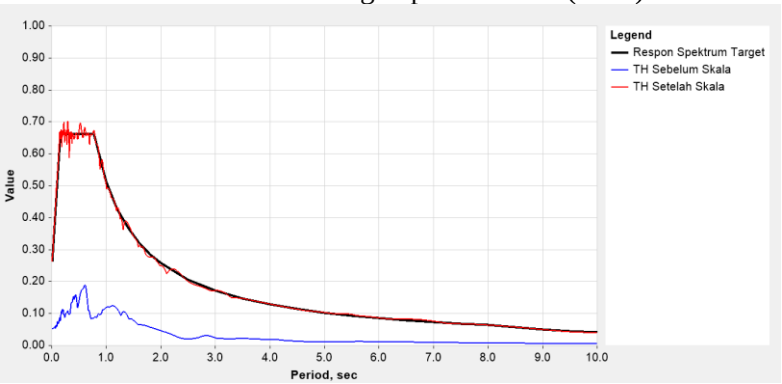


Gambar 4.66 Penskalaan gempa Chi-Chi Taiwan (1999) arah Y

- El Alamo (1996)

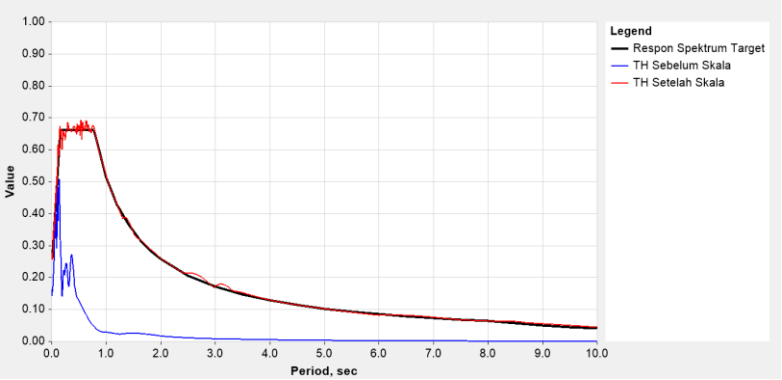


Gambar 4.67 Penskalaan gempa El Alamo (1996) arah X

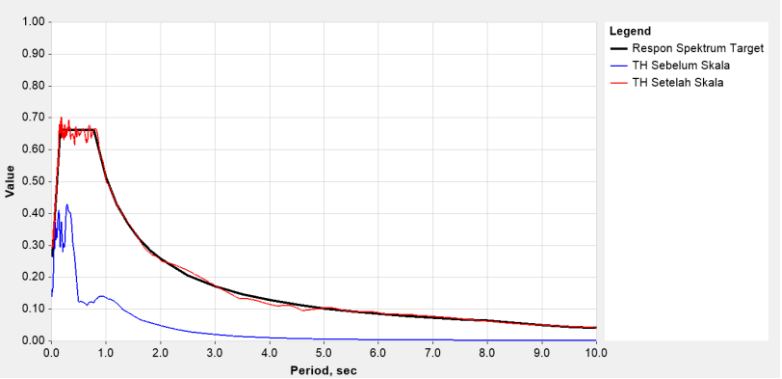


Gambar 4.68 Penskalaan gempa El Alamo (1996) arah Y

- Helena,Montana (1935)



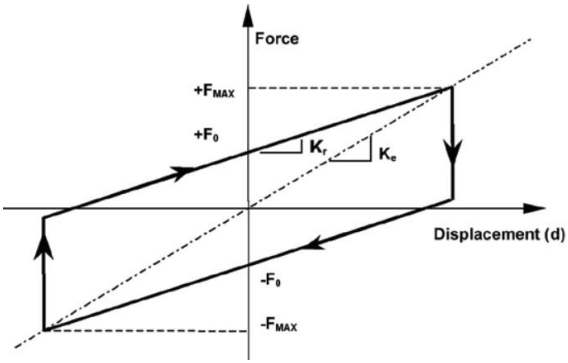
Gambar 4.69 Penskalaan gempa Helena,Montana (1935) arah X



Gambar 4.70 Penskalaan gempa Helena,Montana (1935) arah Y

4.8.2. Kurva histeresis FPS

Perhitungan kapasitas histeris loop dari isolator *friction pendulum* mengacu pada salah brosur FPS produk FIP Industriale sebagaimana pada **Gambar 4.71**.



Gambar 4.71 Skema kurva histeresis FPS

Keterangan :
F_o = gaya gesek dari isolator
F_{max} = gaya horizontal maksimum isolator
K_r = kekakuan *restoring*
K_e = kekuan efektif

Sebagai contoh dibuat kapasitas histeresis loop untuk FPS tipe P1 pada join 2 karena memiliki displacement isolator terbesar sebagai berikut.

$$F_o = \mu\, Nsd = 0{,}055 \,.\, 1978{,}768 = 108{,}832\ kN$$

$$F_{max} = \mu\, Nsd + \frac{N_{Sd}}{R} d$$

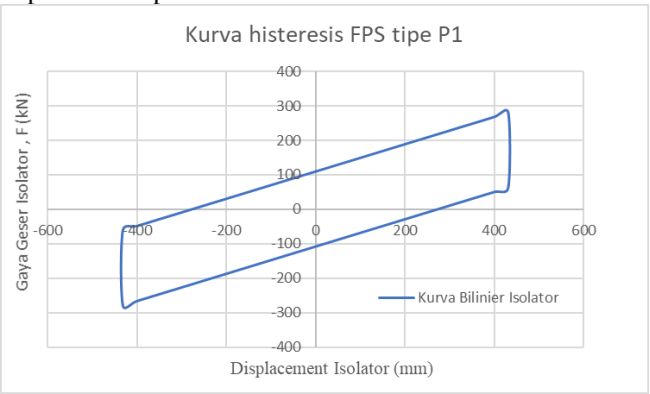
$$= 0{,}055 \,.\, 1978{,}768 + \frac{1978{,}768}{5} 0{,}431$$

$$= 279{,}559\ kN$$

$$K_r = \frac{N_{Sd}}{R} = \frac{1978{,}768}{5} = 395{,}75\ kN/m$$

$$K_e = 648{,}031\ kN/m$$

Dari nilai tersebut dapat diplot kurva kapasitas histeresis dari FPS yang dapat dilihat pada **Gambar 4.72.**

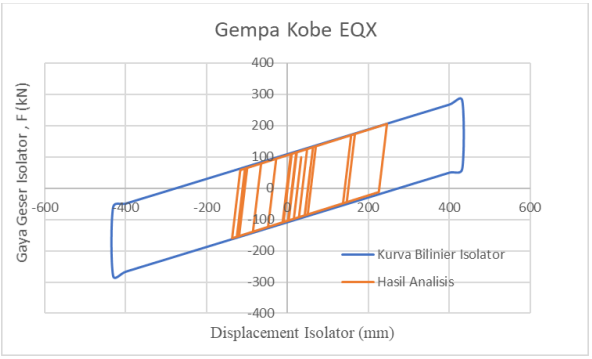


Gambar 4.72 Kurva histeresis FPS tipe P1

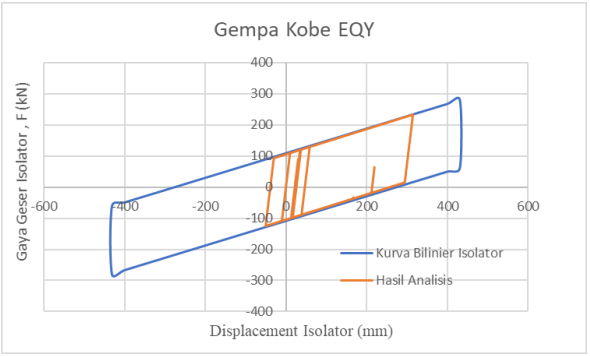
4.8.3. Kontrol histeresis gempa terhadap kapasitas histeresis FPS

Kontrol histeresis akibat gempa pada tiap isolator dilakukan dengan analisis *nonlinear time history* dengan menginputkan 7 rekaman gempa yang digunakan. Setelah dilakukan *runing* pada program bantu ETABS output yang diperoleh adalah grafik *displacement* vs *shear force* akibat gempa, grafik ini kemudian diplot bersama dengan kurva histeresis dari FPS. Grafik *displacement* vs *shear force* akibat gempa tidak boleh melebihi dari kurva histeresis FPS. Dalam analisis ini diambil join 2 pada ETABS yang memiliki displacement terbesar sebagai mana pada **Gambar 4.73 – Gambar 4.79**.

- Kobe 1995



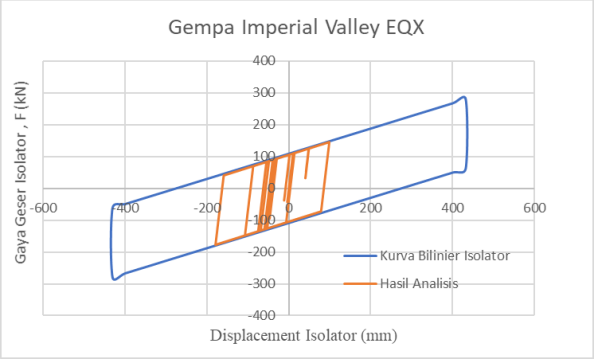
(a)



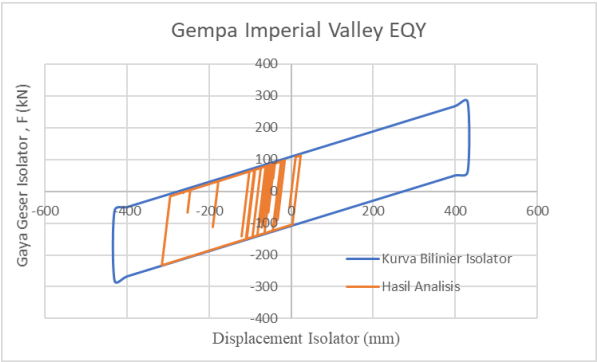
(b)

Gambar 4.73 Cek kapasitas FPS akibat gempa Kobe (1995) (a) arah X dan (b) arah Y

- Imperial Valley (1938)



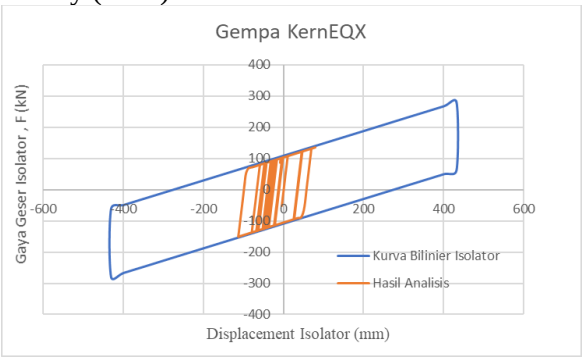
(a)



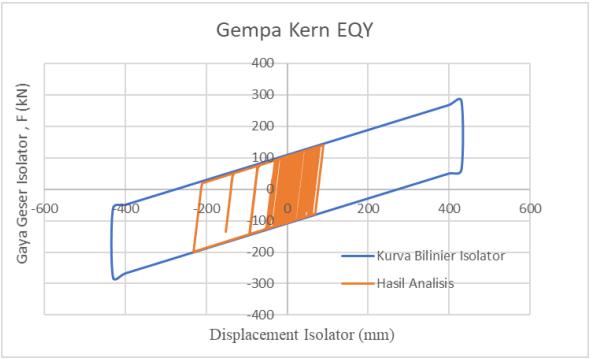
(b)

Gambar 4.74 Cek kapasitas FPS akibat gempa Imperial Valley (1938) (a) arah X dan (b) arah Y

- Kern County (1952)



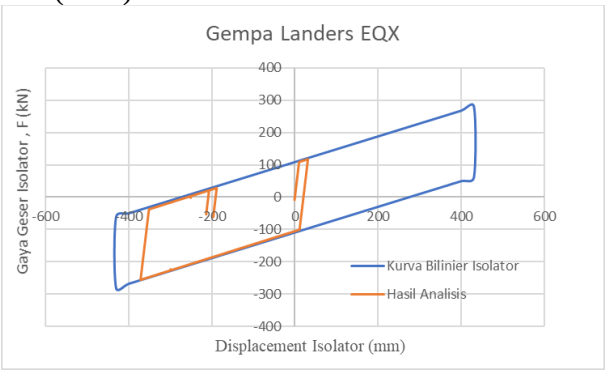
(a)



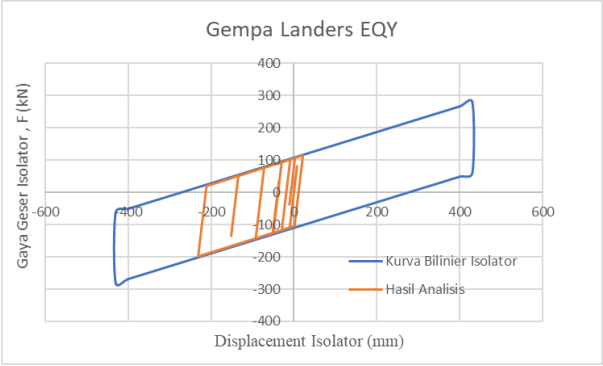
(b)

Gambar 4.75 Cek kapasitas FPS akibat gempa Kern County (1938) (a) arah X dan (b) arah Y

- Landers (1992)



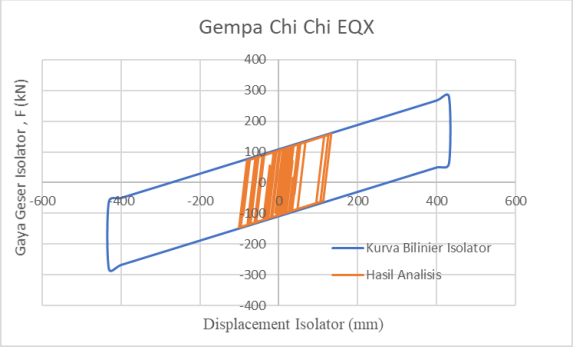
(a)



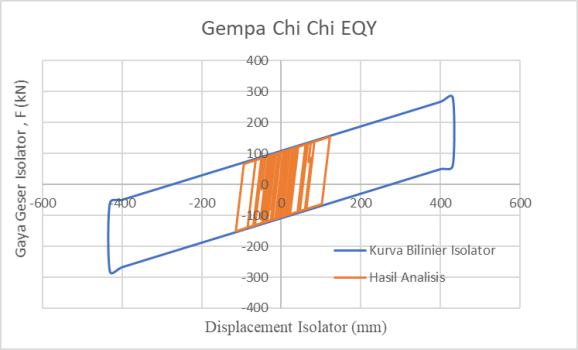
(b)

Gambar 4.76 Cek kapasitas FPS akibat gempa Landers (1992) (a) arah X dan (b) arah Y

- Chi-Chi Taiwan (1999)



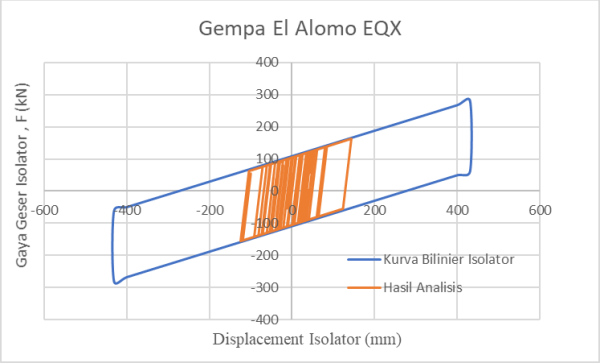
(a)



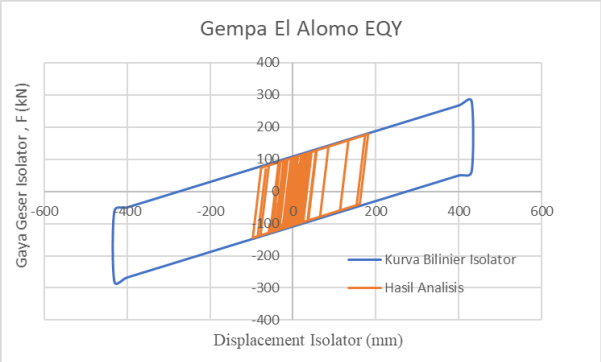
(b)

Gambar 4.77 Cek kapasitas FPS akibat gempa Chi-Chi Taiwan (1999) kiri arah X dan kanan arah Y

- El Alamo (1996)



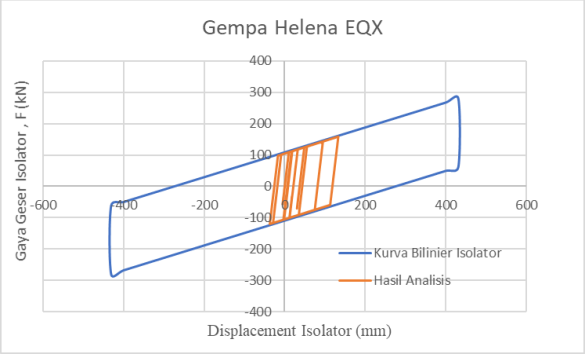
(a)



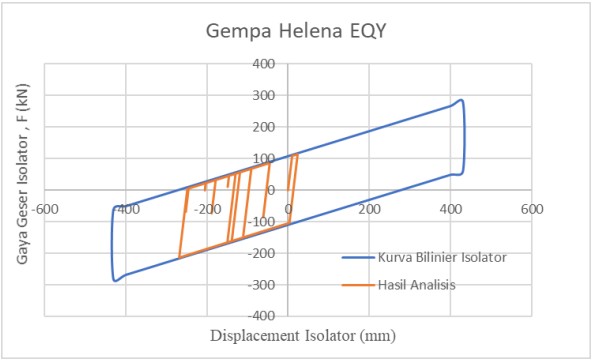
(b)

Gambar 4.78 Cek kapasitas FPS akibat gempa El Alamo (1996) (a) arah X dan (b) arah Y

- Helena,Montana (1935)



(a)



(b)

Gambar 4.79 Cek kapasitas FPS akibat gempa Helena,Montana (1935) (a) arah X dan (b) arah Y

Dari hasil analisis pada gambar diatas tidak ada kurva histeresis akibat gempa yang melebihi kurva kapasitas isolator sehingga dapat disimpulkan bahwa FPS memiliki kapasitas yang cukup.

4.9 Perbandingan Struktur Fixed Based dan Base Isolation

4.9.1. Periode Fundamental Struktur

$T_{fixed\ based} = 1{,}358\ detik$ & $T_{base\ isolator} = 4{,}309\ detik$

Perioda fundamental struktur dengan base isolator tipe FPS meningkat sebesar 3,172 kali dari struktur fixed base, karena kekakuan struktur yang berkurang akibat penggunan base isolation.

4.9.2. Gaya geser dasar statik ekivalen (V)

Dari hasil perhitungan gaya geser dasar statik ekivalen (V) pada struktur fixed based dengan beberapa variasi nilai R dan perhitungan gaya dasar statik ekivalen struktur base isolation (V_s), didapatkan perbedaan nilai gaya geser yang cukup signifikan yang dapat dilihat pada **Tabel 4.58**.

Tabel 4.58 Perbandingan gaya geser statik ekivalen struktur *fixed based* dan *base isolation*

Jenis Sistem Rangka Beton Struktur Fixed Based	Gaya geser statik ekivalen,V (kN)	Gaya geser statik ekivalen,V_s , base isolation (R=2) (kN)	Perbandingan	Presentase selisih (%)
SPRMK (R=8)	6930,254	10397,3736	$V_{FB} < V_{BI}$	50,03
SPRMM (R=5)	11088,406		$V_{FB} > V_{BI}$	6,23
SPRMB (R=3)	18480,677		$V_{FB} > V_{BI}$	43,74
SPRMB (R=2)	27721,015		$V_{FB} > V_{BI}$	62,49

Keterangan :

$$Presentase\ selisih\ gaya\ geser\ (V) = \left|\frac{V_{BI} - V_{FB}}{V_{FB}} \times 100\ \%\right|$$

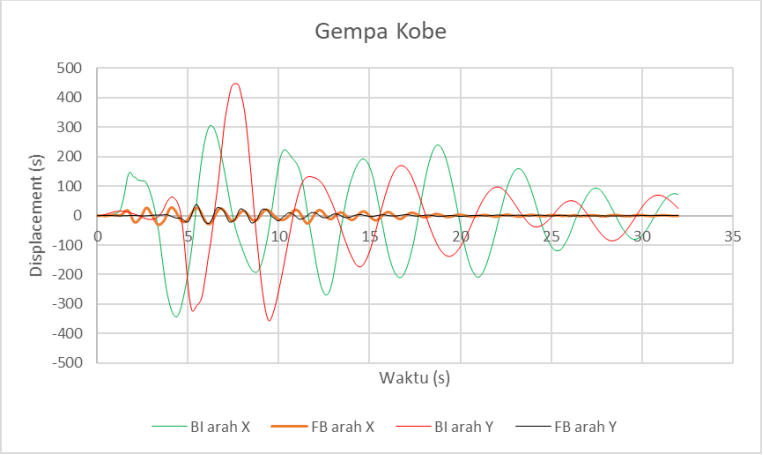
Dari tabel diatas dapat dilihat perbandingan nilai gaya geser statik ekivalen struktur fixed based dengan beberapa tipe SRPM dan gaya geser pada struktur base isolation. Dibandingkan dengan SRMPK, struktur base isolation memiliki nilai gaya geser yang lebih besar dengan presentase selisih 50,02%. Akan tetapi gaya geser pada struktur base isolation lebih kecil dari pada SRPMM, SRPMB (R=3), dan SRPMB (R=2) dengan presentase selisih masing masing ialah 6,23% ,43,74%, dan 62,49%.

Lebih besarnya nilai gaya geser pada struktur base isolation dibandingkan dengan struktur SRMPK terjadi dikarenakan nilai R pada struktur base isolation lebih kecil yaitu R=2 dan pada struktur fixed based yaitu R=8. Selain itu besarnya gaya geser pada struktur base isolation juga dipengaruhi oleh kekakuan dan redaman dari isolator. Semakin kaku isolator maka gaya geser desainnya pun semakin besar, sedangkan semakin tinggi redaman gaya geser desain akan semakin kecil. Untuk menyamai nilai gaya geser pada SRPMK diperlukan desain isolator yang memiliki kekuan yang lebih rendah dan redaman yang besar, hal ini bisa didapatkan dengan menggunakan beberapa jenis isolator seperti *PTFE slide bearing* dan LRB atau HDRB. Walaupun nilai gaya geser struktur base isolation lebih besar dari pada struktur SRPMK, dengan nilai R yang sama struktur base isolation dapat mereduksi gaya geser dasar sebesar 62,49%.

4.9.3. Perpindahan lantai atap

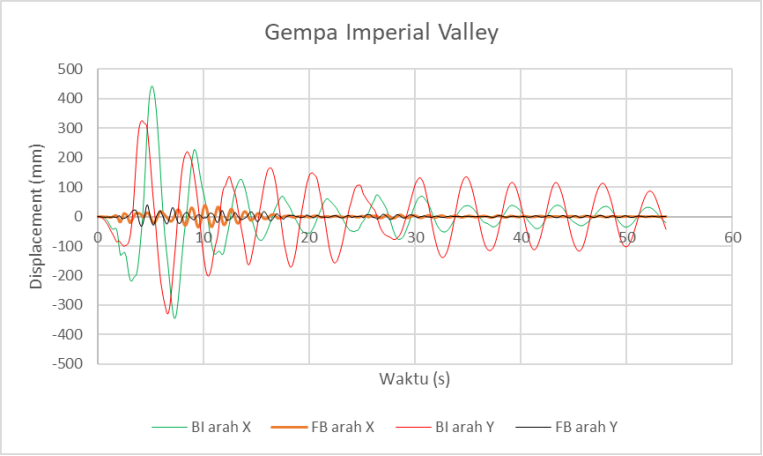
Respon perpindahan gedung dengan menggunakan *base isolation* dapat diketahui dari kurva perpindahan vs waktu hasil analisis *time history*. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan base isolation pada respon perpindahan struktur, maka dibandingkan perilaku perpindahan pada lantai atap antara struktur fixed based dan struktur base isolation. Adapun perbandingan perpindahan lantai atap dari kedua struktur tersebut dengan data 7 rekaman gempa dapat dilihat pada **Gambar 4.80 – Gambar 4.86**.

- Kobe 1995



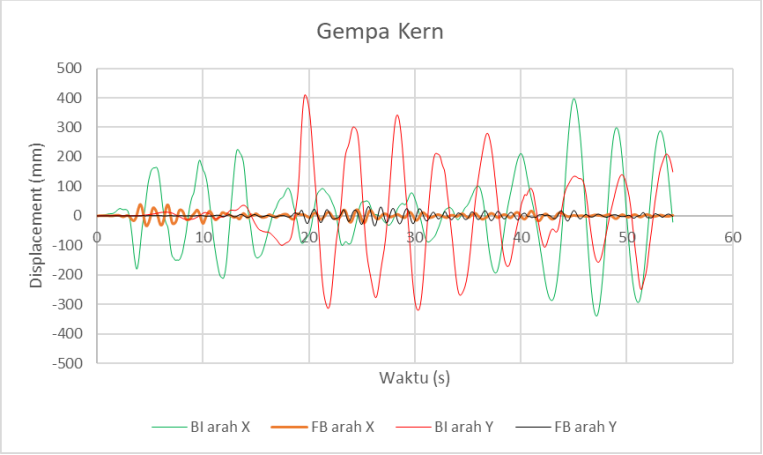
Gambar 4.80 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Kobe (1995)

- Imperial Valley (1938)



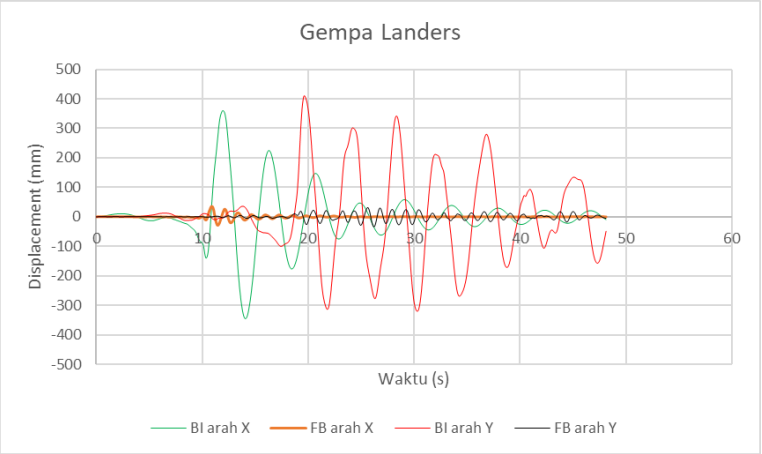
Gambar 4.81 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Imperial Valley (1938)

- Kern County (1952)



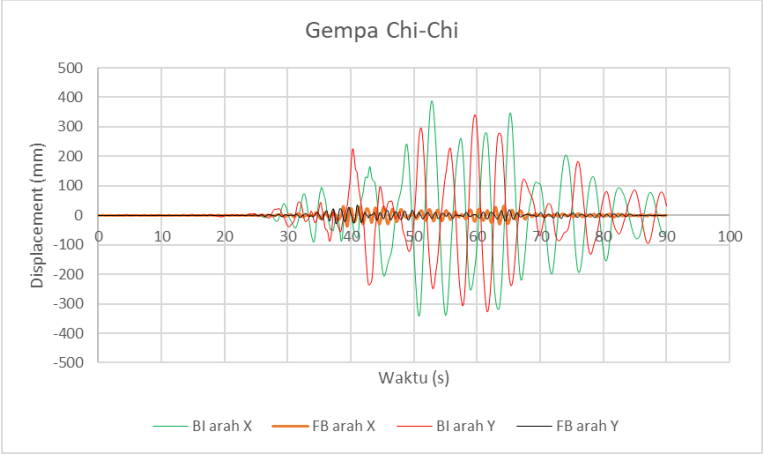
Gambar 4.82 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Kern County (1938)

- Landers (1992)



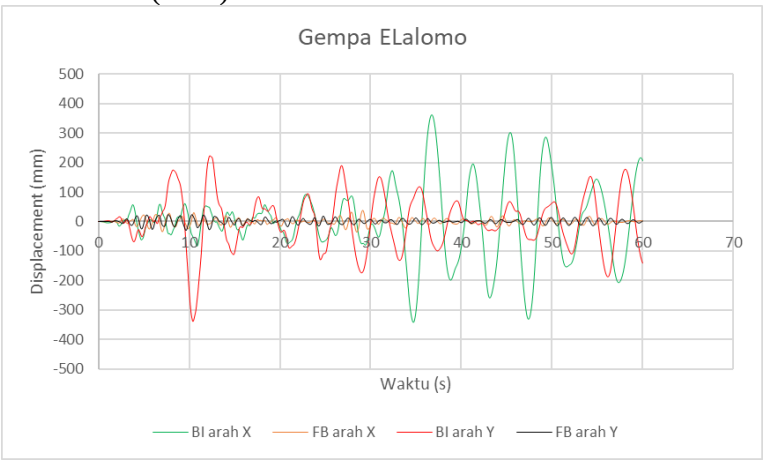
Gambar 4.83 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Landers (1992)

- Chi-Chi Taiwan (1999)



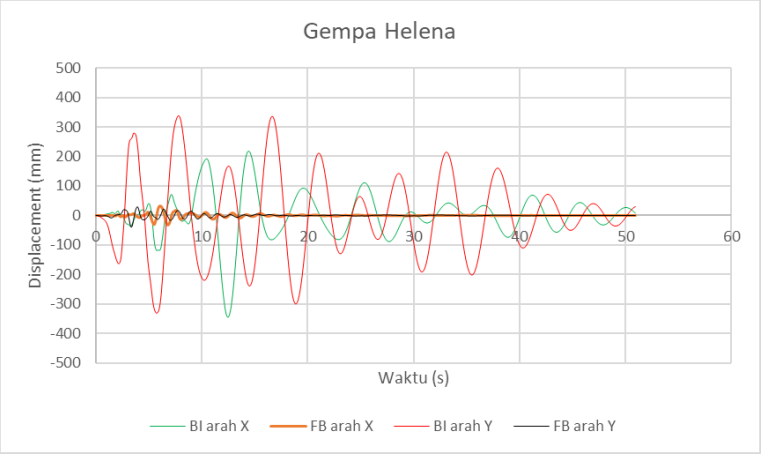
Gambar 4.84 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Chi-Chi Taiwan (1999)

- El Alamo (1996)



Gambar 4.85 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa El Alamo (1996)

- Helena,Montana (1935)



Gambar 4.86 Perpindahan lantai atap strukur FB dan BI akibat gempa Helena,Montana (1935)

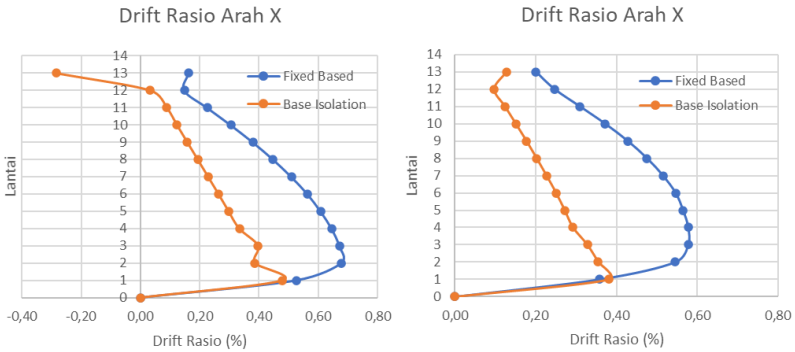
Berdasarkan grafik perpindahan lantai atap pada tiap gempa dapat diketahui bahwa dengan menggunakan base isolation perpindahan lantai atap akan lebih besar. Hal ini dikarenakan struktur terisolasi akan bergerak layaknya badan kaku sehingga apabila displacement pada titik isolator besar maka struktur diatasnya pun akan bergerak dengan displacement yang besar pula. Dari grafik prepindahan lantai tersebut juga dapat diamati bahwa struktur base isolation memiliki periode getar yang lebih panjang, dapat dilihat bahwa pergerakan satu siklus perpindahan memiliki waktu yang relatif lebih panjang dari sturktur fixed based.

4.9.4. *Drift rasio*

Berdasarkan dari hasil perhitungan, drift rasio dari masing-masing struktur untuk kedua arah gempa dapat dilhat pada **Tabel 4.59** dan **Gambar 4.87.**

Tabel 4.59 Drift rasio struktur fixed based dan struktur base isolation

Lantai	Drift rasio (%)		Reduksi	Drift rasio (%)		Reduksi
	FB	BI	%	FB	BI	%
Top Atap (13)	0,16	-0,28	273,50	0,20	0,13	36,42
Lt.Atap (12)	0,15	0,03	77,55	0,25	0,10	60,59
11	0,23	0,09	60,44	0,31	0,12	60,00
10	0,30	0,12	59,49	0,37	0,15	59,52
9	0,38	0,16	58,28	0,43	0,18	58,63
8	0,45	0,19	56,81	0,48	0,20	57,46
7	0,51	0,23	55,13	0,52	0,23	56,00
6	0,56	0,26	53,25	0,55	0,25	54,15
5	0,61	0,30	51,03	0,56	0,27	51,91
4	0,65	0,33	48,29	0,58	0,29	49,38
3	0,67	0,40	40,81	0,58	0,33	43,24
2	0,68	0,39	43,00	0,55	0,35	34,95
1	0,53	0,48	9,01	0,36	0,38	-6,63
Lt.GF (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Gambar 4.87 Perbandingan drift rasio struktur *fixed based* dan struktur *base isolation*

Berdasarkan tabel dan gambar diatas dapat dilihat struktur *base isolation* memiliki nilai drift rasio yang lebih kecil dari pada struktur *fixed based*. Sehingga dengan penggunaan *base isolation*, *drift rasio* pada struktur dapat dikurangi. Dari tabel diatas didapatkan nilai reduksi *strory drift* rata-rata akibat pemasangan *base isolation* adalah 68,2% diarah X dan 47,35% diarah Y.

