TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KEBUTUHAN TULANGAN GEDUNG FIAI UII BERDASARKAN SNI 1726:2012 DENGAN PETA GEMPA 2010 DAN 2017

(COMPARISON OF REINFORCEMENT REQUIREMENT OF THE FIAI UII BUILDING BASED ON SNI 1726:2012 WITH THE 2010 AND 2017 EARTHQUAKE MAP)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil



Fredy Hari Purbiantoro
15511266

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2020

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KEBUTUHAN TULANGAN GEDUNG FIAI UII BERDASARKAN SNI 1726:2012 DENGAN PETA GEMPA 2010 DAN 2017

(COMPARISON OF REINFORCEMENT REQUIREMENT OF THE FIAI UII BUILDING BASED ON SNI 1726:2012 WITH THE 2010 AND 2017 EARTHQUAKE MAP)

Disusun oleh

Fredy Hari Purbiantoro
15511206

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.	**Astriana Hardawati, S.T., M.Eng**	**Suharyatma, Ir., M.T**
NIK: 155111306	**NIK: 165111301**	**NIK: 865110201**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang Saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya Saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang Saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, Saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang Saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Oktober 2020
Yang membuat pernyataan,



Fredy Hari Purbiantoro
(15511266)

Lembar Dedikasi

Terimakasih untuk Ayah, Ibu dan keluarga Saya yang selama ini telah mendukung Saya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

“Give to the world the best you have and the best will come back to you.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Saya ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan begitu banyak nikmat kepada Saya, sehingga Saya bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam marilah senantiasa kita lantunkan kepada Nabi Agung Muhammad SAW, karena beliaulah yang telah membimbing umat manusia dari zaman kejahiliahan menuju zaman yang penuh dengan ilmu seperti sekarang ini. Saya menyadari sebagai mahasiswa Saya tidak bisa menyelesaikan laporan ini seorang diri, oleh karena itu Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang setulusnya kepada pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan laporan ini yaitu:

1. Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng. Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir,
2. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
3. Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil,
4. Dosen dan Karyawan yang telah membantu proses penyusunan Tugas Akhir ini,
5. Pihak proyek Gedung FIAI UII yang telah bersedia memberikan datanya guna kelancaran penelitian ini.

Yogyakarta, Oktober 2020
Penulis,



Fredy Hari Purbiantoro
15511266

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
LEMBAR DEDIKASI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
ABSTRAK xvii
ABSTRACT xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Keaslian Penelitian 6
BAB III LANDASAN TEORI 9
3.1 Pembebanan Berdasarkan SNI 1727:2013 9
3.1.1 Beban mati 9
3.1.2 Beban hidup 9
3.1.3 Reduksi beban hidup merata 15
3.2 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012 17
3.2.1 Kategori risiko bangunan 17
3.2.2 Faktor keutamaan gempa 17
3.2.3 Klasifikasi situs 20

3.2.4 Penyusunan respon spektrum gempa 21
3.2.5 Penentuan kategori desain seismik 26
3.2.6 Faktor sistem struktur (R, Ω_0 dan C_d,) 27
3.2.7 Prosedur analisis 28
3.2.8 Periode struktur 29
3.2.9 Gaya geser dasar seismik 31
3.2.10 Kombinasi beban 33
3.2.11 Partisipasi massa 35
3.2.12 Kombinasi ragam 36
3.2.13 Skala gaya 36
3.3 Defleksi dan Simpangan Antar Lantai pada Bangunan 36
3.4 Pengaruh *P*-Δ 37
3.5 Torsi pada Bangunan 39
3.6 Kebutuhan Tulangan Balok 40
3.6.1 Tulangan longitudinal pada balok 40
3.6.2 Tulangan geser balok 44
3.7 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom 46
3.7.1 Diagram interaksi *Mn-Pn* 46
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 48
4.1 Data Penelitian 48
4.2 Lokasi Bangunan 48
4.3 Metode Pengumpulan Data 49
4.4 Tahapan Penelitian 49
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 52
5.1 Pendahuluan 52
5.2 Perhitungan Pembebanan 52
5.2.1 Beban mati 52
5.2.2 Beban hidup 53
5.3 Perhitungan Beban Gempa 53
5.4 Kombinasi Beban Gempa 63
5.4.1 Peta gempa 2010 64

5.4.2 Peta gempa 2017 65
5.5 Pemeriksaan *Output* Analisis dari Program 65
5.6 Perhitungan Kebutuhan Tulangan pada Peta Gempa 2010 dan 2017 93
5.6.1 Peta gempa 2010 93
5.6.2 Peta gempa 2017 137
5.7 Perbandingan Kebutuhan Tulangan pada Peta Gempa 2010 dan 2017 143
5.8 Pembahasan 149
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 150
6.1 Kesimpulan 150
6.2 Saran 150
DAFTAR PUSTAKA 151
LAMPIRAN 153

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan 7
Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum 10
Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung 17
Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa 19
Tabel 3.4 Klasifikasi Situs 20
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a 24
Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v 24
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek 27
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik 27
Tabel 3.9 Prosedur Analisis yang Diijinkan 28
Tabel 3.10 Koefisien Batas Atas pada Periode yang Dihitung 29
Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x 30
Tabel 3.12 Simpangan Antar Lantai Ijin 38
Tabel 5.1 Spektrum Respon Desain pada Peta Gempa 2010 57
Tabel 5.2 Spektrum Respon Desain pada Peta Gempa 2017 59
Tabel 5.3 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah X pada Peta Gempa 2010 73
Tabel 5.4 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah Y pada Peta Gempa 2010 74
Tabel 5.5 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah X pada Peta Gempa 2010 74
Tabel 5.6 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah Y pada Peta Gempa 2010 75
Tabel 5.7 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah X pada Peta Gempa 2017 75
Tabel 5.8 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah Y pada Peta Gempa 2017 76
Tabel 5.9 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah X pada Peta Gempa 2017 76
Tabel 5.10 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah Y pada Peta Gempa 2017 77
Tabel 5.11 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X 82
Tabel 5.12 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y 82

Tabel 5.13 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X 83
Tabel 5.14 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y 83
Tabel 5.15 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X 84
Tabel 5.16 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y 84
Tabel 5.17 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X 85
Tabel 5.18 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y 85
Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X 86
Tabel 5.20 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y 86
Tabel 5.21 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X 87
Tabel 5.22 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y 87
Tabel 5.23 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X 88
Tabel 5.24 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y 88
Tabel 5.25 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X 89
Tabel 5.26 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y 89
Tabel 5.27 Ketidakberaturan Massa 90
Tabel 5.28 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X 90

Tabel 5.29 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y 91
Tabel 5.30 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X 92
Tabel 5.31 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y 92
Tabel 5.32 Kebutuhan Tulangan Lentur Balok pada Peta Gempa 2010 113
Tabel 5.33 Kebutuhan Tulangan Geser Balok pada Peta Gempa 2010 118
Tabel 5.34 Nilai ϕM_n dan ϕP_n Kolom K1 Tingkat 1 untuk Jumlah Tulangan 10 Buah per-sisi 126
Tabel 5.35 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K1 pada Peta Gempa 2010 128
Tabel 5.36 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K2 pada Peta Gempa 2010 128
Tabel 5.37 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K3 pada Peta Gempa 2010 128
Tabel 5.38 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K4 pada Peta Gempa 2010 129
Tabel 5.39 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K5 pada Peta Gempa 2010 129
Tabel 5.40 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K6 pada Peta Gempa 2010 129
Tabel 5.41 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K7 pada Peta Gempa 2010 129
Tabel 5.42 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K1 pada Peta Gempa 2010 135
Tabel 5.43 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K2 pada Peta Gempa 2010 135
Tabel 5.44 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K3 pada Peta Gempa 2010 135
Tabel 5.45 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K4 pada Peta Gempa 2010 136
Tabel 5.46 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K5 pada Peta Gempa 2010 136
Tabel 5.47 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K6 pada Peta Gempa 2010 136
Tabel 5.48 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K7 pada Peta Gempa 2010 136
Tabel 5.49 Kebutuhan Tulangan Lentur Balok pada Peta Gempa 2017 137
Tabel 5.50 Kebutuhan Tulangan Geser Balok pada Peta Gempa 2017 138
Tabel 5.51 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K1 pada Peta Gempa 2017 139
Tabel 5.52 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K2 pada Peta Gempa 2017 139
Tabel 5.53 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K3 pada Peta Gempa 2017 139
Tabel 5.54 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K4 pada Peta Gempa 2017 140
Tabel 5.55 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K5 pada Peta Gempa 2017 140
Tabel 5.56 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K6 pada Peta Gempa 2017 140
Tabel 5.57 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K7 pada Peta Gempa 2017 140
Tabel 5.58 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K1 pada Peta Gempa 2017 141

Tabel 5.59 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K2 pada Peta Gempa 2017 141
Tabel 5.60 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K3 pada Peta Gempa 2017 141
Tabel 5.61 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K4 pada Peta Gempa 2017 142
Tabel 5.62 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K5 pada Peta Gempa 2017 142
Tabel 5.63 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K6 pada Peta Gempa 2017 142
Tabel 5.64 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K7 pada Peta Gempa 2017 142
Tabel 5.65 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Lentur Balok pada Peta Gempa 2010 dan 2017 143
Tabel 5.66 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Geser Balok pada Peta Gempa 2010 dan 2017 144
Tabel 5.67 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K1 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 144
Tabel 5.68 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K2 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 145
Tabel 5.69 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K3 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 145
Tabel 5.70 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K4 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 145
Tabel 5.71 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K5 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 146
Tabel 5.72 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K6 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 146
Tabel 5.73 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K7 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 146
Tabel 5.74 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K1 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 146
Tabel 5.75 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K2 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 147
Tabel 5.76 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K3 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 147

Tabel 5.77 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K4 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 147
Tabel 5.78 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K5 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 148
Tabel 5.79 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K6 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 148
Tabel 5.80 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K7 pada Peta Gempa 2010 dan 2017 148
Tabel L - 3.1 Hasil Pengujian N-SPT Tanah 166

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Percepatan Spektrum Respons Periode 0,2 Detik (S_S) pada Peta Gempa 2010 21
Gambar 3.2 Percepatan Spektrum Respons Periode 1 Detik (S_1) pada Peta Gempa 2010 22
Gambar 3.3 Percepatan Spektrum Respons Periode 0,2 Detik (S_S) pada Peta Gempa 2017 22
Gambar 3.4 Percepatan Spektrum Respons Periode 1 Detik (S_1) pada Peta Gempa 2017 23
Gambar 3.5 Grafik Spektrum Respon Desain 26
Gambar 3.6 Simpangan Antar Lantai 37
Gambar 3.7 Dekomposisi Tulangan Rangkap pada Balok (Widodo, 2013) 40
Gambar 3.8 Diagram Interaksi *Mn-Pn* (MacGregor, 2012) 46
Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Gedung FIAI UII 48
Gambar 4.2 *Flow Chart* Penelitian 50
Gambar 5.1 Respon Spektrum Peta Gempa 2010 58
Gambar 5.2 Respon Spektrum Peta Gempa 2017 60
Gambar 5.3 Perbandingan Respon Spektrum pada Peta Gempa 2010 dan 2017 60
Gambar 5.4 Partisipasi Massa pada Peta Gempa 2010 66
Gambar 5.5 Partisipasi Massa pada Peta Gempa 2017 66
Gambar 5.6 Periode Struktur pada Peta Gempa 2010 67
Gambar 5.7 Periode Struktur pada Peta Gempa 2017 68
Gambar 5.8 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2010 69
Gambar 5.9 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2010 Setelah Skala Ulang 70
Gambar 5.10 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2017 70
Gambar 5.11 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2017 Setelah Skala Ulang 71
Gambar 5.12 Letak Titik Simpangan yang Ditinjau 72
Gambar 5.13 Defleksi Elastis Titik 1 Arah X 77

Gambar 5.14 Defleksi Elastis Titik 1 Arah Y 78
Gambar 5.15 Defleksi Elastis Titik 2 Arah X 78
Gambar 5.16 Defleksi Elastis Titik 2 Arah Y 79
Gambar 5.17 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah X 79
Gambar 5.18 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah Y 80
Gambar 5.19 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah X 80
Gambar 5.20 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah Y 81
Gambar 5.21 SFD Akibat Beban Gravitasi 115
Gambar 5.22 SFD Akibat Beban Gempa 115
Gambar 5.23 SFD Akibat Beban Kombinasi 115
Gambar 5.24 Grafik ϕM_n dan ϕP_n Kolom K1 Tingkat 1 127
Gambar L - 1.1 Nilai S_s dan S_1 untuk Peta Gempa 2010 154
Gambar L - 1.2 Nilai S_s dan S_1 untuk Peta Gempa 2017 154
Gambar L - 2.1 Rencana Kolom Basement 155
Gambar L - 2.2 Rencana Kolom Semi Basement 156
Gambar L - 2.3 Rencana Kolom Lantai 1 sampai Lantai 4 157
Gambar L - 2.4 Rencana Kolom Lantai 5 158
Gambar L - 2.5 Rencana Balok Semi Basement 159
Gambar L - 2.6 Rencana Balok Lantai 1 160
Gambar L - 2.7 Rencana Balok Lantai 2 161
Gambar L - 2.8 Rencana Balok Lantai 3 162
Gambar L - 2.9 Rencana Balok Lantai 4 163
Gambar L - 2.10 Rencana Balok Lantai 5 164
Gambar L - 2.11 Rencana Balok Lantai Atap 165
Gambar L - 4.1 Tampak 3 Dimensi pada Pemodelan Bangunan 166

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembacaan nilai S_s dan S_1 pada *website* PUSKIM 154

Lampiran 2 Denah Gedung FIAI UII 155

Lampiran 3 Pengujian N-SPT Tanah 166

Lampiran 4 Pemodelan Bangunan pada Program SAP2000 166

ABSTRAK

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan daerah rawan bencana gempa, baik gempa tektonik maupun vulkanik. Maka dari itu penting bagi manusia untuk mendesain bangunan yang tahan terhadap gempa guna mengurangi dampak yang akan ditimbulkan. Perencanaan bangunan tahan gempa diharuskan untuk mengikuti standar yang berlaku. Peraturan mengenai perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia diatur dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012. SNI 1726:2012 menggunakan Peta Gempa Indonesia Tahun 2010, namun seiring dengan perkembangan penelitian mengenai kegempaan maka saat ini peta gempa tersebut telah diperbarui menjadi Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 sebagai pendukung dari SNI yang baru yaitu SNI 1726:2019. Penelitian ini akan membandingkan hasil analisis berupa gaya geser dasar, simpangan antar lantai dan kebutuhan tulangan balok dan kolom akibat beban gempa dengan analisis respon spektrum menggunakan Peta Gempa 2010 dan Peta Gempa 2017.

Metode analisis yang digunakan yaitu metode dinamik respon spektrum dengan dua Peta Gempa yaitu Peta Gempa 2010 dan 2017. Penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2012, SNI 1727:2013 dan SNI 2847:2013 sebagai dasarnya. Bangunan yang diteliti yaitu Gedung FIAI UII yang berlokasi di Sleman, DI Yogyakarta.

Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan pada Peta Gempa 2017 berupa nilai gaya geser dasar, nilai simpangan antar lantai, luas tulangan lentur balok, tulangan geser balok dan luas tulangan utama kolom, sedangkan luas tulangan geser kolom nilainya tetap. Nilai gaya geser dasar dinamik pada peta gempa 2017 meningkat sebesar 16,35% untuk arah X dan 16,32% untuk arah Y dibandingkan peta gempa 2010. Nilai simpangan antar tingkat maksimum pada peta gempa 2017 meningkat sebesar 17,17% untuk arah X dan 17,89% untuk arah Y dibandingkan peta gempa 2010. Nilai simpangan antar tingkat baik pada Peta Gempa 2010 maupun 2017 masih memenuhi syarat. Kebutuhan luas tulangan balok pada peta gempa 2017 meningkat sebesar 7,44% untuk tulangan lentur dan 3,65% untuk tulangan geser dibandingkan peta gempa 2010. Kebutuhan luas tulangan utama kolom pada peta gempa 2017 meningkat sebesar 1,32% dibandingkan peta gempa 2010.

Kata kunci: Peta Gempa, Luas Tulangan, Simpangan Antar Lantai, Geser Dasar

ABSTRACT

Most of Indonesia's territory is earthquake-prone areas, both tectonic and volcanic. Therefore humans need to design earthquakes resistant buildings to reduce the impact that will be caused. Earthquake resistant building design is required to follow applicable standards. The regulations regarding earthquake resistant building design standards in Indonesia are regulated in the Procedure for Earthquake Resistant Design for Building and Non-Building Structure, SNI 1726:2012. SNI 1726:2012 uses the Indonesian Earthquake Map of 2010, but along with the development of research on seismicity, the earthquake map has been updated in the form of the Indonesian Earthquake Map of 2017 as an attachment of the new SNI namely SNI 1726:2019. This study will compare the results of the analysis in the form of base shear, maximum inter-story drift, reinforcement requirements of beam and reinforcement requirements of column with the spectrum response analysis using the 2010 Earthquake Map and the 2017 Earthquake Map.