4.10 Perencanaan Struktur Bawah

4.10.1 Perencanaan balok sloof

Balok sloof merupakan elemen yang berfungi untuk menghubungkan poer/pilecap lainnya agar penurunan yang terjadi pada pondasi (pilecap) bergerak bersama-sama. Beban yang bekerja pada sloof antara lain adalah berat sendiri sloof, berat dinding basement, beban aksial tekan/tarik yang diambil 10% dari beban kolom.

Berdasarkan SNI 2847-2019pasal 18.3.3, balok sloof yang didesain sebagai pengikat horizontal antara poer harus diproporsikan sedemikian hingga dimensi penampang terkecil sama dengan atau lebih besar jarak antar kolom yang disambung dibagi dengan 20, tetapi tidak perlu lebih besar dari 450 mm.

$b = \frac{l}{20} = \frac{6000}{20} = 300\ mm, digunakan\ b = 400\ mm$

h $= 600\ mm$

c $= 50\ mm$

$D_b = 25\ mm$

$D_s = 13\ mm$

Fc' $= 30\ MPa$

Fy $= 400\ MPa$

d $= 600 - 50 - 10 - \left(\frac{25}{2}\right) = 527{,}5\ mm$

a. Perhitungan beban sloof

Beban mati (q_d)

Lx = 4 m Ly = 6 m

$Beban\ dari\ pelat = 2\frac{1}{2} q_u L_x \left(1 - \frac{1}{3}\frac{L_x{}^2}{L_y{}^2}\right) = 2\frac{1}{2} . 525 . 4 \left(1 - \frac{1}{3}\frac{4^2}{6^2}\right)$

= 1788,8 kg/m

Dinding basement = 1,2 . 2400 . 0,4 . 1,8 = 1728 kg/m

Berat balok = 2400 kg/m^3 . 0,4 , 0,6 = 576 kg/m +

q_d = 4092,8 kg/m

Beban Hidup (q_l)

Beban hidup lantai apartemen

$$q_l = 2\frac{1}{2} q_u L_x \left(1 - \frac{1}{3}\frac{{L_x}^2}{{L_y}^2}\right) = 2\frac{1}{2} 250\ 4\ \left(1 - \frac{1}{3}\frac{4^2}{6^2}\right)$$

$$= 851{,}851\,\frac{kg}{m}$$

Kombinasi beban

$$q_u = 1{,}2\ q_d + 1{,}6\ q_l = 1{,}2\ .\ 4092{,}888 + 1{,}6\ .\ 851{,}851$$

$$= 6274{,}429\ kg/m = 61{,}552\ kN/m$$

b. Penulangan lentur

Balok sloof merupakan balok menerus, sehingga perhitungan momen digunakan koefisien menurut SNI 2847:2019 psal 6.5. Besar momen adalah sebagai berikut :

$$M_{tumpuan} = \frac{1}{10} q_u\ .\ L^2 = \frac{1}{10}\ 61{,}552.\ 6^2\ \ = \ 221{,}587\ \text{kNm}$$

$$M_{lapangan} = \frac{1}{14} q_u\ .\ L^2 = \frac{1}{14}\ 61{,}552.\ 6^2\ \ = \ 158{,}276\ \text{kNm}$$

Sehingga beban yang diinput pada SPColumn adalah sebaga berikut :

P = 10% Pu = 10% 5218,91 kN = 521,891 kN

M = 221,587 kNm

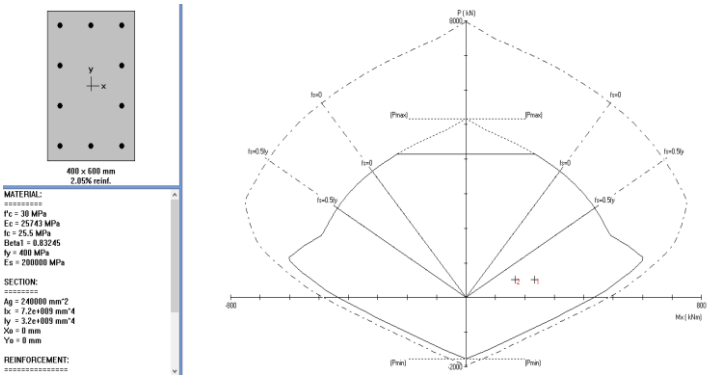
Dari analisis SPColumn didapatkan :

Jumlah tulangan = 10 D25

Presentase tulangan = 2,05%

$\emptyset\ Mn = 526{,}18\ \text{kNm} > \text{Mu} = \ 221{,}587\ \text{kNm}\ (\text{OK})$

Didapatkan tulangan atas : 3D25, tulangan tengah : 4D25, dan tulangan bawah : 3D25 (**Gambar 4.88**).



Gambar 4.88 Konfigurasi tulangan dan diagram interaksi sloof

Kontrol jarak tulangan :

$$S = \frac{Bw - 2.c - Db_{trans} - n\,.\,Db_{long}}{n-1}$$

$$= \frac{400 - 2.40 - 13 - 3\,.\,25}{3-1}$$

$$= 116\,mm > 30\,mm$$

c. Penulangan geser

Kekuatan geser beton yang terbebano aksial tekan sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.5.6 ditentukan dengan perumusan berikut:

$$V_c = 0{,}17\left(1 + \frac{P_u}{14\,Ag}\right)\lambda\sqrt{fc'}\;b_w\;d$$

$$V_c = 0{,}17\left(1 + \frac{521{,}891\,.\,10^6}{14\,.\,240000}\right)1\sqrt{30}\,.400.524{,}5$$

$$= 225693\;N$$

$$\emptyset\,V_c = 0{,}75\,.\,225693 = 169270\ \text{N}$$

$$V_u = 0{,}5\,.\,q_u\,.\,L = 0{,}5\,.\,61{,}552\,.\,6 = 184{,}656\;kN$$

$$Vu = 184656\;N \geq 0{,}5\;\emptyset\;Vc = 84635\;N$$

$$\ldots butuh\ tulangan\ geser$$

$$Vs = \frac{Vu - \emptyset . Vc}{\emptyset}$$
$$= \frac{184656 - 0{,}75 \,.\, 169270}{0{,}75} = 20{,}515\ kN$$
$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{Fy \,.\, d}$$
$$= \frac{20{,}515 \,.\, 10^3}{400 \,.\, 527{,}5} = 0{,}0911 \frac{mm^2}{mm}$$

Cek luas tulangan minimum

$$0{,}062\sqrt{Fc}\left(\frac{b_w}{Fy}\right) = 0{,}062\sqrt{30}\left(\frac{400}{400}\right)$$
$$= 0{,}339 \frac{mm^2}{mm} (menentukan)$$
$$0{,}35 \,.\, \frac{bw}{Fy} = 0{,}35 \,.\, \frac{400}{400} = \frac{0{,}35\ mm^2}{mm}$$

Luas tulangan pakai = $0{,}35\ \frac{mm^2}{mm}$

$Dipakai\ jumlah\ tulangan\ geser, n = 2$

Dipakai Db transversal = 10 mm

$Av = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, D^2 = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 10^2 = 78{,}539\ mm^2$

$$Spasi\ tulangan, S = \frac{n.Av}{\left(\frac{Av}{s}\right)} = \frac{2 \,.\, 78{,}539}{0{,}35} = 281{,}118\ mm$$

Cek spasi tulangan sesuai SNI 2847:2019 pasal 25.7.2 :

- $s \leq 16\ Db\ long = 16 \,.\, 25 = 400\ mm$
- $s \leq 48\ Db\ trans = 48 \,.\, 10 = 480\ mm$
- $s \leq dimensi\ penampang\ terkecil = 400\ mm$
- $0{,}33 \,.\, \sqrt{Fc}.b.d = 0{,}33 \,.\, \sqrt{30} \,.\, 400 \,.\, 527{,}5/10^3 = 381{,}37$ kN

  Vs = 19,224 kN < 0,33 . √Fc. b. d . . s maks = $\frac{d}{2}$

  $s\ maks = \frac{527{,}5}{2} = 263{,}75\ mm$

  Dipakai $S = 263{,}75\ mm \sim 250\ mm$

  Jadi pada daerah tumpuan digunakan tulangan sengkang 2D10-250.

4.10.2 Perencanaan Pondasi Dalam

Pondasi berfungsi sebagai penahan beban struktur atas dan menyalurkannya ke tanah. Pondasi harus direncanakan dengan baik sehingga beban yang disalurkan ke tanah tidak melebihi daya dukung tanah itu sendiri. Beban yang bekerja pada pondasi dihitung menggunakan metode tegangan izin sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 4.2.3, kombinasi tersebut adalah sebagai berikut :

1. D
2. D + L
3. D + (L_r atau R)
4. D + 0,75L + 0,75(L_r atau R)
5. D + 0,6W
6. D + 0,75(0,6W) + 0,75L + 0,75(L_r atau R)
7. 0,6D + 0,6W
8. D + 0,7E_v + 0,7E_h
9. D + 0,525E_v + 0,525E_h + 0,75L
10. 0,6D - 0,7E_v + 0,7E_h

a. Data perencanaan pondasi

Pada tugas akhir ini, direncanakan pondasi tiang pancang beton produk PT. Wijaya Karya Precast. Terdapat 3 tipe pondasi yang akan direncanakan berdasarkan besarnya beban kolom dan letaknya. Rencana pondasi dapat dilihat pada **Gambar 4.89**

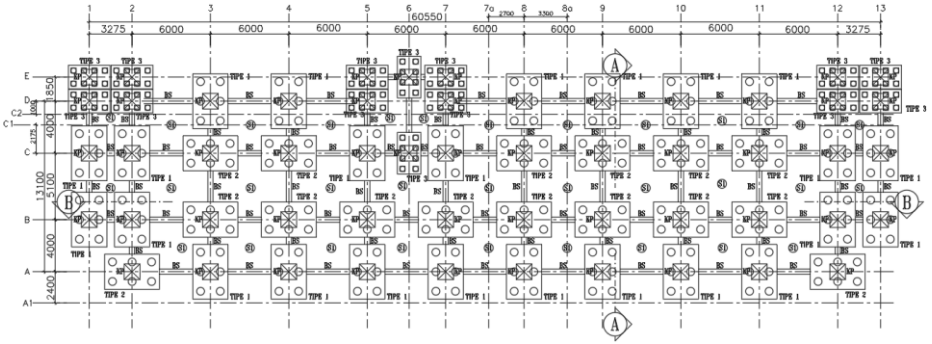
Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- Ukuran 40 cm x 40 cm (*Spun square piles*)

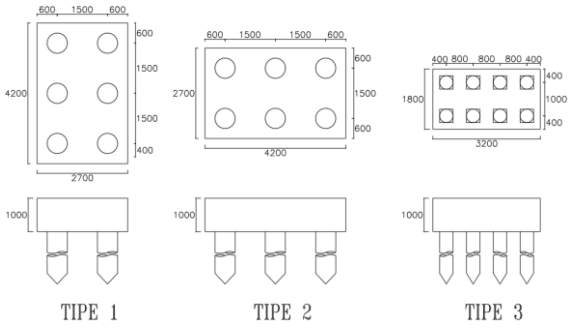
Diameter tiang	= 400 mm
Wall thickness	= 75 mm
Concrete cross section	= 1109,3 cm^2
Inersia penampang	= 194159 cm^4
Berat	= 277 kg/m
Klasifikasi	= C
Bending moment crack	= 11 tm
Bending momen ultimate	= 22 tm
Allowable axial load	= 169,49 t

- Diameter 60 cm

Diameter tiang	= 600 mm
Wall thickness	= 100 mm
Concrete cross section	= 1570,8 cm^2
Inersia penampang	= 510508,81cm^4
Berat	= 393 kg/m
Klasifikasi	= C
Bending moment crack	= 29 tm
Bending momen ultimate	= 58 tm
Allowable axial load	= 229,5 t



Gambar 4.89 Denah pondasi



Gambar 4.90 Pondasi tipe 1, tipe 2, dan tipe 3

b. Daya dukung tanah tiang pancang tunggal

Pada perhitungan daya dukung tanah dilakukan berdasarkan hasil penetrometer statis atau sondir. Alat sondir atau Cone Penetrometer Statis (CPT) yang berupa tabung silinder dengan ujung bawahnya berbentuk konus (Contique), dimasukkan ke dalam tanah dengan bantuan pision berkecapatan lambat dan konstan (V=3 mm/detik). Secara terpisah atau bersamaan, hambatan lekatan lateral (Frottement, Friction Laterale) dapat diukur dengan bantuan sebuah mantel 27 (Manchon) dari tabung sondirnya, yang terletak diatas elemen konus di ujung tiang. Hasil yang diperoleh adalah dalam bentuk kombinasi dari tegangan perlawanan tanah di ujung konus tiang (q_c) dan tegangan lekatan lateral disepanjang sisi luar mantel yang ada (q_s). Perhitung daya dukung tanah dengan data sondir atau cone penetrometer statis (CPT) dilakukan dengan metode Van Der Ween sebagai berikut.

Daya dukung nominal total sebuah pondasi tiang pondasi adalah :

$$Q_N = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung perlawanan tanah di ujung tanah

Q_s = Daya dukung lekatan tanah di sepanjang tiang

$$Q_p = \frac{q_c}{3\alpha} A_p$$

Dimana :

A_p = Luas penampang section ujung tiang

3 = angka keamanan unsur Q_p

α = koefisien yang tergantung dari jenis tanah dan tiang sesuai tabel

q_c = harga rata-rata conus disepanjang 3,5 B diatas dasar pondasi hingga B dibawah dasar pondasi (B=diameter tiang podasi)

$$Q_s = \frac{1}{2} P \int_{pangkal\ tiang}^{dasar\ tiang} q_s \ dz$$

Dimana :

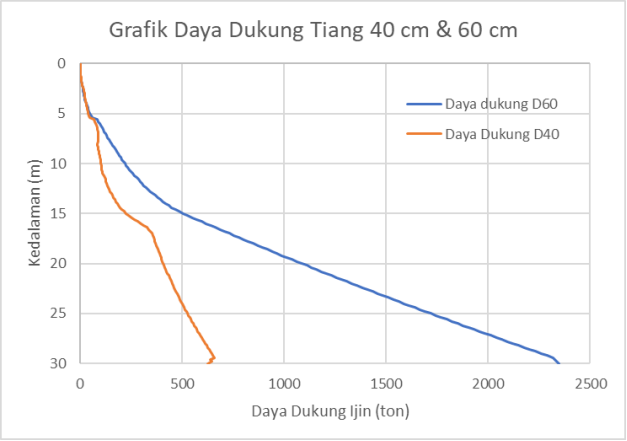
q_s = q_c / β

2 = angka keamanan unsur Q_s

P = keliling tiang

β = koefisien sesuai tabel

Hasil perhitungan daya dukung dapat dilihat pada **Gambar 4.91**.



Gambar 4.91 Daya dukung ijin tiang pancang diameter 40 cm dan 60 cm

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 berikut:

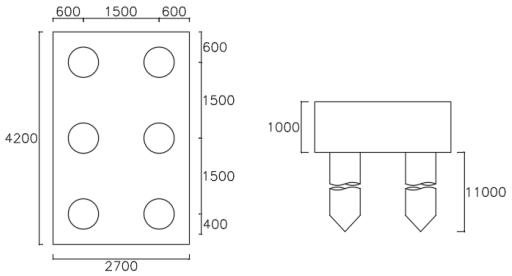
$$Q_{max,min} = \frac{\Sigma V}{m.n} \pm \frac{M_y.x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x.y}{\Sigma y^2} \leq Q_{nominal}\ (1\ tiang)$$

Untuk contoh perhitungan digunakan Pondasi Tipe 1, output reaksi perletakkan pondasi tipe P1 dapat dilihat pada **Tabel 4.60**.

Tabel 4.60 Output reaksi perletakkan pondasi tipe 1

Kombinasi pembebanan	P	$V_x = V_3$	$V_y = V_2$	M_2	M_3
	kN	kN	kN	kNm	kNm
D+L	3484,09	44,25	27,63	64,69	61,34
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	3490,10	252,49	324,15	432,70	694,93
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	4083,60	618,44	114,36	1130,08	244,84
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	3816,93	262,99	324,47	445,51	696,01
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	4701,52	628,94	114,68	1047,14	245,50
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	2580,59	235,92	323,28	413,92	693,17
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	2888,29	601,87	111,03	1111,31	236,69

Daya dukung tiang single tipe 1



Gambar 4.92 Skema pondasi tipe 1

D = 0,5 m
S = 2,5 D = 2,5 . 0,6 = 1,5 m, dimana S: jarak antar tiang
s = 1 D = 0,6 m, dimana s : jarak tiang ke tepi pile cap
m = 3 buah n = 2 buah
B = 2,25 m L = 3,5 m

T = 1 m
x_1 = 0,75 m y_1 = 1,5 m
x_2 = 0,75 m y_2 = 1,5 m
$\sum x^2$ = $3(0{,}75^2+0{,}75^2)$ = 3,375
$\sum y^2$ = $2(1{,}5^2+1{,}5^2)$ = 9

Untuk kombinasi beban D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L, didapatkan gaya dalam :

P = 470,152 t
$P_{pilecap}$ = 2,7. 4,2. 1. 2,4 = 27,216 t
$P_{pedestal}$ = 1.5.1,5.1.2,4 = 5,4 t
P_{FPS} = 1,2 t
∑V = 470,152 + 27,216 +5,4+1,2 = 503,968 t
M_x = 104,714 tm
M_y = 24,550 tm

$$Q_{max,min} = \frac{\Sigma V}{m.n} \pm \frac{M_y.x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x.y}{\Sigma y^2}$$

$$Q_{max,min} = \frac{503{,}968}{2.3} \pm \frac{24{,}550\,.0{,}75}{3{,}375} \pm \frac{104{,}714.1{,}5}{9}$$

$$Q_{max} = 111{,}356 \text{ t } (menentukan)$$

$$Q_{min} = 56{,}633 \text{ t}$$

Sehingga, untuk rekapitulasi Q_{max} yang diterima setiap tiang dapat ditabelkan pada **Tabel 4.61** berikut:

Tabel 4.61 Rekapitulasi beban Q_{max} yang diterima satu tiang pada pondasi tipe 1

Kombinasi pembebanan	n	P	$V_x = V_3$	$V_y = V_2$	$M_x = M_2$	$M_y = M_3$	$Q_{nominal}$
		ton	ton	ton	ton.m	ton.m	ton
D+L	6	355,009	4,426	2,763	6,470	6,134	258,642
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	355,610	25,249	32,415	43,270	69,493	258,642
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	414,961	61,844	11,437	113,009	24,485	258,642
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	388,293	26,300	32,447	44,551	69,601	258,642
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	476,752	62,895	11,469	104,714	24,550	258,642
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	264,659	23,592	32,329	41,393	69,317	258,642
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	295,429	60,187	11,103	111,132	23,670	258,642

Didapatkan Q_{max} = 111,356 t

c. Daya dukung tiang pancang kelompok

Jumlah dari kekuatan daya dukung tiang tidak 100% dapat menopang gaya yang terjadi pada kolom. Oleh karena itu perlu dihitung kembali daya dukung tiang pancang kelompok dengan koefisien efisiensi metode converse-labarre

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(\emptyset\, S)}{90°} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(0{,}5\,.\,1{,}25)}{90°} \cdot \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{2}\right)$$

$$C_e = 0{,}717$$

Menentukan $Q_{L\ 1\ tiang}$

Untuk menentukan $Q_{L\ 1\ tiang}$, diambil nilai yang terkecil antara daya dukung bahan dan daya dukung tanah.

- Daya dukung bahan = 229,5 t (menentukan)
- Daya dukung tanah = 258,641 t

Sehingga, Q_L 1 tiang grup dapat dihitung

$$Q_{L\ 1\ tiang} = P_t\ x\ Ef = 229{,}5\ x\ 0{,}717 = 164{,}64\ t$$

$$Q_{L\ 1\ tiang} > Q_{max}$$

$$164{,}64\ \text{t} > 111{,}356\ \text{t (OK)}$$

Tabel 4.62 Kontrol maksimum P_{group} 1 tiang pada pondasi tipe 1

Kombinasi pembebanan	n	∑V/n (ton)	∑Myx /∑x² (ton)	∑Mxy/ ∑y² (ton)	Rmax (ton)	P Ijin 1 Tiang Dalam Grup (t)	Cek
D+L	6	63,704	1,438	1,022	66,164	164,6	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	63,804	9,616	11,582	85,002	164,6	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	73,696	25,113	4,081	102,890	164,6	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	69,252	9,900	11,600	90,752	164,6	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	83,995	23,270	4,092	111,356	164,6	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	48,646	9,198	11,553	69,397	164,6	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	53,774	24,696	3,945	82,415	164,6	OK

Tabel 4.63 Kontrol maksimum P_{group} 1 tiang pada pondasi tipe 2

Kombinasi pembebanan	n	∑V/n (ton)	∑My x/ ∑ x^2 (ton)	∑Mx y/ ∑ y^2 (ton)	R max (ton)	P Ijin 1 Tiang Dalam Grup (t)	Cek
D+L	6	83,413	1,225	2,251	86,890	164,6	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	71,295	4,904	16,950	93,150	164,6	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	81,748	14,034	6,055	101,837	164,6	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	83,612	5,121	17,351	106,084	164,6	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	92,302	14,167	6,456	112,925	164,6	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	43,102	4,584	16,427	64,114	164,6	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	57,933	13,918	5,532	77,383	164,6	OK

Tabel 4.64 Kontrol maksimum P_{group} 1 tiang pada pondasi tipe 3

Kombinasi pembebanan	n	∑V/n (ton)	∑My x/ ∑ x^2 (ton)	∑Mx y/ ∑ y^2 (ton)	R max (ton)	P Ijin 1 Tiang Dalam Grup (t)	Cek
D+L	8	36,180	0,322	1,471	37,972	34,388	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	8	34,225	2,704	12,706	49,635	18,815	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	8	46,482	6,178	4,642	57,303	35,661	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	8	38,899	2,784	12,756	54,440	23,358	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	8	48,384	7,143	4,957	60,484	36,284	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	8	25,492	2,587	12,624	40,703	10,281	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	8	39,126	6,946	4,397	50,469	27,783	OK

d. Kontrol kekuatan tiang

Kontrol gaya aksial

Berdasarkan produk tiang pancang D50 class C, didapatkan untuk gaya aksial maksimum tiang pancang adalah 368,17 ton.

$Q_{max} < P_{ijin\ bahan}$

$102{,}996\ ton < 169\ ton\ (OK)$

Tabel 4.65 Kontrol gaya aksial pada pondasi tipe 1

Kombinasi pembebanan	n	∑V/n (ton)	∑My x/ ∑ x^2 (ton)	∑Mx y/ ∑ y^2 (ton)	R max (ton)	P Ijin Bahan (t)	Cek
D+L	6	63,704	1,438	1,022	66,164	229,5	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	63,804	9,616	11,582	85,002	229,5	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	73,696	25,113	4,081	102,890	229,5	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	69,252	9,900	11,600	90,752	229,5	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	83,995	23,270	4,092	111,356	229,5	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	48,646	9,198	11,553	69,397	229,5	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	53,774	24,696	3,945	82,415	229,5	OK

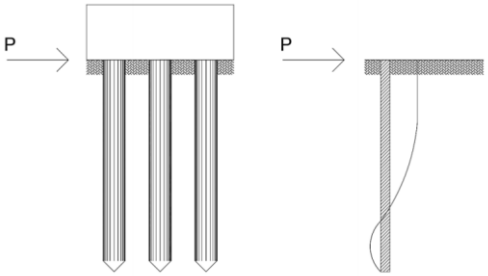
Tabel 4.66 Kontrol gaya aksial pada pondasi tipe 2

Kombinasi pembebanan	n	∑V/n (ton)	∑My x/ ∑ x^2 (ton)	∑Mx y/ ∑ y^2 (ton)	R max (ton)	P Ijin Bahan (t)	Cek
D+L	6	83,41	1,22	2,25	86,89	229,5	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	71,29	4,90	16,95	93,15	229,5	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	81,74	14,03	6,05	101,83	229,5	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	83,61	5,12	17,35	106,08	229,5	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	92,30	14,16	6,45	112,92	229,5	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	43,1	4,58	16,42	64,11	229,5	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	57,933	13,91	5,53	77,38	229,5	OK

Tabel 4.67 Kontrol gaya aksial pada pondasi tipe 3

Kombinasi pembebanan	n	∑V/n (ton)	∑My x/ ∑ x^2 (ton)	∑Mx y/ ∑ y^2 (ton)	R max (ton)	P Ijin Bahan (t)	Cek
D+L	8	36,180	0,322	1,471	37,972	169,49	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	8	34,225	2,704	12,706	49,635	169,49	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	8	46,482	6,178	4,642	57,303	169,49	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	8	38,899	2,784	12,756	54,440	169,49	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	8	48,384	7,143	4,957	60,484	169,49	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	8	25,492	2,587	12,624	40,703	169,49	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	8	39,126	6,946	4,397	50,469	169,49	OK

Kontrol terhadap gaya lateral



Gambar 4.93 Skema defleksi akibat gaya lateral pada tiang

Pada pembahasan ini, tiang pancang akan dikontrol terhadap defleksi dan momen akibat gaya lateral yang dapat terjadi.

- Kontrol defleksi

  n = 6 tiang pancang

  fc' = 52 Mpa

  E = $4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{52} = 33892{,}18$ Mpa

  I = 510508,81 cm^4 (Dari Brosur)

  H_{max} = 62,895 t

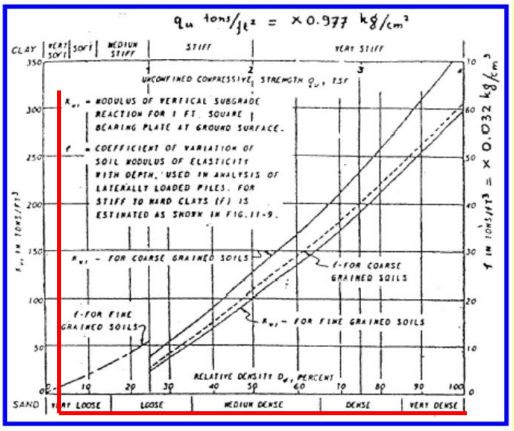
Berdasarkan jenis tanah lanau berlempung, digunakan tabel korelasi harga tahanan conus (q_c) terhadap Cu (**Tabel 4.68**).

Tabel 4.68 Korelasi nilai harga tahanan conus (q_c) terhadap C_u

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m^2		kg/cm^2	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000–2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	5 – 10	20– 40	2000 –4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	10 – 20	40 –75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	20 – 40	75– 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 40	> 150	> 15000

Sumber : Mochtar (2006), revised (2012)

Diambil q_c paling kecil yaitu 4 kg/cm^2 di kedalaman 8 m, sehingga dengan interpolasi didapatkan Cu = 0,5 ton/m^2 atau 0,05 kg/cm^2



Gambar 4.94 Diagram Immediate Settlement of Isolate Footing NAVFAC DM7-1971

$$Q_u = 2 \,.\, C_u = 2 \,.\, 0{,}05 = 0{,}1 \frac{kg}{cm^2} = 0{,}102 \frac{t}{ft^2}$$

Dengan

qu = 2 x Cu
= 2 x 0,05
= 0,1 kg/cm2, didapatkan

f = 2 t/ft^2 = 0,07 kg/cm^3.

Setelah didapatkan koefisien variasi (f). Diperhitungkan factor kekakuan relative sebagai berikut :

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}}$$

Dengan tiang pancang diameter 60 cm yang diproduksi oleh WIKA dengan data material dan penanpang tiang pancang, didapatkan nilai kekakuan relative :

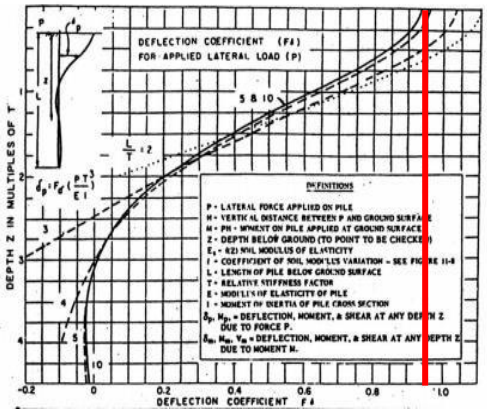
$$T = \left(\frac{E \,.\, I}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{33892{,}18 \,.\, 510508{,}81}{0{,}07}\right)^{\frac{1}{5}} = 301{,}64 \; cm$$

Panjang tiang adalah 11 m , maka perbandingan L/T adalah sebagai berikut :

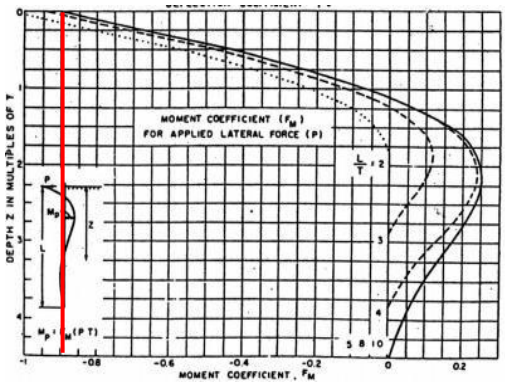
$$\frac{L}{T} = \frac{11 \,.\, 100}{301{,}64} = 3{,}646$$

Berdasarkan nilai z = 0 pada pangkal tiang pancang dan nilai L/T = 4,569, didapatkan nilai koefisien defleksi dari grafik

influence value for laterally loaded pile (**Gambar 4.95** dan **4.96**) .