The analytical method used is dynamic response spectrum method with two Earthquake Maps, 2010 and 2017 Earthquake Map. This study refers to SNI 1726:2012, SNI 1727:2013 and SNI 2847:2013 as the references. The object of the study is the FIAI UII Building, located in Sleman, DI Yogyakarta.

The results showed an increase in the 2017 earthquake map in the form of value of base shear, inter-story drift, reinforcement requirements for flexural strength of beam, reinforcement requirements for shear strength of beam and reinforcement requirements of column, while reinforcement requirements for shear strength of column has the same amount as 2010 Earthquake Map. The dynamic base shear on the 2017 earthquake map increased by 16,35% for the X direction and 16,32% for the Y direction compared to the 2010 Earthquake Map. The maximum of inter-story drift on the 2017 Earthquake Map increased by 17,17% for the X direction and 17,89% for the Y direction compared to the 2010 earthquake map. Both of inter-story drift on 2010 and 2017 Earthquake Map is still eligible. The reinforcement requirements of beam on the 2017 earthquake map increased by 7,44% for flexural strength and 3,65% for shear strength compared to the 2010 Earthquake Map. The reinforcement requirements of columns on the 2017 Earthquake Map increased by 1,32*% compared to the 2010 Earthquake Map.*

***Keywords**: Earthquake Map, Reinforcement Requirements, Inter-Story Drift, Base Shear*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan daerah rawan bencana gempa, baik gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Hal ini disebabkan karena Indonesia berada diatas bagian dari Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) yang meliputi wilayah pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, hingga Maluku. Selain itu Indonesia juga berada di wilayah tiga patahan lempeng yaitu Indo-Australia di sisi selatan, Eurasia di sisi utara, dan Pasifik di sisi timur yang semakin menambah potensi terjadinya bencana gempa.

Berangkat dari hal tersebut maka penting bagi manusia untuk mendesain bangunan yang tahan terhadap gempa guna mengurangi dampak yang akan ditimbulkan. Menurut Pawirodikromo (2012) desain filosofi bangunan tahan gempa yaitu bangunan yang apabila terjadi gempa kecil (*light*, atau *minor earthquake*) maka struktur bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik, pada gempa menengah (*moderate earthquake*) maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki, dan pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*).

Peraturan mengenai standar perencanaan gedung tahan gempa di Indonesia diatur dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012. SNI 1726:2012 menggunakan Peta Gempa Indonesia Tahun 2010, namun seiring dengan perkembangan penelitian mengenai kegempaan maka saat ini peta gempa telah diperbarui yaitu berupa Peta Gempa Indonesia Tahun 2017 sebagai pendukung dari SNI 1726:2019.

Peta Gempa Tahun 2017 memiliki cukup banyak perbedaan dibandingkan Peta Gempa 2010, diantaranya pada Peta Gempa 2010 terdapat 81 sesar aktif sedangkan pada Peta Gempa 2017 terdapat 251 sesar aktif, kemudian telah terjadi gempa signifikan yang belum terakomodir pada Peta Gempa 2010 misalnya

Gempa Simeulue (Mw: 8,5) pada 11 April 2012, dan Gempa Pidie Jaya (Mw: 6,5) pada 7 Desember 2016. Dengan demikian maka parameter yang ada di peta gempa diantaranya S_s dan S_1 juga mengalami perubahan.

Perubahan nilai S_s dan S_1 pada peta gempa akan menyebabkan perubahan besarnya gaya gempa pada bangunan. Hal tersebut dikarenakan parameter S_s dan S_1 merupakan parameter awal yang akan digunakan untuk membuat suatu grafik respon spektrum. Peningkatan nilai S_s dan S_1 akan menyebabkan peningkatan gaya geser dasar, kemudian peingkatan gaya geser dasar akan menyebabkan meningkatnya nilai simpangan tingkat dan gaya dalam pada elemen struktur. Meningkatnya nilai gaya dalam akan berpotensi pada peningkatan kebutuhan tulangan pada elemen tersebut.

Penelitian ini akan membandingkan hasil analisis berupa gaya geser dasar, simpangan antar tingkat dan kebutuhan tulangan balok dan kolom akibat beban gempa dengan metode Respon Spektrum menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terebut, rumusan masalah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan nilai gaya geser dasar pada bangunan yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017?
2. Bagaimana perbandingan nilai simpangan antar tingkat pada bangunan yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017?
3. Apakah nilai simpangan antar tingkat yang terjadi berdasarkan analisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017 memenuhi syarat menurut SNI 1726:2012?
4. Bagaimana perbandingan kebutuhan tulangan pada elemen balok dan kolom yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai gaya geser dasar pada bangunan yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017,
2. Mengetahui perbandingan nilai simpangan antar tingkat pada bangunan yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017,
3. Mengetahui apakah nilai simpangan antar tingkat yang terjadi memenuhi syarat menurut SNI 1726:2012,
4. Mengetahui perbandingan kebutuhan tulangan pada elemen balok dan kolom yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2017.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam berbagai bidang, diantaranya yaitu.

1. Akademisi

   Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai seberapa besar pengaruh perubahan Peta Gempa dari Peta Gempa 2010 menjadi Peta Gempa 2017 pada suatu bangunan gedung.
2. Praktisi

   Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan mengenai peta gempa yang baru dimana peta ini digunakan untuk proses desain dan analisis gedung bertingkat.

1.5 Batasan Penelitian

Waktu yang diberikan dalam penelitian tugas akhir ini mempunyai batasan, maka dari itu harus dilakukan juga pembatasan penelitian agar penelitian dapat berfokus pada rumusan masalah dan tujuan. Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 yaitu pemodelan pada struktur atas bangunan berupa kolom, balok dan plat,

2. Perhitungan kebutuhan tulangan dilakukan pada elemen balok dan kolom,
3. Analisis struktur dibantu dengan menggunakan *software* SAP2000 versi 15,
4. Beban yang diperhitungkan yaitu beban mati dan beban hidup dari SNI 1727:2013, dan beban gempa dari SNI 1726:2012,
5. Beban gempa yang diperhitungkan berupa beban gempa dinamik respon spektrum,
6. Peta gempa yang digunakan yaitu Peta Gempa 2010 dan Peta Gempa 2017,
7. Kondisi tanah yang digunakan dalam proses analisis struktur berupa tanah sedang,
8. Lokasi bangunan berada di Sleman, DI Yogyakarta,
9. Objek penelitian adalah Gedung FIAI Universitas Islam Indonesia (UII).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai respon struktur akibat beban gempa telah dilakukan oleh banyak orang sebelumnya, hal tersebut dapat menjadi referensi bagi penulis dalam melakukan penelitian sejenis. Berikut merupakan beberapa penelitian yang sekiranya memiliki kemiripan dengan penelitian ini.

1. Amaliah (2018) melakukan penelitian mengenai studi komparasi respon spektra indonesia untuk bangunan gedung dengan pembebanan peta gempa 2010 dan 2017. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat 15 kota yang mengalami peningkatan parameter respon spektrum, 16 kota mengalami penurunan, dan 3 kota lainnya tetap. Beberepa kota yang mengalami peningkatan adalah Kota Bandar Lampung, Banjarmasin, Bengkulu, Gorontalo, Jayapura, Manokwari, Medan, Palembang, Palu, Pangkal Pinang, Pontianak, Serang, Surabaya, Tanjung Selor dan Yogyakarta. Kota-kota yang mengalami peningkatan tersebut perlu dilakukan kajian kinerja struktur terbangun dan pemeriksaan lebih anjut.
2. Fauzan, dkk (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh beban gempa berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa indonesia 2017 terhadap respon struktur gedung rusunawa Universitas Andalas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan simpangan antar lantai dan *displacement* dari peta gempa SNI 1726-2012 ke peta gempa tahun 2017 yaitu sebesar 11,02% untuk simpangan antar lantai dan 10,27% untuk displacement, serta peningkatan pada gaya dalam yaitu: 0,06% - 0,96% untuk gaya aksial, 0,69% - 7,26% untuk gaya geser, dan 0,43% - 7,67% untuk momen pada kolom kemudian 2,93% - 3,82% untuk gaya geser dan 4,22% - 5,44% untuk momen pada balok.

3. Adam (2018) melakukan penelitian mengenai perancangan ulang struktur gedung dengan membandingkan pembebanan dari PPIUG 1983 dan SNI 2847:2013. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan ulang struktur gedung Apartemen Amartha View Semarang. Hasil redesain didapatkan adanya beberapa perubahan yaitu luas tulangan lentur balok hasil analisis SNI 1727:2013 memiliki nilai yang lebih besar dengan presentase perbandingan sebesar 10,98%, luas tulangan balok geser hasil analisis SNI 1727:2013 memiliki nilai yang lebih besar dengan presentase perbandingan sebesar 11,14%, jumlah tulangan kolom hasil analisis SNI 1727:2013 memiliki jumlah yang sama dengan jumlah tulangan kolom hasil analisis PPPIUG 1983, dan luas tulangan pelat hasil SNI 1727:2013 memiliki nilai yang lebih besar dengan presentase perbandingan sebesar 16,61%.

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan beberapa penelitian sejenis yang telah dikumpulkan, maka dapat dilihat perbedaan terhadap penelitian yang akan dilakukan oleh penulis yaitu seperti pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

No	Aspek	Purbiantoro (2020)	Amaliah (2018)	Fauzan, dkk (2018)	Adam (2018)
1.	Judul	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Gedung FIAI UII Berdasarkan SNI 1726:2012 dengan Peta Gempa 2010 dan 2017	Studi Komparasi Respon Spektra Indonesia untuk Bangunan Gedung dengan Pembebanan Peta Gempa 2010 dan 2017	Pengaruh Beban Gempa Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 Terhadap Respon Struktur Gedung Rusunawa Universitas Andalas	Analisis Simpangan dan Kebutuhan Tulangan Berdasarkan PPIUG 1983 dibandingkan dengan SNI 1727:2013
2.	Metode Analisis	respon spektrum	respon spektrum	respon spektrum	respon spektrum
3.	*Software* yang Digunakan	SAP2000	Microsoft Excel	ETABS	SAP2000
4.	Objek Penelitian	Gedung FIAI Universitas Islam Indonesia	34 Provinsi di Indonesia	Gedung Rusunawa Universitas Andalas Padang	Apartemen Amartha View Semarang

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

No	Aspek	Purbiantoro (2020)	Amaliah (2018)	Fauzan, dkk (2018)	Adam (2018)
5.	Hasil	-	Terdapat 15 kota yang mengalami peningkatan parameter respon spektrum, 16 kota mengalami penurunan, dan 3 kota lainnya tetap	Terjadi peningkatan nilai simpangan antar lantai dan *displacement*, kemudian pengingkatan gaya dalam pada balok dan kolom nilainya bervariasi	Terjadi peningkatan luas tulangan pada tulangan lentur balok, geser balok, dan tulangan pelat, sedangkan luas tulangan utama kolom tidak mengalami perubahan

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan Berdasarkan SNI 1727:2013

Pada perencanaan konstruksi gedung bertingkat, akan diperhitungkan beban-beban yang bekerja pada gedung, yaitu beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa dan beban khusus, dimana untuk beban khusus ini bergantung pada situasi dan kondisi pada bangunan. Berikut penjelasan mengenai beban mati, beban hidup dan faktor reduksi beban hidup mengacu pada SNI 1727:2013.

3.1.1 Beban mati

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 3.1.1 disebutkan bahwa beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, yaitu berat volume struktur utama termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lainnya termasuk berat keran.

Selanjutnya pasal 3.1.2 menjelaskan bahwa saat menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak berwenang yang mengerti dan ahli dibidangnya.

3.1.2 Beban hidup

Pasal 4.1 memberikan penjelasan mengenai beban hidup, yaitu beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Pasal 4.3.1 menjelaskan mengenai beban hidup yang diperlukan, bahwa beban hidup yang digunakan pada perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang dapat terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi nilainya tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam peraturan.

Beban merata minimum yang dimaksud adalah sebagi berikut, sebagaimana disebutkan dalam SNI 1727:2013 tabel 4-1.

Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum

Hunian atau penggunaan	**Merata psf (kN/m^2)**	**Terpusat lb (kN)**
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban Hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m^2)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor	100 (4,79)	
Lantai pertama	sama seperti pelayanan hunian	
Lantai lain	kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. [50 mmx50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92)	
Susuran tangga, rel pengaman dan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) Tidak boleh direduksi	
Rumah sakit: Ruang operasi, laboratorium Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	 60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor di atas lantai pertama	 60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)	
Bangsal dansa dan Ruang dansa	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)	

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79) Sama	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	seperti hunian dilayani	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan		
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka.	200 (0,89)

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak/scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaaan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,6)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1000 (4,45)
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

Sumber : Tabel 4-1 SNI 1727:2013

3.1.3 Reduksi beban hidup merata

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4.7.2, beban hidup dalam standar tersebut boleh direduksi sesuai dengan ketentuan yang ada, yaitu:

1. Pada pelat lantai, beban hidup boleh direduksi dengan syarat nilai $K_{LL}.A_T$ lebih dari atau sama dengan 400 ft^2 (37,16 m^2). Cara menentukan nilai reduksi beban hidup dapat dilihat pada persamaan 3.1 berikut.

$$L = L_0\left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{K_{LL}.A_T}}\right) \qquad (3.1)$$

Dimana:

L = beban hidup rencana tereduksi per m^2 dari luasan yang didukung oleh komponen struktur (kN/m^2)

L_0 = beban hidup rencana tanpa reduksi per m^2 dari luasan yang didukung oleh komponen struktur (kN/m^2)

K_{LL} = faktor elemen beban hidup

A_T = luas tributari dalam (m^2)

Catatan:

a. Nilai L tidak boleh kurang dari 0,50 L_0 untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan L tidak boleh kurang dari 0,40 L_0 untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih,
b. Beban hidup awal (L_0) yang memiliki nilai lebih dari 100 lb/ft^2 atau setara 4,79 kN/m^2 tidak boleh direduksi.

2. Reduksi beban hidup pada atap datar, berhubung dan lengkung dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$L_R = L_0.R_1.R_2 \text{ dimana } 0{,}58 \leq L_R \leq 0{,}96 \qquad (3.2)$$

Faktor reduksi R_1 dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut ini.

1	Untuk $A_T < 18{,}58\ m^2$
$R_1 = 1{,}2 - 0{,}001A_T$	Untuk $18{,}58\ m^2 < A_T < 55{,}74\ m^2$
0,6	Untuk $A_T > 55{,}74\ m^2$

Faktor reduksi R_2 dapat ditentukan dengan ketentuan berikut ini.

1	Untuk $F < 4$
$R_2 = 1{,}2 - 0{,}05F$	Untuk $4 < F < 12$
0,6	Untuk $F > 12$

Dimana:

A_T = Luas tributari yang didukung oleh komponen struktural

F = Jumlah peninggian dalam inci per *foot* (dalam SI: F = 0,12 x kemiringan (*slope*), dengan kemiringan dinyatakan dalam persentase), dan untuk atap lengkung atau kubah, F sama dengan rasio tinggi terhadap bentang dikalikan dengan 32.

3.2 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Tata cara perencanaan ketahanan gempa diatur dalam SNI 1726:2012. Syarat-syarat perencanaan struktur bangunan gedung dan non gedung tahan gempa yang ditetapkan dalam standar tersebut tidak berlaku untuk bangunan sebagai berikut:

a. Struktur bangunan dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktian tentang kelayakannya;
b. Struktur jembatan kendaraan lalu lintas (jalan raya dan kereta api), struktur reaktor energi, struktur bangunan keairandan bendungan, struktur menara transmisi listrik, serta struktur anjungan pelabuhan, anjungan lepas pantai, dan struktur penahan gelombang.

Proses perencanaan beban gempa dilakukan dalam beberapa tahap. Berikut ini tahapan-tahapan yang harus dilalui dalam merencanakan beban gempa pada sebuah bangunan gedung.

3.2.1 Kategori risiko bangunan

Kategori risiko suatu bangunan ditentukan oleh jenis pemanfaatan dari bangunan tersebut. Berdasarkan jenis pemanfaatan tersebut dapat diketahui kemungkinan besarnya risiko korban jiwa pada suatu bangunan. Pengelompokkan kategori risiko bangunan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: • Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I

Lanjutan Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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	II
Gedung dan non gedung 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 non gedung, 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 non gedung 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

Lanjutan Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • 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, 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 non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: Tabel 1 SNI 1726:2012

3.2.2 Faktor keutamaan gempa

Faktor ini merupakan faktor yang digunakan sebagai pengali pada beberapa persamaan saat merencanakan beban gempa. Berikut merupakan tabel faktor keutamaan gempa.

Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber: Tabel 2 SNI 1726:2012

3.2.3 Klasifikasi situs

Sebelum merumuskan kriteria desain seismik dari suatu bangunan atau untuk menentukan amplikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah maka suatu situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dimana penyelidikan dilakukan oleh pihak yang berwewenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah seperti pada tabel berikut.