Gambar 4.95 *Diagram Influence Value for Laterally Loaded Pile NAVFAC* DM7-1971



Gambar 4.96 Diagram Influence Value for Laterally Loaded Pile NAVFAC DM7-1971

Dari grafik diatas, diperoleh koefisien defleksi 0,95 dimana untuk menghitung defleksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$f_\delta = 0{,}95$

$\delta_{py} = f_\delta \cdot \left(\frac{PT^3}{EI}\right)$

$\delta = 0{,}95.\left(\frac{\frac{31{,}447 \cdot 10^3}{6} \cdot 301{,}64^3}{33892{,}18 \cdot 510508{,}81}\right) = 1{,}55cm < 2{,}5\ \text{cm}(OK)$

- Kontrol momen dan gaya lateral

  Untuk mendapatkan koefisien momen digunakan grafik *influence value for laterally loaded pile* berikut:

  Dengan nilai L/T = 4,56, didapatkan nilai Fm sebesar 0,9. Maka untuk mendapatkan momen pada tiang pancang dapat dihitung sebagai berikut:

  Dengan Z = 0, maka Fm = 0,9

  Direncanakan jumlah tiang pancang sebanyak 6 buah pada poer. Sehingga didapatkan :

  $\text{Mp} = \text{Fm}(\text{P.T})$

  $= 0{,}9 \cdot 62{,}895 \cdot 10^2/6 \cdot 301{,}64 = 28{,}457\ tm$

  $= 28{,}457\ \text{t.m} < \text{Mcr} = 29\ \text{t.m}\ (\text{OK})$

  $\text{H}_{\text{izin}} = \left(\frac{\text{Mcr}}{\text{Fm .T}}\right) = \left(\frac{29}{0{,}9\ .\ 301{,}64/100}\right) = 10{,}682\ ton$

Tabel 4.69 Kontrol gaya lateral dan momen pada pondasi tipe 1

Kombinasi pembebanan	n	Hx /n	Hy /n	H_{izin}	Cek H < H_{izin}	M	Mcr	Cek M < Mcr
		t	t	t		tm	tm	
D+L	6	0,738	0,461	10,682	OK	2,002	29	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	4,208	5,403	10,682	OK	14,667	29	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	10,307	1,906	10,682	OK	27,982	29	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	4,383	5,408	10,682	OK	14,681	29	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	10,482	1,911	10,682	OK	28,457	29	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	3,932	5,388	10,682	OK	14,627	29	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	10,031	1,851	10,682	OK	27,232	29	OK

Tabel 4.70 Kontrol gaya lateral dan momen pada pondasi tipe 2

Kombinasi pembebanan	n	Hx/n	Hy/n	H_{izin}	Cek H < H_{izin}	M	Mcr	Cek M < Mcr
		t	t	t		tm	tm	
D+L	6	0,549	0,712	101,201	OK	1,932	29	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	6	2,610	5,916	101,201	OK	16,062	29	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	6	6,265	2,126	101,201	OK	17,009	29	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	6	2,400	6,059	101,201	OK	16,450	29	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	6	6,342	2,269	101,201	OK	17,216	29	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	6	2,166	5,728	101,201	OK	15,550	29	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	6	6,191	1,938	101,201	OK	16,808	29	OK

Tabel 4.71 Kontrol gaya lateral dan momen pada pondasi tipe 3

Kombinasi pembebanan	n	Hx /n	Hy /n	H_{izin}	Cek H < H_{izin}	M	Mcr	Cek M < Mcr
		t	t	t		tm	tm	
D+L	8	0,553	0,359	77,185	OK	0,747	11	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehx	8	3,156	3,150	77,185	OK	4,261	11	OK
D + 0,7Ev + 0,7Ehy	8	7,731	1,130	77,185	OK	10,437	11	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehx + 0,75L	8	3,287	3,174	77,185	OK	4,439	11	OK
D + 0,525Ev + 0,525Ehy + 0,75L	8	7,862	1,191	77,185	OK	10,615	11	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehx	8	2,949	3,115	77,185	OK	4,206	11	OK
0,6D - 0,7Ev + 0,7Ehy	8	7,523	1,095	77,185	OK	10,158	11	OK

4.10.3 Perencanaan poer / *pilecap*

Perencanaan pilecap meliputi kontrol terhadap gaya geser pons pada penampang kritis pada penampang kritis dan penulangan momen lentur. Beban yang dihitung adalah hasil kombinasi LRFD. Pada perhitungan ini akan diambil contoh perencanaan pada poer dari pondasi tipe 1.

a. Data perencanaan

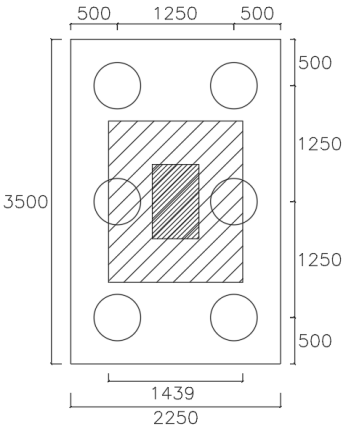
Poer akan direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

B_{kolom} = 600 mm
H_{kolom} = 800 mm
B_{poer} = 2250 mm
L_{poer} = 3500 mm
t_{poer} = 1000 mm
n = 9 tiang pancang
D_{pile} = 500 mm
P_{pile} = 1029,958 kN
P_{kolom} = 4869,651 kN
D_{tul} = 22 mm
F'c = 30 MPa
$Fy_{tulangan}$ = 400 MPa
Cover = 50 mm
d_x = 1000 – 70 – 0,5(22) = 939 mm
d_y = 1000 – 70 – 0,5(22) = 917 mm

b. Kontrol geser pons

Akibat kolom

Kontrol geser *punching shear* direncanakan pada bidang kritis dengan jarak d/2 = 469,5 mm dari muka kolom.



Gambar 4.97 Daerah *punching shear* pilecap akibat kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.11.2.1 gaya geser pondasi tapak non-prategang (Vc) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0{,}17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$V_{c2} = 0{,}083\left(\frac{\alpha_s\, d}{b_0}+2\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$V_{c3} = 0{,}33\,\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

Keterangan :

α_s = 20 untuk kolom sudut
= 30 untuk kolom tepi
= 40 untuk kolom interior

β = rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek
= 3,5/2,25 = 1,55

b_o = Keliling penampang kritis
= $2(b_{kolom} + d) + 2(h_{kolom} + d)$
= 2(600+939) + 2(2800+939)
= 6556 mm

$$V_{c1} = 0{,}17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$V_{c1} = 0{,}17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$= 0{,}17\left(1+\frac{2}{1{,}55}\right)1\sqrt{30}\,.6556\,.\,\frac{939}{10^3}$$

$$= 13101{,}95\ kN$$

$$V_{c2} = 0{,}083\left(\frac{\alpha_s\, d}{b_0}+2\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$V_{c2} = 0{,}083\left(\frac{\alpha_s\, d}{b_0}+2\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$= 0{,}083\left(\frac{40\,.\,939}{6556}+2\right)1\sqrt{30}\,.6556\,.\frac{939}{10^3}$$

$$= 21630{,}7\ kN$$

$$V_{c3} = 0{,}33\,\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$V_{c3} = 0{,}33\,\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

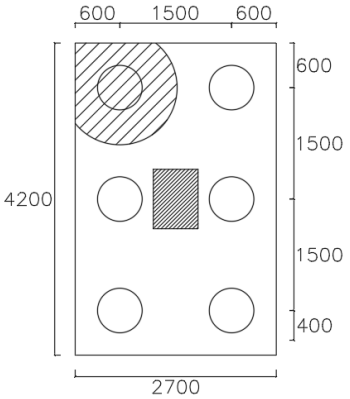
$$= 0{,}33\ 1\sqrt{30}\,.6556\,.\frac{939}{10^3}$$

$$= 11127{,}02\ kN$$

Maka kapasitas geser penampang poer adalah sebagai berikut.
ØVn = 0,75. 11127,02
= 8345,269 kN > Pu kolom = 6946,04 kN (OK)
Sehingga dapat disimpulkan ketebalan poer telah memenuhi syarat terhadap kontrol geser ponds akibat kolom.

Akibat pile

Geser pons dikontrol dengan jarak d/2 dari muka tiang pancang.



Gambar 4.98 Area *punching shear* pada pilecap akibat pile

B_o = keliling penampang kritis

= 3,14 x (D_{tiang} +d**)** = 4520,751 mm

$P_{1\ tiang}$ = 985,256 kN

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.11.2.1, nilai Vc diambil dari tiga persamaan berikut :

$$V_{c1} = 0{,}17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$= 0{,}17\left(1+\frac{2}{1{,}55}\right)1\sqrt{30}\,.\,4834{,}911\,.\,\frac{939}{10^3}$$

$$= 12681{,}57\ kN$$

$$V_{c2} = 0{,}083\left(\frac{\alpha_s\, d}{b_0}+2\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$V_{c2} = 0{,}083\left(\frac{\alpha_s\, d}{b_0}+2\right)\lambda\sqrt{Fc'}\,b_0 d$$

$$= 0{,}083\left(\frac{40\,.\,939}{6556}+2\right)1\sqrt{30}\,.\,4834{,}911\,.\,\frac{939}{10^3}$$

$$= 20161{,}397\ kN$$

$V_{c3} = 0{,}33\ \lambda\sqrt{Fc'}\ b_0 d$

$V_{c3} = 0{,}33\ \lambda\sqrt{Fc'}\ b_0 d$

$= 0{,}33\ 1\sqrt{30}\ .\ 4834{,}911\ .\ \frac{939}{10^3}$

$= 8205{,}945\ kN$

Maka kapasitas geser penampang poer adalah sebagai berikut.

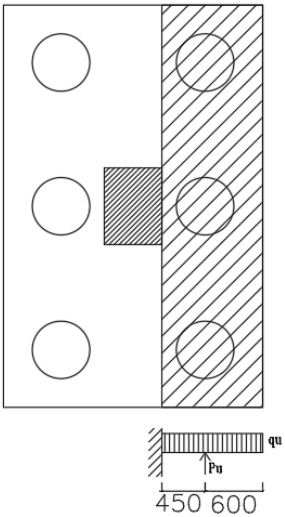
$\emptyset Vn = 0{,}75.\ 8205{,}945$

= 6154,459 kN > Pu pile = 1113,563 kN (OK)

Sehingga dapat disimpulkan ketebalan poer telah memenuhi syarat terhadap kontrol geser ponds akibat pile.

c. Penulangan lentur pile

Penulangan pada poer memiliki prinsip yang mirip dengan penulangan pada balok. Pada penulangan lentur, poer dianalisa sebagai kantilever, dimana bagian kolom diasumsikan sebagai perletakan jepit. Beban yang bekerja ialah beban terpusat di tiang pancang dan berat dari poer itu sendiri.



Gambar 4.99 Skema Momen Tiang Pancang

Penulangan arah X

Pu $_{pile}$ $= 1113{,}563$ kN

P $= 1113{,}563$ x 3 = 3340,690 kN

q.L $= 1{,}05$ x 4,2 x 1 x 2,4 x 1,2 = 127,008 kN/m

$M_u = (P \times s) - (0{,}5\ q_u\ L^2)$

$= (3340{,}69 \times 0{,}45) - \left(127{,}008.\frac{1{,}05}{2} \right)$

$= 1436{,}631\ kNm$

$\rho_{min} = 0{,}0018\ \frac{420}{fy}\ atau\ 0{,}0014$

$= 0{,}00189$

$\rho_{maks} = \frac{0{,}75\ .\ 0{,}85\ .\ \beta_1\ .\ F_c'}{F_y}\left(\frac{600}{600 + F_y}\right)$

$= \frac{0{,}75\ .\ 0{,}85\ .\ 0{,}8357\ .\ 30}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}0239$

$m = \frac{F_y}{0{,}85\ .\ F_c'} = \frac{400}{0{,}85\ .\ 30} = 15{,}686$

$R_n = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2} = \frac{1436{,}631\ .\ 10^6}{0{,}9\ .\ 4200\ .\ 939^2} = 0{,}431$ MPa

$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ R_n}{F_y}}\right)$

$\rho = \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15{,}686\ .\ 0{,}431}{400}}\right)$

$= 0{,}00108$

$\rho_{min} = 0{,}00189 > \rho = 0{,}00108$

Maka dipakai $\rho = 0{,}00189$

As perlu $= \rho\ .\ b\ .\ d = 0{,}00189\ .\ 4200\ .\ 939$

$= 7453{,}782\ mm^2$

Digunakan tulangan dengan diameter 22 mm

As $= 0{,}25\ \pi\ D^2 = 0{,}25\ \pi\ 22^2 = 380{,}132\ mm^2$

Sehingga dapat dihitung spasi yang dibutuhkan sebagai

berikut:

$n = \frac{7453{,}782}{380{,}132} = 19{,}608 \sim 20$

$S = \frac{4200}{17} = 221{,}052\ mm \sim 150\ mm$

Sehingga dipakai tulangan lentur D22-150 mm untuk arah X

Penulangan arah Y

$Pu_{pile} = 1113{,}563$ kN

$P = 1113{,}563 \times 2 = 2227{,}126$ kN

$q.L = 1{,}7 \times 2{,}7 \times 1 \times 2{,}4 \times 1{,}2 = 132{,}192$ kN/m

$M_u = (P \times s) - (0{,}5\ q_u\ L^2)$

$= (2227{,}126) - \left(0{,}5\ .\ 132{,}192\ .\ \frac{1{,}35}{2}\right)$

$= 2337{,}476\ kNm$

$\rho_{min} = 0{,}0018\ \frac{420}{fy}\ atau\ 0{,}0014$

$= 0{,}00189$

$\rho_{maks} = \frac{0{,}75\ .\ 0{,}85\ .\ \beta_1\ .\ F_c'}{F_y}\left(\frac{600}{600 + F_y}\right)$

$= \frac{0{,}75\ .\ 0{,}85\ .\ 0{,}8357\ .\ 30}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}0239$

$m = \frac{F_y}{0{,}85\ .\ F_c'} = \frac{400}{0{,}85\ .\ 30} = 15{,}686$

$R_n = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2} = \frac{2337{,}476\ .\ 10^6}{0{,}9\ .\ 2700\ .\ 917^2} = 1{,}143$ MPa

$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ R_n}{F_y}}\right)$

$\rho = \frac{1}{15{,}686}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15{,}686\ .\ 1{,}143}{400}}\right)$

$= 0{,}0029$

$\rho_{min} = 0{,}00189 < \rho = 0{,}0029 < \rho_{max} = 0{,}0239$
Maka dipakai $\rho = 0{,}0029$
$As\ perlu = \rho \,.\, b \,.\, d$
$= 0{,}0029 \,.\, 2700 \,.\, 917$
$= 7247{,}058\ mm^2$
Digunakan tulangan dengan diameter 22 mm
As = 0,25 π D^2 = 0,25 π 22^2 = 380,132 mm^2
Sehingga dapat dihitung spasi yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$n = \frac{7247{,}058}{380{,}132} = 19{,}064 \sim 20$$

$$S = \frac{2700}{20-1} = 152{,}105\ mm \sim 150\ mm$$

Sehingga dipakai tulangan lentur D22-150 mm untuk arah Y

Perhitungan tulangan tusuk konde

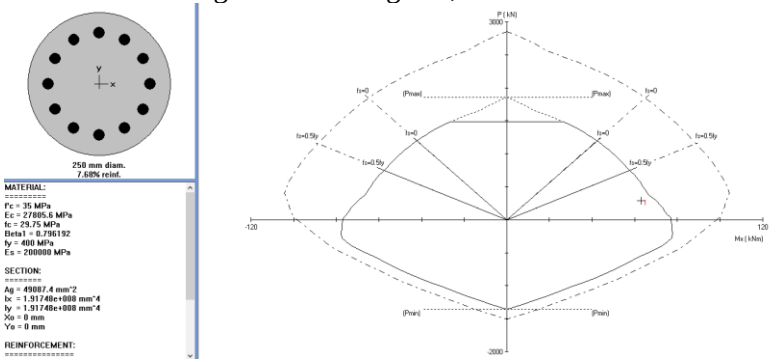
Untuk perencanaan tulangan tusuk konde kontribusi beton spunpile dan tulangannya diabaikan agar lebih konservatif. Berikut perencaan tulangan tusuk konde :

<u>Tiang pancang spun square pile ukuran 400x400 mm</u>

Inner diameter = 250 mm

P_{pile} = 290,304 kN & $M_{u\ pile}$ = 63,6 kNm

Dengan menggunakan SPColumn didapatkan tulangan tusuk konde 12D20 dengan rasio tulangan 7,68%.



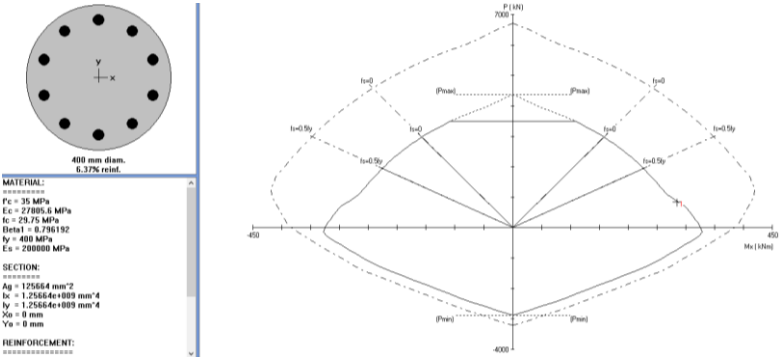
Gambar 4.100 Analisis SPColumn tusuk konde spun square pile

Tiang pancang spun pile diameter 600 mm

Inner diameter = 400 mm

P_{pile} = 839,95 kN & $M_{u\ pile}$ = 284,57 kNm

Dengan menggunakan SPColumn didapatkan tulangan tusuk konde 10D32 dengan rasio tulangan 6,37%.



Gambar 4.101 Analisis SPColumn tusuk konde spun pile

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam modifikasi perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo dengan *base isolation* tipe *friction pendulum system* (FPS), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perencanaan struktur sekunder pada rumah susun Pasar Rebo adalah sebagai berikut:
   a. Perencanaan pelat lantai
      - Tebal pelat tipe S1 = 13 cm
      - Tebal pelat tipe S2 = 10 cm
      - Tebal pelat tipe S3 = 12 cm
      - Tebal pelat tipe S4 = 10 cm

   b. Perencanaan tangga
      - Tebal pelat tangga tipe 1 = 20 cm
      - Tebal pelat tangga tipe 2 = 20 cm

   c. Balok anak
      - Dimensi balok anak BA1 = 250 x 400 mm
      - Dimensi balok anak BA2 = 250 x 400 mm

   d. Balok lift
      - Dimensi balok penggantung = 250 x 400 mm
      - Dimensi balok penumpu = 250 x 400 mm

2. Hasil perencanaan struktur primer pada rumah susun Pasar Rebo adalah sebagai berikut:
   a. Balok Induk
      - Dimensi balok induk BI 1 = 450 x 700 mm
      - Dimensi balok induk BI 2 = 400 x 600 mm
      - Dimensi balok induk BI 3 = 400 x 600 mm
      - Dimensi balok induk BI 4 = 400 x 600 mm
      - Dimensi balok induk BI 5 = 300 x 500 mm

b. Kolom
   - Dimensi kolom K1A = 600 x 800 mm
   - Dimensi kolom K1B = 600 x 800 mm
   - Dimensi kolom K1C = 600 x 800 mm
   - Dimensi kolom K2A = 600 x 800 mm
   - Dimensi kolom K2B = 600 x 800 mm
   - Dimensi kolom K2C = 600 x 800 mm
   - Dimensi kolom K3A = 600 x 600 mm
   - Dimensi kolom K3B = 500 x 500 mm
   - Dimensi kolom K3C = 500 x 500 mm

3. Base isolator yang digunakan pada gedung ini ada dua tipe yaitu SIP-D-HF-325 (5000) dan SIP-D-HF-326 (5000) yang merupakan produk dari *Maurer*.
4. Hasil verifikasi kapasitas energi disipasi FPS dalam menahan gempa dengan menggunakan analisis nonlinear time history menunjukkan bahwa kurva *base shear* vs *displacement* pada isolator masih berada dalam area histeresis kapasitas FPS sehingga FPS dinyatakan cukup kuat dalam menahan gempa.
5. Perbandingan perilaku struktur *base isolation* dengan struktur *fixed based* berdasarkan periode struktur, gaya geser dasar, pepindahan lantai atap, dan *drift rasio* adalah sebagai berikut:
   a. Struktur dengan base isolation memiliki periode 3,17 kali lebih besar dari periode struktur fixed based.
   b. Struktur *base isolation* memiliki gaya geser dasar yang lebih kecil dari struktur *fixed based* yang menggunakan sistem SRPMM (R=5), SRPMB (R=3), SRPMB (R=2) dengan selisih masing-masing sebesar 6,23% , 43,4%, dan 62,49%. Akan tetapi struktur base isolation memiliki gaya geser yang lebih besar dari struktur SRPMK dengan selisih sebesar 50,03%.
   c. Struktur dengan base isolation memiliki perpindahan atap yang lebih besar dari struktur fixed based. Selain itu

periode untuk satu siklus perpindahan pada struktur terisolasi lebih besar dari struktur terjepit.

d. Penggunaan base isolation pada struktur mereduksi drift rasio dengan selisih rata- rata 68,2% diarah X dan 47,35% diarah Y.

6. Hasil perencanaan struktur bawah pada gedung rumah susun Pasar Rebo yang meliputi balok sloof dan pondasi adalah sebagai berikut:
   a. Perencanaan balok sloof
      - Dimensi balok sloof = 400 x 600 mm
   b. Perencanaan pondasi
      Pada gedung rumah susun Pasar Rebo digunakan 2 tipe pondasi berbeda sebagai berikut:
      - Tipe 1
        Digunakan tiang pancang berukuran 60 cm dengan jumlah 6 dan dipasang hingga kedalaman 11 m. Pile cap yang direncanakan berdimensi 2,7 x 4,2 x 1 m dengan tulangan D22-140 mm dan D22 140 mm.
      - Tipe 2
        Digunakan tiang pancang berukuran 60 cm dengan jumlah 4 dan dipasang hingga kedalaman 11 m. Pile cap yang direncanakan berdimensi 4,2 x 2,7 x 1 m dengan tulangan D22-130 mm dan D22-130 mm.
      - Tipe 3
        Digunakan tiang pancang spun squre pile ukuran 40 cm x 40 cm dengan jumlah 8 dan dipasang hingga kedalaman 14 m. Pile cap yang direncanakan berdimensi 3,8 x 1,8 x 1 m dengan tulangan D22-100 mm dan D22-100 mm.

7. Semua hasil akhir perencanaan dapat dilihat dalam bentuk gambar teknik yang terdapat pada lampiran.

5.2 Saran

Saran untuk perencanaan pada tugas akhir ini adalah:

1. Dilakukan perencanaan *base isolation* dengan mengkombinasikan beberapa tipe *isolator* untuk mendapatkan gaya geser dasar yang paling minimum, sehingga dapat mendekati atau menyamai nilai gaya geser dasar pada struktur *fixed based* dengan daktilitas penuh atau SRPMK. Dapat digunakan isolator tipe PTFE *slide bearing* yang mana merupakan *isolator* dengan kekakuan yang paling rendah dikombinasikan dengan *rubber isolator* atau *isolator* lain berbasis friksi.
2. Dilakukan studi perbandingan struktur base isolation dengan struktur rangka pemikul momen ganda dimana tipe struktur tersebut banyak digunakan pada bangunan-bangunan yang ada di Indonesia.
3. Dapat dilakukan studi perbandingan struktur base isolation dengan struktur fixed based berdasarkan biaya dan waktu pelaksanaan sehingga bisa didapatkan sistem yang paling optimum.
4. Dapat dilakukan perbandingan kinerja struktur base isolation dan struktur fixed based dengan menggunakan analisis pushover sehingga bisa diketahui sistem mana yang memiliki kinerja yang paling optimum.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 2020. **Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727 : 2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain sebagal revisi dari Standar Nasional Indonesia 1727 : 2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.** Jakarta

Barrera-Vargas, C. A. *et al.*. 2020. "Enhancing friction pendulum isolation systems using passive and semi-active dampers", ***Applied Sciences (Switzerland)***, 10:16. doi: 10.3390/app10165621.

Budiono, B. 2015. "Penggunaan Isolasi Dasar Single Friction Pendulum dan Triple Friction Pendulum pada Bangunan Beton Bertulang". **Jurnal Teknik Sipil**. 22. 2: 67–78. doi: 10.5614/jts.2015.22.2.1.

Budiono, B. and Setiawan, A. 2014 . "Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang". **Jurnal Teknik Sipil**. 21. 3:179. doi: 10.5614/jts.2014.21.3.1.

Daniel M. Fenz and Michael C. Constantinou. 2006. Behaviour of the double concave Friction Pendulum bearing. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**. 35. 11:1403-1424 doi: 10.1002/eqe.589.

Ealangi, I. .2010. "Earthquake Protection of Buildings By Seismic Isolation". Devices and Concepts Isolation . Devices and Concepts', **Young Researchers Conference**, (July).

Ferraioli, M. and Mandara, A. 2017. "Base Isolation for Seismic Retrofitting of a Multiple Building Structure: Design, Construction, and Assessment". **Mathematical Problems in Engineering**. 2017. 1:1-24 doi: 10.1155/2017/4645834.

Hacheem, A. and Al-Shimmari, I. K.. 2010. "Finite Element Analysis of a Friction Pendulum Bearing Base Isolation System for Earthquake Loads". **Journal of Engineering**. 16

.3:5315–5336.

Islam, A., Jameel, M. and Jumaat, M. Z. 2011. "Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique", **Journal of Engineering and Technology Research**. 3. 4:99–117.

Ismail, M. (2018) "Seismic isolation of structures. Part I: Concept, review and a recent development". **Hormigón y Acero**. 69. 285:147–161. doi: 10.1016/j.hya.2017.10.002.

Kaptan, K. (2013) "Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices". **European Scientific Journal**. 9. 18:41–54.

Kavvadias, I. E., Bibo, H. F. and Vasiliadis, L. K. .2017. "Finite element modeling of single and multi-spherical friction pendulum bearings". **COMPDYN 2017 - Proceedings of the 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering**. 2:4408–4416. doi: 10.7712/120117.5733.18107.

Li, J. *et al.*. 2020. "Energy-based prediction of the displacement of DCFP bearings". **Applied Sciences (Switzerland)**. 10. 15:5259 doi: 10.3390/APP10155259.

Makris, N.. 2019. "Seismic isolation: Early history". **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. 48. 2:269–283. doi: 10.1002/eqe.3124.

Minal, M., Somwanshi, A. and Pantawane, R. N.. 2015. "Seismic Analysis of Fixed Based and Base Isolated Building Structures". **International Journal of Multidisciplinary and Current Research** 3:747–757.

Moustafa, M. I. A.-K. .2009. **An Innovative Isolation Device For Aseismic Design**. Technical University of Catalonia.

Sağıroğlu, M., Maali, M. and Aydın, A. C. 2018. "Installation and Maintenance Principles of Seismic Isolators: Erzurum Health Campus", **The Open Civil Engineering Journal**. 12. 1:83–95. doi: 10.2174/1874149501812010083.

Scheaua, F. .2012. "Friction pendulum dampers for earthquake

isolated structural systems", **Romanian Journal of Acoustics and Vibration**. 9. 1:29–32

Tim Pusat Studi Gempa Nasional (2017) **Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017**. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Tolani, S. and Sharma, A. .2016. "Effectiveness of Base Isolation Technique and Influence of Isolator Characteristics on Response of a Base Isolated Building", **American Journal of Engineering Research**. 55:2320–847.

Wang, Y.-P.. 2002. "Fundamentals of Seismic Base Isolation" **International Training Programs for Seismic Design of Building Structures**, 2002 (January) : 139–148.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

LAMPIRAN A
DATA TANAH

LAMPIRAN :

1. Sket Situasi Letak Titik Sondir dan Bor Mesin

STATIC CONE PENETRATION TEST (ASTM D-3441) Capacity 2,50 Ton							
Project	RUSUN BLK PASAR REBO					No. Test	S - 3
Location	Jl.RAYA BOGOR PASAR REBO - JAKTIM					G L	-
Tested by	Petrus.M. team, (pmtes.com)					G W L	-
Area of Cone		10 cm^2		Area of Mantle	150 cm^2	Date of Test	9 OKTOBER 2016
STA =	-						

DEPTH (M)	READING PRESURE GAUGE		CONE RESISTANCE (qc) kg/cm^2	LOKAL FRICTICION (fs) kg/cm^2	TOTAL LOKAL FRICTION (Lf) Kg/cm	TOTAL FRICTION (Tf) kg/cm	fs / qc (%)
	x kgf	y kgf					
0.00	0	0	0	0.00	0	0	
0.20	0	0	0	0.00	0	0	
0.40	0	0	0	0.00	0	0	
0.60	0	0	0	0.00	0	0	
0.80	8	10	8	0.20	4	4	2.50
1.00	8	10	8	0.20	4	8	2.50
1.20	6	8	6	0.20	4	12	3.33
1.40	4	8	4	0.40	8	20	10.00
1.60	6	12	6	0.60	12	32	10.00
1.80	8	14	8	0.60	12	44	7.50
2.00	10	16	10	0.60	12	56	6.00
2.20	18	25	18	0.70	14	70	3.89
2.40	24	38	24	1.40	28	98	5.83
2.60	28	42	28	1.40	28	126	5.00
2.80	28	44	28	1.60	32	158	5.71
3.00	34	52	34	1.80	36	194	5.29
3.20	30	43	30	1.30	26	220	4.33
3.40	26	40	26	1.40	28	248	5.38
3.60	20	36	20	1.60	32	280	8.00
3.80	24	38	24	1.40	28	308	5.83
4.00	30	43	30	1.30	26	334	4.33
4.20	36	50	36	1.40	28	362	3.89
4.40	40	55	40	1.50	30	392	3.75
4.60	46	58	46	1.20	24	416	2.61
4.80	50	62	50	1.20	24	440	2.40
5.00	48	58	48	1.00	20	460	2.08
5.20	48	58	48	1.00	20	480	2.08
5.40	50	60	50	1.00	20	500	2.00
5.60	56	65	56	0.90	18	518	1.61
5.80	60	70	60	1.00	20	538	1.67
6.00	62	70	62	0.80	16	554	1.29
6.20	64	75	64	1.10	22	576	1.72
6.40	70	85	70	1.50	30	606	2.14
6.60	72	85	72	1.30	26	632	1.81
6.80	65	72	65	0.70	14	646	1.08
7.00	60	70	60	1.00	20	666	1.67
7.20	55	68	55	1.30	26	692	2.36
7.40	52	65	52	1.30	26	718	2.50
7.60	52	60	52	0.80	16	734	1.54
7.80	54	65	54	1.10	22	756	2.04
8.00	56	68	56	1.20	24	780	2.14
8.20	58	72	58	1.40	28	808	2.41
8.40	60	75	60	1.50	30	838	2.50
8.60	66	86	66	2.00	40	878	3.03
8.80	68	88	68	2.00	40	918	2.94
9.00	72	92	72	2.00	40	958	2.78
9.20	70	88	70	1.80	36	994	2.57
9.40	64	74	64	1.00	20	1014	1.56
9.60	64	72	64	0.80	16	1030	1.25
9.80	64	72	64	0.80	16	1046	1.25
10.00	60	70	60	1.00	20	1066	1.67
10.20	62	74	62	1.20	24	1090	1.94
10.40	65	78	65	1.30	26	1116	2.00
10.60	70	82	70	1.20	24	1140	1.71
10.80	72	85	72	1.30	26	1166	1.81

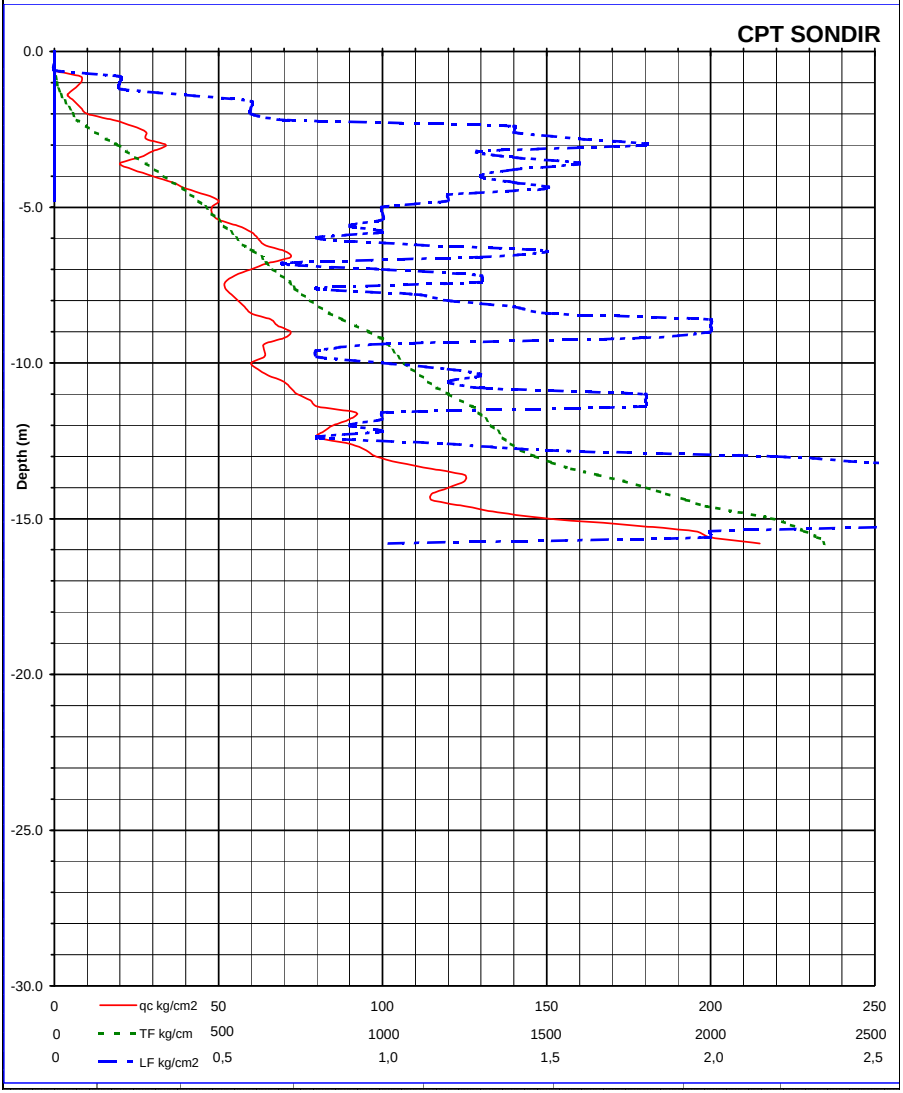
STATIC CONE PENETRATION TEST (ASTM D-3441) Capacity 2,50 Ton							
Project	**RUSUN BLK PASAR REBO**					**No. Test**	**S - 3**
Location	**Jl.RAYA BOGOR PASAR REBO - JAKTIM**					**G L**	**-**
Tested by	**Petrus.M. team, (pmtes.com)**					**G W L**	**-**
Area of Cone		**10 cm^2**	**Area of Mantle**		**150 cm^2**	**Date of Test**	**9 OKTOBER 2016**
STA =	**-**						

DEPTH (M)	READING PRESURE GAUGE		CONE RESISTANCE (qc) kg/cm^2	LOKAL FRICTICION (fs) kg/cm^2	TOTAL LOKAL FRICTION (Lf) Kg/cm	TOTAL FRICTION (Tf) kg/cm	fs / qc (%)
	x kgf	y kgf					
11.00	74	92	74	1.80	36	1202	2.43
11.20	78	96	78	1.80	36	1238	2.31
11.40	80	98	80	1.80	36	1274	2.25

STATIC CONE PENETRATION TEST (ASTM D-3441) Capacity 2,50 Ton							
Project	**RUSUN BLK PASAR REBO**				**No. Test**	**S - 3**	
Location	**Jl.RAYA BOGOR PASAR REBO - JAKTIM**				**G L**	**-**	
Tested by	**Petrus.M. team, (pmtes.com)**				**G W L**	**-**	
Area of Cone	**10 cm^2**		**Area of Mantle**	**150 cm^2**	**Date of Test**	**9 OKTOBER 2016**	
STA =	**-**						

DEPTH (M)	READING PRESURE GAUGE		CONE RESISTANCE (qc) kg/cm^2	LOKAL FRICTICION (fs) kg/cm^2	TOTAL LOKAL FRICTION (Lf) Kg/cm	TOTAL FRICTION (Tf) kg/cm	fs / qc (%)
	x kgf	y kgf					
11.60	92	102	92	1.00	20	1294	1.09
11.80	90	100	90	1.00	20	1314	1.11
12.00	85	94	85	0.90	18	1332	1.06
12.20	82	92	82	1.00	20	1352	1.22
12.40	80	88	80	0.80	16	1368	1.00
12.60	90	102	90	1.20	24	1392	1.33
12.80	95	110	95	1.50	30	1422	1.58
13.00	98	120	98	2.20	44	1466	2.24
13.20	105	130	105	2.50	50	1516	2.38
13.40	115	145	115	3.00	60	1576	2.61
13.60	125	165	125	4.00	80	1656	3.20
13.80	125	165	125	4.00	80	1736	3.20
14.00	120	155	120	3.50	70	1806	2.92
14.20	115	145	115	3.00	60	1866	2.61
14.40	115	145	115	3.00	60	1926	2.61
14.60	125	155	125	3.00	60	1986	2.40
14.80	135	185	135	5.00	100	2086	3.70
15.00	150	200	150	5.00	100	2186	3.33
15.20	175	205	175	3.00	60	2246	1.71
15.40	195	215	195	2.00	40	2286	1.03
15.60	200	220	200	2.00	40	2326	1.00
15.80	215	225	215	1.00	20	2346	0.47

STATIC CONE PENETRATION TEST (ASTM D-3441) Capacity 2,50 Ton					
Project	RUSUN BLK PASAR REBO			No. Test	S - 3
Location	Jl.RAYA BOGOR PASAR REBO - JAKTIM			G L	-
Tested by	Petrus.M. team, (pmtes.com)			G W L	-
Area of Cone	10 cm^2	Area of Mantle	150 cm^2	Date of Test	9 OKTOBER 2016
STA =	-				



LAMPIRAN B
BROSUR LIFT

PLANNING GUIDE

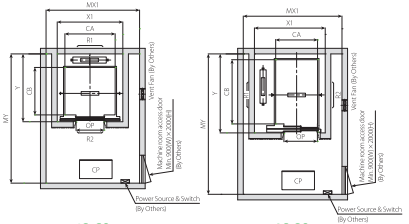
KOREA FACTORY PRODUCTION

HYUNDAI
ELEVATOR CO., LTD.