Tabel 3.4 Klasifikasi Situs

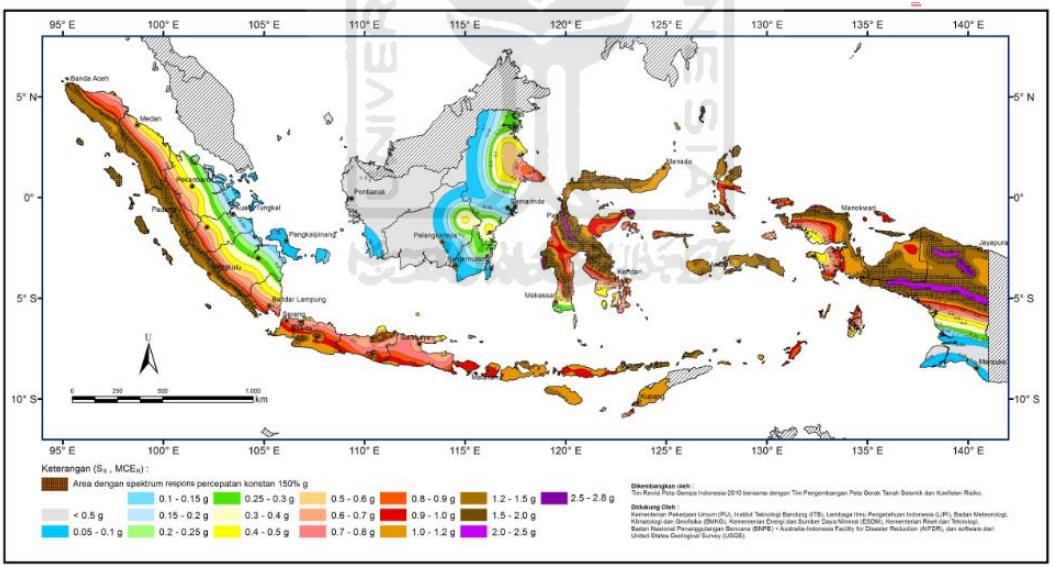
Kelas situs	***Vs* (m/detik)**	***N***	S_u
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat	350 – 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, PI > 20, 2. Kadar air, w > 40% , 3. Kuat geser niralir S_u < 25 kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1 SNI 1726:2012)	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 S_u < 50 kPa.		

Sumber: Tabel 3 SNI 1726:2012

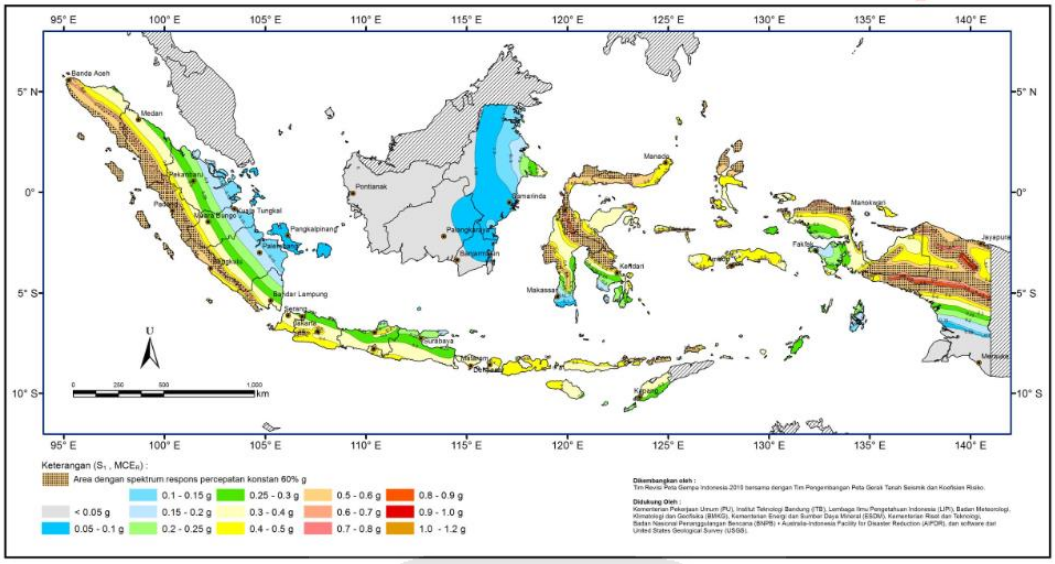
Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

3.2.4 Penyusunan respon spektrum gempa

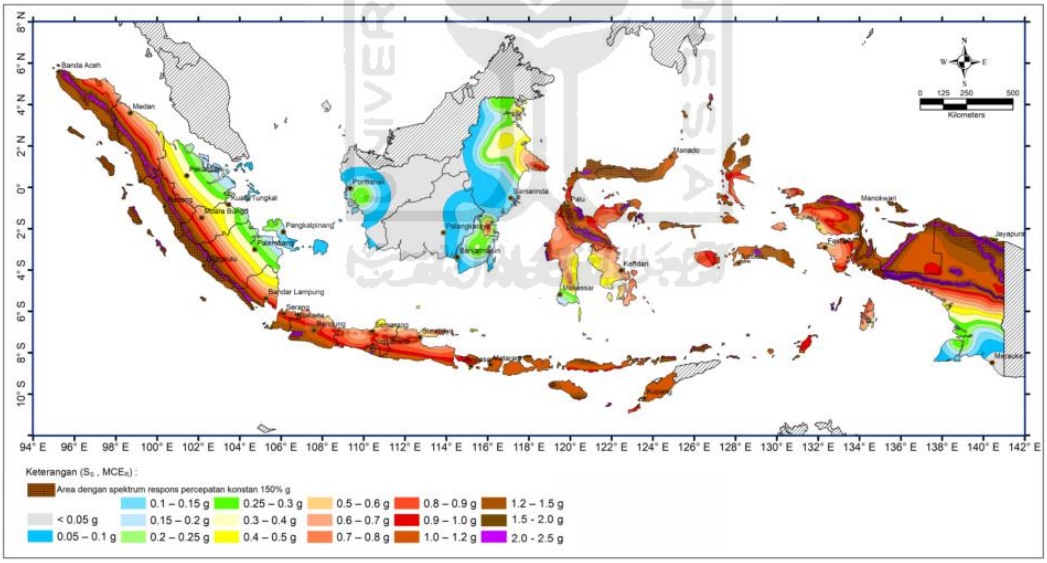
Respons spektrum adalah plot suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antar periode getar struktur *T*, lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu (Pawirodikromo, 2017). Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di pemukaan tanah, maka dibutuhkan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor tersebut berupa nilai F_a dan F_v yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan tabel 5 SNI 1726:2012. Penentuan nilai F_a dan F_v membutuhkan parameter lain yaitu nilai S_S dan S_1 yang dapat dilihat pada lampiran Gambar 9 dan Gambar 10 SNI 1726:2012 atau pada *website* milik PUSKIM (Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman) dibawah naungan Kementrian PUPR.



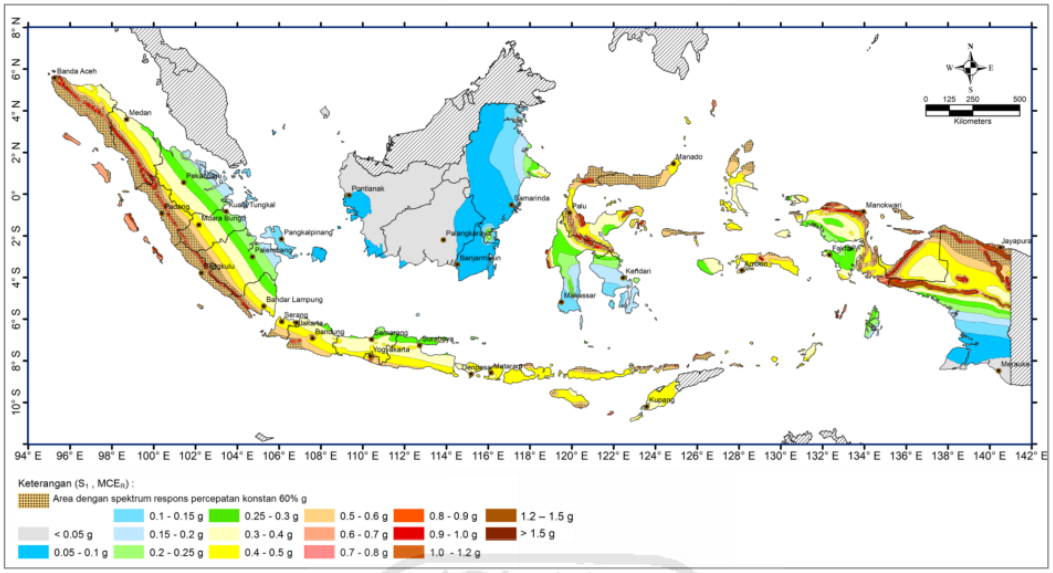
Gambar 3.1 Percepatan Spektrum Respons Periode 0,2 Detik (S_S) pada Peta Gempa 2010.
(Sumber: SNI 1726:2012)



Gambar 3.2 Percepatan Spektrum Respons Periode 1 Detik (S_1) pada Peta Gempa 2010.
(Sumber: SNI 1726:2012)



Gambar 3.3 Percepatan Spektrum Respons Periode 0,2 Detik (S_S) pada Peta Gempa 2017.
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 3.4 Percepatan Spektrum Respons Periode 1 Detik (S_1) pada Peta Gempa 2017.
(Sumber: SNI 1726:2019)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \, . \, S_S \quad (3.3)$$

$$S_{M1} = F_V \, . \, S_1 \quad (3.4)$$

Keterangan:

S_S : Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek (0,2 detik),

S_1 : Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Faktor amplifikasi dapat ditentukan dari hubungan parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) dengan kelas situs seperti pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, S_s				
	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s > 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	*SS*[b]				

Sumber: Tabel 4 SNI 1726:2012

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 < 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 > 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	*SS*[b]				

Sumber: Tabel 5 SNI 1726:2012

Catatan:

a. Nilai S_S atau S_1 yang tidak tercantum dalam tabel dapat ditentukan dengan interpolasi linier,

b. *SF* : Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesi.

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS}, dan pada perioda 1 detik, $S_{D1,}$ harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.6)$$

Keterangan:

S_{DS} : Respons spektra pada percepatan periode pendek

S_{D1} : Respons spektra pada percepatan periode 1 detik

S_{MS} : Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

S_{M1} : Parameter percepatan spektral desain untuk pada perioda 1 detik

Sebelum menggambar grafik terlebih dahulu ditentukan nilai percepatan respon spektra (Sa), penentuan nilai Sa dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

1. Untuk periode dengan nilai kurang dari T_0, maka nilai S_a ditentukan dengan persamaan berikut.

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

2. Periode dengan nilai lebih besar atau sama dengan T_0, dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S, spektrum respons percepatan desain, S_a, sama dengan S_{DS}.
3. Periode dengan nilai lebih besar dari T_S, spektrum respons percepatan desain, S_a, ditentukan dengan persamaan 3.7 berikut.

   $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$ (3.7)

   Keterangan:

   Sa : Spektrum respon percepatan desain

   S_{DS} : Respons spektral pada percepatan desain periode pendek

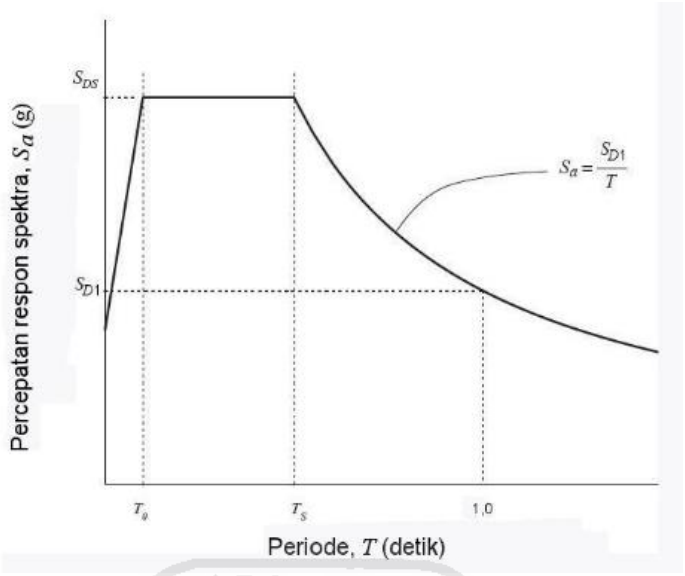
   S_{D1} : Respons spektral pada percepatan desain periode 1 detik

   T : Perioda getar fundamental struktur

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

   T_S : $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

Berdasarkan parameter-parameter tersebut, selanjutnya dapat digambarkan sebuah grafik respon spektrum hubungan percepatan dengan periode getaran seperti pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Grafik Spektrum Respon Desain
Sumber: Gambar 1 (SNI 1726:2012)

3.2.5 Penentuan kategori desain seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) dijelaskan dalam pasal 6.5 SNI 1726:2012. Pada pasal tersebut dijelaskan bahwa struktur dengan kategori risiko I, II, atau III dimana S_1, memiliki nilai ≥ 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV dimana nilai $S_1 \geq 0{,}75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Selanjutnya untuk struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desain, yaitu S_{DS} dan S_{D1}.

Berikut merupakan tabel dalam menentukan KDS untuk struktur yang memiliki ketentuan diluar ketentuan tersebut.

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Sumber: Tabel 6 SNI 1726:2012

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S_{D1} < 0,067	A	A
0,067 < S_{D1} < 0,133	B	C
0,133 < S_{D1} < 0,2	C	D
S_{DS} > 0,2	D	D

Sumber: Tabel 7 SNI 1726:2012

3.2.6 Faktor sistem struktur (R, Ω_0 dan C_d,)

Struktur yang akan direncanakan harus termasuk kedalam salah satu dari sistem penahan gaya seismik sebagaimana tertulis dalam Tabel 9 SNI 1726:2012. Penentuan setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 9 SNI 1726:2012.

Setelah gedung diketahui jenis sistem penahan gaya seismiknya, maka akan diketahui 3 jenis faktor yang akan digunakan dalam proses perhitungan beban lateral. Faktor-faktor tersebut yaitu faktor modifikasi respons (*R)*, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) , dan faktor pembesaran defleksi (C_d).

3.2.7 Prosedur analisis

Pasal 7.6 SNI 1726:2012 menjelaskan bahwa analisis struktur harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam tabel seperti berikut. Tabel tersebut menunjukkan hubungan kategori desain seismik dan karakteristik struktur dalam menentukan prosedur analisis yang diijinkan.

Tabel 3.9 Prosedur Analisis yang Diijinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Prosedur Riwayat Respon Seismik
B, C	Bangunan dengan kategori risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan T<3,5Ts dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan T< 3,5 Ts dan mempunyai hanya ketidakteraturan horisontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 atau ketidakteraturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber: Tabel 13 SNI 1726:2012

Catatan:

I : Diijinkan

TI : Tidak Diijinkan

3.2.8 Periode struktur

Periode fundamental struktur (*T*) dalam arah yang ditinjau dapat diperoleh dari hasil analisis yang teruji. Nilai periode fundamental struktur (*T*) tidak diijinkan untuk melebihi batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) pada tabel 3.9 dan periode pendekatan (T_a). Sebagai pilihan lain, pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (*T*) diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a).

Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai periode pendekatan.

$T_a = C_t \cdot h_n^x$ (3.8)

Keterangan:

T_a = periode fundamental pendekatan (detik)

C_t = faktor pengali periode pendekatan (Tabel 3.10)

x = faktor pengali periode pendekatan (Tabel 3.10)

h_n = ketinggian struktur bangunan gedung (meter)

Tabel 3.10 Koefisien Batas Atas pada Periode yang Dihitung

S_{D1}	Koefisien C_u
> 0,14	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
< 0,1	1,7

Sumber: Tabel 14 SNI 1726:2012

Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Sumber: Tabel 15 SNI 1726:2012

Sebagai pilihan, SNI 1726:2012 memberikan petunjuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$T_a = 0{,}1 \,.\, \boldsymbol{N}$ (3.9)

Keterangan:

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

N = Jumlah tingkat struktur

Selanjutnya untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = \frac{0{,}0062}{\sqrt{\mathrm{Cw}}}\,\mathrm{h_n} \quad (3.10)$$

Dengan C_w ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B}\sum_{i=1}^{x}\left(\frac{h_n}{h_i}\right)^2 \frac{A_i}{\left(1+0{,}83\left(\frac{h_i}{D_i}\right)^2\right)} \quad (3.11)$$

Keterangan:

T_a : Periode fundamental pendekatan struktur (detik)

h_n : Ketinggian struktur gedung (m)

A_B : luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi (m^2)

A_i : luas badan dinding geser "i", meter persegi (m^2)

D_i : panjang dinding geser "i" dinyatakan dalam meter (m)

h_i : tinggi dinding geser "i" dinyatakan dalam meter (m)

x : jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

3.2.9 Gaya geser dasar seismik

Gaya geser dasar seismik diatur dalam pasal 7.8.1 SNI 1726:2012. Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditinjau harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s.W \quad (3.12)$$

Nilai C_s dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.13)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

$$C_s\ min = 0{,}044.S_{DS}.I_e \geq 0{,}01 \quad (3.15)$$

$$C_s = \frac{0{,}5\ S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

Catatan:

1. Nilai C_s pada persamaan 3.13 tidak boleh melebihi nilai C_s pada persamaan 3.14,
2. Nilai C_s tidak boleh kurang dari nilai yang dihasilkan oleh persamaan 3.15,
3. Struktur dengan lokasi diman nilai $S_1 > 0{,}6g$ tidak dapat digunakan nilai C_s yang melebihi dari nilai pada persamaan 3.16.

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik (Ton)

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif (Ton)

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode bangunan struktur (detik)

S_{DS} = respons spektra pada percepatan periode pendek

S_{D1} = respons spektra pada percepatan periode 1 detik

S_1 = parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1 detik

Setelah gaya geser dasar seismik didapatkan, maka selanjutnya dapat dilakukan pendistribusian beban ke setiap lantai dengan berpedoman pada persamaan 3.17 dan nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx}) menggunakan persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$F_x = C_{vx} \cdot V \tag{3.17}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=j}^{n} W_i . h_i^k} \tag{3.18}$$

Keterangan:

F_x : gaya gempa lateral per lantai (ton)

V : gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (ton)

C_{vx} : faktor distribusi vertikal

W_i dan W_x : berat seismik efektif total struktur (W) yang berada pada tingkat i atau x (ton)

h_i dan h_x : tinggi tingkat i atau x yang diukur dari dasar struktur (m)

k : eksponen yang terkait dengan perioda struktur, dengan catatan sebagai berikut:

1. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$

2. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, k = 2,5

3. Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

3.2.10 Kombinasi beban

SNI 1726:2012 pasal 4.2.1 menjelaskan bahwa struktur bangunan gedung dan non gedung harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan menurut metode ultimit atau metode tegangan ijin. Penelitian ini hanya akan menjelaskan mengenai penggunaan metode ultimit. Metode ultimit memberikan syarat dimana kekuatan rencana (U) harus sama dengan atau lebih dari pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi sebagai berikut:

1. $U = 1{,}4D$ (3.19)
2. $U = 1{,}2D + 1{,}6L + 0{,}5$ (L atau R) (3.20)
3. $U = 1{,}2D + 1{,}6$ (L atau R) + (L atau $0{,}5W$) (3.21)
4. $U = 1{,}2D + 1{,}0W + L + 0{,}5$ (L atau R) (3.22)
5. $U = 1{,}2D + 1{,}0E + L$ (3.23)
6. $U = 0{,}9D + 1{,}0W$ (3.24)
7. $U = 0{,}9D + 1{,}0E$ (3.25)

Catatan:

1. Faktor beban L pada kombinasi 3, 4, dan 5 boleh dipakai sebesar 0,5 dengan pengecualian untuk ruang garasi, ruang pertemuan dan semua ruang dimana nilai beban hidupnya lebih besar dari 500 kg/m^2,
2. Jika beban air F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati D pada kombinasi 1 hingga 5 dan 7,
3. Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut:
   a. Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 1,6;

b. Bila adanya beban *H* memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh *H* dengan faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

4. Faktor pengaruh gempa *E* pada kombinasi 5 ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = E_h + E_v \quad (3.26)$$

5. Faktor pengaruh gempa *E* pada kombinasi 7 ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = E_h - E_v \quad (3.27)$$

6. Pengaruh beban gempa horisontal (E_h) ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.28)$$

7. Pengaruh beban gempa vertikal (E_v) ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_v = 0{,}2 S_{DS} D \quad (3.29)$$

8. Jika pengaruh gaya gempa *E* dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya yaitu pada persamaan 3.23 dan 3.25 (kombinasi 5 dan 7) maka kedua persamaan tersebut diganti menjadi seperti berikut:

5. $(1{,}2 + 0{,}2 S_{DS})D + \rho Q_E + L$ (3.30)

7. $(0{,}9 - 0{,}2\ S_{DS})D + \rho Q_E + 1{,}6H$ (3.31)

Dimana ρ adalah faktor redundansi yang akan dijelaskan kemudian.

Ketentuan persamaan pada poin 8 diatas yaitu:

1. Faktor beban pada *L* dalam Persamaan 3.30 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunian dimana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan 5 kN/m^2, dengan pengecualian garasi atau ruang pertemuan,
2. Faktor beban pada *H* harus ditetapkan sama dengan nol dalam Persamaan 3.31 jika aksi struktur akibat *H* berlawanan dengan aksi struktur akibat *E*. Jika tekanan tanah lateral memberikan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, faktor beban tidak boleh dimasukkan dalam *H* tetapi harus dimasukkan dalam tahanan desain.

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.3.4 faktor redundansi ρ harus diterapkan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai ketentuan berikut.

1. Nilai ρ dapat digunakan sebesar 1,0 jika memenuhi ketentuan dibawah ini.
   a. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
   b. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
   c. Desain komponen nonstruktural;
   d. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
   e. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya;
   f. Struktur dengan sistem peredaman;
   g. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.
2. Nilai ρ sebesar 1,3 digunakan untuk bangunan yang dirancang dengan kategori desain seismik D, E, atau F, kemudian jika salah satu dari dua kondisi berikut terpenuhi, maka dapat digunakan nilai ρ sebesar 1,0.
   a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% dari gaya geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan tabel 12 pada SNI 1726:2012.
   b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% dari gaya geser dasar.

3.2.11 Partisipasi massa

SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 menyebutkan bahwa partisipasi massa harus dihitung untuk mengetahui apakah jumlah modal yang digunakan dalam proses analisis modal sudah memenuhi syarat partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar minimum 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

3.2.12 Kombinasi ragam

SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 menjelaskan bahwa penentuan metode perhitungan analisis respon spektrum dapat ditentukan oleh rasio antar periode. Rasio antar periode dengan nilai berjauhan atau lebih dari 15 % maka dapat menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS), kemudian rasio antar periode dengan nilai berdekatan atau kurang dari 15 % maka dapat menggunakan metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC).

3.2.13 Skala gaya

Pasal 7.9.4.1 pada SNI 1726:2012 menyebutkan bahwa jika periode fundamental (*T*) yang dihitung memiliki nilai lebih dari nilai C_uT_a, maka C_uT_a harus digunakan untuk menggantikan nilai T dalam arah itu. Gaya geser dari kombinasi ragam perlu diselaraskan dengan gaya geser akibat beban gaya lateral ekivalen. Penyelarasan gaya geser akibat beban kombinasi ragam dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$0{,}85\frac{V}{V_t} \tag{3.32}$$

Keterangan:

V = Geser dasar prosedur gaya lateral ekivalen (ton)

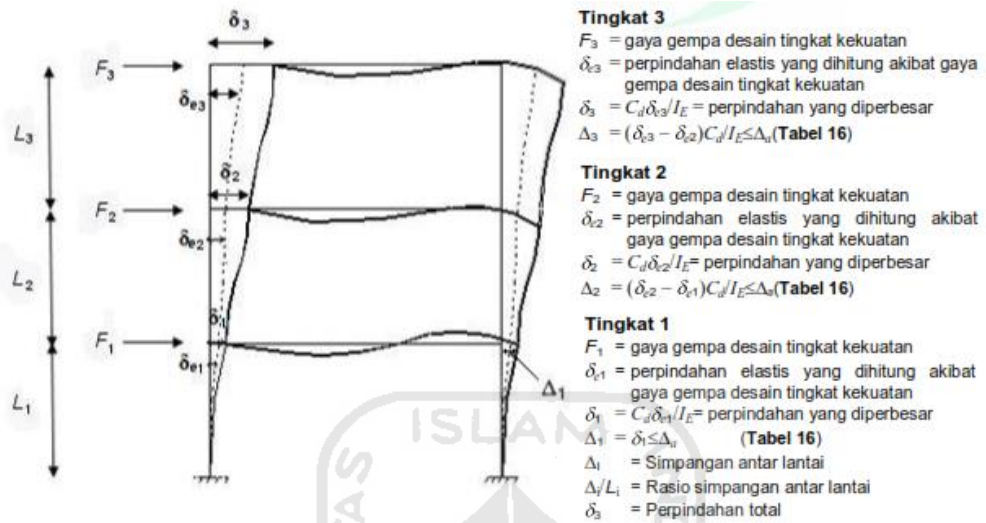
V_t = Geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan (ton)

3.3 Defleksi dan Simpangan Antar Lantai pada Bangunan

SNI 1726:2012 pasal 7.8.6 menjelaskan bahwa simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila dijumpai dimana pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika dalam proses desain menggunakan metode tegangan ijin, maka Δ dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan seperti dijelaskan dalam SNI 1726:2012 pasal 7.8 tanpa direduksi.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C,D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 10 (SNI 1726:2012), simpangan antar lantai desain, Δ, harus dihitung sebagai selisih

terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.



Gambar 3.6 Simpangan Antar Lantai
Sumber: Gambar 5 (SNI 1726:2012)

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d.\delta_{xe}}{I_e} \qquad (3.33)$$

Keterangan:

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

SNI 1726:2012 pasal 7.12.1 memberikan syarat mengenai batasan simpangan antar lantai yang diijinkan (Δ_a) seperti tercantum dalam tabel 3.11 berikut ini.

Tabel 3.12 Simpangan Antar Lantai Ijin

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

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x.

Sumber: Tabel 16 SNI (1726:2012)

3.4 Pengaruh P-Δ

Pengaruh P-Δ pada bangunan ditentukan dalam SNI 1726:2012 pasal 7.8.7 dimana pada pasal tersebut dituliskan bahwa pengaruh P-Δ pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x.\Delta.I_e}{V_x.h_{sx}.C_d} \quad (3.34)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x (kN); bila menghitung P_x faktor beban individu tidak perlu melebihi 1.0

Δ = simpangan antar lantai tingkat desain yang terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x – 1 (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x (mm)

C_d = faktor perbesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi nilai maksimumnya (θ_{max}) yang dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.35)$$

Dengan β merupakan rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x − 1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Koefisien stabilitas (θ) yang memiliki nilai lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max}, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-Δ pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diijinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $\frac{1,0}{(1-\theta)}$. Struktur yang memiliki nilai $\theta > \theta_{max}$ merupakan struktur yang berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

3.5 Torsi pada Bangunan

Ketidakberaturan jenis 1a pada SNI 1726:2012 tabel 10 dimana simpangan antar tingkat pada ujung suatu struktur lebih dari 1,2 kali simpangan rata-rata pada dua ujung struktur, maka akan menimbulkan ketidakberaturan torsi. Selain itu, ketidakberaturan jenis 1b pada tabel yang sama yang berbunyi jika rasio simpangan antar tingkat lebih dari 1,4 maka akan menimbulkan ketidakberaturan torsi berlebih.

Pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2012 memberikan persamaan untuk menghitung faktor pembesaran torsi (A_x) seperti berikut.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\ \delta_{avg}}\right)^2 \quad (3.36)$$

$$\delta_{avg} = \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2} \quad (3.37)$$

Keterangan:

A_x : faktor perbesaran torsi

δ_{max} : simpangan dengan nilai terbesar diantara dua ujung bangunan (mm)

δ_{min} : simpangan dengan nilai terkecil diantara dua ujung bangunan (mm)

δ_{avg} : simpangan rata – rata dari dua ujung bangunan (mm)

3.6 Kebutuhan Tulangan Balok

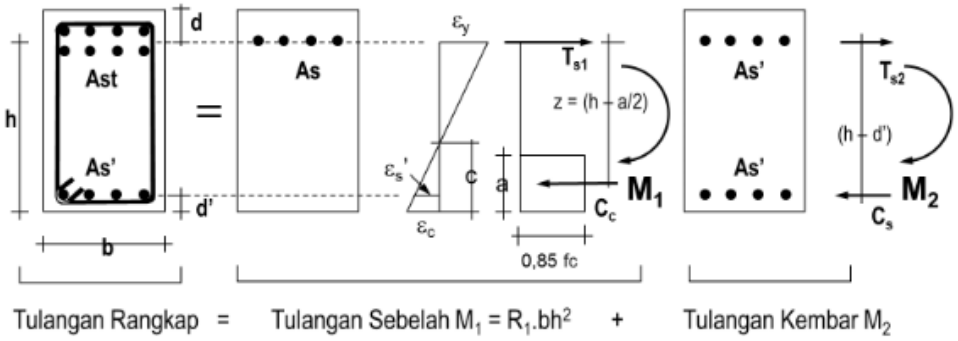
Balok merupakan salah satu elemen struktural yang ada pada suatu bangunan. Balok berguna untuk menyalurkan beban dari pelat lantai menuju kolom dibawahnya. Balok akan menerima beban berupa beban mati, beban hidup, dan juga beban lateral seperi beban angin dan beban gempa. Gaya-gaya dalam yang akan terjadi pada balok yaitu gaya lentur, gaya geser dan gaya torsi/puntir, sedangkan gaya aksial yang terjadi nilainya sangat kecil sehingga dampaknya tidak signifikan dan dapat diabaikan.

3.6.1 Tulangan longitudinal pada balok

Gaya gempa yang terjadi pada bangunan bersifat bolak-balik. Balok yang didesain tahan gempa haruslah dapat menahan gaya gempa tersebut atau dapat dikatakan bahwa balok harus mampu menahan baik momen positif maupun momen negatif. Maka dari itu tulangan longitudinal didesain berupa tulangan rangkap.

Berikut prinsip-prinsip yang dapat digunakan saat mendesain balok tulangan rangkap.

1. Tulangan rangkap didekomposisi menjadi tulangan sebelah dan tulangan kembar
2. Dekomposisi dilakukan dengan mengatur nilai *R* sedemikian rupa sehingga jumlah dan komposisi tulangan mampu mengerahkan kekuatan yang diperlukan momen negatif dan momen positif
3. Desain dilakukan dengan tetap mempertimbangkan faktor ekonomis.



Gambar 3.7 Dekomposisi Tulangan Rangkap pada Balok (Widodo, 2013)

Perhitungan luas tulangan yang dibutuhkan pada balok dapat dilakukan seperti berikut.

1. Menghitung ρ_b dan m

$$\rho_b = \frac{\beta}{m}\left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\right) \quad (3.38)$$

$$m = \frac{fy}{0{,}85\ .f'c} \quad (3.39)$$

Keterangan:

ρ_b : perbandingan luas tulangan beton dengan luas balok beton dalam kondisi *balance*

m : perbandingan kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton efektif

β : konstanta dimana nilainya tergantung dari kuat tekan beton

ε_{cu} : regangan beton, nilainya dapat diambil sebesar 0,003

ε_y : rengangan baja tulangan, nilainya merupakan perbandingan kuat tarik baja tulangan dengan modulus elastisitas

fy : kuat tarik baja tulangan (MPa)

$f'c$: kuat tekan beton (MPa)

2. Momen nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset_{lentur}}$$

Keterangan:

M_n : momen nominal balok beton bertulang (kNm)

M_u : momen *ultimate* balok beton bertulang (kNm)

$\emptyset_{lentur}$: faktor reduksi kekuatan balok beton bertulang

3. Perhitungan nilai R_b

$$R_b = \rho_b\ .\ f_y.\left(1 - \frac{1}{2}(\rho_b.m)\right) \quad (3.40)$$

Keterangan:

R_b : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal, dalam kondisi *balance*

ρ_b : perbandingan luas tulangan beton dengan luas balok beton dalam kondisi *balance*

f_y : kuat tarik baja tulangan (MPa)

m : perbandingan kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton efektif

4. Perhitungan nilai R_1dan M_1

$$R_1 = C.\ R_B \quad (3.41)$$

$$M_1 = R_1.b.h^2 \quad (3.42)$$

Keterangan:

R_1 : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal

C : faktor reduksi

R_B : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal, dalam kondisi *balance*

M_1 : momen nominal tulangan tunggal (Nmm)

b : lebar balok (mm)

h : tinggi balok (mm)

5. Menghitung nilai *a* dan *c* dari persamaan 3.43 serta 3.44 berikut

$$M_1 = 0{,}85.\ f'c\ .\ a.\ b\left(H - \frac{a}{2}\right) \quad (3.43)$$

$$c = \frac{a}{\beta} \quad (3.44)$$

Keterangan:

M_1 : momen nominal balok tulangan tunggal (Nmm)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (Mpa)

a : tinggi efektif tekan beton (mm)

b : lebar balok (mm)

H : tinggi efektif balok (mm)

6. Menghitung nilai A_{s1} perlu kemudian dapat dihitung A_{s1}pakai untuk mendapatkan nilai a dan c pakai sehingga bisa diperoleh nilai M_1 pakai.

$$A_{s1} = \frac{0{,}85.f'c.a.b}{f_y} \quad (3.45)$$

Keterangan:

A_{s1} : luas tulangan tunggal balok beton (mm^2)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (Mpa)

a : tinggi efektif tekan beton (mm)

b : lebar balok (mm)

f_y : kuat tarik baja tulangan (MPa)

7. Nilai M_2

$$M_2 = M_n - M_1 \quad (3.46)$$

Keterangan:

M_2 : momen nominal tulangan kembar (Nmm)

M_n : momen nominal balok beton bertulang (Nmm)

M_1 : momen nominal tulangan tunggal (Nmm)

8. Kebutuhan luas tulangan kembar (A_{s2})

$$T_{s2} = \frac{M_2}{H - d'} \quad (3.47)$$

$$A_{s2} = \frac{T_{s2}}{f_s} \quad (3.48)$$

Keterangan:

T_{s2} : kuat tarik baja tulangan kembar (N)

M_2 : momen nominal tulangan kembar (Nmm)

H : tinggi efektif balok (mm)

d' : jarak tepi balok dengan titik berat tulangan tekan (mm)

A_{s2} : kebutuhan luas tulangan kembar

SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 menjelaskan bahwa luas tulangan yang tersedia pada penulangan lentur, tidak boleh kurang dari $A_{s\,min}$ yang dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$A_{s\,min} = \frac{0{,}25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w . H \quad (3.49)$$

Keterangan:

$A_{s\,min}$ = luas tulangan minimum (mm^2)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (Mpa)

f_y : kuat tarik baja tulangan (MPa)

b_w : lebar balok (mm)

H : tinggi efektif balok (mm)

Dengan catatan nilai $A_{s\,min}$ tidak kurang dari $1{,}4 b_w . d/f_y$. Selain itu, SNI SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 memberikan aturan bahwa nilai rasio tulangan ρ untuk SRPMK tidak boleh melebihi 0,025.