THE EL / I-XEL

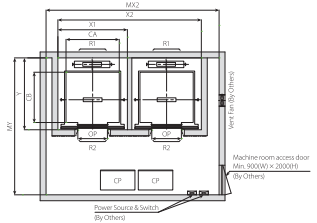
ULTRA-HIGH-SPEED / HIGH-SPEED ELEVATORS
3.0~10.0m/sec

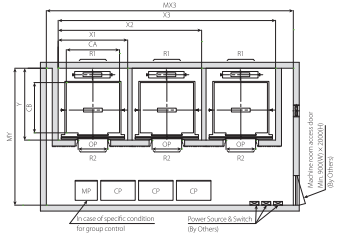
PLAN OF HOISTWAY



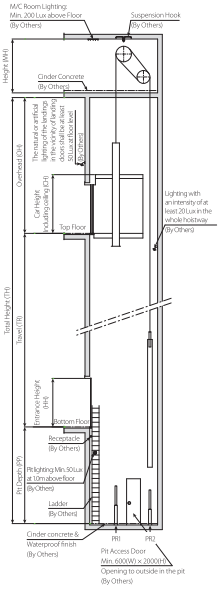
1S-CO

2S-SO





SECTION OF HOISTWAY



STANDARD DIMENSIONS & REACTIONS

Capacity		Speed (m/sec)	Opening Type	Door Width (mm)	C.WT Drop	Car Insize (mm)	Hoistway Insize (mm)	Machine Room Size (mm)	M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)	
Persons	kg			OP		CA × CB	X × Y	MX1 × MY	R1	R2	PR1	PR2
12	900	3.0	1S-CO	900	Rear	1600 × 1350	2300 × 2100	2800 × 4350	12030	6650	13100	11300
			2S-SO	900	Side	1300 × 1600	2100 × 2100	2800 × 4350				
13	1000		1S-CO	900	Rear	1600 × 1400	2300 × 2150	2800 × 4400	12810	6950	14600	12600
			2S-SO	900	Side	1100 × 2100	2100 × 2600	2600 × 4850				
15	1150		1S-CO	1000	Rear	1800 × 1400	2500 × 2150	3000 × 4400	13080	7150	17200	14900
			2S-SO	1000	Side	1200 × 2100	2200 × 2600	2700 × 4850				
18	1350		1S-CO	1000	Rear	1800 × 1600	2500 × 2350	3000 × 4600	14360	7650	18800	16100
			2S-SO	1100	Side	1300 × 2300	2300 × 2800	2800 × 5050				
21	1600		1S-CO	1100	Rear	2000 × 1700	2700 × 2450	3200 × 4700	15100	8100	21000	17100
			2S-SO	1200	Side	1400 × 2400	2400 × 2900	2900 × 5150				
24	1800		1S-CO	1100	Rear	2000 × 1800	2700 × 2550	3200 × 4800	15700	8400	24000	18700
			2S-SO	1200	Side	1500 × 2400	2550 × 2900	3050 × 5150				
26	2000		1S-CO	1200	Rear	2100 × 1900	2800 × 2650	3300 × 4900	16200	8700	21000	17100
			2S-SO	1300	Side	1600 × 2500	2650 × 3000	3150 × 5250				
13	1000	3.5	1S-CO	900	Rear	1600 × 1400	2300 × 2200	2800 × 4450	12810	7800	14600	12600
			2S-SO	900	Side	1300 × 1800	2350 × 2300	2850 × 4550				
15	1150		1S-CO	1000	Rear	1800 × 1400	2500 × 2200	3000 × 4450	14100	8000	17200	14900
			2S-SO	1000	Side	1300 × 2000	2350 × 2500	2850 × 4750				
18	1350		1S-CO	1000	Rear	1800 × 1600	2500 × 2400	3000 × 4650	15100	8050	18800	16100
			2S-SO	1100	Side	1300 × 2300	2350 × 2800	2850 × 5050				
21	1600	4.0	1S-CO	1100	Rear	2000 × 1700	2700 × 2500	3200 × 4750	15700	8100	21000	17100
			2S-SO	1200	Side	1400 × 2400	2450 × 2900	2950 × 5150				
24	1800		1S-CO	1100	Rear	2000 × 1800	2700 × 2600	3200 × 4850	16000	8500	24000	18700
			2S-SO	1200	Side	1500 × 2400	2600 × 2900	3100 × 5150				
26	2000		1S-CO	1200	Rear	2100 × 1900	2800 × 2700	3300 × 4950	16400	8800	21000	17100
			2S-SO	1300	Side	1600 × 2500	2700 × 3000	3200 × 5250				

Capacity		Speed (m/sec)	Opening Type	Door Width (mm)	Car Insize (mm)	Hoistway Insize (mm)								Machine Room Size (mm)			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)	
Persons	kg			OP	CA × CB	X1	X2	X3	×	MY	MX1	MX2	MX3	×	Y	R1	R2	PR1	PR2
15	1150	5.0 6.0	1S-CO	1000	1800 × 1400	2600	5300	8000	×	2350	3300	6000	8700	×	5850	17500	13000	-	-
18	1350			1000	1800 × 1600	2600	5300	8000	×	2550	3300	6000	8700	×	6050	17800	13200	-	-
				1100	2000 × 1450	2800	5700	8600	×	2400	3500	6400	9300	×	5900				
21	1600			1100	2000 × 1700	2800	5700	8600	×	2650	3500	6400	9300	×	6150	18100	13500	-	-
				1100	2150 × 1550	2950	6000	9050	×	2500	3650	6700	9750	×	6000				
24	1800			1100	2000 × 1800	2800	5700	8600	×	2750	3500	6400	9300	×	6250	18300	13800	-	-
				1100	2150 × 1700	2950	6000	9050	×	2650	3650	6700	9750	×	6150				
26	2000			1100	2100 × 1900	2900	5900	8900	×	2850	3600	6600	9600	×	6350	-	-	-	-
				1100	2150 × 1850	2950	6000	9050	×	2800	3650	6700	9750	×	6300				
15	1150	7.0 8.0	1S-CO	1000	1800 × 1400	2700	5500	8300	×	2500	3400	6200	9000	×	6000	-	-	-	-
18	1350	7.0 ~ 10.0		1100	2000 × 1450	2900	5900	8900	×	2550	3600	6600	9600	×	6050	-	-	-	-
21	1600			1100	2000 × 1700	2900	5900	8900	×	2800	3600	6600	9600	×	6300	-	-	-	-
24	1800			1100	2000 × 1800	2900	5900	8900	×	2900	3600	6600	9600	×	6400	-	-	-	-
26	2000			1100	2100 × 1900	3000	6100	9200	×	3000	3700	6800	9900	×	6500	-	-	-	-

▲ **Notes:**
1. The table of dimensions as per Hyundai standard or EN81, For other country codes and spec requirements, please contact us.
2. If apply the safety gear on Counterweight side, please contact us.
3. If apply through (180 degree) type, please consult with us.
4. In case of duplex, please secure the distance between car and car more than 500mm. if not secured, please install a middle partition in hoistway.
5. Rail Bracket (Seperated Beam(Wall)) pitch: 2,000mm for speed 3.0m/sec elevators with a capacity below 1,600kg.
6. If only single car is located in the hoistway, please contact us for wind pressure countermeasures of building and elevator.
7. If the speed is over 7.0m/s, the reaction force will be calculated according to the travel. Please contact us.
8. The Hoistway dimensions width & depth are based on clear dimension +30mm horizontal tolerances over the total hoistway height.

OVERHEAD & PIT DEPTH

(Unit : mm)

Capacity (kg)	Speed (m/sec)	Overhead (OH) EN81-1 & 20	Pit Depth (PP)	M/C Room Height (MH)
900 ~ 2000	3.0	CH+3300	2700[Note.2]	3000
	3.5	CH+3700	3200[Note.2]	3000
	4.0	CH+4400	3850[Note.2]	3000
	5.0	CH+5300	4200	3300
	6.0	CH+5600	4300	3300
	7.0	CH+5800	6000	3300
	8.0	CH+6800	6400	3600
	9.0	CH+7050	8800	3600
	10.0	CH+7300	9000	3600

* CH: (External) Car Height

◀ **Notes:**
1. Above dimensions are applied base on EN81-1 & EN81-20.
2. The speed 3.0~4.0m/sec can be applied at pit depth 2500mm according to the layout condition. Please contact us separately.
3. Machine room temperature should be maintained below 40°C with ventilating fan and/or air conditioner(if necessary) and humidity below 90%.
4. If the height of non-stop floor is over 11m (In case of fire-fighter lift : 7m), please consult us as to the needs for emergency exit.

LAMPIRAN C
BROSUR FRICTION PENDULUM SYSTEM

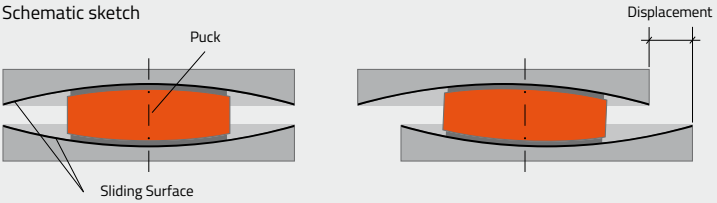
MAURER Curved Surface Slider SIP®-D

MAURER Curved Surface Slider SIP®-D

MAURER Curved Surface Slider SIP®-D ⏏

The MAURER curved surface slider SIP®-D includes two primary sliding surfaces and a puck in between. The radii and the friction of the two curved sliding surfaces determine the decoupling and damping of the structure. The seismic isolator SIP®-D supports the weight of the superstructure and recentres the building according to the pendulum principle.

>> Schematic sketch



The design of the curved surface slider SIP®-D is based on the standards EN 1337-7 („Spherical and cylindrical PTFE bearings") and EN 15129 („Anti-seismic devices"); if required, the proof calculations can be performed according to AASHTO and other standards as well. The sliding material MSM® and the sliding alloy MSA® are approved by ETA-06/0131.

The seismic isolators are designed based on the parameters resulting from the seismic analysis, i.e. the vertical load in the non-seismic design situation N_{Sd}, the maximum vertical load in the seismic design situation $N_{Ed,max}$, dynamic coefficient of friction μ, effective radius R_{eff} and design displacement d_{bd} resulting from the Design Basis Earthquake (DBE); according to EN 1998-2, the displacement capacity due to the Maximum Considered Earthquake (MCE) is $\gamma_x \cdot d_{bd}$ with γ_x=1.5 for bridges and γ_x=1.2 for all other structures. Please note that these displacements do not account for temperature effects on the structure, shrinkage and creep of concrete. Furthermore, the isolator is designed to withstand the vertical overload of 1.3 $N_{Sd,ULS}$ (EN 15129:2018).

The resulting maximum horizontal force F_h (base shear), effective period T_{eff}, effective stiffness k_{eff} and effective damping ratio ξ_{eff} are given in the subsequent tables for the regular range of the friction coefficient (3% and 5.5%) and effective radius for the DBE. The geometrical dimensions result from the displacement capacity of the isolator due to the MCE. The table data should be used for preliminary design purposes only.

The load transfer to the components (concrete) must be checked project-related.

On request, MAURER will perform seismic analysis to optimize the isolation system. This is done by either the linear modal analysis or the non-linear time history analysis. For these computations, the following data are required:

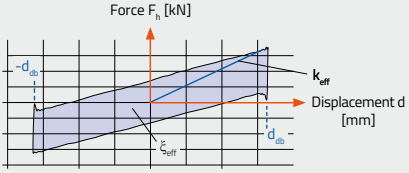
- response spectra of the DBE and MCE
- locking wind load
- max. tolerated isolator shear force
- max. tolerated absolute structural acceleration, max. tolerated inter-story drift
- vertical loads on all isolators: N_{Sd} and $N_{Ed,max}$
- max. tolerated spatial dimensions of isolators

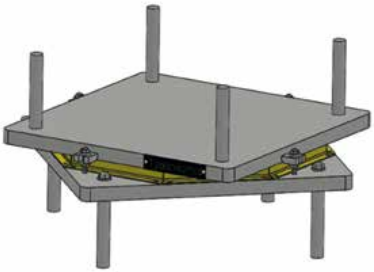
>> **LEGEND:** ⏏ Building constructions SIP®-D

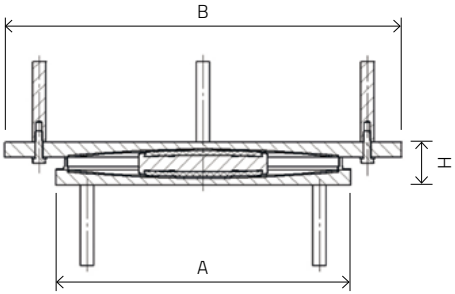
Nomenclature:

N_{Sd} = maximum vertical load in non-seismic design situation
$N_{Ed,max}$ = maximum vertical load in seismic design situation
d_{bd} = displacement capacity for earthquake
μ = dynamic coefficient of friction
R_{eff} = effective radius
T_{eff} = effective period at d_{bd}
F_h = horizontal force
k_{eff} = effective stiffness at d_{bd}
ξ_{eff} = effective damping ratio at d_{bd}
A = width of square bottom / top bearing plate
B = width across corner of square bottom / top bearing plate
H = minimum isolator height (puck in center position)

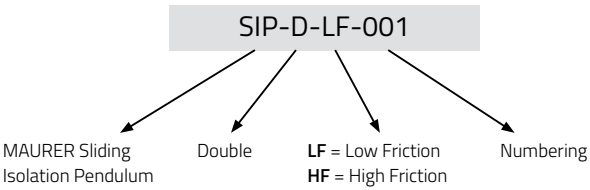
>> Hysteretic loop for SIP®-D







Labelling:



Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 150 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 1.5 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.70	2.15	131	867	14.69	380	540	150	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-001
2.50	4.75	2.15	327	2167	14.69	470	670	180		SIP-D-LF-002
4.00	7.80	2.15	523	3467	14.69	530	750	210		SIP-D-LF-003
6.25	12.20	2.15	818	5417	14.69	600	850	240		SIP-D-LF-004
8.50	17.00	2.15	1112	7367	14.69	670	950	270		SIP-D-LF-005
10.50	20.50	2.15	1373	9100	14.69	710	1010	300		SIP-D-LF-006

>> Horizontal displacement d_{bd} = 150 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 1.5 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	3.20	1.97	156	1033	22.59	430	610	160	High Friction (HF)	SIP-D-HF-007
2.50	8.75	1.97	390	2583	22.59	550	780	210		SIP-D-HF-008
4.00	14.40	1.97	624	4133	22.59	630	900	250		SIP-D-HF-009
6.25	22.50	1.97	975	6458	22.59	730	1040	300		SIP-D-HF-010
8.50	29.30	1.97	1326	8783	22.59	810	1150	340		SIP-D-HF-011
10.50	36.20	1.97	1639	10850	22.59	870	1240	380		SIP-D-HF-012

>> Horizontal displacement d_{bd} = 150 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 2.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.00	2.40	105	700	18.19	380	540	140	Low Friction (LF)	SIP-D-HF-013
2.50	5.50	2.40	263	1750	18.19	470	670	170		SIP-D-HF-014
4.00	9.40	2.40	422	2800	18.19	530	750	190		SIP-D-HF-015
6.25	14.40	2.40	659	4375	18.19	600	850	220		SIP-D-HF-016
8.50	20.00	2.40	896	5950	18.19	670	950	250		SIP-D-HF-017
10.50	24.15	2.40	1107	7350	18.19	710	1010	260		SIP-D-HF-018

>> Horizontal displacement d_{bd} = 150 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 2.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	3.95	2.15	131	867	26.93	430	610	160	High Friction (HF)	SIP-D-HF-019
2.50	10.00	2.15	326	2167	26.93	540	770	200		SIP-D-HF-020
4.00	16.80	2.15	522	3467	26.93	630	900	220		SIP-D-HF-021
6.25	26.60	2.15	816	5417	26.93	730	1040	270		SIP-D-HF-022
8.50	35.30	2.15	1109	7367	26.93	810	1150	310		SIP-D-HF-023
10.50	42.00	2.15	1370	9100	26.93	870	1240	350		SIP-D-HF-024

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 150 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 3.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H	Low Friction (LF)	Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.40	2.75	80	533	23.87	380	540	120		SIP-D-LF-025
2.50	6.50	2.75	200	1333	23.87	470	670	150		SIP-D-LF-026
4.00	10.80	2.75	321	2133	23.87	530	750	180		SIP-D-LF-027
6.25	16.90	2.75	501	3333	23.87	600	850	200		SIP-D-LF-028
8.50	23.80	2.75	681	4533	23.87	670	950	220		SIP-D-LF-029
10.50	28.35	2.75	841	5600	23.87	710	1010	240		SIP-D-LF-030

>> Horizontal displacement d_{bd} = 150 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H	Low Friction (LF)	Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.60	2.99	68	450	28.29	380	540	130		SIP-D-LF-031
2.50	6.90	2.99	169	1125	28.29	470	670	150		SIP-D-LF-032
4.00	11.60	2.99	270	1800	28.29	530	750	170		SIP-D-LF-033
6.25	18.10	2.99	422	2813	28.29	600	850	190		SIP-D-LF-034
8.50	25.10	2.99	574	3825	28.29	670	950	210		SIP-D-LF-035
10.50	31.00	2.99	709	4725	28.29	710	1010	230		SIP-D-LF-036

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 2.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.15	2,43	208	683	17.08	610	870	200	High Friction (HF)	SIP-D-HF-101
2.50	6.40	2,43	520	1708	17.08	720	1020	230		SIP-D-HF-102
4.00	10.60	2,43	832	2733	17.08	810	1150	270		SIP-D-HF-103
6.25	17.50	2,43	1300	4271	17.08	910	1290	320		SIP-D-HF-104
8.50	22.50	2,43	1768	5808	17.08	990	1410	370		SIP-D-HF-105
10.50	27.80	2,43	2184	7175	17.08	1050	1490	400		SIP-D-HF-106

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 3.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.60	3.05	131	433	14.69	560	800	160	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-107
2.50	4.60	3.05	327	1083	14.69	650	920	180		SIP-D-LF-108
4.00	7.80	3.05	523	1733	14.69	710	1010	210		SIP-D-LF-109
6.25	12.50	3.05	818	2708	14.69	780	1110	230		SIP-D-LF-110
8.50	17.40	3.05	1112	3683	14.69	850	1210	250		SIP-D-LF-111
10.50	21.50	3.05	1373	4550	14.69	890	1260	270		SIP-D-LF-112

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 3.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	3.15	2.79	156	517	22.59	610	870	170	High Friction (HF)	SIP-D-HF-113
2.50	9.00	2.79	390	1292	22.59	720	1020	210		SIP-D-HF-114
4.00	14.80	2.79	624	2067	22.59	810	1150	240		SIP-D-HF-115
6.25	23.75	2.79	975	3229	22.59	910	1290	270		SIP-D-HF-116
8.50	31.90	2.79	1326	4392	22.59	990	1410	310		SIP-D-HF-117
10.50	39.40	2.79	1639	5425	22.59	1050	1490	340		SIP-D-HF-118

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.00	3.39	105	350	18.19	560	800	150	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-119
2.50	5.50	3.39	263	875	18.19	650	920	170		SIP-D-LF-120
4.00	9.40	3.39	422	1400	18.19	710	1010	190		SIP-D-LF-121
6.25	14.70	3.39	659	2188	18.19	780	1110	210		SIP-D-LF-122
8.50	20.40	3.39	896	2975	18.19	850	1210	230		SIP-D-LF-123
10.50	25.20	3.39	1107	3675	18.19	890	1260	250		SIP-D-LF-124

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	3.80	3.05	131	433	26.93	610	870	160	High Friction (HF)	SIP-D-HF-125
2.50	10.60	3.05	326	1083	26.93	720	1020	190		SIP-D-HF-126
4.00	17.40	3.05	522	1733	26.93	810	1150	220		SIP-D-HF-127
6.25	27.50	3.05	816	2708	26.93	910	1290	260		SIP-D-HF-128
8.50	37.40	3.05	1109	3683	26.93	990	1410	290		SIP-D-HF-129
10.50	46.20	3.05	1370	4550	26.93	1050	1490	320		SIP-D-HF-130

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 5.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.20	3.66	90	300	21.22	560	800	140	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-131
2.50	6.10	3.66	226	750	21.22	650	920	160		SIP-D-LF-132
4.00	10.40	3.66	361	1200	21.22	710	1010	180		SIP-D-LF-133
6.25	16.25	3.66	564	1875	21.22	780	1110	200		SIP-D-LF-134
8.50	22.50	3.66	767	2550	21.22	850	1210	220		SIP-D-LF-135
10.50	27.80	3.66	947	3150	21.22	890	1260	240		SIP-D-LF-136

>> Horizontal displacement d_{bd} = 300 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 5.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	4.30	3.24	115	383	30.45	610	870	150	High Friction (HF)	SIP-D-HF-137
2.50	11.60	3.24	288	958	30.45	720	1020	190		SIP-D-HF-138
4.00	18.80	3.24	461	1533	30.45	810	1150	210		SIP-D-HF-139
6.25	30.00	3.24	721	2396	30.45	910	1290	250		SIP-D-HF-140
8.50	40.80	3.24	980	3258	30.45	990	1410	280		SIP-D-HF-141
10.50	50.40	3.24	1211	4025	30.45	1050	1490	310		SIP-D-HF-142

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 400 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 2.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.50	2.51	261	638	13.73	730	1040	210	High Friction (HF)	SIP-D-HF-201
2.50	4.40	2.51	653	1594	13.73	840	1190	270		SIP-D-HF-202
4.00	7.60	2.51	1045	2550	13.73	930	1320	310		SIP-D-HF-203
6.25	12.20	2.51	1634	3984	13.73	1030	1460	360		SIP-D-HF-204
8.50	16.60	2.51	2222	5419	13.73	1110	1570	410		SIP-D-HF-205
10.50	21.00	2.51	2744	6694	13.73	1170	1660	450		SIP-D-HF-206

>> Horizontal displacement d_{bd} = 400 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 3.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.35	2.92	191	471	18.59	730	1040	190	High Friction (HF)	SIP-D-HF-207
2.50	7.00	2.92	476	1177	18.59	840	1190	220		SIP-D-HF-208
4.00	11.80	2.92	762	1883	18.59	930	1320	260		SIP-D-HF-209
6.25	18.75	2.92	1191	2943	18.59	1030	1460	300		SIP-D-HF-210
8.50	25.50	2.92	1619	4002	18.59	1110	1570	340		SIP-D-HF-211
10.50	32.00	2.92	2000	4944	18.59	1170	1660	370		SIP-D-HF-212

>> Horizontal displacement d_{bd} = 400 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.60	3.52	131	325	14.69	680	970	160	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-213
2.50	4.50	3.52	327	813	14.69	770	1090	180		SIP-D-LF-214
4.00	7.80	3.52	523	1300	14.69	830	1180	200		SIP-D-LF-215
6.25	12.50	3.52	818	2031	14.69	900	1280	230		SIP-D-LF-216
8.50	17.40	3.52	1112	2763	14.69	970	1380	250		SIP-D-LF-217
10.50	21.50	3.52	1373	3413	14.69	1010	1430	270		SIP-D-LF-218

>> Horizontal displacement d_{bd} = 400 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	3.00	3.22	156	388	22.59	730	1040	170	High Friction (HF)	SIP-D-HF-219
2.50	8.75	3.22	390	969	22.59	840	1190	210		SIP-D-HF-220
4.00	14.80	3.22	624	1550	22.59	930	1320	240		SIP-D-HF-221
6.25	23.40	3.22	975	2422	22.59	1030	1460	280		SIP-D-HF-222
8.50	31.90	3.22	1326	3294	22.59	1110	1570	310		SIP-D-HF-223
10.50	39.90	3.22	1639	4069	22.59	1170	1660	330		SIP-D-HF-224

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 400 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 5.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H	Low Friction (LF)	Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.80	3.83	110	275	17.36	680	970	150		SIP-D-LF-225
2.50	5.10	3.83	276	688	17.36	770	1090	180		SIP-D-LF-226
4.00	9.00	3.83	442	1100	17.36	830	1180	190		SIP-D-LF-227
6.25	14.10	3.83	690	1719	17.36	900	1280	210		SIP-D-LF-228
8.50	20.00	3.83	939	2338	17.36	970	1380	230		SIP-D-LF-229
10.50	24.70	3.83	1160	2888	17.36	1010	1430	260		SIP-D-LF-230

>> Horizontal displacement d_{bd} = 400 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 5.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H	High Friction (HF)	Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	3.50	3.45	136	338	25.94	730	1040	160		SIP-D-HF-231
2.50	10.00	3.45	339	844	25.94	840	1190	190		SIP-D-HF-232
4.00	16.80	3.45	542	1350	25.94	930	1320	230		SIP-D-HF-233
6.25	26.60	3.45	848	2109	25.94	1030	1460	260		SIP-D-HF-234
8.50	36.55	3.45	1153	2869	25.94	1110	1570	290		SIP-D-HF-235
10.50	45.70	3.45	1424	3544	25.94	1170	1660	320		SIP-D-HF-236

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 500 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 3.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.75	3.01	226	443	15.80	850	1210	220	High Friction (HF)	SIP-D-HF-301
2.50	5.40	3.01	562	1108	15.80	960	1360	260		SIP-D-HF-302
4.00	9.40	3.01	902	1773	15.80	1050	1490	290		SIP-D-HF-303
6.25	15.00	3.01	1410	2771	15.80	1150	1630	330		SIP-D-HF-304
8.50	20.40	3.01	1916	3768	15.80	1220	1730	370		SIP-D-HF-305
10.50	25.20	3.01	2369	4655	15.80	1290	1830	400		SIP-D-HF-306

>> Horizontal displacement d_{bd} = 500 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
2.50	3.90	3.60	391	775	12.32	890	1260	200	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-307
4.00	6.40	3.60	626	1240	12.32	950	1350	230		SIP-D-LF-308
6.25	10.30	3.60	978	1938	12.32	1020	1450	250		SIP-D-LF-309
8.50	14.45	3.60	1330	2635	12.32	1080	1530	270		SIP-D-LF-310
10.50	17.85	3.60	1643	3255	12.32	1130	1600	290		SIP-D-LF-311

>> Horizontal displacement d_{bd} = 500 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 4.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.40	3.34	182	360	19.45	850	1210	190	High Friction (HF)	SIP-D-HF-312
2.50	7.00	3.34	455	900	19.45	960	1360	220		SIP-D-HF-313
4.00	12.40	3.34	728	1440	19.45	1050	1490	260		SIP-D-HF-314
6.25	19.40	3.34	1137	2250	19.45	1150	1630	290		SIP-D-HF-315
8.50	27.20	3.34	1546	3060	19.45	1230	1740	330		SIP-D-HF-316
10.50	33.60	3.34	1909	3780	19.45	1290	1830	360		SIP-D-HF-317

>> Horizontal displacement d_{bd} = 500 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 3.0%**, effective radius **R_{eff}: 5.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H		Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	1.45	3.93	131	260	14.69	800	1140	170	Low Friction (LF)	SIP-D-LF-318
2.50	4.25	3.93	327	650	14.69	890	1260	190		SIP-D-LF-319
4.00	7.60	3.93	526	1040	14.69	950	1350	210		SIP-D-LF-320
6.25	12.20	3.93	815	1625	14.69	1020	1450	240		SIP-D-LF-321
8.50	17.40	3.93	1112	2210	14.69	1090	1550	250		SIP-D-LF-322
10.50	21.50	3.93	1372	2730	14.69	1130	1600	270		SIP-D-LF-323

Relevant characteristics and dimensions of MAURER Curved Surface Sliders SIP®-D

>> Horizontal displacement d_{bd} = 500 mm
Dynamic coefficient of friction **μ: 5.5%**, effective radius **R_{eff}: 5.0 m**

N_{Sd}	$N_{Ed,\,max}$	T_{eff}	F_h	k_{eff}	ξ_{eff}	A	B	H	High Friction (HF)	Designation
[MN]	[MN]	[sec]	[kN]	[kN/m]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]		
1.00	2.95	3.60	166	310	22.59	850	1210	180		SIP-D-HF-324
2.50	8.50	3.60	390	775	22.59	960	1360	210		SIP-D-HF-325
4.00	14.40	3.60	624	1240	22.59	1050	1490	240		SIP-D-HF-326
6.25	23.10	3.60	975	1938	22.59	1150	1630	280		SIP-D-HF-327
8.50	31.90	3.60	1326	2635	22.59	1230	1740	320		SIP-D-HF-328
10.50	39.90	3.60	1639	3255	22.59	1290	1830	340		SIP-D-HF-329