3.6.2 Tulangan geser balok

SNI 2847:2013 pasal 11.1.1 memberikan penjelasan bahwa desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada persamaan berikut.

$$\emptyset V_n \geq V_u \quad (3.50)$$

dimana V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.51)$$

Keterangan:

V_n : gaya geser nominal balok (N)

V_u : gaya geser *ultimate* balok (N)

V_c : kemampuan yang dimiliki balok beton untuk menahan geser (N)

V_s : kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N)

SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1 dan pasal 11.2.2.1 memberikan penjelasan mengenai persamaan digunakan untuk menghitung nilai V_c yaitu sebagai berikut.

$$V_c = 0{,}17\lambda\sqrt{f'c}\; b_w . d \quad (3.52)$$

$$V_c = \left(0{,}16\lambda\sqrt{f'c} + 17\rho_w \frac{V_u . d}{M_u}\right) b_w . d \quad (3.53)$$

Perhitungan nilai V_c pada persamaan 3.53, nilai $V_u d/M_u$ tidak boleh diambil melebihi 1,0.

Nilai V_c pada persamaan 3.53 diatas tidak boleh melebihi nilai V_c pada persamaan 3.54 berikut.

$$V_c = 0{,}29\lambda\sqrt{f'c}\; b_w . d \quad (3.54)$$

Keterangan:

V_c : kemampuan balok untuk menahan gaya geser (N)

λ : faktor pengali, untuk beton normal dapat diambil sebesar 1,0

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

b_w : lebar efekftif balok beton (mm)

d : tinggi efektif balok beton (mm)

ρ_w : perbandingan luas tulangan lentur dengan luas balok beton

V_u : gaya geser *ultimate* balok (N)

M_u : momen lentur ultimate balok (Nmm)

SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.2 memberikan persamaan yang digunakan untuk perhitungan nilai V_s yaitu seperti tertulis pada persamaan 3.55 berikut.

$$V_s = \frac{A_v . f_{yt} . d}{s} \quad (3.55)$$

Keterangan:

V_s : kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N)

A_v : luas tulangan geser (mm^2)

f_{yt} : kuat tarik baja tulangan polos (N/mm^2)

d : tinggi efektif balok beton bertulang (mm)

s : jarak antar tulangan geser (mm)

Nilai V_s pada persamaan 3.55 tersebut tidak boleh diambil melebihi nilai V_s pada persamaan 3.56 berikut. Hal ini sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9.

$$V_s = 0{,}66\sqrt{f'c}\, b_w . d \quad (3.56)$$

Keterangan:

V_s : kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N)

$f'c$: kuat tekan beton bertulang (N/mm^2)

b_w : lebar efekftif balok beton (mm)

d : tinggi efektif balok beton (mm)

SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3 memberikan acuan bahwa luas tulangan geser minimum yang harus dimiliki suatu balok yaitu sesuai dengan persamaan berikut.

$$A_{v,min} = \frac{0{,}35 . b_w . s}{f_y} \quad (3.57)$$

Keterangan:

$A_{v,min}$: luas tulangan geser minimum (mm^2)

b_w : lebar efektif balok beton (mm)

s : jarak tulangan sengkang (mm)

f_y : kuat tarik baja tulangan polos (N/mm^2)

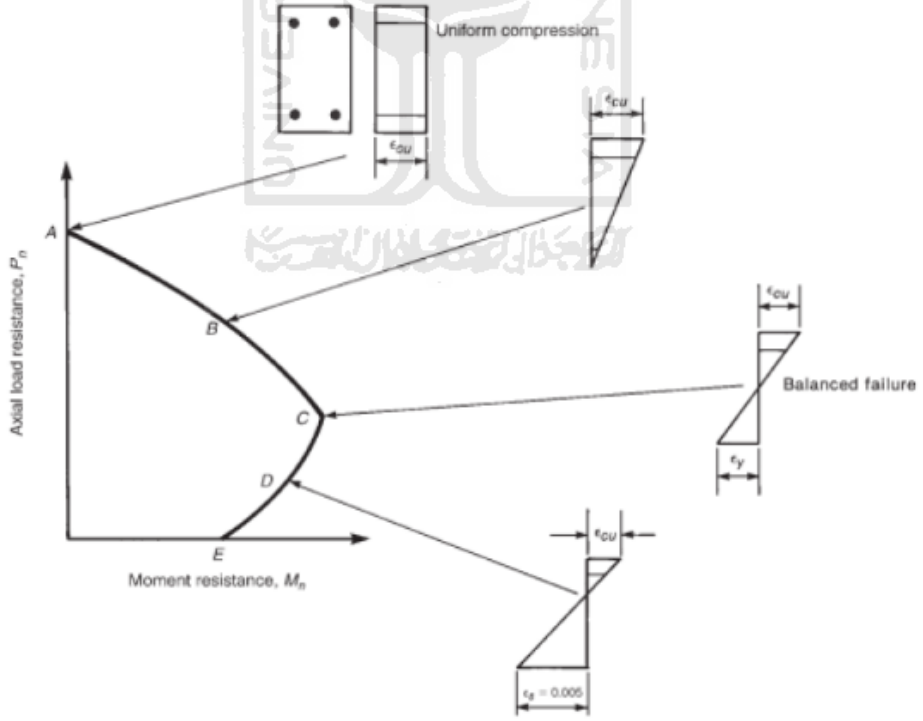
3.7 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom

Definisi kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 2.2 yaitu komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. Komponen struktur dengan perubahan dimensi lateral, dimensi lateral terkecil adalah rata-rata dimensi atas dan bawah sisi yang lebih kecil.

Kolom berguna untuk menahan gaya aksial yang berasal dari balok untuk kemudian oleh kolom gaya tersebut diteruskan menuju pondasi bangunan. Struktur kolom memiliki dua jenis tulangan yaitu tulangan longitudinal dan tulangan geser. Tulangan longitudinal ditentukan melalui diagram interaksi Mn-Pn sedangkan tulangan geser ditentukan melalui kebutuhan luasan tulangan geser.

3.7.1 Diagram interaksi *Mn-Pn*

Diagram Mn-Pn menggambarkan interaksi nilai momen (M) pada sumbu x dan nilai beban aksial (P) pada sumbu y seperti pada gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8 Diagram Interaksi *Mn-Pn* (MacGregor, 2012)

MacGregor (2012) mengungkapkan bahwa beberapa kondisi yang dialami suatu kolom dapat direpresentasikan pada titik-titik dalam suatu diagram interaksi kolom seperti pada Gambar 3.8 diatas.

1. Titik A (*Pure Axial Load*)

   Kondisi ini sering disebut sebagai kondisi beban aksial murni, eksentrisitas yang terjadi adalah sebesar 0 sehingga tidak mengalami momen.

2. Titik B (*Zero Tension, Onset of Cracking*)

   Kondisi ini menunjukkan beban aksial dan momen pada saat mulai terjadinya retak pada beton.

3. Titik A-C (*Compression Controlled Failures*)

   Kolom dengan beban aksial Pn dan Momen Mn berada pada daerah A-C akan mengalami keruntuhan penampang terkendali tekan.

4. Titik C (*Balanced Failures, Compression Controlled Limit Strain*)

   Kondisi ini menunjukkan regangan yang terjadi pada beton sudah mencapai regangan tekan maksimum sebesar 0,003, bersamaan dengan itu tulangan terluar pada sisi tarik mencapai regangan lelehnya.

5. Titik D (*Tensile Controlled Limit*)

   Kondisi ini menunjukkan keadaan ketika regangan tekan beton mencapai 0,003 dan keadaan regangan tarik mencapai 0,005 pada baja tarik terjauh.

6. Titik C-D (*Transition Region*)

   Kondisi ini menujukkan keadaan nilai dari regangan tarik neto berada diantara batas regangan terkendali tekan dan batas regangan terkendali tarik.

7. Titik E

   Kondisi ini menunjukkan eksentrisitas yang terjadi pada kolom sangat besar sehingga momen lentur yang ditimbulkan juga sangat besar sehingga beban aksial dapat diabaikan karena relatif kecil terhadap momen lentur.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Data Penelitian

Data penelitian merupakan salah satu bagian penting dalam sebuah penelitian. Data penelitian yang digunakan disini yaitu berupa *shop drawing* (gambar kerja) dan data teknis bangunan. Data tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam melakukan pemodelan gedung pada sebuah *software.* Berikut data bangunan secara umum.

Fungsi bangunan	: Fasilitas pendidikan
Lokasi	: Sleman, DI Yogyakarta
Jenis tanah	: Tanah sedang
Jumlah tingkat	: 7 tingkat
Tinggi total tingkat	: 28,9 m
Sistem struktur	: *Dual system*
Tipe struktur	: SRPMK

4.2 Lokasi Bangunan

Penelitian ini menggunakan Gedung FIAI milik Universitas Islam Indonesia (UII) yang berlokasi di Jl. Kaliurang KM 14,5 Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi Gedung tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Gedung FIAI UII
(Sumber: Google *Maps*)

4.3 Metode Pengumpulan Data

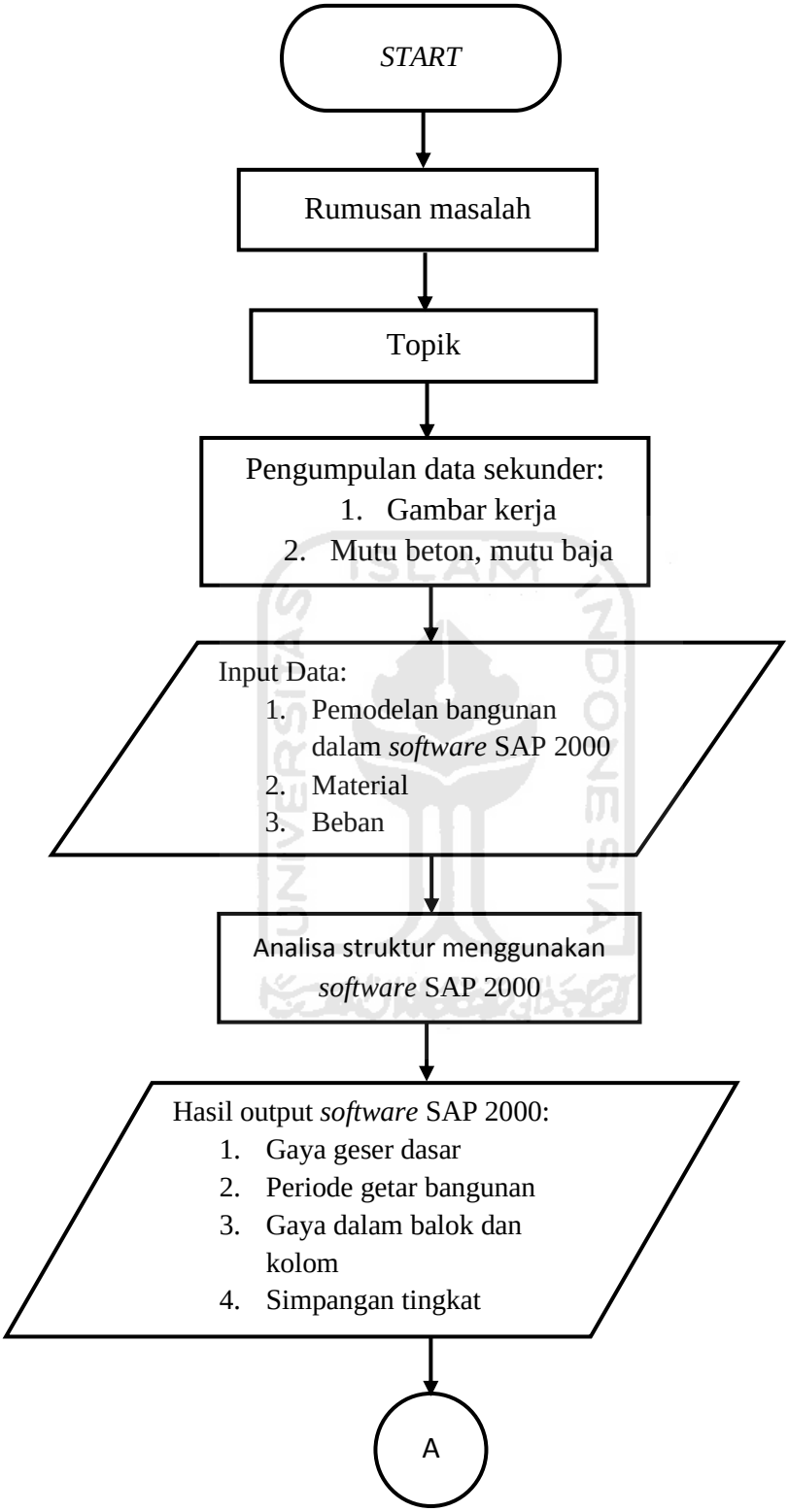
Pengumpulan data dilakukan dengan cara survei langsung ke lokasi gedung serta mengajukan surat permohonan data untuk kepentingan penelitian.

4.4 Tahapan Penelitian

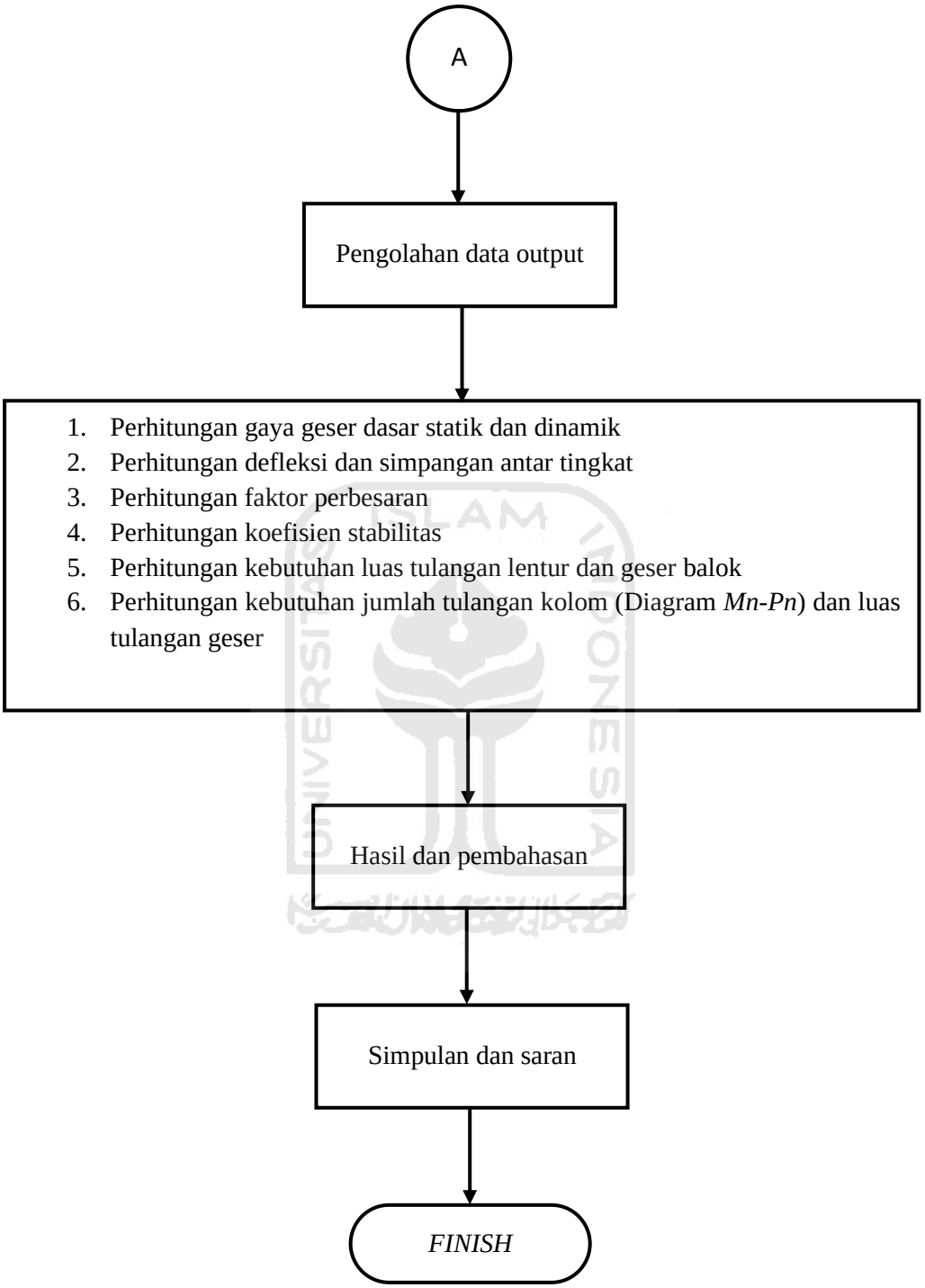
Tahapan yang akan dilalui dalam proses penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Perhitungan beban mati dan beban hidup berdasarkan peraturan SNI 1727:2013.
2. Perhitungan beban gempa berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 dengan menggunakan peta gempa tahun 2010 dan 2017.
3. Melakukan pemodelan struktur balok, kolom, dan pelat menggunakan *software SAP 2000 v15*.
4. Melakukan analisa struktur menggunakan *software* SAP 2000 v15.
5. Menganalisa output dari *software* tersebut dengan bantuan *software* Microsoft Office Excel 2016.
6. Pembahasan.
7. Menyimpulkan hasil penelitian.