LAMPIRAN D
EXCEL PERHITUNGAN FPS

1. Klasifikasi FPS Berdasarkan N_{Ed} & N_{Sd}

Klasifikasi FPS						
Join	Tipe Kolom	Join Etabs	Frame uniqe name	N_{Ed} (kN)	N_{Sd} (kN)	Tipe FPS
1	K1	222	51	4703,94	1927,99	P 1
2	K1	224	52	5376,525	2239,03	P 1
3	K1	226	53	5455,695	2324,69	P 1
4	K1	244	54	5534,218	2413,71	P 1
5	K1	245	55	5606,129	2495,36	P 1
6	K1	228	56	5633,973	2448,68	P 1
7	K1	230	57	5526,579	2419,66	P 1
8	K1	232	58	5531,091	2314,08	P 1
9	K1	234	59	5497,32	2228,82	P 1
10	K1	236	60	4899,281	1912,91	P 1
11	K1	270	61	4344,942	1740,2	P 1
12	K1	288	62	4344,954	1734,26	P 1
13	K1	246	73	4456,117	2043,81	P 1
14	K1	264	74	4692,47	2032,43	P 1
15	K1	192	85	3082,297	1507,22	P 1
16	K1	194	86	4050,151	2101,4	P 1
17	K1	196	87	5199,632	2397,03	P 1
18	K1	198	88	5216,282	2428,9	P 1
19	K1	202	90	4956,673	2475,25	P 1
20	K1	206	91	5381,776	2442,48	P 1
21	K1	208	92	5435,283	2464,82	P 1
22	K1	210	93	5354,488	2408,24	P 1
23	K1	212	94	4190,704	2111,46	P 1
24	K1	214	95	3142,566	1512,45	P 1
25	K2	272	63	4384,626	2492,33	P 1
26	K2	112	64	5752,428	3516,57	P 2
27	K2	114	65	5899,282	3598,35	P 2
28	K2	127	66	5883,728	3606,46	P 2
29	K2	143	67	5955,591	3651,45	P 2
30	K2	149	68	5989,902	3665,37	P 2
31	K2	159	69	5925,636	3612,1	P 2
32	K2	161	70	5904,54	3598,5	P 2
33	K2	165	71	5753,1	3516,84	P 2
34	K2	286	72	4387,932	2493,33	P 1
35	K2	248	75	5775,052	2819,18	P 2
36	K2	189	76	5856,681	3598,15	P 2
37	K2	190	77	5932,586	3641,79	P 2
38	K2	266	78	6059,276	3313,17	P 2
39	K2	200	79	5585,162	3307,05	P 2
40	K2	201	80	5628,123	3557,41	P 2
41	K2	220	81	5970,008	3667,1	P 2
42	K2	221	82	5976,77	3662,23	P 2
43	K2	238	83	5857,452	3598,35	P 2
44	K2	262	84	5969,22	2811,5	P 2
45	K2	216	96	3840,815	2221,08	P 1
46	K2	218	97	3434,728	2071,91	P 1
47	K3	250	105	3923,824	2154,67	P 1
48	K3	87	98	3350,251	882,424	P 1
49	K3	93	99	3636,688	1087,85	P 1
50	K3	147	100	3672,954	1221,07	P 1
51	K3	162	102	3194,769	1345,12	P 1
52	K3	177	101	3435,384	1145,65	P 1
53	K3	99	103	3968,453	1101,98	P 1
54	K3	105	104	3609,669	893,405	P 1

2. FPS yang Digunakan

Type Friction Pendulum		Kapasitas Displacement ± = 500 mm					
		R (mm)	N_{Ed} (kN)	N_{Sd} (kN)	A (mm)	B (mm)	H (mm)
P 1	SIP-D-HF-325	5000	8500	2500	960	1360	210
P 2	SIP-D-HF-326	5000	14400	4000	1050	1490	240

3. Penentuan Parameter Sistem Isolasi target

Parameter Sistem Isolasi Target			
T_{Des}	=	3,6	s
ξ_{Assume}	=	25,0%	
B_M	=	1,6	
D_M	=	0,4313983	m
D_{TM}	=	0,4597621	m
K_{Dmin}	=	45461,599	kN/m
K_{Dmax}	=	50007,759	kN/m
V_B	=	21573,26	kN
V_S	=	12801,874	kN

4. Perhitungan Parameter Tiap Isolator dan Proses Iterasi Perpindahan Berdasarkan Parameter Sistem Isolasi Target

Perhitungan Parameter Tiap Isolasi dan Proses Iterasi Perpindahan Berdasarkan Parameter Sistem Isolasi Target																						
Join	Tipe Kolom	As	Join Etabs	Frame uniqe name	Tipe FPS	N_{Ed} (kN)	$N_{Sd\ Etabs}$ (kN)	μ	D asumsi (mm)	R (mm)	K_{eff} (kN/m)	ξ_{eff}	T_{eff} (s)	T_M (s)	B_M	D_M (mm)	KLIK	D_{TM} (mm)	F_{Max}	K_{Min} (kN/m)	K_{Max} (kN/m)	V_b (kN)	V_s (kN)
1	K1	As A	222	51	P 1	8500	1927,99	5,500%	431,398	5000	631,40	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	272,386	631,4024	694,543	299,624	149,812
2		As A	224	52	P 1	8500	2239,03	5,500%	431,398	5000	733,27	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	316,33	733,2667	806,593	347,963	173,981
3		As A	226	53	P 1	8500	2324,69	5,500%	431,398	5000	761,32	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	328,432	761,3189	837,451	361,275	180,637
4		As A	244	54	P 1	8500	2413,71	5,500%	431,398	5000	790,47	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	341,008	790,4723	869,52	375,109	187,555
5		As A	245	55	P 1	8500	2495,36	5,500%	431,398	5000	817,21	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	352,543	817,2111	898,932	387,798	193,899
6		As A	228	56	P 1	8500	2448,68	5,500%	431,398	5000	801,93	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	345,949	801,9253	882,118	380,544	190,272
7		As A	230	57	P 1	8500	2419,66	5,500%	431,398	5000	792,42	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	341,849	792,4215	871,664	376,034	188,017
8		As A	232	58	P 1	8500	2314,08	5,500%	431,398	5000	757,84	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	326,932	757,8422	833,626	359,625	179,812
9		As A	234	59	P 1	8500	2228,82	5,500%	431,398	5000	729,92	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	314,887	729,9207	802,913	346,375	173,188
10		As A	236	60	P 1	8500	1912,91	5,500%	431,398	5000	626,46	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	459,762	270,255	626,4622	689,108	297,28	148,64
11		As B	270	61	P 1	8500	1740,2	5,500%	431,398	5000	569,90	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	245,855	569,9032	626,893	270,441	135,22
12		As B	288	62	P 1	8500	1734,26	5,500%	431,398	5000	567,96	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	245,015	567,9565	624,752	269,517	134,758
13		As C	246	73	P 1	8500	2043,81	5,500%	431,398	5000	669,33	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	288,749	669,3322	736,265	317,624	158,812
14		As C	264	74	P 1	8500	2032,43	5,500%	431,398	5000	665,61	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	287,141	665,6058	732,166	315,855	157,928
15		As D	192	85	P 1	8500	1507,22	5,500%	431,398	5000	493,60	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	212,939	493,6019	542,962	234,233	117,116
16		As D	194	86	P 1	8500	2101,4	5,500%	431,398	5000	688,19	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	296,885	688,1922	757,011	326,573	163,287
17		As D	196	87	P 1	8500	2397,03	5,500%	431,398	5000	785,01	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	338,652	785,0091	863,51	372,517	186,258
18		As D	198	88	P 1	8500	2428,9	5,500%	431,398	5000	795,45	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	343,154	795,4455	874,99	377,469	188,735
19		As D	202	90	P 1	8500	2475,25	5,500%	431,398	5000	810,62	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	349,702	810,6244	891,687	384,672	192,336
20		As D	206	91	P 1	8500	2442,48	5,500%	431,398	5000	799,90	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	345,073	799,895	879,885	379,581	189,79
21		As D	208	92	P 1	8500	2464,82	5,500%	431,398	5000	807,21	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	348,229	807,2104	887,931	383,052	191,526
22		As D	210	93	P 1	8500	2408,24	5,500%	431,398	5000	788,68	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	340,235	788,6807	867,549	374,259	187,13
23		As D	212	94	P 1	8500	2111,46	5,500%	431,398	5000	691,49	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	298,306	691,4862	760,635	328,137	164,068
24		As D	214	95	P 1	8500	1512,45	5,500%	431,398	5000	495,32	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	213,678	495,3151	544,847	235,046	117,523
25	K2	As B	272	63	P 1	8500	2492,33	5,500%	431,398	5000	816,22	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	352,115	816,2184	897,84	387,327	193,663
26		As B	112	64	P 2	14400	3516,57	5,500%	431,398	5000	1151,65	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	496,82	1151,65	1266,81	546,502	273,251
27		As B	114	65	P 2	14400	3598,35	5,500%	431,398	5000	1178,43	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	508,374	1178,432	1296,28	559,211	279,605
28		As B	127	66	P 2	14400	3606,46	5,500%	431,398	5000	1181,09	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	509,52	1181,09	1299,2	560,472	280,236
29		As B	143	67	P 2	14400	3651,45	5,500%	431,398	5000	1195,82	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	515,875	1195,821	1315,4	567,463	283,731
30		As B	149	68	P 2	14400	3665,37	5,500%	431,398	5000	1200,38	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	517,842	1200,379	1320,42	569,626	284,813
31		As B	159	69	P 2	14400	3612,1	5,500%	431,398	5000	1182,94	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	510,317	1182,936	1301,23	561,348	280,674
32		As B	161	70	P 2	14400	3598,5	5,500%	431,398	5000	1178,48	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	508,395	1178,482	1296,33	559,234	279,617
33		As B	165	71	P 2	14400	3516,84	5,500%	431,398	5000	1151,74	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	496,858	1151,739	1266,91	546,544	273,272
34		As B	286	72	P 1	8500	2493,33	5,500%	431,398	5000	816,55	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	447,156	352,257	816,5477	898,203	387,483	193,741
35		As C	248	75	P 2	14400	2819,18	5,500%	431,398	5000	923,26	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	398,293	923,2597	1015,59	438,122	219,061
36		As C	189	76	P 2	14400	3598,15	5,500%	431,398	5000	1178,37	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	508,345	1178,367	1296,2	559,18	279,59
37		As C	190	77	P 2	14400	3641,79	5,500%	431,398	5000	1192,66	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	514,511	1192,659	1311,93	565,962	282,981
38		As C	266	78	P 2	14400	3313,17	5,500%	431,398	5000	1085,04	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	468,084	1085,038	1193,54	514,892	257,446
39		As C	200	79	P 2	14400	3307,05	5,500%	431,398	5000	1083,03	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	467,219	1083,034	1191,34	513,941	256,97
40		As C	201	80	P 2	14400	3557,41	5,500%	431,398	5000	1165,02	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	502,589	1165,024	1281,53	552,848	276,424
41		As C	220	81	P 2	14400	3667,1	5,500%	431,398	5000	1200,95	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	518,086	1200,946	1321,04	569,895	284,947
42		As C	221	82	P 2	14400	3662,23	5,500%	431,398	5000	1199,35	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	517,399	1199,354	1319,29	569,139	284,57
43		As C	238	83	P 2	14400	3598,35	5,500%	431,398	5000	1178,43	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	508,374	1178,434	1296,28	559,212	279,606
44		As C	262	84	P 2	14400	2811,5	5,500%	431,398	5000	920,74	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	397,207	920,7435	1012,82	436,928	218,464
45		As D	216	96	P 1	8500	2221,08	5,500%	431,398	5000	727,39	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	313,793	727,3857	800,124	345,172	172,586
46		As D	218	97	P 1	8500	2071,91	5,500%	431,398	5000	678,53	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	444,32	292,718	678,5336	746,387	321,99	160,995
47	K3	As C	250	105	P 1	8500	2154,67	5,500%	431,398	5000	705,64	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	431,713	304,411	705,6391	776,203	334,853	167,426
48		As E	87	98	P 1	8500	882,424	5,500%	431,398	5000	288,99	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	124,669	288,9872	317,886	137,135	68,5677
49		As E	93	99	P 1	8500	1087,85	5,500%	431,398	5000	356,26	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	153,691	356,2626	391,889	169,06	84,5301
50		As E	147	100	P 1	8500	1221,07	5,500%	431,398	5000	399,89	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	172,512	399,8895	439,878	189,763	94,8814
51		As E	162	102	P 1	8500	1345,12	5,500%	431,398	5000	440,52	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	190,038	440,5153	484,567	209,041	104,521
52		As E	177	101	P 1	8500	1145,65	5,500%	431,398	5000	375,19	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	161,857	375,1924	412,712	178,043	89,0215
53		As E	99	103	P 1	8500	1101,98	5,500%	431,398	5000	360,89	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	155,687	360,8889	396,978	171,256	85,6278
54		As E	105	104	P 1	8500	893,405	5,500%	431,398	5000	292,58	24,78%	3,50546	3,50546	1,59567	431,398	0,00	450,15	126,22	292,5832	321,842	138,842	69,4209

5. Rekapitulasi Hasil Kekakuan Dan Redaman FPS Setelah Proses Iterasi

Properti FPS Setelah Iterasi			
Join	Tipe FPS	K_{eff} (kN/m)	ξ_{eff}
1	P 1	631,4024	24,78%
2	P 1	733,2667	24,78%
3	P 1	761,3189	24,78%
4	P 1	790,4723	24,78%
5	P 1	817,2111	24,78%
6	P 1	801,9253	24,78%
7	P 1	792,4215	24,78%
8	P 1	757,8422	24,78%
9	P 1	729,9207	24,78%
10	P 1	626,4622	24,78%
11	P 1	569,9032	24,78%
12	P 1	567,9565	24,78%
13	P 1	669,3322	24,78%
14	P 1	665,6058	24,78%
15	P 1	493,6019	24,78%
16	P 1	688,1922	24,78%
17	P 1	785,0091	24,78%
18	P 1	795,4455	24,78%
19	P 1	810,6244	24,78%
20	P 1	799,895	24,78%
21	P 1	807,2104	24,78%
22	P 1	788,6807	24,78%
23	P 1	691,4862	24,78%
24	P 1	495,3151	24,78%
25	P 1	816,2184	24,78%
26	P 2	1151,65	24,78%
27	P 2	1178,432	24,78%
28	P 2	1181,09	24,78%
29	P 2	1195,821	24,78%
30	P 2	1200,379	24,78%

Properti FPS Setelah Iterasi			
Join	Tipe FPS	K_{eff} (kN/m)	ξ_{eff}
31	P 2	1182,936	24,78%
32	P 2	1178,482	24,78%
33	P 2	1151,739	24,78%
34	P 1	816,5477	24,78%
35	P 2	923,2597	24,78%
36	P 2	1178,367	24,78%
37	P 2	1192,659	24,78%
38	P 2	1085,038	24,78%
39	P 2	1083,034	24,78%
40	P 2	1165,024	24,78%
41	P 2	1200,946	24,78%
42	P 2	1199,354	24,78%
43	P 2	1178,434	24,78%
44	P 2	920,7435	24,78%
45	P 1	727,3857	24,78%
46	P 1	678,5336	24,78%
47	P 1	705,6391	24,78%
48	P 1	288,9872	24,78%
49	P 1	356,2626	24,78%
50	P 1	399,8895	24,78%
51	P 1	440,5153	24,78%
52	P 1	375,1924	24,78%
53	P 1	360,8889	24,78%
54	P 1	292,5832	24,78%

6. Perhitungan Parameter Sistem Isolasi Berdasarkan Properti Tiap Isolasi Yang Telah Didapatkan

Perhitungan Parameter Sistem Isolasi																
Tipe BI	N	K_{eff} (kN/m)	ξ_{eff}	N . K_{eff}	K_{min} Sistem (kN/m)	K_{max} Sistem (kN/m)		ξ_{eff} sistem	B_M	W (kN)	T_M	S_{M1}	D_M (m)	V_b (kN)	W_s (kN)	Vs (kN)	Cs
P 1	36	648,0318	0,24784	23329,14521			5781,79										
P2	18	1141,522	0,24784	20547,38861	43876,5	48264,2	5092,37	0,24784	1,59567	146406	3,664449	0,77159	0,44031	21251,3	138281	10397,4	0,07102
							0										

7. Perbandingan Properti Isolasi Hasil Perhitungan dan Properti Target

Properti	Hasil Perhitungan	Target
T_M (s)	3,6644	3,6
D_M (m)	0,440	0,431
Keff (kN/m)	43876,5338	45461,5993
ξ_{eff} (%)	24,78%	25%
B_M	1,596	1,6

LAMPIRAN E
BROSUR SPUN PILE

WIKA BETON
Innovation and Trust

BROCHURE

THE PRECAST CONCRETE MANUFACTURER

WIKA KOBE

WIKA KRAKATAU BETON

WIKA CLT
PT CITRA LAUTAN TEDUH

LLOYD'S REGISTER QUALITY ASSURANCE ISO9001:2015
UKAS QUALITY MANAGEMENT 001

PC PILES

DESCRIPTION

Type of Piles	Prestressed Concrete Square Piles Prestressed Concrete Spun Piles Prestressed Concrete Spun Square Piles Prestressed Concrete Triangular Piles
System of Joints	Welded at steel joint plate
Type of Shoe	Concrete Pencil Shoe (Standard) for PC Spun Piles, Spun Square Pile & Square Piles Mamira Shoe (Special Order) for PC Spun Pile
Method of Driving	Dynamic Pile Driving : Diesel Hammer and Hydraulic Hammer Static Pile Driving : Hydraulic Static Pile Driver (Jacking Pile)

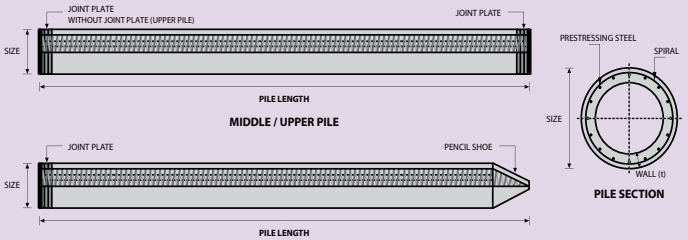
DESIGN & MANUFACTURING REFERENCE

Design	ACI 543R	Design, Manufactured and Installation of Concrete Piles Chapter-4 Structural design requirement for piles with no seismic loading (In case pile is consider to seismic loading, piles detail should re-design refer to ACI 543R Chapter-5)
	SNI 2847 - 2013	Indonesian Standard Code for Concrete
Manufacturing	WB - PRD - PS - 16	Production Manufacturing Procedure

MATERIAL **SPECIFICATION**

ITEM	REFERENCE	DESCRIPTION	SPECIFICATION
Aggregate	ASTM C 33 / C 33M-11a	Standard Specification for Concrete Aggregates	
Cement	SNI 2049 - 2015	Portland Cement	Standard Product Type I Special Order : Type II or V
Admixture	ASTM C 494 / C 494M - 99a	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : High Range Water Reducing Admixture
Concrete	SNI 2834 - 2000 SNI 2493 - 2011	Concrete Mix Design Making and Curing Concrete Sample	
PC Strand	ASTM A 416 / A 416M - 99	Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete	Grade 270 (Low Relaxation Type)
PC Wire	JIS G 3536 - 2014	Uncoated Stress-Relieved Steel Wires and Strands for Prestressed Concrete	SWPD1 (Deformed Wire Type)
PC Bar	JIS G 3137 - 2008	Small Size-Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	Grade D - Class 1 - SBPD 1275/1420
Rebar	SNI 2052 - 2014	Reinforcement Steel for Concrete	Steel Class : BjTS 40 (Deformed) Steel Class : BjTP 24 (Round)
Spiral Wire	JIS G 3532 - 2011	Low Carbon Steel Wires	SWM-P (Round Type) Cold-reduced steel wire for the reinforcement of concrete and the manufacture of welded fabric.
Joint Plate	JIS G 3101 - 2004	Rolled Steels for General Structure	SS400 (Tensile Strength 400 N/mm2) Applicable steel product for steel plates and sheets, steel strip in coil, sections, flats and bars.
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 900	Structural Welding Code Steel	AWS A5.1/E6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent.

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES **SPECIFICATION**

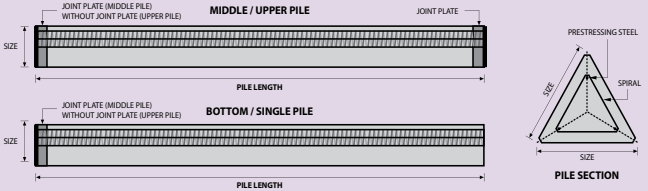
Concrete Compressive Strength fc' = 52 MPa (Cube 600 kg/cm²)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm²)	Section Inertia (cm⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

*Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)*
***) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position*
****) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe*

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES



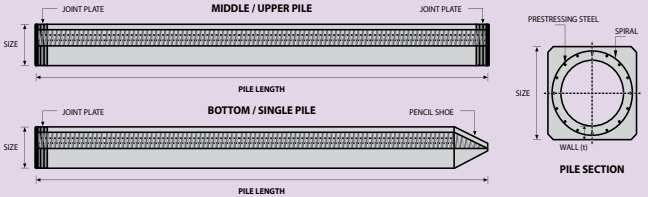
PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES **SPECIFICATION**

Concrete Compressive Strength fc' = 42 MPa (Cube 500 kg/cm²)

Size (mm)	Cross Section (cm²)	Section Inertia (cm⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Length of Pile * (m)
					Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)		
280	318.7	9,080.50	79.7	A	0.66	0.92	42.26	6 - 8
				B	0.90	1.77	39.50	6 - 9
320	422.6	16,188.90	105.7	A	0.89	1.11	57.02	6 - 8
				B	1.20	2.15	54.10	6 - 9

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES **SPECIFICATION**

Concrete Compressive Strength fc' = 52 MPa (Cube 600 kg/cm²)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm²)	Section Inertia (cm⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile * (m)
						Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)			
400 X 400	75	1109.13	194,159	277	A2	6.50	10.00	182.63	38.00	6 - 13
					A3	8.00	12.00	180.62	45.30	6 - 14
					B	10.00	18.00	173.15	73.10	6 - 15
					C	11.00	22.00	169.49	91.70	6 - 16
450 X 450	80	1364.48	307,000	341	A1	8.50	12.50	227.01	38.20	6 - 13
					A2	11.00	17.00	222.95	52.90	6 - 15
					A3	13.00	20.90	219.05	67.10	6 - 16
					B	13.50	24.00	215.32	80.90	6 - 16
					C	15.50	31.00	208.10	114.00	6 - 16

*Note : *) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position*

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

PRODUCT APPLICATION

Piles foundation for Power Plant or Industrial Factory

Piles for Marine Structurer

Piles Foundation for Building

Piles Foundation for Bridges

LAMPIRAN F
PROSEDUR INSTALASI FPS

PROSEDUR INSTALASI FRICTION PENDULUM

Prosedur pemasangan/instalasi FPS pada bangunan menurut Sağıroğlu et al (2018) adalah sebagai berikut :

1. Intalasi *bottom dowels*

   Bottom dowels dipasang dengan bantuan *steel gage plate*, dan menggunakan bantuan "*red table*" untuk mengatur level dari dowels. Pemasangan isolator dimulai dengan penempatan *dowels* yang berfungsi sebagai lubang baut untuk sambungan *base plate* dan FPS bagian bawah. Dowels dipasang dengan bantuan *steel gage plate* yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Pemasangan steel gage dan bottom dowels

Menggunakan "*red table*" diilustrasikan berkoordinasi dengan surveyor, level dan jarak disesuaikan dan *dowels* dilas pada tulangan dengan *steel gage plate* sesuai Gambar 2.

Gambar 2. Pengaturan elevasi *steel gage* dan *dowels* dengan "*red table*"

2. Pengalasan pada *bottom dowels*

   Elevasi dari bagian bawah *base plate* harus memperhitungkan tinggi *grouting*, jarak *steel gage plate*, dan jarak *adhesive*. Sebelum menempatkan *base plate* dan isolator, sekrup disiapkan untuk memudahkan dalam penyesuaian posisi dan level dari base plate dan isolator setelah dipasang. Baut dilas ke *dowel* sesuai Gambar 3.

Gambar 3. Pengelasan dowel pada tulangan dan baut

3. Pengecoran dan pelepasan steel gage plate

   Setelah *dowels* dipasang, *steel gage plate* dilepas dan dapat dicor sebagaimana pada Gambar 4.

Gambar 4. Pengecoran kolom pedestal

4. Peletakan base plate

   Setelah beton dicor base plate dipasang sesuai Gambar 5 kemudian dilakukan *leveling* menggunakan *waterpass*.

Gambar 5. Proses peletakan *base plate*

5. Pemasangan FPS

   Setelah *base plate* dipasang, dilanjutkan dengan pemasangan FPS kemudian baut dikencangkan sesuai Gambar 6.

Gambar 6. Pemasangan FPS dan pengencangan baut

6. Pemasangan *top plate*, dan *upper dowels* serta *leveling*

   Setelah FPS dan baut sudah dikencangkan, *upper plate* dan *upper dowels* dipasang sesuai dengan Gambar 7.

Gambar 7. Pemasangan *top plate*, dan *dowels*, serta *leveling*

7. Proses *grouting*

Gambar 8. Proses *grouting* bagian bawah *base plate*

LAMPIRAN G
GAMBAR TEKNIK

Gambar Teknik Hasil Perencanaan
Dengan Judul Tugas Akhir :

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Disusun Oleh :

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.
Ahmad Basshofi Habieb, ST, MT, PhD

* NOTASI KOLOM

NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF - LT.5	600x800
K1B	LT.6 - LT.9	600x800
K1C	LT.10 - LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF - LT.5	600x800
K2B	LT.6 - LT.9	600x800
K2C	LT.10 - LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF - LT.5	600x600
K3B	LT.6 - LT.9	500x500
K3C	LT.10 - LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

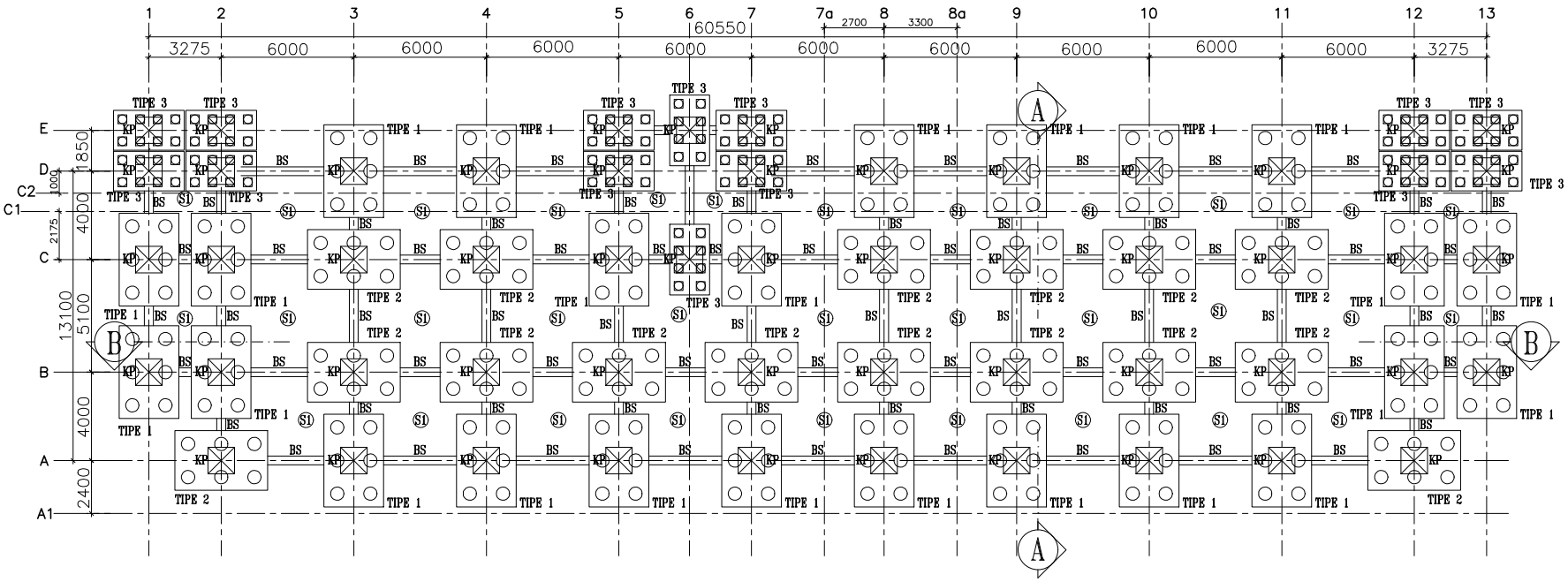
NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100

* NOTASI POER

NOTASI	DIMENSI (m)
TIPE 1	2,7 x 4,2 x 1
TIPE 2	4,2 x 2,7 x 1
TIPE 3	3,2 x 1,8 x 1



DENAH BASEMENT DAN PONDASI

SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Basement, Pondasi, & Sloof	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
1	30

* NOTASI KOLOM

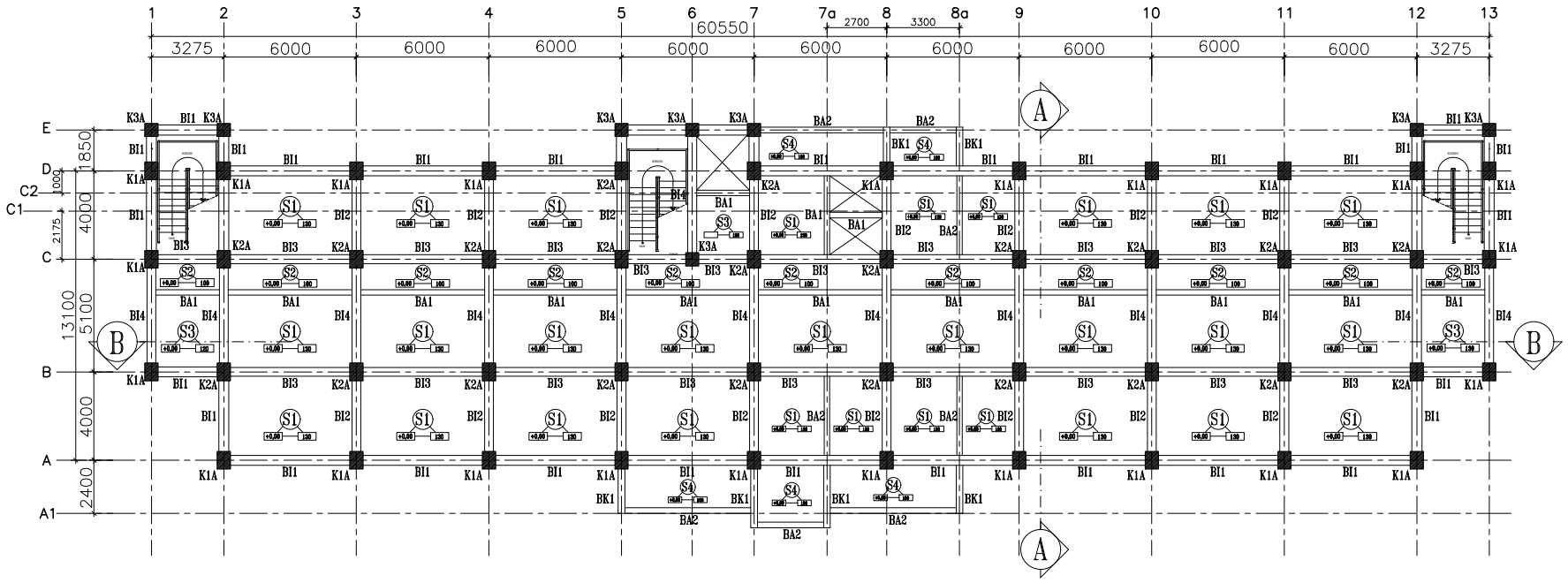
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI GROUND FLOOR (ELV +0,00)
SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai GF	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
2	30

* NOTASI KOLOM

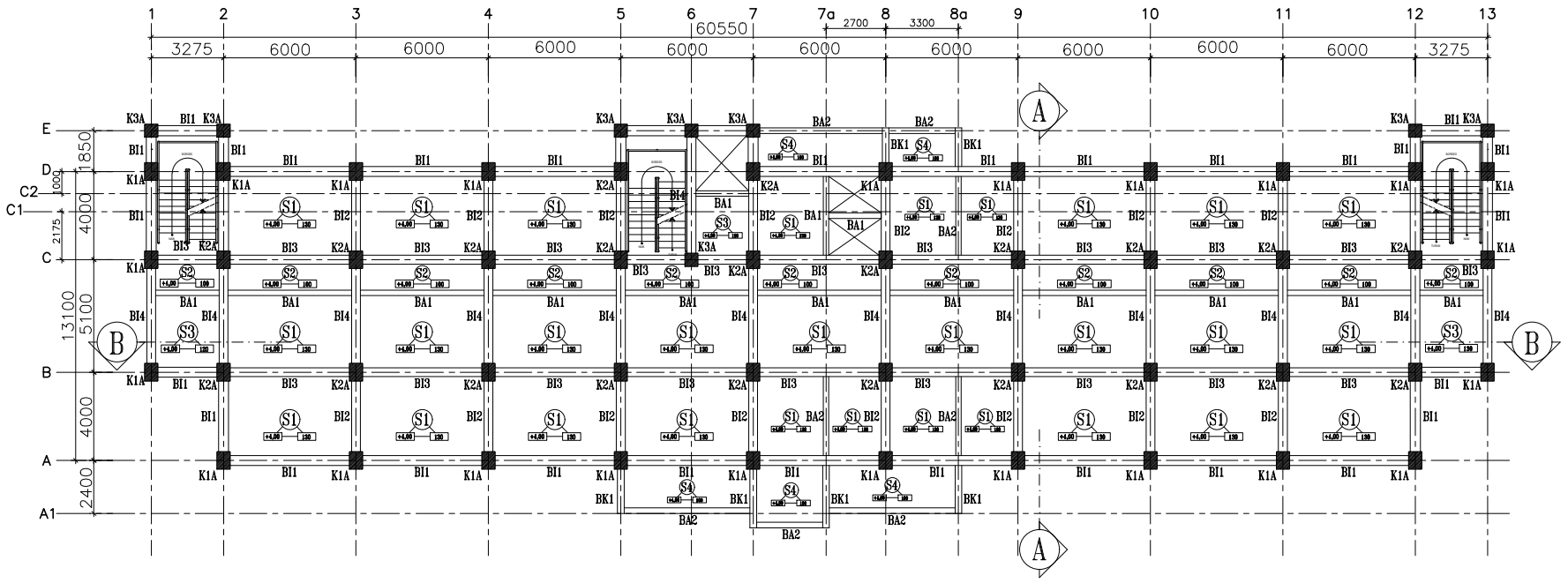
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI 1 (ELV +4,00)
SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai 1	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
3	30