Langkah-langkah yang akan dilalui pada peneitian ini digambarkan dalam bentuk flow chart seperti pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 *Flow chart* Penelitian



Gambar 4.2 Lanjutan *Flow chart* Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Bab 5 merupakan bab mengenai analisis dan pembahasan. Bab ini akan membahas proses analisis dan hasil yang didapatkan. Proses analisis meliputi perhitungan pembebanan pada bangunan, pemodelan bangunan pada *software*, dan pengolahan data *output* dari *software*.

5.2 Perhitungan Pembebanan

5.2.1 Beban mati

Pada penelitian ini, beban mati dibagi menjadi 2, yaitu beban mati sendiri (*dead load*) dan beban mati tambahan (*super dead load*). Beban *dead load* merupakan beban sendiri dari elemen struktur yaitu berupa kolom, balok, plat, dan dinding geser, sedangkan beban *super dead load* adalah beban mati tambahan yang bekerja pada struktur, diantaranya beban dinding, beban plafond, beban keramik, dll. Beban sendiri struktur sudah otomatis dihitung oleh *software*, sedangkan untuk beban mati tambahan perlu ditentukan sendiri secara manual. Berikut penjabaran beban mati tambahan yang akan digunakan.

1. Beban mati tambahan pada plat lantai dan atap

   Pasir = 0,05 x 18 = 0,9 kN/m^2

   Spesi = 0,21 kN/m^2

   Plafond = 0,2 kN/m^2

   Lantai = 0,24 kN/m^2

   Beban tambahan = 0,18 kN/m^2

   Total = 1,73 kN/m^2

   Diambil beban mati tambahan sebesar 2 kN/m^2

2. Beban dinding

   Berat jenis tembok = 2000 kg/m^3

   Berat tembok = 0,08 x 2000 = 160 kg/m^2

   Diambil Beban merata sebesar = 160 x 3,4 x 0,7 = 380 kg/m = 3,8 kN/m

5.2.2 Beban hidup

Ruang kuliah	= 1,92 kN/m^2
Koridor	= 3,83 kN/m^2
Lab	= 4,79 kN/m^2
Kantin	= 4,79 kN/m^2
Balkon	= 1,5 x beban hidup pada ruangan tersebut
Gudang	= 1,225 kN/m^2
Parkir motor	= 1,92 kN/m^2
Hall	= 4,79 kN/m^2
Auditorium	= 4,79 kN/m^2
Atap	= 0,96 kN/m^2

Menurut SNI 1727:2013 pasal 4.7.2 bahwa komponen struktur yang memiliki nilai K_{LL} x A_T adalah 400 ft^2 (37,16 m^2) atau lebih diizinkan untuk dilakukan reduksi sesuai dengan persamaan yang ada pada pasal tersebut. Berdasarkan perhitungan tidak ditemukan plat dengan luasan tributari lebih dari 37,16 m^2 sehingga beban hidup tidak perlu direduksi.

5.3 Perhitungan Beban Gempa

1. Data

Lokasi	: Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
Fungsi bangunan	: Gedung perkuliahan
Kategori risiko	: IV (Tabel 1 SNI 1726:2012)
Faktor keutamaan gempa (I_e)	: 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2012)
Kelas situs	: SD/tanah sedang

2. Nilai S_s dan S_1

   Nilai S_s dan S_1 baik pada peta gempa 2010 maupun 2017 diambil dari perhitungan oleh program yang ada di *website* PUSKIM. Berikut hasil pembacaan nilai S_s dan S_1 oleh program.

   a. Peta gempa 2010

      S_s = 0,968 g

      S_1 = 0,37 g

b. Peta gempa 2017

S_s = 1,0108 g

S_1 = 0,4656 g

3. Nilai F_a dan F_v

Nilai F_a dan F_v dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 SNI 1726:2012.

a. Peta gempa 2010

F_a = 1,1128

F_v = 1,66

b. Peta gempa 2017

F_a = 1,0957

F_v = 1,5344

4. Nilai S_{MS} dan S_{M1}

Menurut pasal 6.2 SNI 1726:2012 nilai tersebut dapat ditentukan dengan persamaan seperti berikut.

a. Peta gempa 2010

$S_{MS} = F_a \, . \, S_s$

= 1,1128 . 0,968

= 1,077

$S_{M1} = F_v \, . \, S_1$

= 1,66 . 0,37

= 0,614

b. Peta gempa 2017

$S_{MS} = F_a \, . \, S_s$

= 1,0957 . 1,0108

= 1,108 g

$S_{M1} = F_v \, . \, S_1$

= 1,5344 . 0,4656

= 0,714 g

5. Nilai S_{DS} dan S_{D1}

   Nilai S_{DS} dan S_{D1} ditentukan menggunakan persamaan yang ada pada pasal 6.3 SNI 1726:2012 seperti berikut.

   a. Peta gempa 2010

   $S_{DS} = \frac{2}{3} . S_{MS}$

   $= \frac{2}{3} . 1{,}077$

   $= 0{,}718\ g$

   $S_{D1} = \frac{2}{3} . S_{M1}$

   $= \frac{2}{3} . 0{,}614$

   $= 0{,}409\ g$

   b. Peta gempa 2017

   $S_{DS} = \frac{2}{3} . S_{MS}$

   $= \frac{2}{3} . 1{,}108$

   $= 0{,}738\ g$

   $S_{D1} = \frac{2}{3} . S_{M1}$

   $= \frac{2}{3} . 0{,}714$

   $= 0{,}476\ g$

6. Spektrum respons desain

   Berikut merupakan ketentuan yang harus diikuti dalam proses pembuatan spektrum respons sesuai dengan pasal 6.4 SNI 1726:2012.

   - Untuk nilai periode < nilai T_0 maka nilai S_a (spektrum respons percepatan desain) diambil dengan persamaan berikut.

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

   - Untuk nilai periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_S ($T_0 \leq$ nilai periode $\leq T_S$) maka nilai S_a dapat diambil sama dengan nilai S_{DS}

- Untuk nilai periode > nilai T_S maka nilai S_a diperoleh menggunakan persamaan berikut.

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

a. Peta gempa 2010

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

$= 0{,}2 \frac{0{,}409}{0{,}718}$

$= 0{,}114$

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

$= \frac{0{,}409}{0{,}718}$

$= 0{,}570$

Contoh perhitungan:

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

  $= 0{,}718\left(0{,}4 + 0{,}6 \frac{0}{0{,}114}\right)$

  $= 0{,}287\ g$

- $T = T_0$

  = 0,11 detik,

  maka $S_a = S_{DS} = 0{,}718\ g$

- $T = T_S$

  = 0,570 detik,

  maka $S_a = S_{DS} = 0{,}718\ g$

- $T = T_S + 0{,}1$

  = 0,570 + 0,1

  = 0,670 detik,

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

  $= \frac{0{,}409}{0{,}670}$

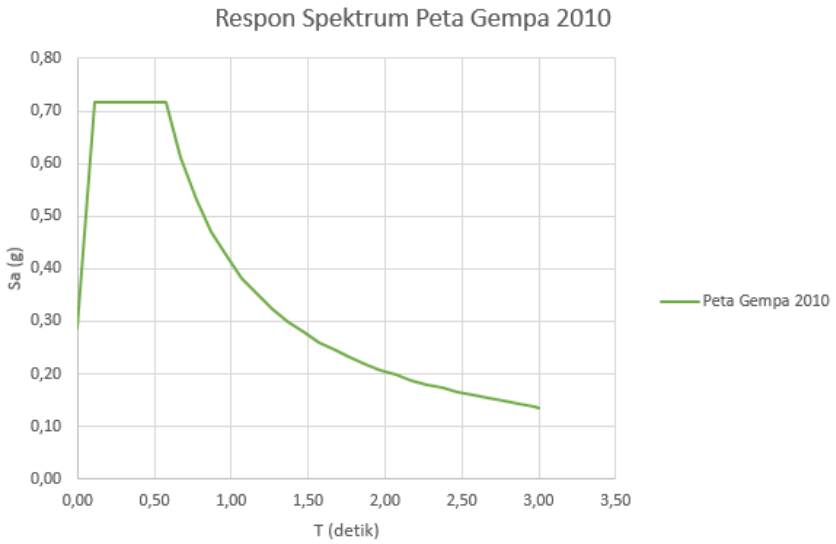
  $= 0{,}611\ g$

Hasil perhitungan selengkapnya akan ditunjukkan pada tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Spektrum Respon Desain pada Peta Gempa 2010

T (detik)	S_a (g)
0	0,29
0,11	0,72
0,57	0,72
0,67	0,61
0,77	0,53
0,87	0,47
0,97	0,42
1,07	0,38
1,17	0,35
1,27	0,32
1,37	0,30
1,47	0,28
1,57	0,26
1,67	0,25
1,77	0,23
1,87	0,22
1,97	0,21
2,07	0,20
2,17	0,19
2,27	0,18
2,37	0,17
2,47	0,17
2,57	0,16
2,67	0,15
2,77	0,15
2,87	0,14
2,97	0,14
3	0,14

Selanjutnya hasil perhitungan pada tabel diatas digambarkan dalam grafik seperti pada gambar 5.1 berikut



Gambar 5.1 Respon Spektrum Peta Gempa 2010

b. Peta gempa 2017

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

$= 0{,}2 \frac{0{,}476}{0{,}738}$

$= 0{,}129$

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

$= \frac{0{,}476}{0{,}738}$

$= 0{,}645$

Contoh perhitungan:

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

  $= 0{,}738\left(0{,}4 + 0{,}6 \frac{0}{0{,}129}\right)$

  $= 0{,}295\ g$

- T $= T_0$

  $= 0{,}129$ detik,

  maka $S_a = S_{DS} = 0{,}738\ g$

- T $= T_S$

  $= 0{,}645$ detik,

  maka $S_a = S_{DS} = 0{,}738\ g$

- T = T_S + 0,1
  = 0,645 + 0,1 = 0,745 detik,

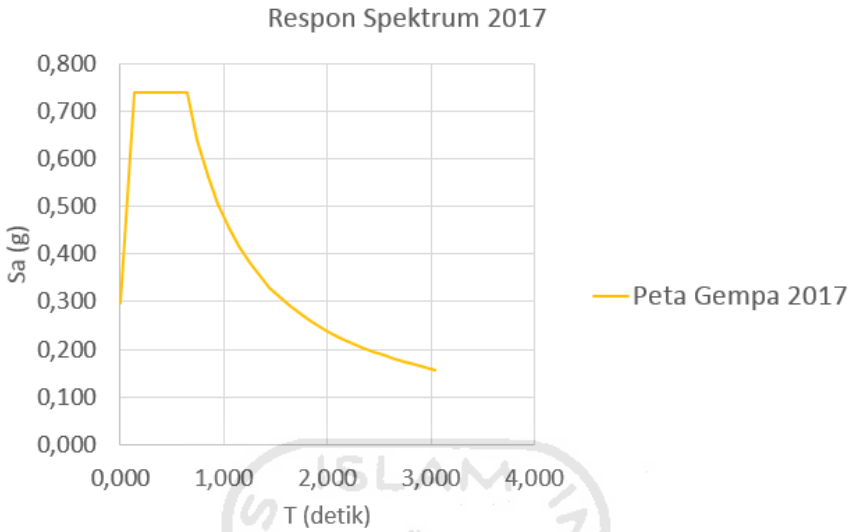
  maka S_a = $\frac{S_{D1}}{T}$
  = $\frac{0,476}{0,745}$
  = 0,639 detik

Hasil perhitungan selengkapnya akan ditunjukkan pada tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Spektrum Respon Desain pada Peta Gempa 2017

T (*detik*)	S_a (*g*)
0	0,295
0,129	0,738
0,645	0,738
0,745	0,639
0,845	0,564
0,945	0,504
1,045	0,456
1,145	0,416
1,245	0,383
1,345	0,354
1,445	0,330
1,545	0,308
1,645	0,290
1,745	0,273
1,845	0,258
1,945	0,245
2,045	0,233
2,145	0,222
2,245	0,212
2,345	0,203
2,445	0,195
2,545	0,187
2,645	0,180
2,745	0,174
2,845	0,167
2,945	0,162
3,045	0,156
3,000	0,159

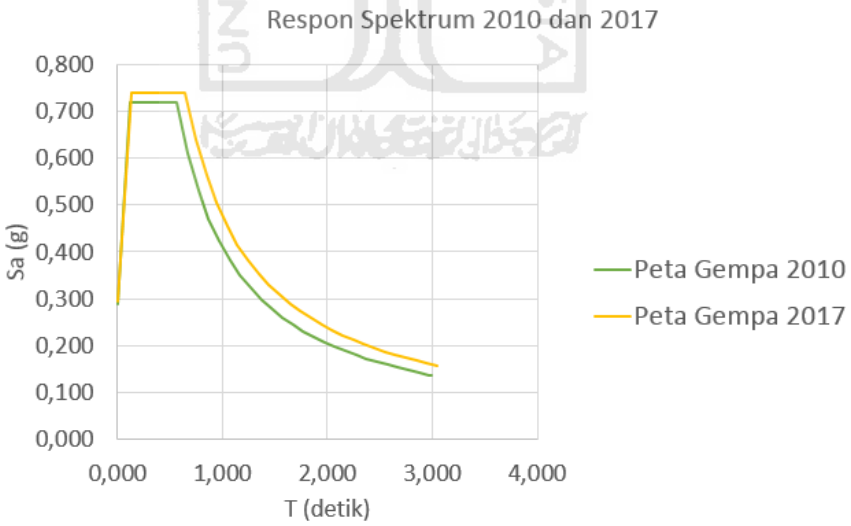
Kemudian hasil perhitungan pada tabel diatas digambarkan dalam grafik seperti pada gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Respon Spektrum Peta Gempa 2017

c. Perbandingan respon spektrum pada peta gempa 2010 dan 2017

Berikut merupakan perbandingan respon spektrum pada peta gempa 2010 dan 2017 pada lokasi gedung FIAI UII di Sleman, DI Yogyakarta.



Gambar 5.3 Perbandingan Respon Spektrum pada Peta Gempa 2010 dan 2017

7. Kategori desain seismik

   Kategori desain seismik dapat ditentukan dengan melihat tabel 6 dan 7 pada SNI 1726:2012. Penentuan kategori desain seismik berdasarkan pada nilai $S_{DS,}$ S_{D1}, dan kategori risiko dari suatu bangunan.

   a. Peta gempa 2010

      S_{DS} = 0,718 g

      S_{D1} = 0,409 g

   Maka kategori desain seismiknya termasuk kategori D.

   b. Peta gempa 2017

      S_{DS} = 0,738 g

      S_{D1} = 0,476 g

   Maka kategori desain seismiknya termasuk kategori D.

8. Faktor R, Ω_0, dan C_d

   Faktor R, Ω_0, dan C_d dapat dilihat pada tabel 9 SNI 1726:2012 dengan berdasarkan pada sistem penahan gaya seismik dari suatu bangunan.

   a. Arah sumbu X (*dual system*)

      R = 7

      Ω_0 = 2,5

      C_d = 5,5

   b. Arah sumbu Y (*open frame*)

      R = 8

      Ω_0 = 3

      C_d = 5,5

9. Periode struktur

   Berikut merupakan periode hasil dari analisisa program. Hasil *output* dari program yaitu terjadi translasi arah Y pada mode 1, translasi arah X pada mode 2 dan rotasi pada mode 3.

   a. Peta gempa 2010

      1) Arah sumbu X (*dual system*)

         T dari hasil analisa = 0,9020 detik

Nilai *T* tidak perlu diambil kurang dari nilai T_a dan lebih dari hasil perkalian nilai C_u dan T_a ($T_a < T < C_u . T_a$) dimana nilai C_u didapat dari tabel 14 SNI 1726:2012 dan nilai T_a didapat dari pasal 7.8.2.1 pada SNI yang sama.

C_u = 1,4

T_a = $C_t . h_x^n$

= 0,0488 . $h^{0,75}$

= 0,0488 . $28,9^{0,75}$

= 0,608 detik

$C_u.T_a$ = 1,4 . 0,608

= 0,852 detik < *T* hasil analisa

Maka *T* yang digunakan adalah sebesar 0,852 detik.

2) Arah sumbu Y (*open frame*)

T dari hasil analisa = 1,8606 detik

C_u = 1,4

T_a = $C_t . h_x^n$

= 0,0466 . $h^{0,9}$

= 0,0466 . $28,9^{0,9}$

= 0,962 detik

$C_u.T_a$ = 1,4 . 0,962

= 1,347 detik < *T* hasil analisa

Maka *T* yang digunakan adalah sebesar 1,347 detik.

b. Peta gempa 2017

1) Arah sumbu X (*dual system*)

T dari hasil analisa = 0,9020 detik

Nilai *T* tidak perlu diambil kurang dari nilai T_a dan lebih dari hasil perkalian nilai C_u dan T_a ($T_a < T < C_u . T_a$) dimana nilai C_u didapat dari tabel 14 SNI 1726:2012 dan nilai T_a didapat dari pasal 7.8.2.1 pada SNI yang sama.

C_u = 1,4

T_a = $C_t . h_x^n$

= 0,0488 . $h^{0,75}$

= 0,0488 . $28,9^{0,75}$

= 0,608 detik

$C_u.T_a$ = 1,4 . 0,608

= 0,852 detik < *T* hasil analisa

Maka *T* yang digunakan adalah sebesar 0,852 detik.

2) Arah sumbu Y (*open frame*)

T dari hasil analisa = 1,8606 detik

C_u = 1,4

T_a = C_t . h_x^n

= 0,0466 . $28,9^{0,9}$

= 0,962 detik

$C_u.T_a$ = 1,4 . 0,962

= 1,347 < *T* hasil analisa

Maka *T* yang digunakan adalah sebesar 1,347 detik.

5.4 Kombinasi Beban Gempa

Kombinasi gempa diatur dalam pasal 7.4 SNI 1726:2012. Beban kombinasi yang digunakan yaitu sebagai berikut.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,2D + 1L ± 0,3(ρ.EQ_x + 0,2S_{DS}.D) ± 1(ρ. EQ_y + 0,2. S_{DS}.D)
4. 1,2D + 1L ± 1(ρ.EQ_x + 0,2S_{DS}.D) ± 0,3(ρ. EQ_y + 0,2. S_{DS}.D)
5. 0,9D ± 0,3(ρ.EQ_x - 0,2S_{DS}.D) ± 1(ρ. EQ_y - 0,2. S_{DS}.D)
6. 0,9D ± 1(ρ.EQ_x - 0,2S_{DS}.D) ± 0,3(ρ. EQ_y - 0,2. S_{DS}.D)

SNI 1726:2012 pasal 7.3.4.2 mengijinkan penggunaan nilai faktor redudansi (ρ) untuk KDS D,E,F sebesar 1 jika memenuhi salah satu dari dua kondisi. Faktor redudansi (ρ) digunakan asumsi awal sebesar 1 kemudian akan diperiksa terhadap kondisi poin pertama pada pasal tersebut. Jika tidak ada ketidakberaturan

horizontal jenis 1b maka akan tetap digunakan 1, namun jika terdapat ketidakberaturan maka akan digunakan faktor redudansi (ρ) sebesar 1,3.

Nilai S_{DS} untuk peta gempa 2010 sebesar 0,718 dan nilai S_{DS} untuk peta gempa 2017 yaitu sebesar 0,90. Berikut penjabaran kombinasi beban yang akan digunakan.

5.4.1 Peta gempa 2010

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,387D + 1L + 0,3EQ_x + 1EQ_y
4. 1,099D + 1L + 0,3EQ_x - 1EQ_y
5. 1,301D + 1L - 0,3EQ_x + 1EQ_y
6. 1,013D + 1 L - 0,3EQ_x - 1EQ_y
7. 1,387D + 1 L + 1EQ_x + 0,3EQ_y
8. 1,301D + 1 L + 1EQ_x - 0,3EQ_y
9. 1,099D + 1 L - 1EQ_x + 0,3EQ_y
10. 1,013D + 1 L - 1EQ_x - 0,3EQ_y
11. 0,713D + 0,3EQ_x + 1EQ_y
12. 1,001D + 0,3EQ_x - 1EQ_y
13. 0,799D - 0,3EQ_x + 1EQ_y
14. 1,087D - 0,3EQ_x - 1EQ_y
15. 0,713D + 1EQ_x + 0,3EQ_y
16. 0,799D + 1EQ_x - 0,3EQ_y
17. 1,001D - 1EQ_x + 0,3EQ_y
18. 1,087D - 1EQ_x - 0,3EQ_y

5.4.2 Peta gempa 2017

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,392D + 1L + 0,3EQ_x + 1EQ_y
4. 1,097D + 1L + 0,3EQ_x - 1EQ_y
5. 1,303D + 1L - 0,3EQ_x + 1EQ_y
6. 1,008D + 1 L - 0,3EQ_x - 1EQ_y
7. 1,392D + 1 L + 1EQ_x + 0,3EQ_y
8. 1,303D + 1 L + 1EQ_x - 0,3EQ_y
9. 1,097D + 1 L - 1EQ_x + 0,3EQ_y
10. 1,008D + 1 L - 1EQ_x - 0,3EQ_y
11. 0,708D + 0,3EQ_x + 1EQ_y
12. 1,003D + 0,3EQ_x - 1EQ_y
13. 0,797D - 0,3EQ_x + 1EQ_y
14. 1,092D - 0,3EQ_x - 1EQ_y
15. 0,708D + 1EQ_x + 0,3EQ_y
16. 0,797D + 1EQ_x - 0,3EQ_y
17. 1,003D - 1EQ_x + 0,3EQ_y
18. 1,092D - 1EQ_x - 0,3EQ_y

5.5 Pemeriksaan *Output* Analisis dari Program

Berikut pembahasan mengenai *output* analisis dari program untuk dilakukan pemeriksaan apakah sudah memenuhi ketentuan atau belum.

1. Jumlah ragam

   Berikut *output* partisipasi massa untuk dilakukan pemeriksaan jumlah ragam apakah sudah cukup atau belum sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1.

   a. Peta gempa 2010

      Dibawah ini adalah *output* partisipasi massa untuk peta gempa 2010.

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Modal Participating Mass Ratios

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
MODAL	Mode	1	1,860614	0,0000003908	0,79576	0,0000003954	0,0000003908	0,79576	0,0000003954
MODAL	Mode	2	0,901968	0,64631	0,000008208	0,00000401	0,64631	0,79577	0,000004406
MODAL	Mode	3	0,638155	0,06812	0,00025	0,00006304	0,71443	0,79602	0,00006744
MODAL	Mode	4	0,567526	0,00004812	0,09878	0,00002447	0,71448	0,8948	0,00009191
MODAL	Mode	5	0,442453	0,00007571	0,00005959	0,00043	0,71456	0,89486	0,00052
MODAL	Mode	6	0,433398	0,00014	0,00016	0,00075	0,7147	0,89502	0,00128
MODAL	Mode	7	0,300576	0,00156	0,00005204	0,0000624	0,71625	0,89507	0,00134
MODAL	Mode	8	0,300348	0,000004886	0,03755	0,00011	0,71626	0,93261	0,00145
MODAL	Mode	9	0,287803	0,05368	0,00000167	0,00269	0,76994	0,93261	0,00414
MODAL	Mode	10	0,277413	0,00008751	0,00113	0,00219	0,77003	0,93375	0,00633
MODAL	Mode	11	0,256476	0,05076	0,0000001301	0,00449	0,82079	0,93375	0,01082
MODAL	Mode	12	0,246267	0,00067	0,0005	0,00011	0,82146	0,93425	0,01094
MODAL	Mode	13	0,230405	0,0134	0,00002392	0,00009317	0,83486	0,93427	0,01103
MODAL	Mode	14	0,196673	0,03818	0,00009235	0,00044	0,87304	0,93437	0,01147
MODAL	Mode	15	0,191448	0,00019	0,02002	0,00002239	0,87323	0,95439	0,0115
MODAL	Mode	16	0,157865	0,04788	0,00018	0,00013	0,92112	0,95457	0,01162
MODAL	Mode	17	0,155884	0,00098	0,00925	0,00016	0,9221	0,96383	0,01179
MODAL	Mode	18	0,116336	0,00002675	0,02633	0,00005325	0,92213	0,99015	0,01184
MODAL	Mode	19	0,105463	0,03694	0,00003576	0,00003223	0,95907	0,99019	0,01187
MODAL	Mode	20	0,080049	0,0000431	0,008	0,00004386	0,95911	0,99819	0,01192
MODAL	Mode	21	0,066534	0,03845	0,000001625	0,000002263	0,99756	0,99819	0,01192

Record: 1 of 21 — Add Tables... — Done

Gambar 5.4 Partisipasi Massa pada Peta Gempa 2010

Partisipasi massa bangunan arah X dan Y dapat dilihat pada kolom SumUX dan SumUY. Partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen didapat pada mode ke 16 untuk arah X dan mode ke 8 untuk arah Y.

b. Peta gempa 2017

Dibawah ini adalah *output* partisipasi massa untuk peta gempa 2017.

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Modal Participating Mass Ratios

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
MODAL	Mode	1	1,860614	0,0000003908	0,795761	0,0000003954	0,0000003908	0,795761	0,0000003954
MODAL	Mode	2	0,901968	0,64631	0,000008208	0,00000401	0,646311	0,795769	0,000004406
MODAL	Mode	3	0,638155	0,068121	0,000253	0,000063	0,714432	0,796022	0,000067
MODAL	Mode	4	0,567526	0,000048	0,098778	0,000024	0,71448	0,8948	0,000092
MODAL	Mode	5	0,442453	0,000076	0,00006	0,000433	0,714556	0,894859	0,000525
MODAL	Mode	6	0,433398	0,000141	0,000156	0,000752	0,714697	0,895016	0,001277
MODAL	Mode	7	0,300576	0,001557	0,000052	0,000062	0,716254	0,895068	0,001339
MODAL	Mode	8	0,300348	0,000004886	0,037545	0,000109	0,716259	0,932613	0,001448
MODAL	Mode	9	0,287803	0,053682	0,00000167	0,002693	0,769941	0,932615	0,004141
MODAL	Mode	10	0,277413	0,000088	0,001132	0,002191	0,770029	0,933747	0,006332
MODAL	Mode	11	0,256476	0,050756	0,0000001301	0,004492	0,820785	0,933747	0,010824
MODAL	Mode	12	0,246267	0,000674	0,000504	0,000115	0,821459	0,93425	0,010939
MODAL	Mode	13	0,230405	0,0134	0,000024	0,000093	0,834858	0,934274	0,011032
MODAL	Mode	14	0,196673	0,038183	0,000092	0,000443	0,873041	0,934366	0,011475
MODAL	Mode	15	0,191448	0,000192	0,020022	0,000022	0,873234	0,954388	0,011497
MODAL	Mode	16	0,157865	0,047884	0,000183	0,000125	0,921118	0,954571	0,011622
MODAL	Mode	17	0,155884	0,000984	0,009255	0,000164	0,922102	0,963826	0,011787
MODAL	Mode	18	0,116336	0,000027	0,026328	0,000053	0,922129	0,990153	0,01184
MODAL	Mode	19	0,105463	0,036938	0,000036	0,000032	0,959067	0,990189	0,011872
MODAL	Mode	20	0,080049	0,000043	0,007999	0,000044	0,95911	0,998188	0,011916
MODAL	Mode	21	0,066534	0,038447	0,000001625	0,000002263	0,997558	0,99819	0,011918

Record: 1 of 21 — Add Tables... — Done

Gambar 5.5 Partisipasi Massa pada Peta Gempa 2017

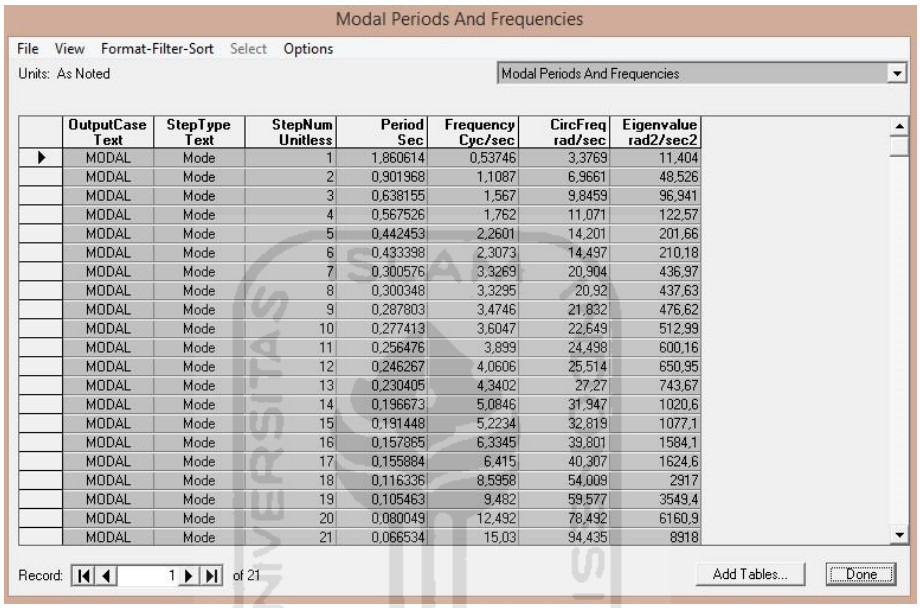
Partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen didapat pada mode ke 16 untuk arah X dan mode ke 8 untuk arah Y.

2. Kombinasi ragam

Kombinasi ragam yang yang digunakan pada saat pemodelan adalah metode SRSS, kemudian akan dilakukan pemeriksaan apakah sudah tepat menggunakan metode tersebut atau perlu diganti menggunakan metode CQC.

a. Peta gempa 2010

Dibawah ini adalah *output* periode struktur untuk peta gempa 2010.



Modal Periods And Frequencies

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Modal Periods And Frequencies

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	1,860614	0,53746	3,3769	11,404
	MODAL	Mode	2	0,901968	1,1087	6,9661	48,526
	MODAL	Mode	3	0,638155	1,567	9,8459	96,941
	MODAL	Mode	4	0,567526	1,762	11,071	122,57
	MODAL	Mode	5	0,442453	2,2601	14,201	201,66
	MODAL	Mode	6	0,433398	2,3073	14,497	210,18
	MODAL	Mode	7	0,300576	3,3269	20,904	436,97
	MODAL	Mode	8	0,300348	3,3295	20,92	437,63
	MODAL	Mode	9	0,287803	3,4746	21,832	476,62
	MODAL	Mode	10	0,277413	3,6047	22,649	512,99
	MODAL	Mode	11	0,256476	3,899	24,498	600,16
	MODAL	Mode	12	0,246267	4,0606	25,514	650,95
	MODAL	Mode	13	0,230405	4,3402	27,27	743,67
	MODAL	Mode	14	0,196673	5,0846	31,947	1020,6
	MODAL	Mode	15	0,191448	5,2234	32,819	1077,1
	MODAL	Mode	16	0,157865	6,3345	39,801	1584,1
	MODAL	Mode	17	0,155884	6,415	40,307	1624,6
	MODAL	Mode	18	0,116336	8,5958	54,009	2917
	MODAL	Mode	19	0,105463	9,482	59,577	3549,4
	MODAL	Mode	20	0,080049	12,492	78,492	6160,9
	MODAL	Mode	21	0,066534	15,03	94,435	8918

Record: 1 of 21 — Add Tables... — Done

Gambar 5.6 Periode Struktur pada Peta Gempa 2010

Perhitungan selisih nilai periode antara mode satu dengan yang lain:

T_1 - T_2 $= \left(\frac{1{,}861 - 0{,}902}{1{,}861}\right) x\ 100 = 51{,}53\ \%$

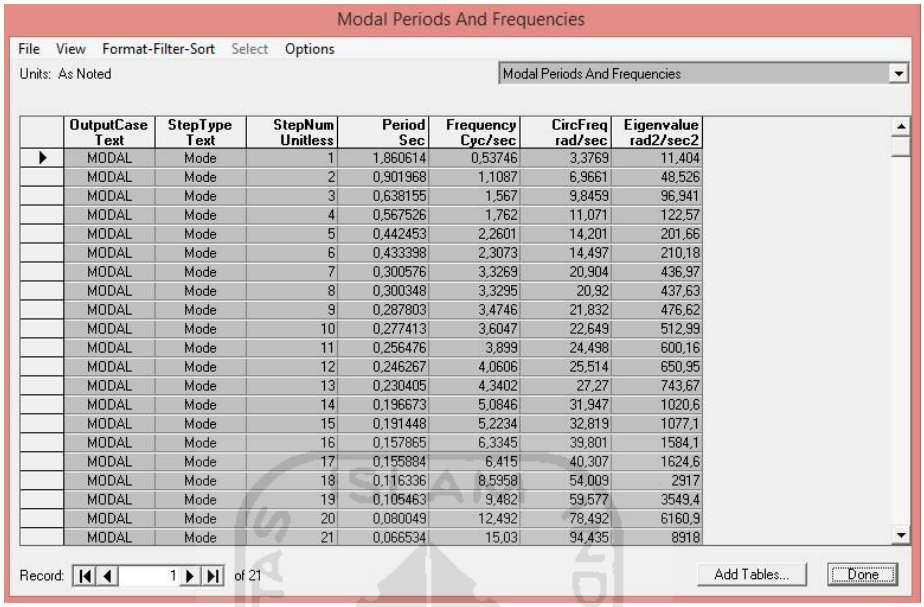
T_2 - T_3 $= \left(\frac{0{,}902 - 0{,}638}{0{,}902}\right) x\ 100 = 29{,}27\ \%$

T_3 - T_4 $= \left(\frac{0{,}638 - 0{,}568}{0{,}638}\right) x\ 100 = 10{,}97\ \%$

Perhitungan untuk mode selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama. Berdasarkan perhitungan tersebut didapat selisih nilai periode melebihi 15 % pada T_1 - T_2 dan T_2 - T_3, dengan demikian analisis kombinasi ragam dianjurkan untuk menggunakan metode SRSS dimana dalam hal ini sudah sesuai dengan asumsi awal.

b. Peta gempa 2017

Dibawah ini adalah *output* periode struktur untuk peta gempa 2017.