* NOTASI KOLOM

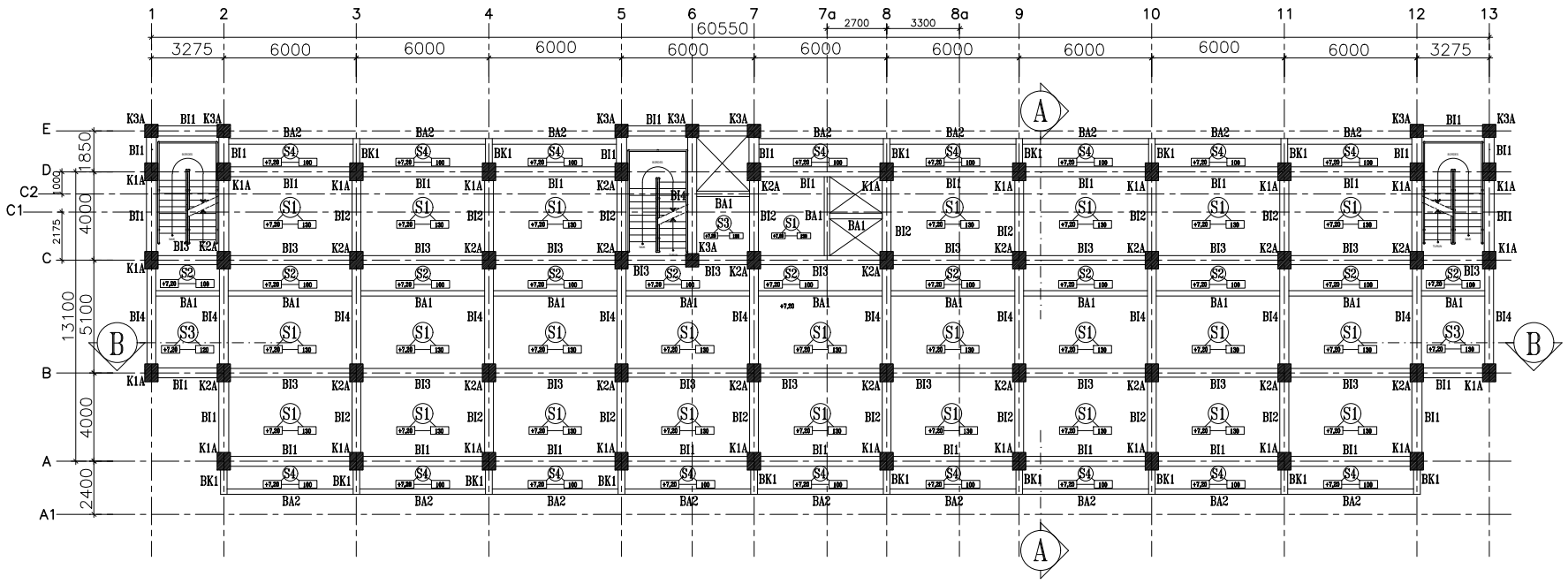
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI 2 (ELV +7,20)
SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai 2	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
4	30

* NOTASI KOLOM

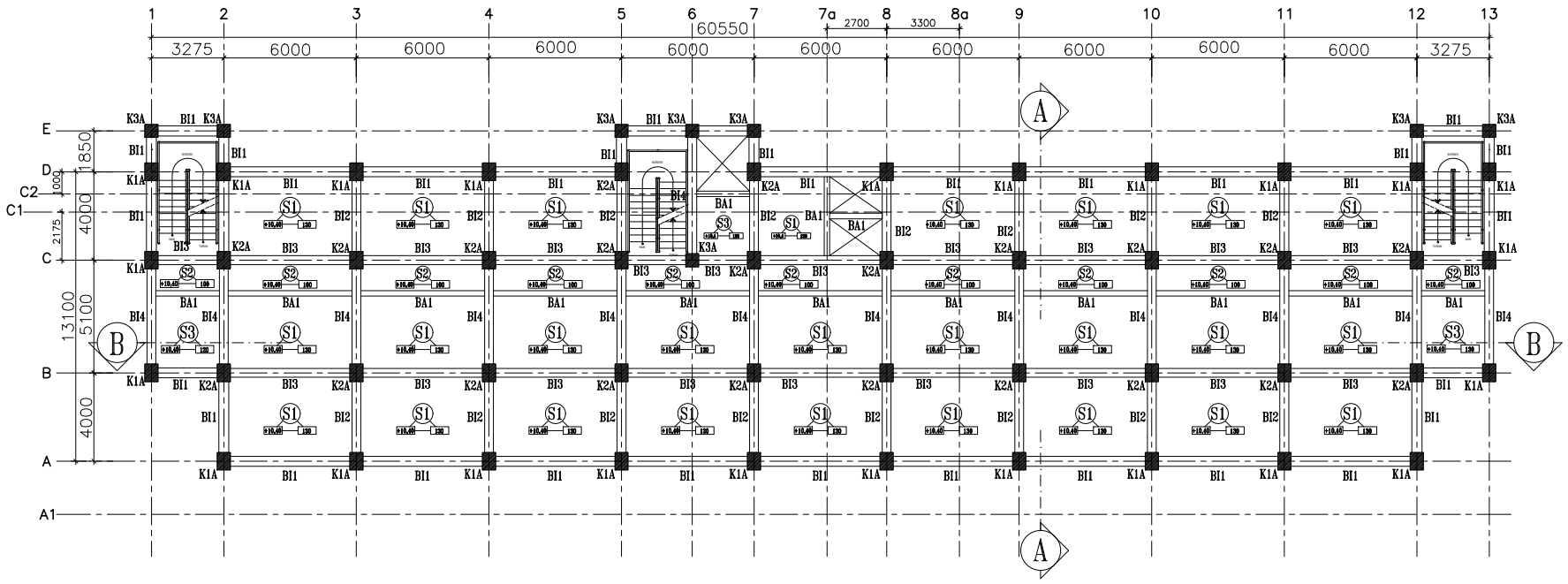
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI 3-5 (ELV +10,4 m s/d +16,8 m)

SKALA 1:200

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai 3-5	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
5	30

* NOTASI KOLOM

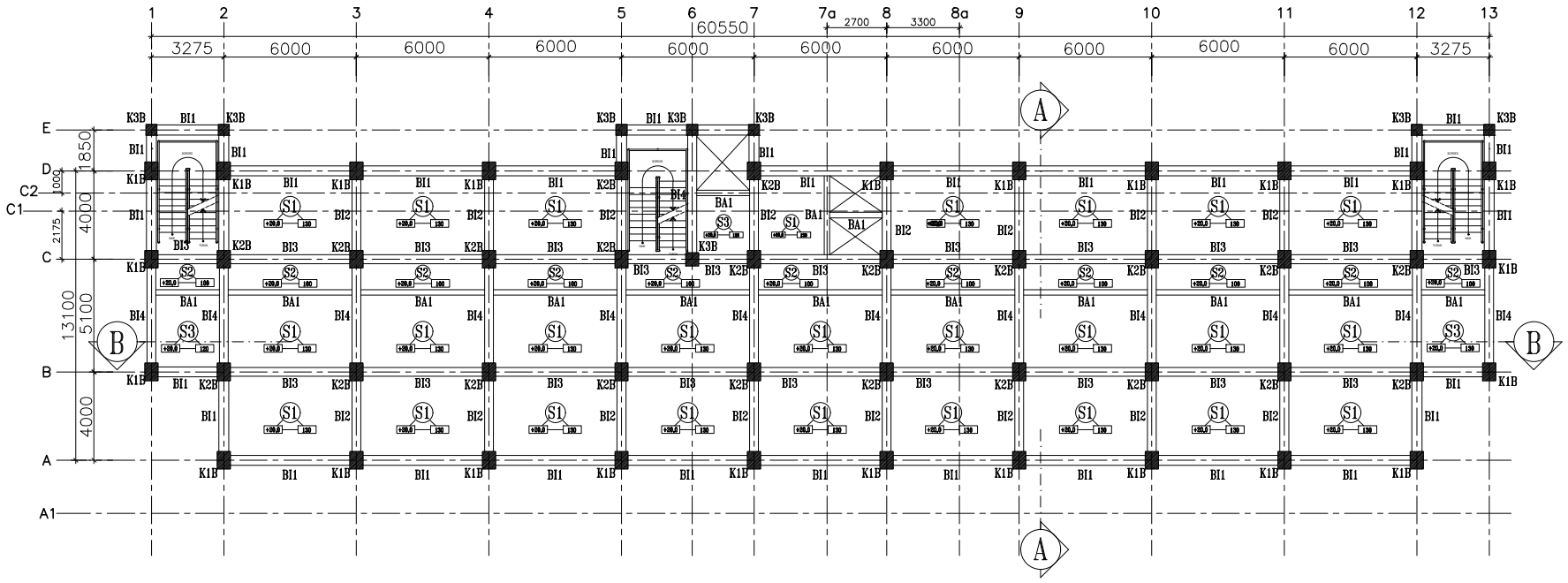
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI 6-9 (ELV +20,0 m s/d +29,6)

SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai 6-9	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
6	30

* NOTASI KOLOM

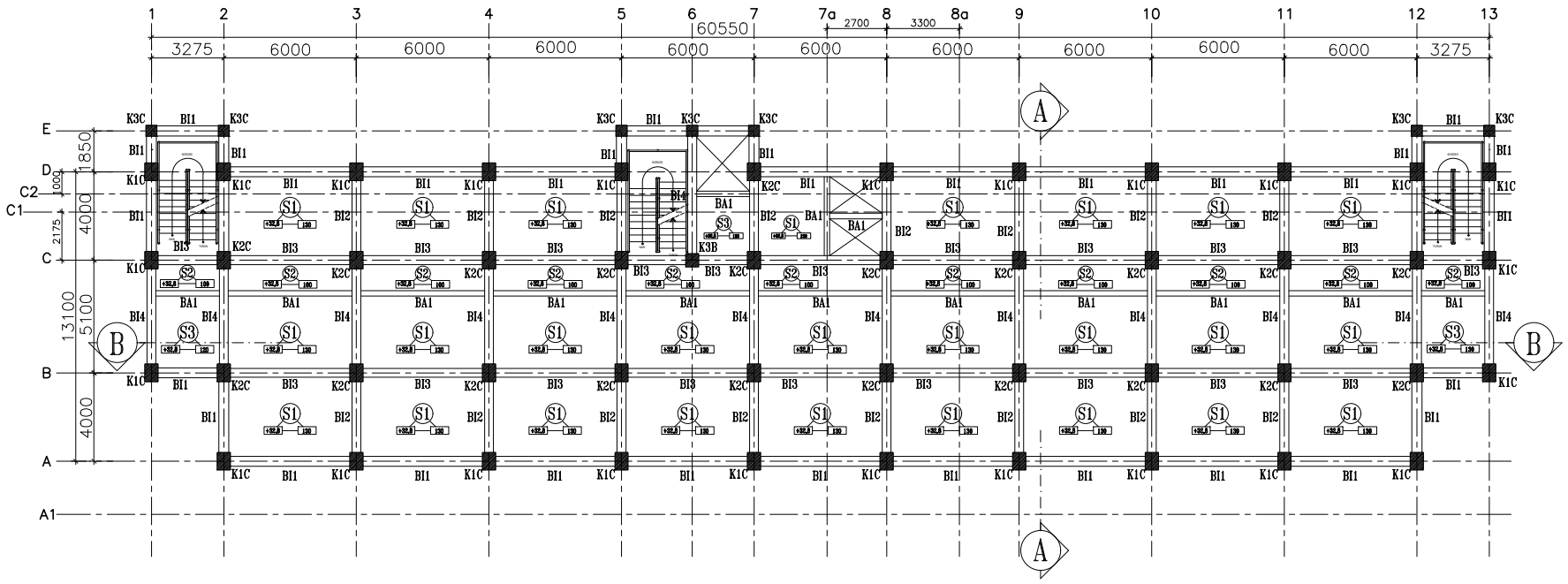
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI 10-11 (ELV 32,8 m s/d 36 m)

SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai 10-11	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
7	30

* NOTASI KOLOM

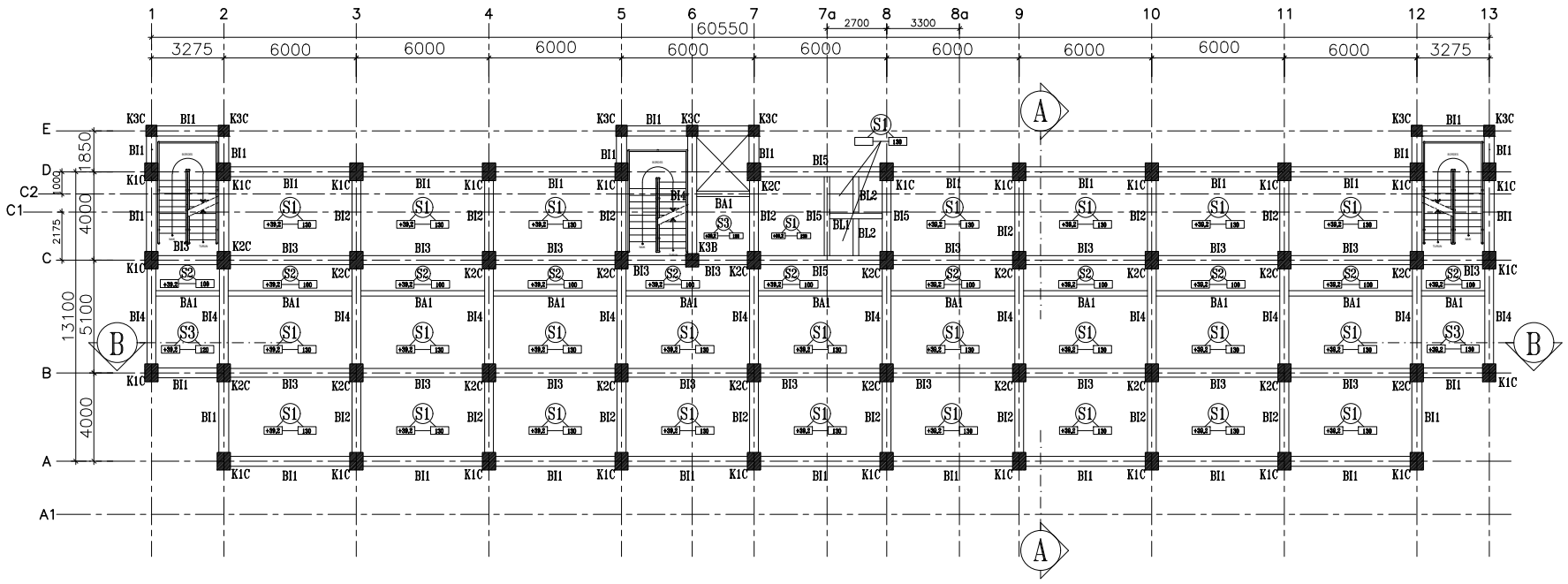
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI ATAP (ELV +39,20 m)
SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai Atap	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
8	30

* NOTASI KOLOM

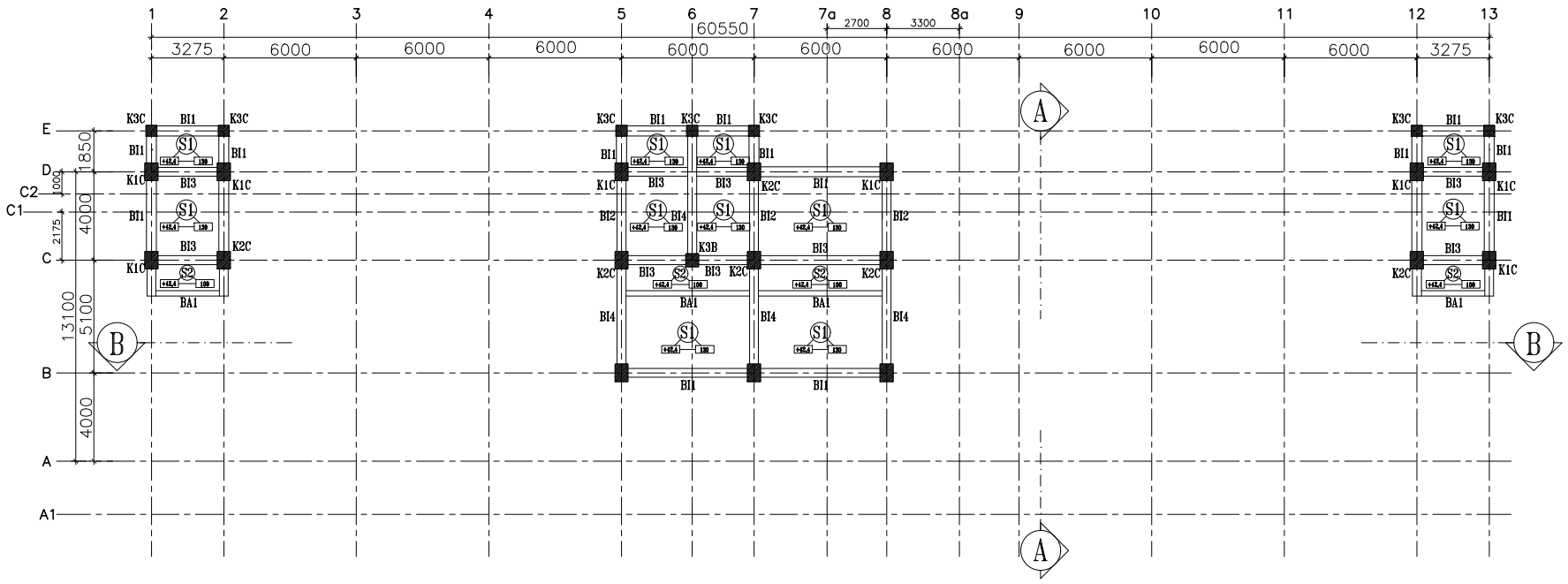
NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100



DENAH LANTAI TOP ATAP

SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

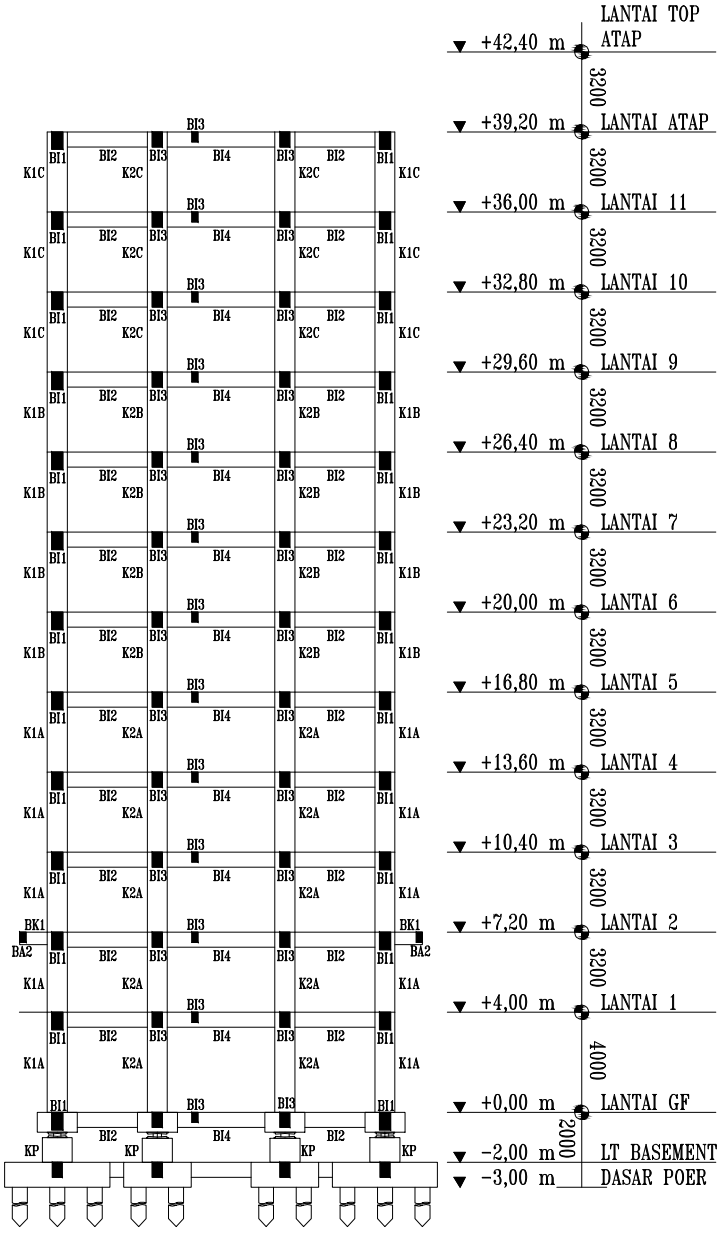
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Lantai Top Atap	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
9	30



POTONGAN A-A

SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

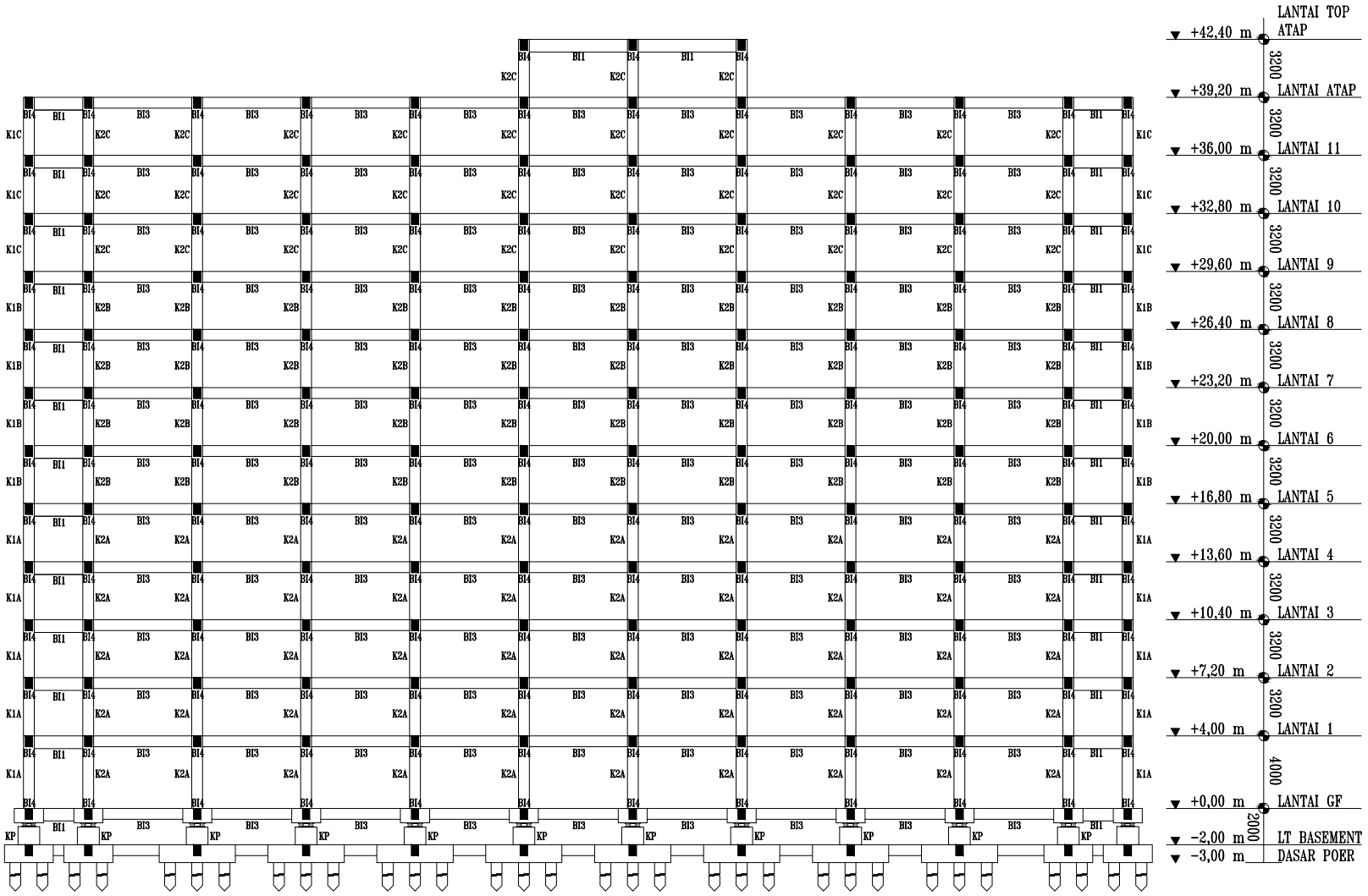
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Potongan A-A	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
10	30



POTONGAN B-B

SKALA 1:350

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

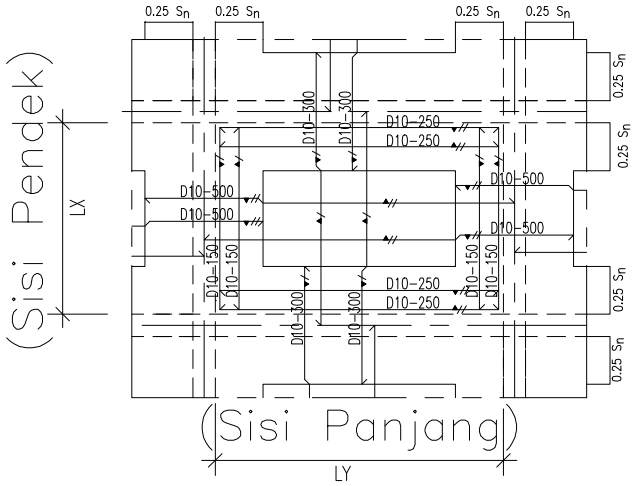
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

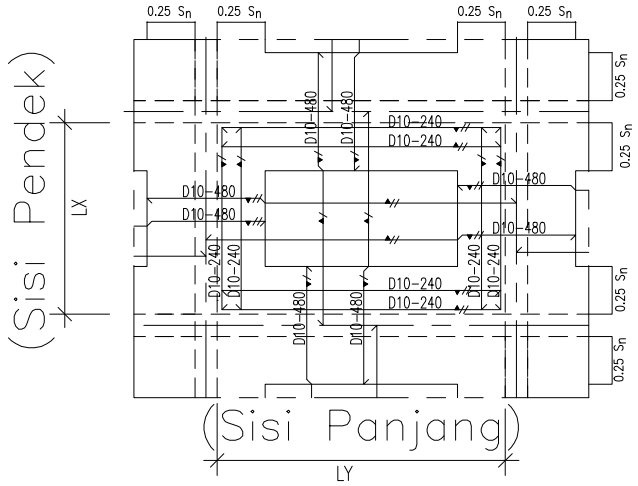
Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Potongan B-B	1 : 350
No Gambar	**Jumlah Gambar**
11	30



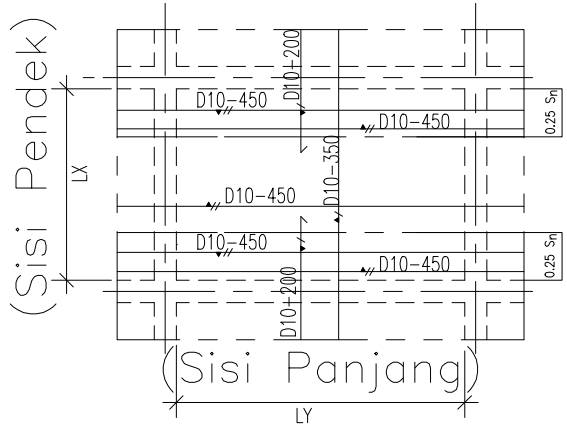
TYPE PELAT LANTAI S1 (2 ARAH)

SCALE N T S



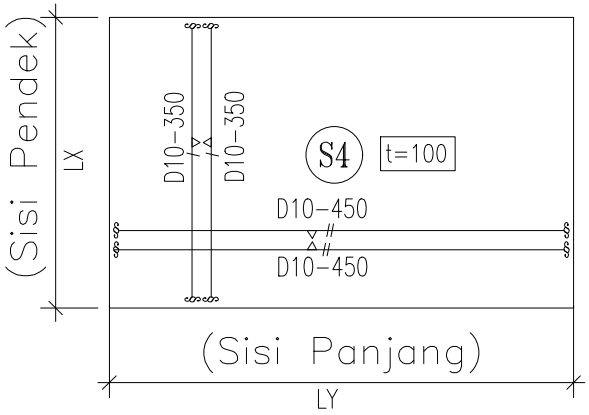
TYPE PELAT LANTAI S3 (2 ARAH)

SCALE N T S



TYPE PELAT LANTAI S2 (1 ARAH)

SCALE N T S



TYPE PELAT LANTAI S4 (RANGKAP)

SCALE N T S

DETAIL PENULANGAN PELAT LANTAI

SKALA NTS

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

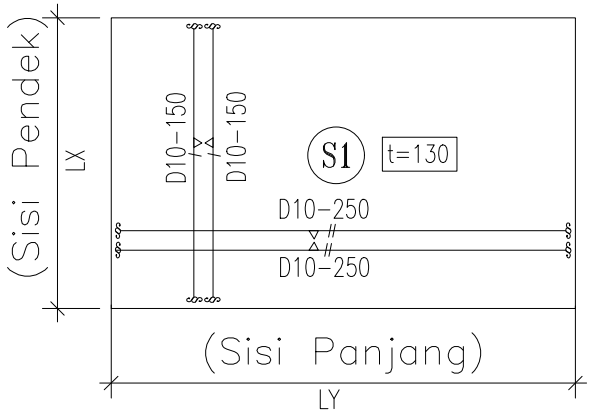
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

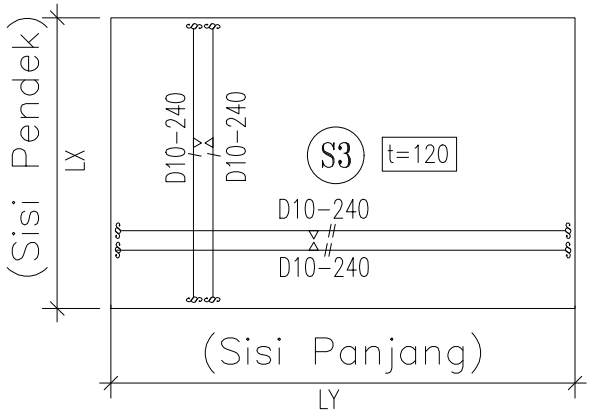
Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Pelat Lantai	NTS
No Gambar	**Jumlah Gambar**
12	30



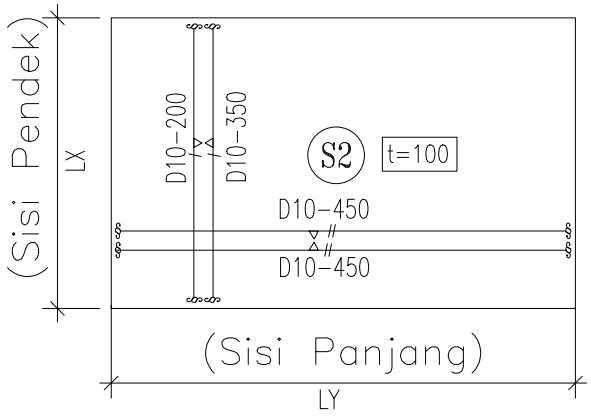
TYPE PELAT ATAP S1

SCALE N T S



TYPE PELAT ATAP S3

SCALE N T S



TYPE PELAT ATAP S2

SCALE N T S

DETAIL PENULANGAN PELAT RANGKAP PADA LANTAI ATAP

SKALA NTS

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

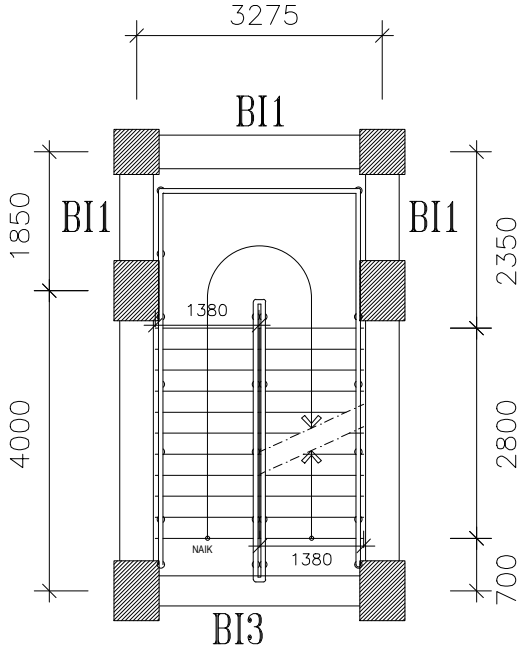
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

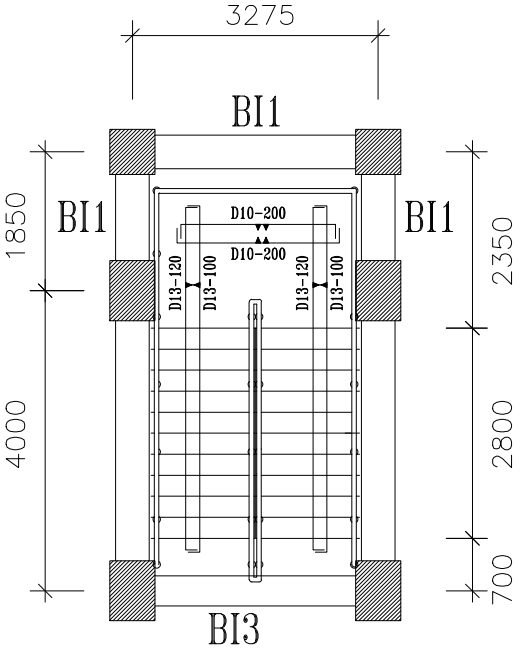
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Pelat Lantai	NTS
No Gambar	**Jumlah Gambar**
13	30



DENAH TANGGA TIPE 1
SKALA 1:100



DENAH TULANGAN TANGGA TIPE 1
SKALA 1:100

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

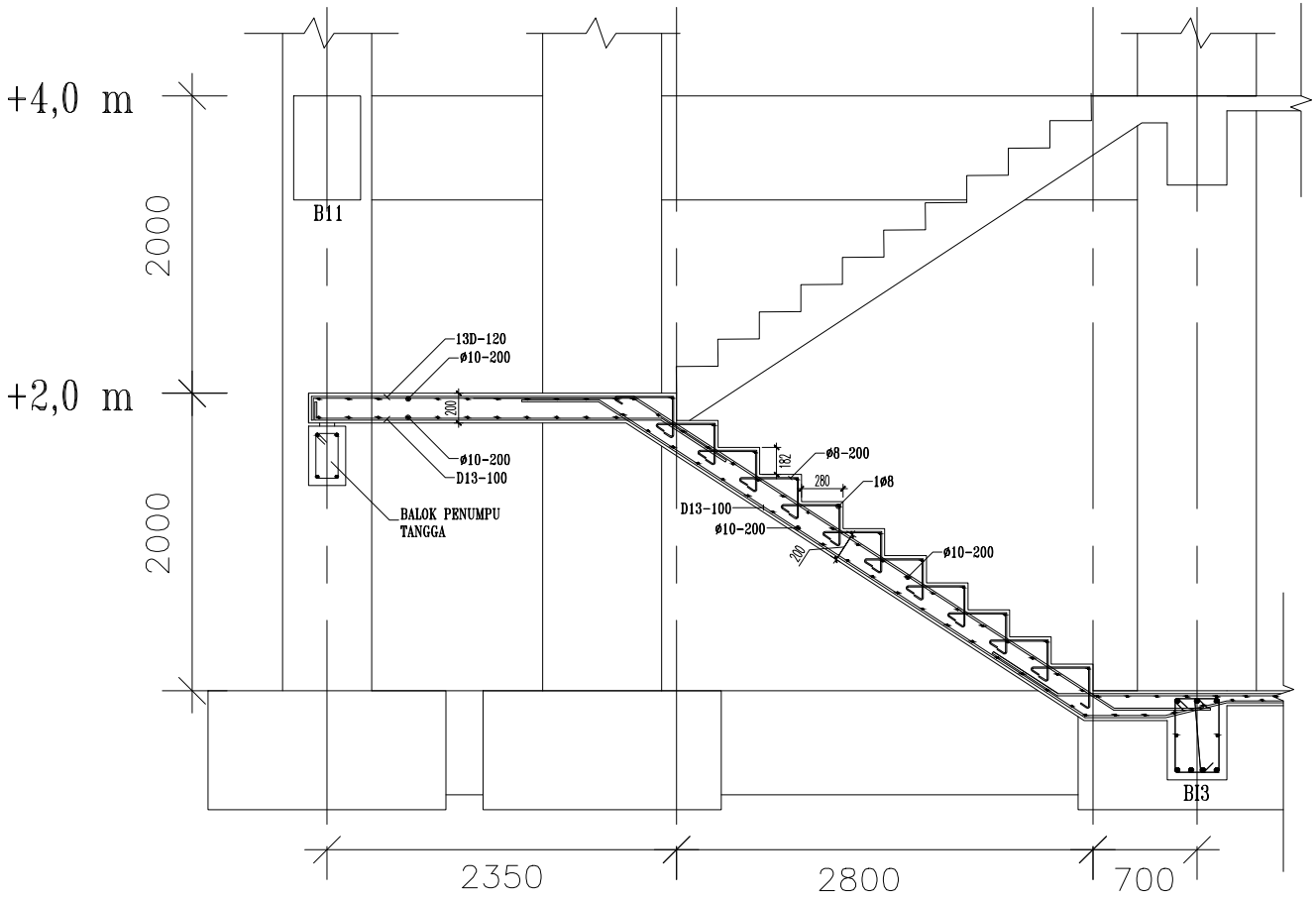
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah dan Penulangan Tangga Tipe 1	1:100
No Gambar	**Jumlah Gambar**
14	30



DETAIL PENULANGAN TANGGA TIPE 1

SKALA 1:50

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

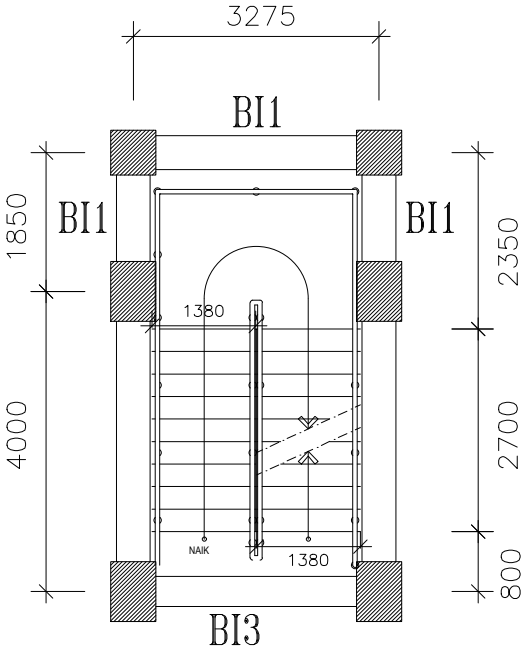
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

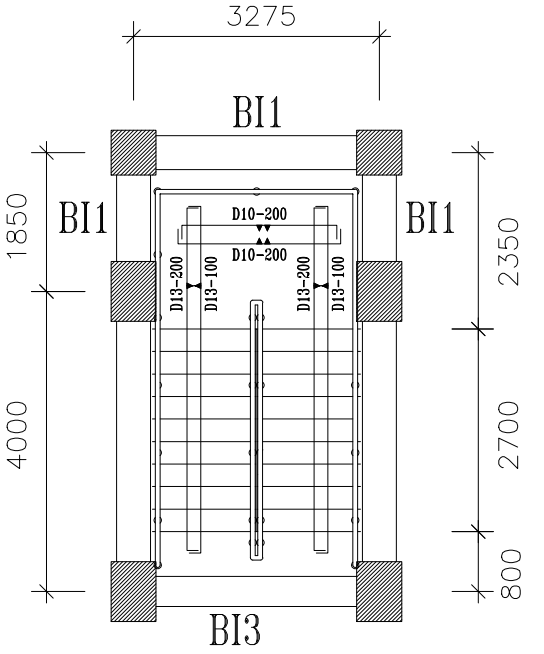
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Penulangan Tangga Tipe 1	1 : 50
No Gambar	**Jumlah Gambar**
15	30



DENAH TANGGA TIPE 2
SKALA 1:100



DENAH TULANGAN TANGGA TIPE 2
SKALA 1:100

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

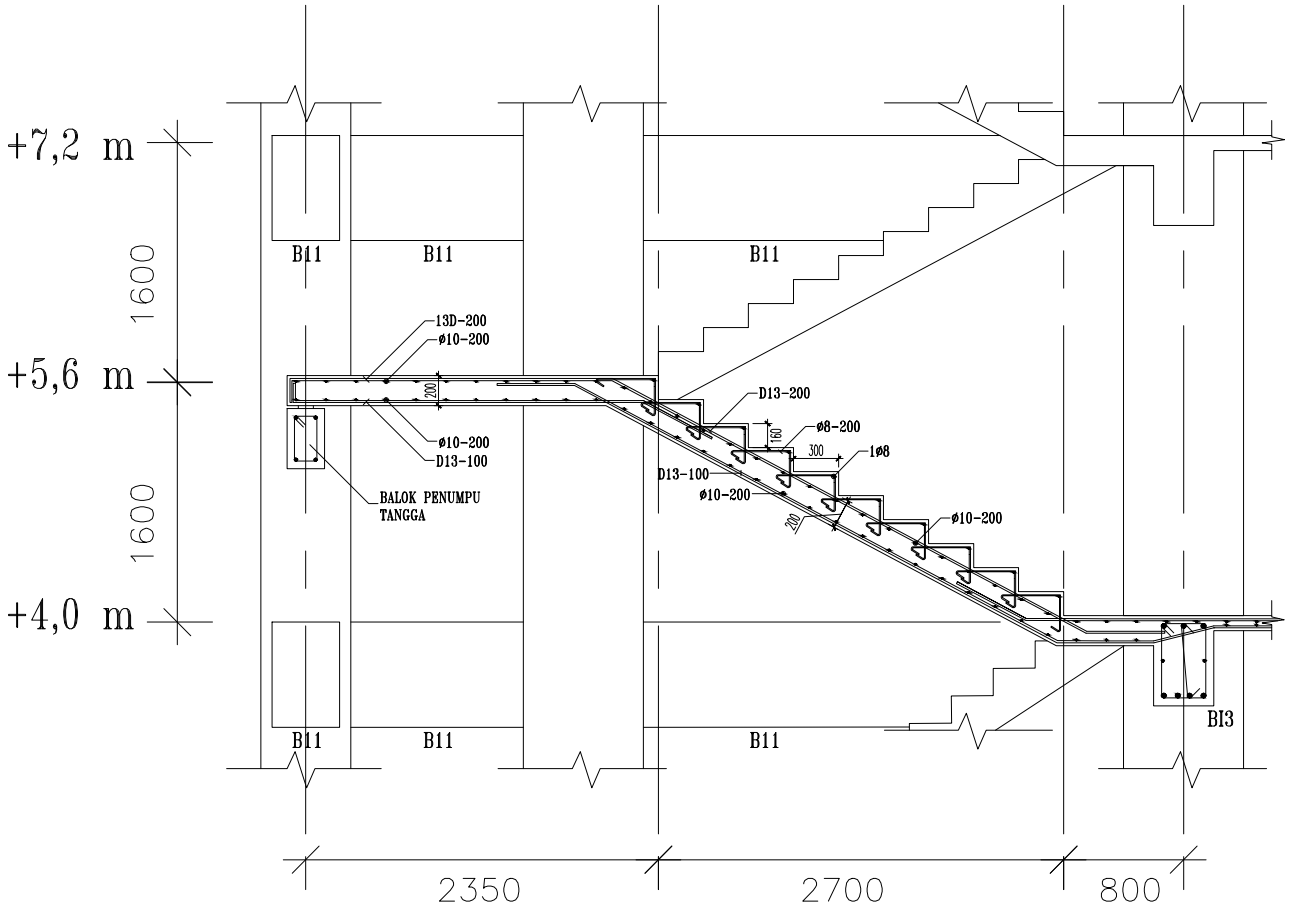
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah dan Penulangan Tangga Tipe 2	1:100
No Gambar	**Jumlah Gambar**
16	30



DETAIL PENULANGAN TANGGA TIPE 1

SKALA 1:50

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

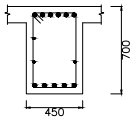
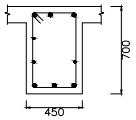
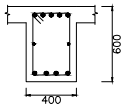
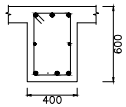
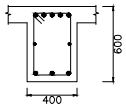
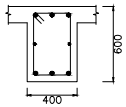
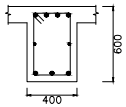
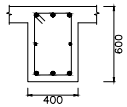
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

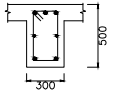
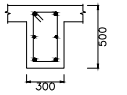
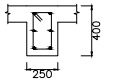
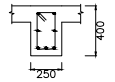
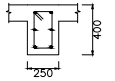
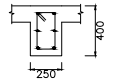
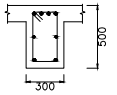
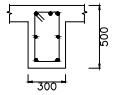
Mutu tulangan polos = 240 MPa

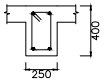
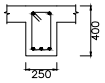
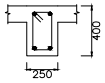
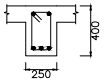
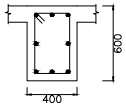
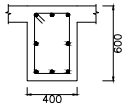
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah Penulangan Tangga Tipe 2	1 : 50
No Gambar	**Jumlah Gambar**
17	30

KODE	BI1		BI2		BI3		BI4	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA								
PENAMPANG BALOK	450 mm x 700 mm		400 mm x 600 mm		400 mm x 600 mm		400 mm x 600 mm	
DECKING	40 mm		40 mm		40 mm		40 mm	
ATAS	6 D29	3 D29	5 D29	3 D29	5 D29	3 D29	4 D29	3 D29
TENGAH	3 D16	3 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
BAWAH	5 D29	3 D29	4 D29	3 D29	3 D29	3 D29	3 D29	4 D29
SENGKANG	2D13 – 200	2D13 – 200	2D13 – 150	2D13 – 150	2D13 – 150	2D13 – 150	2D13 – 150	2D13 – 150

KODE	BI5		BA1		BA2		BK1	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA								
PENAMPANG BALOK	300 mm x 500 mm		250 mm x 400 mm		250 mm x 400 mm		300 mm x 500 mm	
DECKING	40 mm		40 mm		40 mm		40 mm	
ATAS	3 D25	2 D25	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	4 D22	4 D22
TENGAH	2 D16	2 D16	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10
BAWAH	2 D25	2 D29	2 D16	3 D16	2 D16	2 D16	2 D22	2 D22
SENGKANG	2D13 – 150	2D13 – 150	2D10 – 100	2D10 – 100	2D10 – 100	2D10 – 100	2D13 – 100	2D13 – 100

KODE	BG		BT		BS	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA						
PENAMPANG BALOK	250 mm x 400 mm		250 mm x 400 mm		400 mm x 650 mm	
DECKING	40 mm		40 mm		50 mm	
ATAS	2 D19	2 D19	2 D25	2 D25	3 D25	3 D25
TENGAH	–	–	–	–	2 D25	2 D25
BAWAH	2 D19	3 D19	2 D25	3 D25	3 D25	3 D25
SENGKANG	2D10 – 150	2D10 – 150	2D10 – 150	2D10 – 150	D10 – 250	D10 – 250

TABEL PENULANGAN BALOK
SKALA 1:60

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

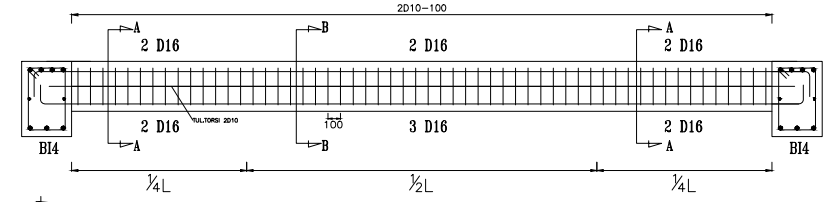
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

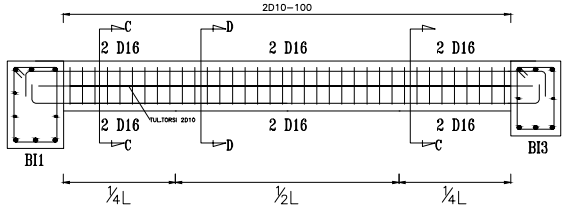
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

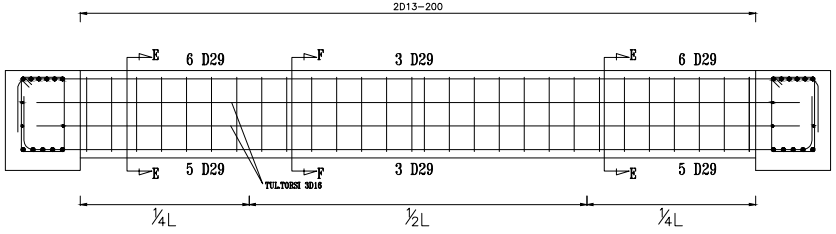
Nama Gambar	Skala Gambar
Tabel Penulangan Balok	1 : 60
No Gambar	**Jumlah Gambar**
18	30



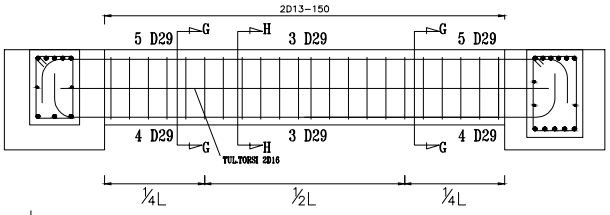
DETAIL BALOK BA1
SKALA 1:60



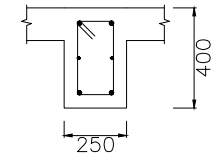
DETAIL BALOK BA2
SKALA 1:60



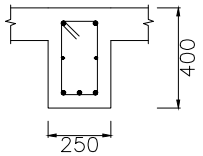
DETAIL BALOK BI1
SKALA 1:60



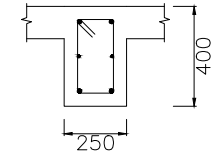
DETAIL BALOK BI2
SKALA 1:60



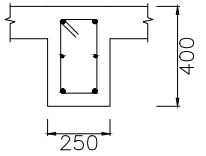
POTONGAN A
SKALA 1:30



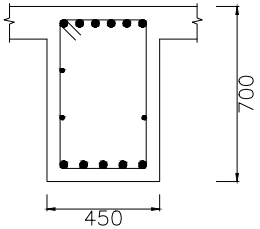
POTONGAN B
SKALA 1:30



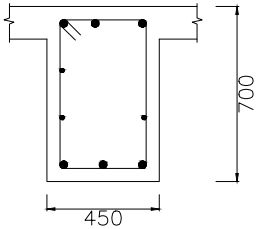
POTONGAN C
SKALA 1:30



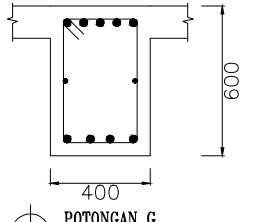
POTONGAN D
SKALA 1:30



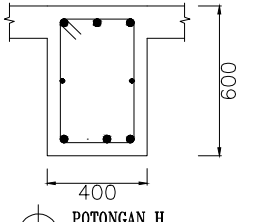
POTONGAN E
SKALA 1:30



POTONGAN F
SKALA 1:30



POTONGAN G
SKALA 1:30



POTONGAN H
SKALA 1:30

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

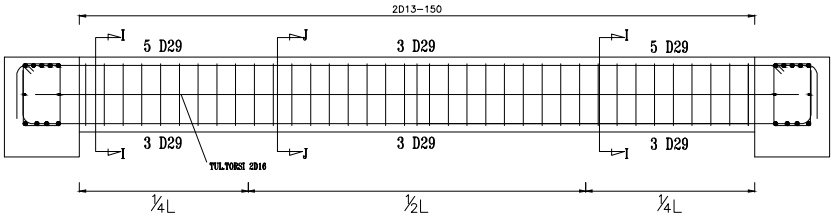
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

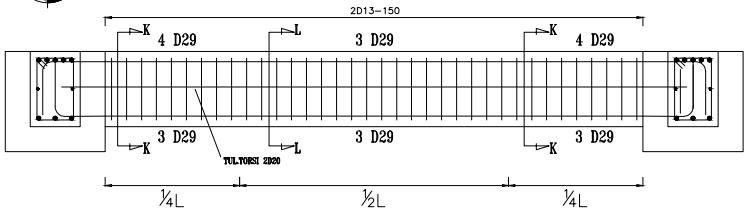
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

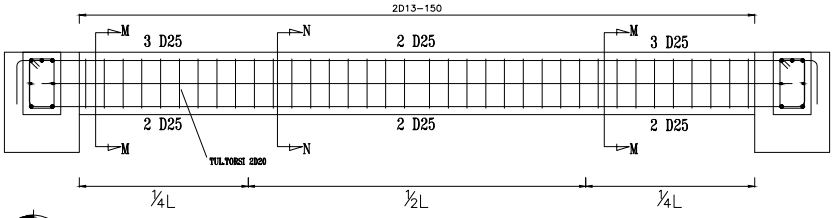
Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Balok	1 : 60
No Gambar	**Jumlah Gambar**
19	30



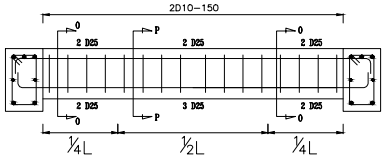
DETAIL BALOK BI3
SKALA 1:60



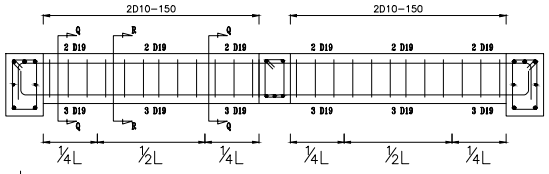
DETAIL BALOK BI4
SKALA 1:60



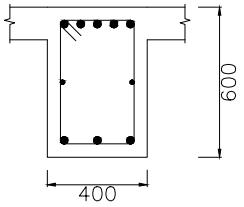
DETAIL BALOK B5
SKALA 1:60



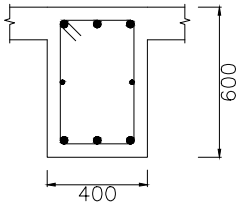
DETAIL BALOK BT
SKALA 1:60



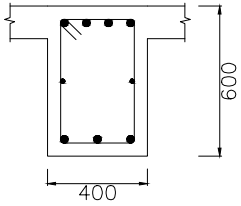
DETAIL BALOK BG
SKALA 1:60



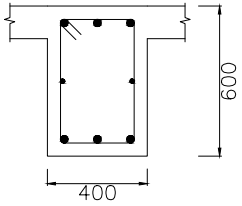
POTONGAN I
SKALA 1:30



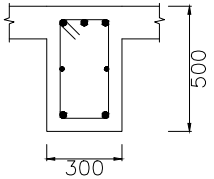
POTONGAN J
SKALA 1:30



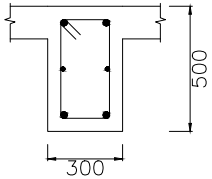
POTONGAN K
SKALA 1:30



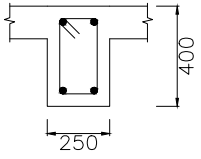
POTONGAN L
SKALA 1:30



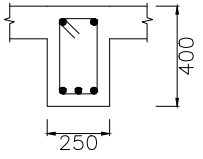
POTONGAN K
SKALA 1:30



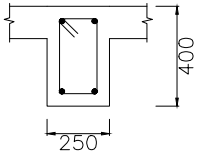
POTONGAN L
SKALA 1:30



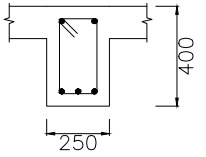
POTONGAN O
SKALA 1:30



POTONGAN P
SKALA 1:30



POTONGAN Q
SKALA 1:30



POTONGAN R
SKALA 1:30

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

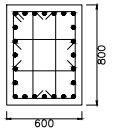
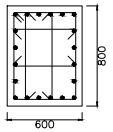
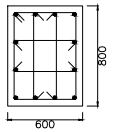
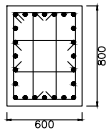
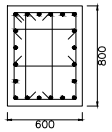
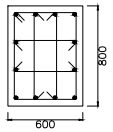
Keterangan

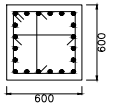
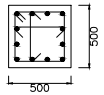
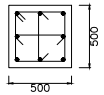
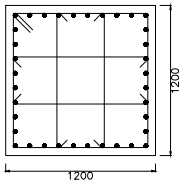
Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

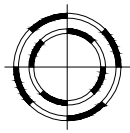
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Balok	1 : 60
No Gambar	**Jumlah Gambar**
20	30

KODE	K1A	K1B	K1C	K2A	K2B	K2C
SKETSA						
PENAMPANG KOLOM	600 mm x 800 mm	600 mm x 800 mm	600 mm x 800 mm	600 mm x 800 mm	600 mm x 800 mm	600 mm x 800 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TULANGAN	24 D29	20 D25	12 D25	24 D29	20 D25	12 D25
SENGKANG	4D13 – 250	4D13 – 250	4D13 – 250	4D13 – 250	4D13 – 250	4D13 – 250

KODE	K3A	K3B	K3C	KP
SKETSA				
PENAMPANG KOLOM	600 mm x 600 mm	500 mm x 500 mm	500 mm x 500 mm	1200 mm x 1200 mm
DECKING	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
TULANGAN	20 D29	12 D29	8 D29	30 D29
SENGKANG	3D13 – 200	3D13 –200	3D13 – 200	4D13 – 150



TABEL PENULANGAN KOLOM

SKALA 1:60

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

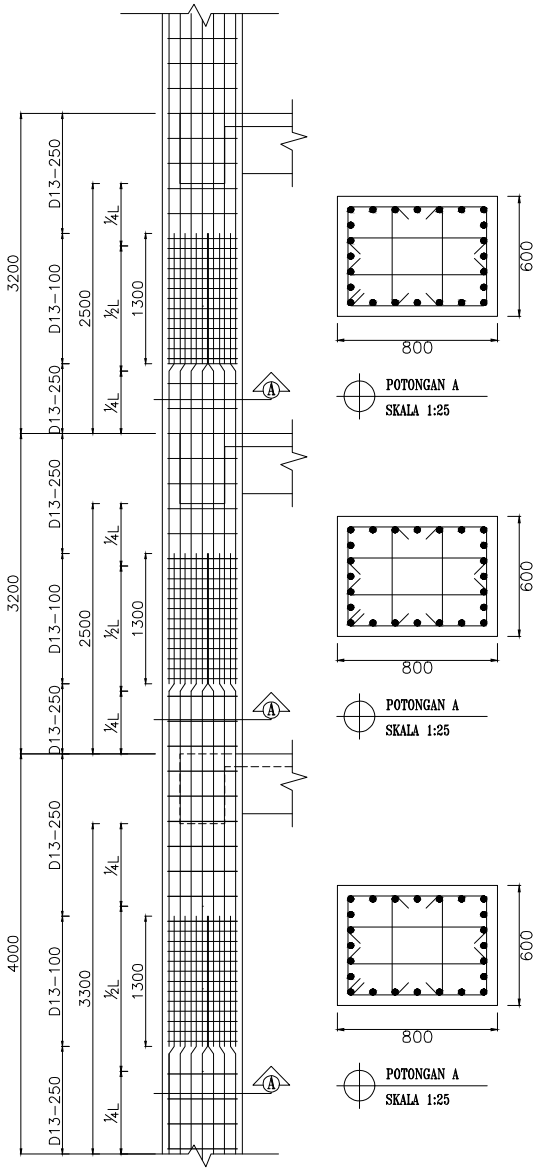
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Tabel Penulangan Kolom	1 : 60
No Gambar	**Jumlah Gambar**
21	30



DETAIL PENULANGAN K1A
SKALA 1:75

DETAIL PENULANGAN K2A
SKALA 1:75

DETAIL PENULANGAN K3A
SKALA 1:75

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

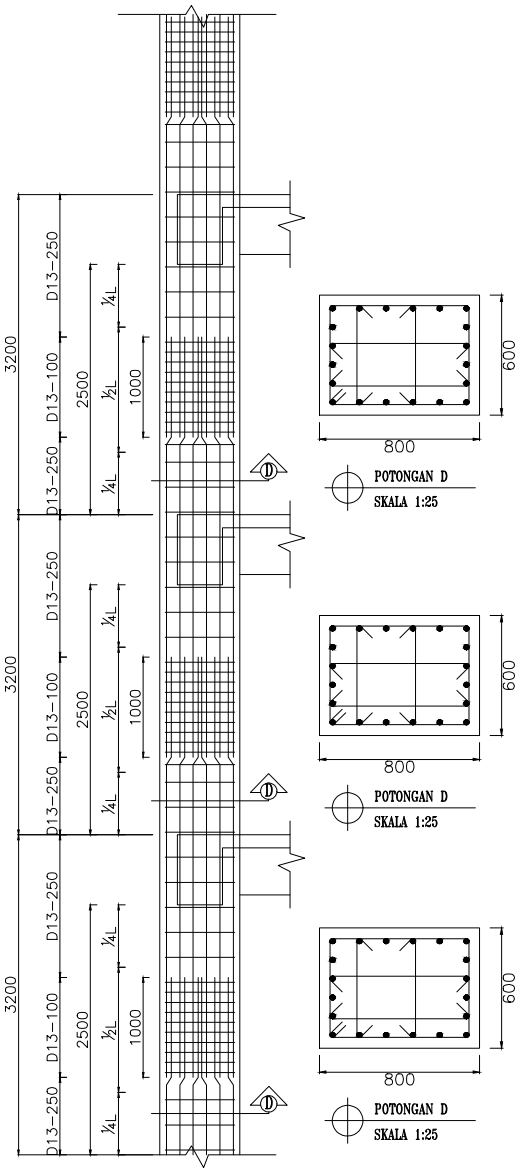
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

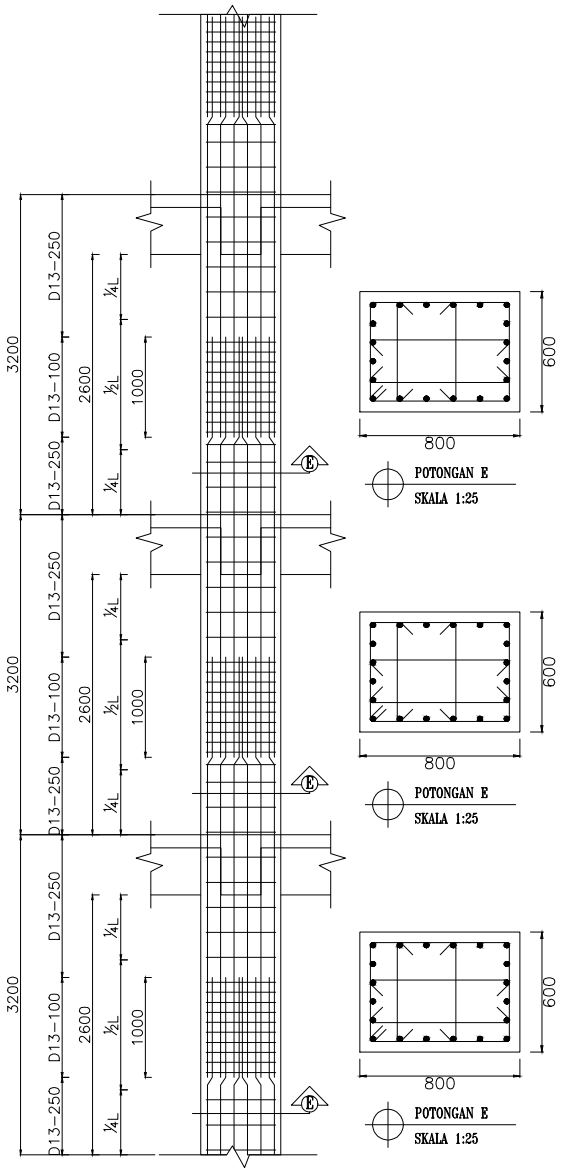
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

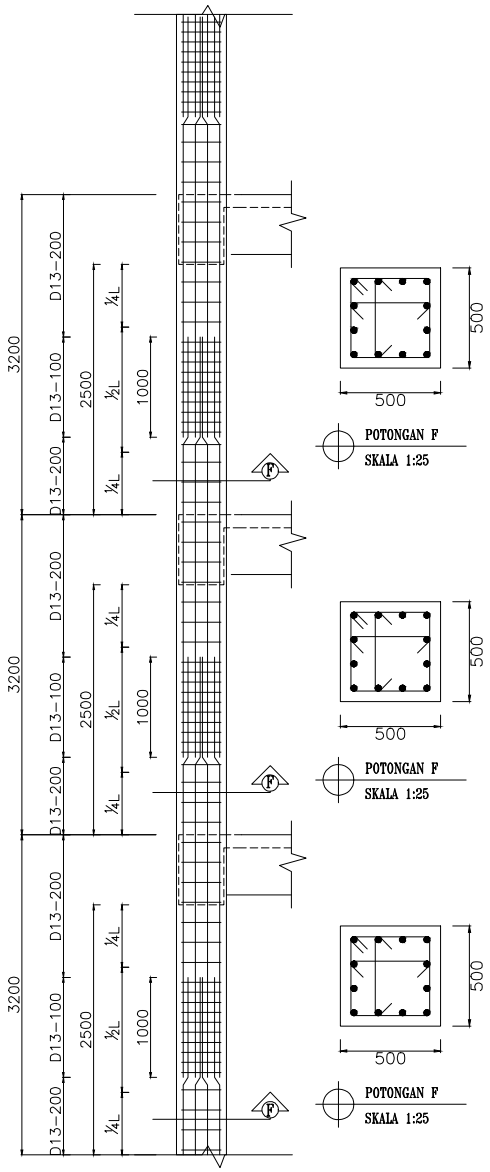
Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Kolom	1 : 75
No Gambar	**Jumlah Gambar**
22	30



DETAIL PENULANGAN K1B
SKALA 1:75



DETAIL PENULANGAN K2B
SKALA 1:75



DETAIL PENULANGAN K3B
SKALA 1:75

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

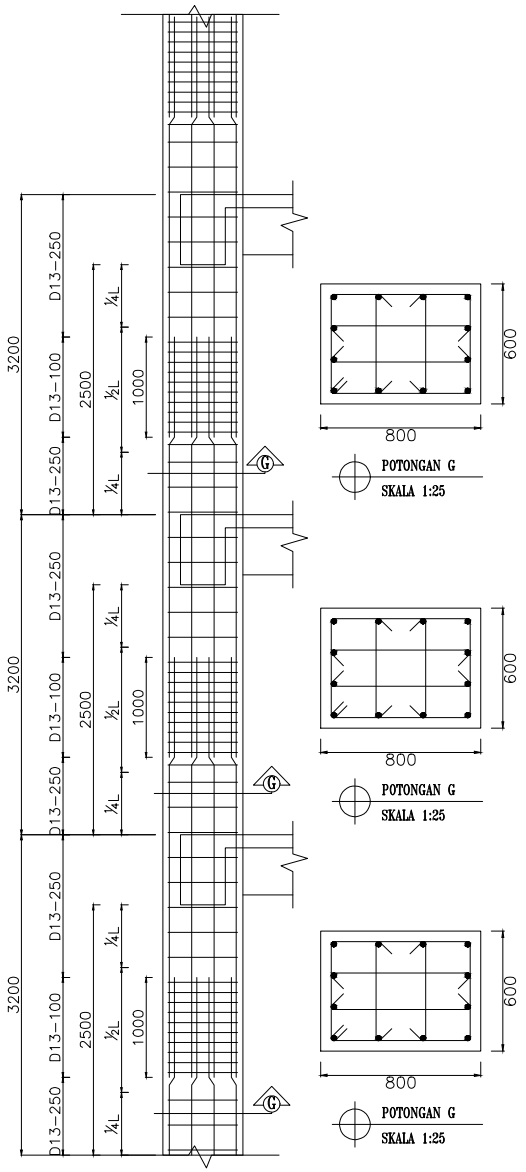
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

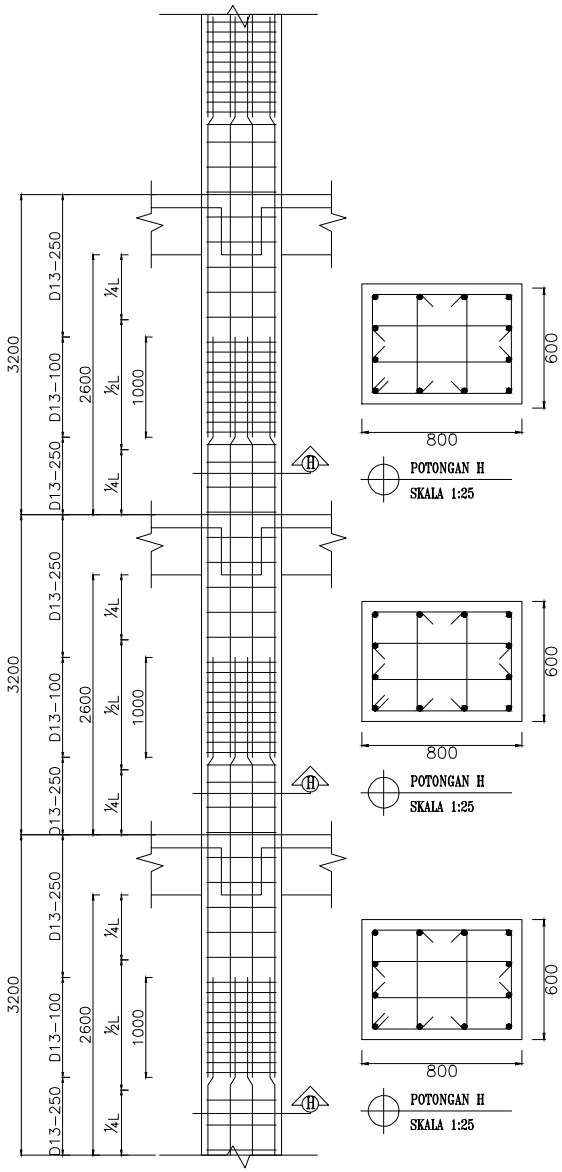
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

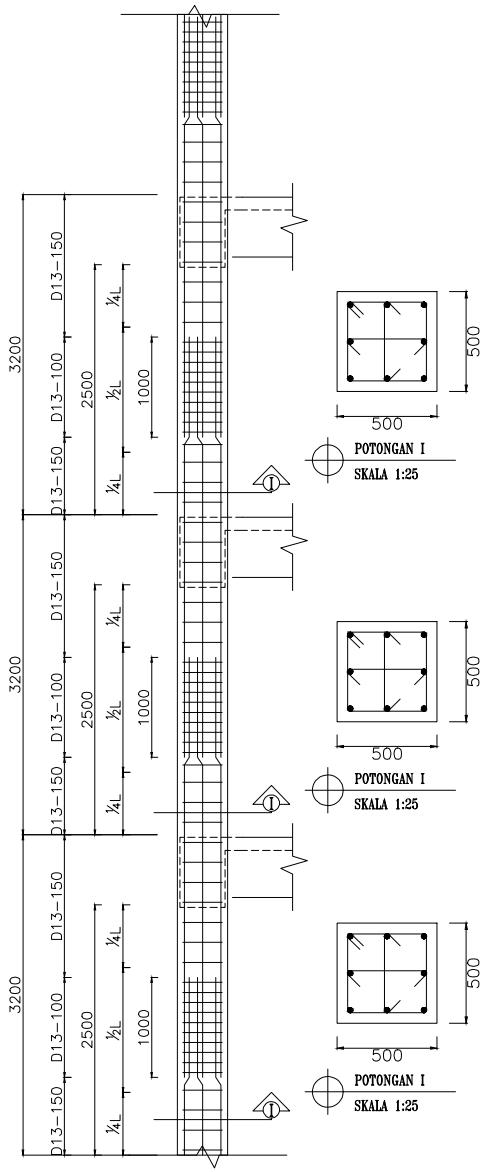
Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Kolom	1 : 75
No Gambar	**Jumlah Gambar**
23	30



DETAIL PENULANGAN K1C
SKALA 1:75



DETAIL PENULANGAN K2C
SKALA 1:75



DETAIL PENULANGAN K3C
SKALA 1:75

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Detail Penulangan Kolom	1 : 75
No Gambar	**Jumlah Gambar**
24	30

* NOTASI KOLOM

NOTASI	LANTAI	DIMENSI (mm)
K1A	LT.GF – LT.5	600x800
K1B	LT.6 – LT.9	600x800
K1C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K2A	LT.GF – LT.5	600x800
K2B	LT.6 – LT.9	600x800
K2C	LT.10 – LT. TOP ATAP	600x800
K3A	LT.GF – LT.5	600x600
K3B	LT.6 – LT.9	500x500
K3C	LT.10 – LT. TOP ATAP	500x500
KP	LT.BASEMENT	1200x1200

* NOTASI BALOK

NOTASI	DIMENSI (mm)
BI1	450x700
BI2	400x600
BI3	400x600
BI4	400x600
BI5	300x500
BA1	250x400
BA2	250x400
BK1	300x500
BL1	250x400
BL2	250x400
BS	400x600

* NOTASI PELAT

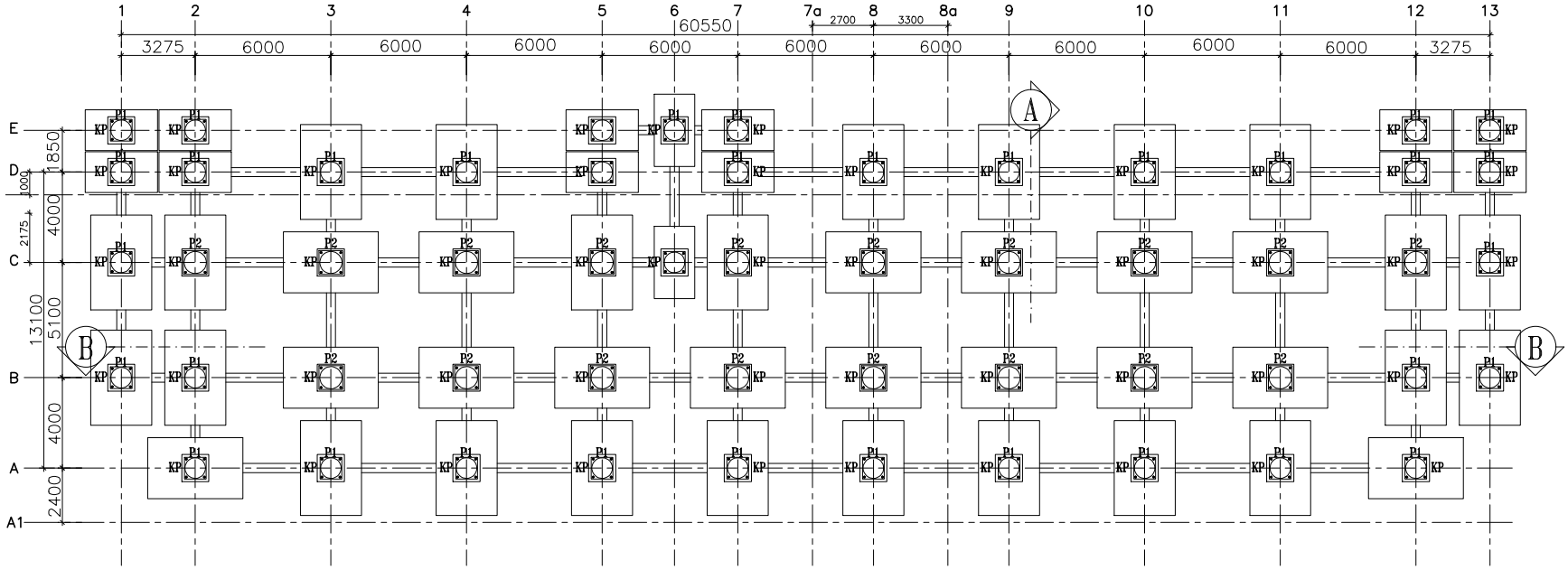
NOTASI	TEBAL (mm)
S1	130
S2	100
S3	120
S4	100

* NOTASI POER

NOTASI	DIMENSI (m)
TIPE 1	2,7 x 4,2 x 1
TIPE 2	4,2 x 2,7 x 1
TIPE 3	3,2 x 1,8 x 1

* NOTASI FPS

NOTASI	DIMENSI (m)
P1	SIP-D-HF-325
P2	SIP-D-HF-326



DENAH FPS

SKALA 1:300

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

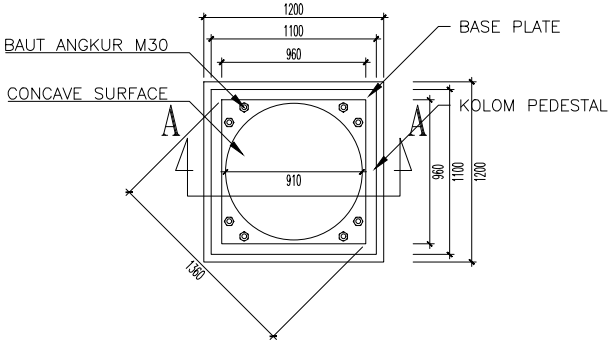
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

Mutu tulangan polos = 240 MPa

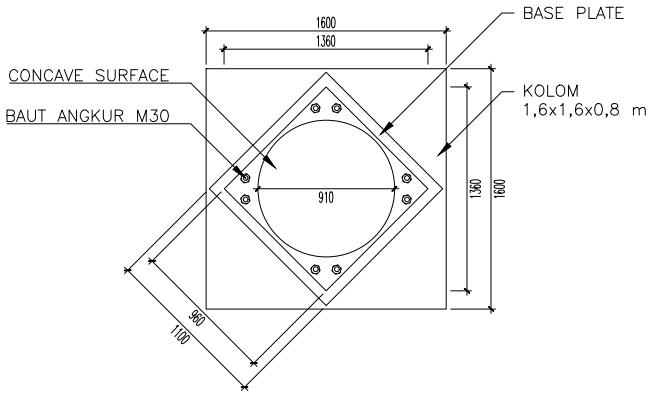
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

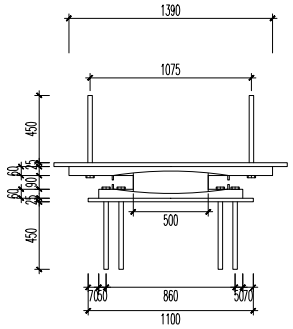
Nama Gambar	Skala Gambar
Denah FPS	1 : 300
No Gambar	**Jumlah Gambar**
25	30



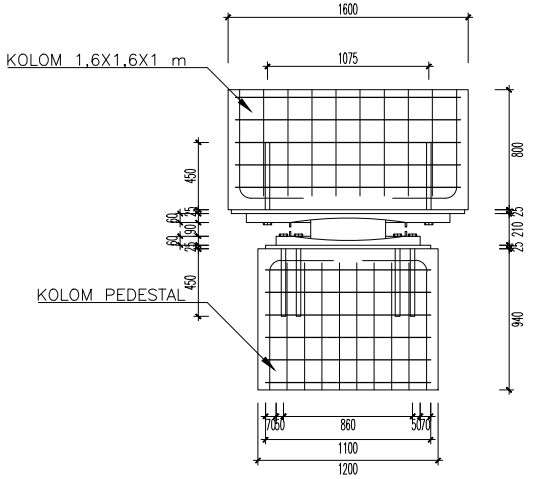
DETAIL FPS TIPE 1 DIATAS KOLOM PEDESTAL
SKALA 1:50



DETAIL FPS TIPE 1 DIBAWAH KOLOM STRUKTUR ATAS
SKALA 1:50



TAMPAK SAMPING FPS TIPE 1
SKALA 1:50



POTONGAN A-A
SKALA 1:50

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

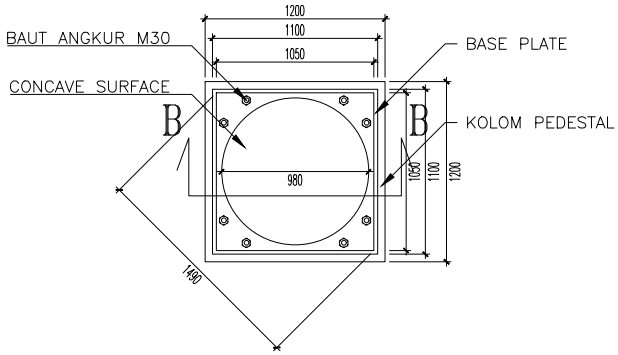
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

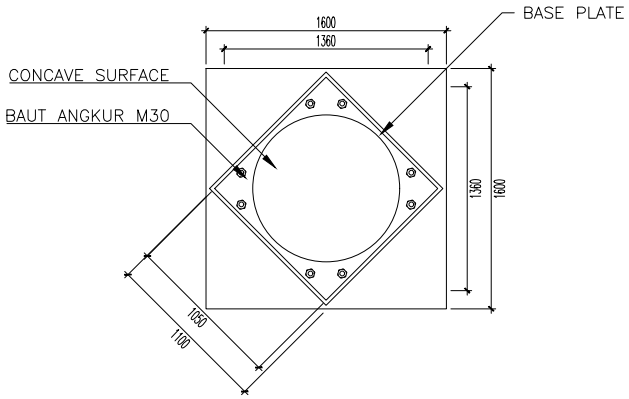
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

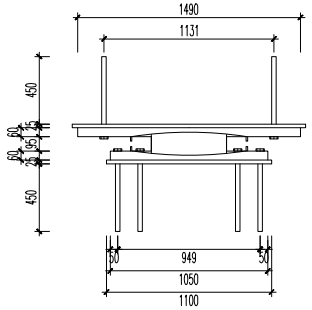
Nama Gambar	Skala Gambar
Detail FPS Tipe 1	1 : 50
No Gambar	**Jumlah Gambar**
26	30



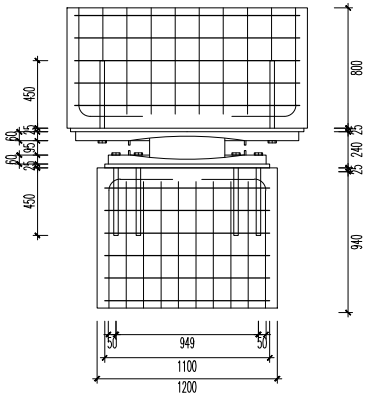
DETAIL FPS TIPE 2 DIATAS KOLOM PEDESTAL
SKALA 1:25



DETAIL FPS TIPE 2 DIBAWAH KOLOM STRUKTUR ATAS
SKALA 1:25



TAMPAK SAMPING FPS TIPE 2
SKALA 1:25



POTONGAN B-B
SKALA 1:25

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

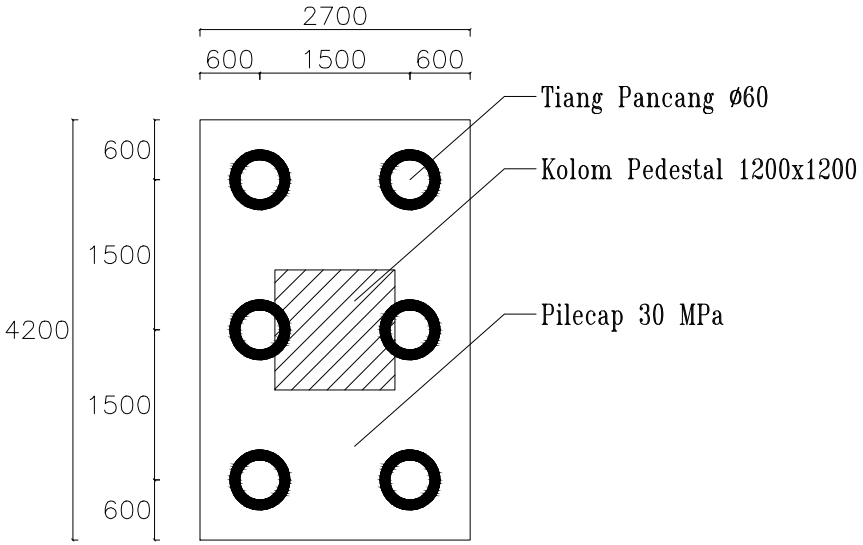
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

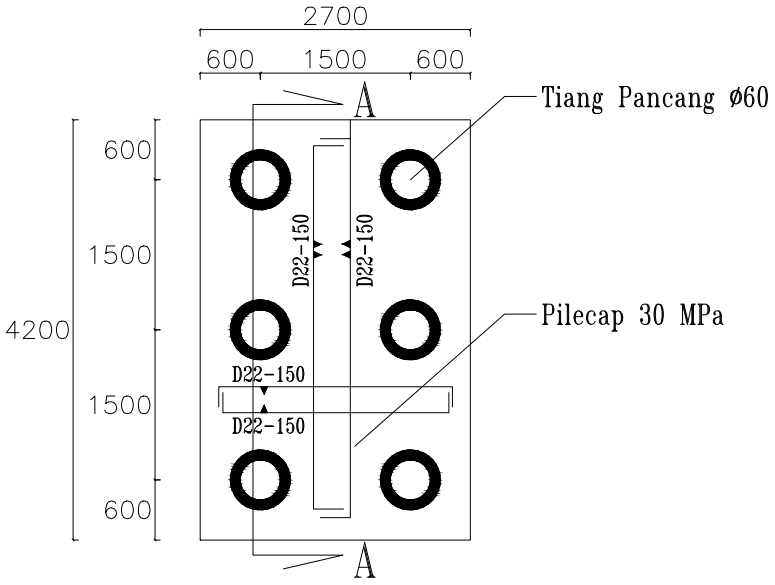
Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

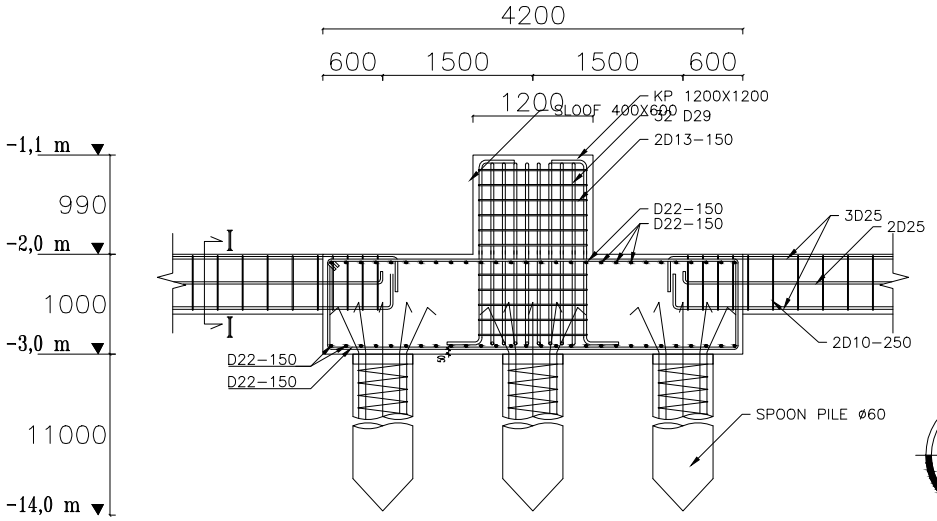
Nama Gambar	Skala Gambar
Detail FPS Tipe 2	1 : 50
No Gambar	**Jumlah Gambar**
27	30

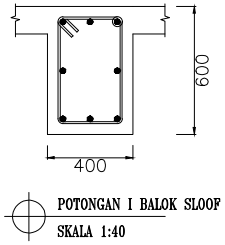


DENAH PONDASI TIPE 1
SKALA 1:75



PENULANGAN PONDASI TIPE 1
SKALA 1:75





POTONGAN A-A PONDASI TIPE 1
SKALA 1:75

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

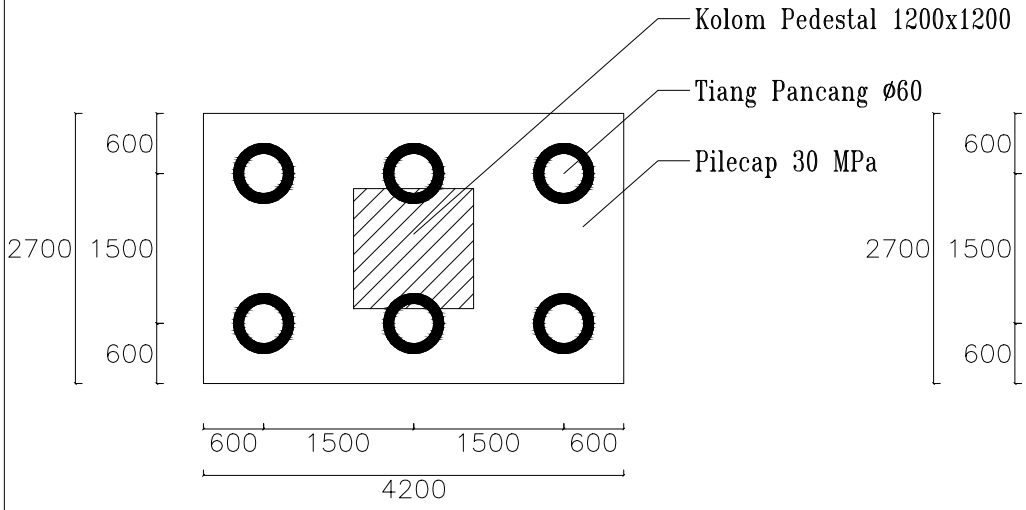
Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

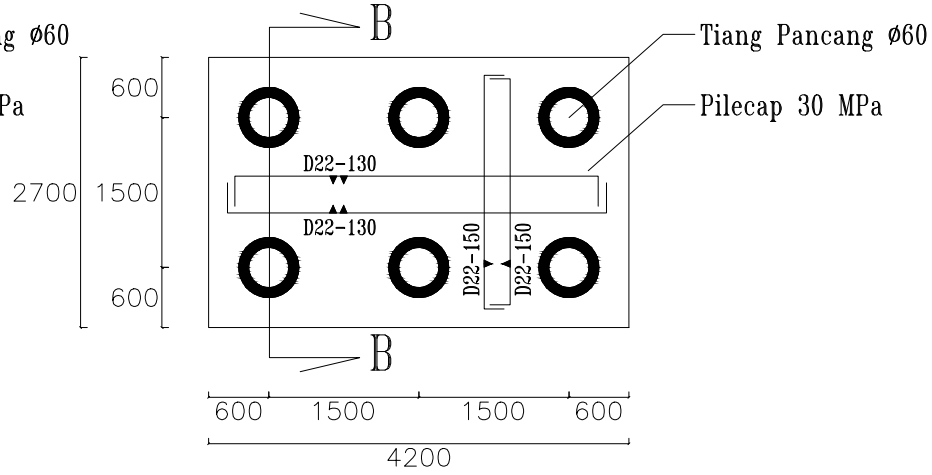
Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah, Detail Penulangan, & Potongan A-A Pondasi Tipe 1	1 : 75
No Gambar	**Jumlah Gambar**
28	30



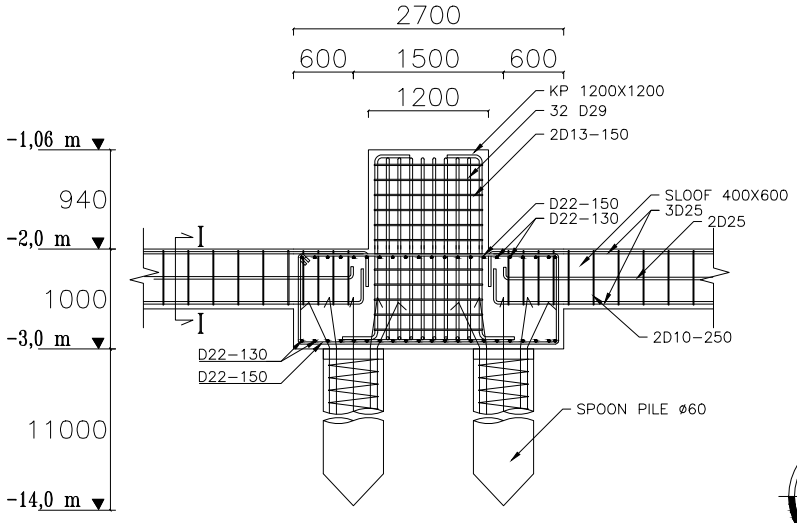
DENAH PONDASI TIPE 2

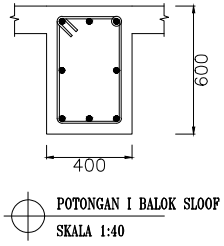
SKALA 1:75



PENULANGAN PONDASI TIPE 2

SKALA 1:75





POTONGAN B-B PONDASI TIPE 2

SKALA 1:75

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm

Mutu beton kolom = fc' 35 MPa

Mutu beton balok = fc' 30 MPa

Mutu beton pelat = fc' 30 MPa

Mutu poer = fc' 30 MPa

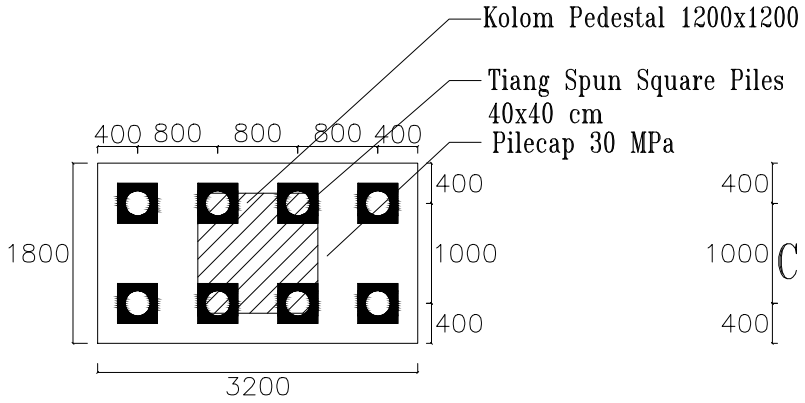
Mutu tulangan ulir = 400 MPa

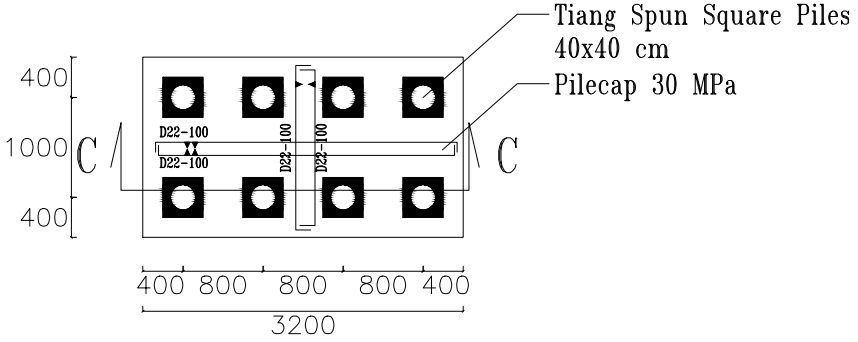
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

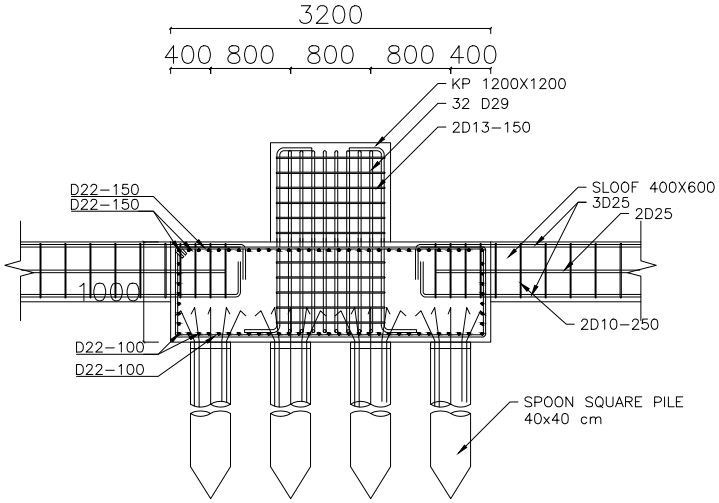
Nama Gambar	Skala Gambar
Denah, Detail Penulangan, & Potongan B-B Pondasi Tipe 2	1 : 75
No Gambar	**Jumlah Gambar**
29	30

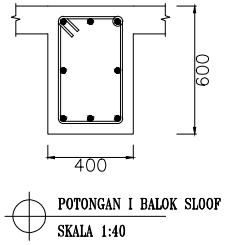




DENAH PONDASI TIPE 3
SKALA 1:75

PENULANGAN PONDASI TIPE 3
SKALA 1:75





POTONGAN I BALOK SLOOF
SKALA 1:40

POTONGAN C-C PONDASI TIPE 3
SKALA 1:75

Judul Tugas Akhir

Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan *Base Isolation* Tipe *Friction Pendulum System* Pada Daerah Rawan Gempa

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegiharjo, MS.

Ahmad Basshofi Habieb,ST.MT.PhD

Keterangan

Satuan dalam mm
Mutu beton kolom = fc' 35 MPa
Mutu beton balok = fc' 30 MPa
Mutu beton pelat = fc' 30 MPa
Mutu poer = fc' 30 MPa
Mutu tulangan ulir = 400 MPa
Mutu tulangan polos = 240 MPa

Nama & NRP Mahasiswa

Muhamad Fauzan Akbari
03111740000020

Nama Gambar	Skala Gambar
Denah, Detail Penulangan, & Potongan B-B Pondasi Tipe 2	1 : 75
No Gambar	**Jumlah Gambar**
30	30

BIODATA PENULIS

Muhamad Fauzan Akbari

Lahir di Surabaya, 22 April 1999, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Tembok Dukuh Surabaya, SMP Negeri 3 Surabaya, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil ITS pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 03111740000020. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa kegiatan kampus seperti kepanitian, himpunan, lembaga dakwah jurusan, dan lomba dibidang ketekniksipilan. Salah satu pencapaian penulis adalah menjadi juara 1 pada Kompetisi Rancang Bangun yang diselenggarakan oleh Universitas Udayana, Bali. Di Departemen Teknik Sipil, penulis mengambil topik tugas akhir bidang struktur dengan judul "Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo Dengan Base Isolation Tipe Friction Pendulum System Pada Daerah Rawan Gempa". Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi melalui email : fauzan.mfa22@gmail.com