Modal Periods And Frequencies

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Modal Periods And Frequencies

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,860614	0,53746	3,3769	11,404
MODAL	Mode	2	0,901968	1,1087	6,9661	48,526
MODAL	Mode	3	0,638155	1,567	9,8459	96,941
MODAL	Mode	4	0,567526	1,762	11,071	122,57
MODAL	Mode	5	0,442453	2,2601	14,201	201,66
MODAL	Mode	6	0,433398	2,3073	14,497	210,18
MODAL	Mode	7	0,300576	3,3269	20,904	436,97
MODAL	Mode	8	0,300348	3,3295	20,92	437,63
MODAL	Mode	9	0,287803	3,4746	21,832	476,62
MODAL	Mode	10	0,277413	3,6047	22,649	512,99
MODAL	Mode	11	0,256476	3,899	24,498	600,16
MODAL	Mode	12	0,246267	4,0606	25,514	650,95
MODAL	Mode	13	0,230405	4,3402	27,27	743,67
MODAL	Mode	14	0,196673	5,0846	31,947	1020,6
MODAL	Mode	15	0,191448	5,2234	32,819	1077,1
MODAL	Mode	16	0,157865	6,3345	39,801	1584,1
MODAL	Mode	17	0,155884	6,415	40,307	1624,6
MODAL	Mode	18	0,116336	8,5958	54,009	2917
MODAL	Mode	19	0,105463	9,482	59,577	3549,4
MODAL	Mode	20	0,080049	12,492	78,492	6160,9
MODAL	Mode	21	0,066534	15,03	94,435	8918

Record: 1 of 21 — Add Tables... — Done

Gambar 5.7 Periode Struktur pada Peta Gempa 2017

Perhitungan selisih nilai periode antara mode satu dengan yang lain:

$$T_1 - T_2 = \left(\frac{1{,}861 - 0{,}902}{1{,}861}\right) x\ 100 = 51{,}53\ \%$$

$$T_2 - T_3 = \left(\frac{0{,}902 - 0{,}638}{0{,}902}\right) x\ 100 = 29{,}27\ \%$$

$$T_3 - T_4 = \left(\frac{0{,}638 - 0{,}568}{0{,}638}\right) x\ 100 = 10{,}97\ \%$$

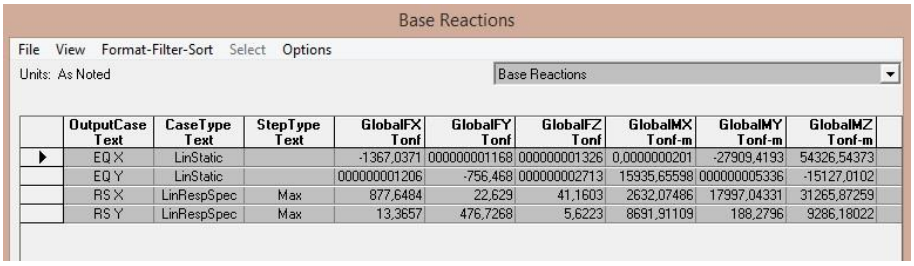
Perhitungan untuk mode selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama. Berdasarkan perhitungan tersebut didapat selisih nilai periode melebihi 15%, dengan demikian analisis kombinasi ragam dianjurkan untuk menggunakan metode SRSS dimana dalam hal ini sudah sesuai dengan asumsi awal.

3. Skala gaya

Besarnya gaya geser dasar dinamik respon spektrum harus melebihi 85% dari gaya geser statik ekivalen, jika tidak memenuhi maka harus dilakukan skala gaya sesuai dengan pasal 7.9.4.1 SNI 1726:2012.

a. Peta gempa 2010

Besar gaya geser dasar statik dan dinamik dapat dilihat pada gambar berikut.



Base Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Base Reactions

OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m
EQ X	LinStatic		-1367,0371	000000001168	000000001326	0,0000000201	-27909,4193	54326,54373
EQ Y	LinStatic		000000001206	-756,468	000000002713	15935,65598	000000005336	-15127,0102
RS X	LinRespSpec	Max	877,6484	22,629	41,1603	2632,07486	17997,04331	31265,87259
RS Y	LinRespSpec	Max	13,3657	476,7268	5,6223	8691,91109	188,2796	9286,18022

Gambar 5.8 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2010

1) Arah X

V_{statik} arah X = 1367,037 ton

0,85 . 1367,037 = 1161,982 ton

$V_{dinamik}$ arah X = 877,648 ton < 0,85 V_{statik}

Karena $V_{dinamik}$ < 0,85 V_{statik} maka gaya gempa dinamik perlu diskalakan yaitu sebesar:

$$\frac{0{,}85\ V_{statik}}{V_{dinamik}} = \frac{1161{,}982}{877{,}648} = 1{,}324$$

2) Arah Y

V_{statik} arah Y = 756,468 ton

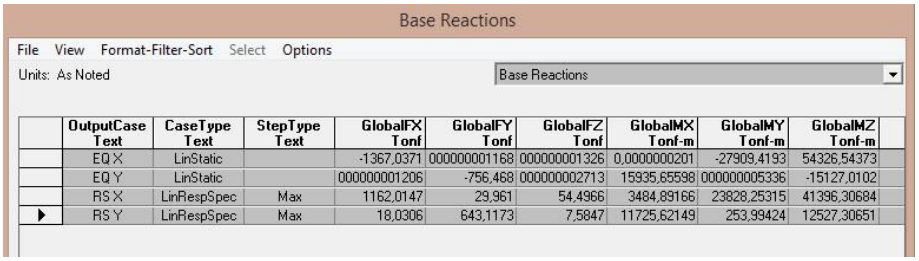
0,85 . 756,468 = 642,998 ton

$V_{dinamik}$ arah Y = 476,727 ton < 0,85 V_{statik}

Karena $V_{dinamik}$ < 0,85 V_{statik} maka gaya gempa dinamik perlu diskalakan yaitu sebesar:

$$\frac{0{,}85\ V_{statik}}{V_{dinamik}} = \frac{642{,}998}{476{,}727} = 1{,}349$$

Skala ulang kemudian dikalikan dengan faktor pengali beban gempa yang sebelumnya telah dimasukkan. *Output* gaya geser dasar setelah dilakukan skala ulang dapat dilihat pada gambar berikut.



Base Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Base Reactions

OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m
EQ X	LinStatic		-1367,0371	000000001168	000000001326	0,0000000201	-27909,4193	54326,54373
EQ Y	LinStatic		000000001206	-756,468	000000002713	15935,65598	000000005336	-15127,0102
RS X	LinRespSpec	Max	1162,0147	29,961	54,4966	3484,89166	23828,25315	41396,30684
RS Y	LinRespSpec	Max	18,0306	643,1173	7,5847	11725,62149	253,99424	12527,30651

Gambar 5.9 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2010 Setelah Skala Ulang

1) Arah X

V_{statik} arah X = 1367,037 ton

0,85 . 1367,037 = 1161,982 ton

$V_{dinamik}$ arah X = 1162,015 ton > 0,85 V_{statik} (OK)

2) Arah Y

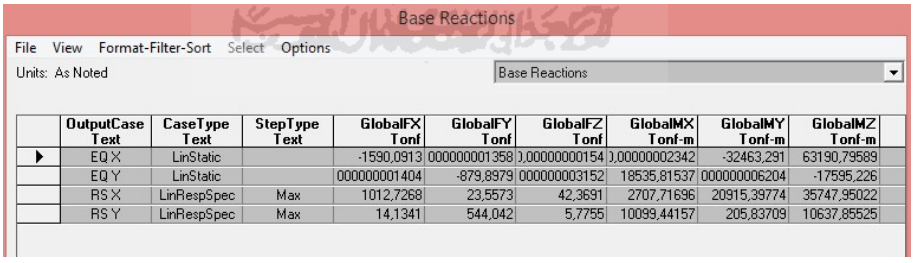
V_{statik} arah Y = 756,468 ton

0,85 . 756,468 = 642,998 ton

$V_{dinamik}$ arah X = 643,117 ton > 0,85 V_{statik} (OK)

b. Peta gempa 2017

Besar gaya geser dasar statik dan dinamik dapat dilihat pada gambar berikut.



Base Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Base Reactions

OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m
EQ X	LinStatic		-1590,0913	000000001358	),00000000154	),00000002342	-32463,291	63190,79589
EQ Y	LinStatic		000000001404	-879,8979	000000003152	18535,81537	000000006204	-17595,226
RS X	LinRespSpec	Max	1012,7268	23,5573	42,3691	2707,71696	20915,39774	35747,95022
RS Y	LinRespSpec	Max	14,1341	544,042	5,7755	10099,44157	205,83709	10637,85525

Gambar 5.10 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2017

1) Arah X

V_{statik} arah X = 1590,091 ton

0,85 . 1590,091 = 1351,578 ton

$V_{dinamik}$ arah X = 1012,727 ton < 0,85 V_{statik}

Karena $V_{dinamik}$ < 0,85 V_{statik} maka gaya gempa dinamik perlu diskalakan yaitu sebesar:

$$\frac{0{,}85\ V_{statik}}{V_{dinamik}} = \frac{1351{,}578}{1012{,}727} = 1{,}335$$

2) Arah Y

V_{statik} arah Y = 879,898 ton

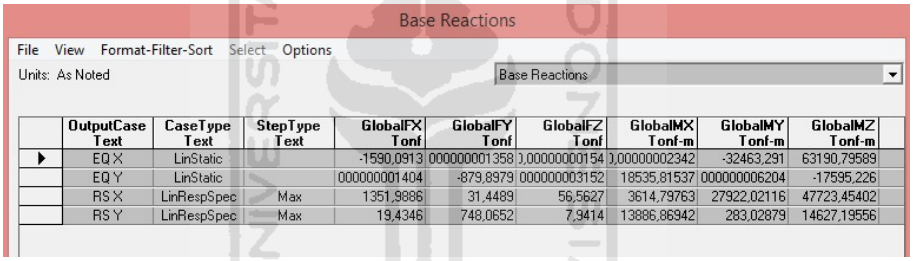
0,85 . 879,898 = 747,913 ton

$V_{dinamik}$ arah Y = 544,042 ton < 0,85 V_{statik}

Karena $V_{dinamik}$ < 0,85 V_{statik} maka gaya gempa dinamik perlu diskalakan yaitu sebesar:

$$\frac{0{,}85\ V_{statik}}{V_{dinamik}} = \frac{747{,}913}{544{,}042} = 1{,}375$$

Skala ulang kemudian dikalikan dengan faktor pengali beban gempa yang sebelumnya telah dimasukkan. *Output* gaya geser dasar setelah dilakukan skala ulang dapat dilihat pada gambar berikut.



OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m
EQ X	LinStatic		-1590,0913	000000001358	0,00000000154	0,00000002342	-32463,291	63190,79589
EQ Y	LinStatic		000000001404	-879,8979	000000003152	18535,81537	000000006204	-17595,226
RS X	LinRespSpec	Max	1351,9886	31,4489	56,5627	3614,79763	27922,02116	47723,45402
RS Y	LinRespSpec	Max	19,4346	748,0652	7,9414	13886,86942	283,02879	14627,19556

Gambar 5.11 Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik pada Peta Gempa 2017 Setelah Skala Ulang

1) Arah X

V_{statik} arah X = 1590,091 ton

0,85 . 1590,091 = 1351,578 ton

$V_{dinamik}$ arah X = 1351,989 ton > 0,85 V_{statik} (OK)

2) Arah Y

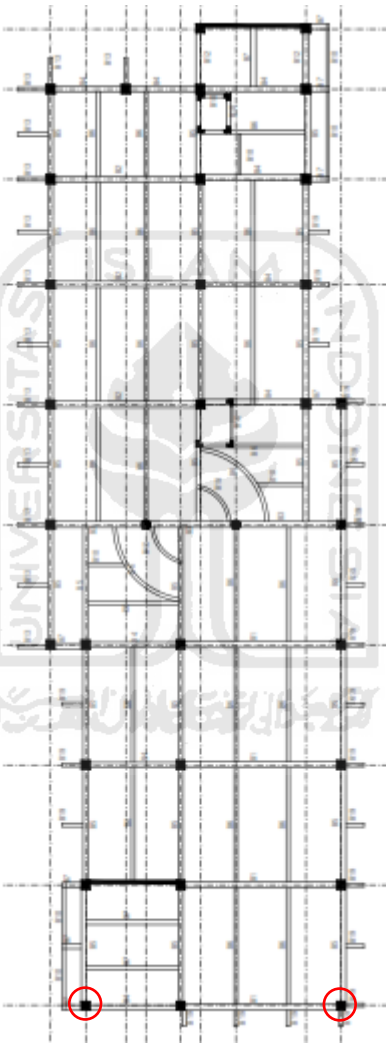
V_{statik} arah Y = 879,898 ton

0,85 . 879,898 = 747,913 ton

$V_{dinamik}$ arah Y = 748,065 ton > 0,85 V_{statik} (OK)

4. Simpangan antar tingkat

   Simpangan antar tingkat yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat ijin, hal ini diatur dalam pasal 7.12.1 SNI 1726:2012. Pada penelitian ini diambil 2 buah titik dimana masing-masing titik akan ditinjau dalam 2 arah yaitu arah sumbu x dan y. Letak titik tersebut dapat diihat pada gambar berikut.



Gambar 5.12 Letak Titik Simpangan yang Ditinjau

a. Peta gempa 2010

1) Titik 1

a) Arah sumbu X

Contoh perhitungan:

δ_e (defleksi elastis) tingkat 7 = 54,212 mm

δ_e tingkat 6 = 45,352 mm

C_d (faktor perbesaran defleksi) = 5,5

I_e (faktor keutamaan gempa) = 1,5

ρ (faktor redudansi) = 1

h_{sx} (tinggi tingkat) = 4000 mm

Δ (simpangan antar lantai) tingkat 5 $= \frac{(\delta_e\ tingkat\ 7 - \delta_e\ tingkat\ 6)\ .C_d}{I_e}$

$= \frac{(54{,}212 - 45{,}352)\ .\ 5{,}5}{1{,}5}$

= 32,487 mm

Δ_a (simpangan antar lantai ijin) = (0,015 . h_{sx}) / ρ

= (0,015 . 4000) / 1

= 60 mm

Berdasarkan perhitungan diatas didapat bahwa Δ < Δ_a maka simpangan antar lantai tingat 7 sudah memenuhi syarat. Hasil perhitungan pada tingkat lain akan ditampilkan dalam bentuk tabel.

Tabel 5.3 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah X pada Peta Gempa 2010

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe X (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	54,212	5,5	1,5	32,487	60	OK
6	4000	45,352	5,5	1,5	32,879	60	OK
5	4000	36,385	5,5	1,5	33,117	60	OK
4	4000	27,353	5,5	1,5	31,698	60	OK
3	4000	18,708	5,5	1,5	28,651	60	OK
2	4900	10,894	5,5	1,5	27,526	73,5	OK
1	4000	3,387	5,5	1,5	12,419	60	OK

b) Arah sumbu Y

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 1 arah sumbu Y.

Tabel 5.4 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah Y pada Peta Gempa 2010

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe Y (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	63,125	5,5	1,5	14,392	60	OK
6	4000	59,200	5,5	1,5	22,469	60	OK
5	4000	53,072	5,5	1,5	31,225	60	OK
4	4000	44,556	5,5	1,5	38,581	60	OK
3	4000	34,034	5,5	1,5	45,126	60	OK
2	4900	21,727	5,5	1,5	54,340	73,5	OK
1	4000	6,907	5,5	1,5	25,326	60	OK

2) Titik 2

a) Arah sumbu X

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 2 arah sumbu X.

Tabel 5.5 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah X pada Peta Gempa 2010

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe X (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	54,212	5,5	1,5	32,487	60	OK
6	4000	45,352	5,5	1,5	32,879	60	OK
5	4000	36,385	5,5	1,5	33,117	60	OK
4	4000	27,353	5,5	1,5	31,698	60	OK
3	4000	18,708	5,5	1,5	28,651	60	OK
2	4900	10,894	5,5	1,5	27,526	73,5	OK
1	4000	3,387	5,5	1,5	12,419	60	OK

b) Arah sumbu Y

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 2 arah sumbu Y.

Tabel 5.6 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah Y pada Peta Gempa 2010

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe Y (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	63,134	5,5	1,5	14,494	60	OK
6	4000	59,181	5,5	1,5	22,517	60	OK
5	4000	53,040	5,5	1,5	31,229	60	OK
4	4000	44,523	5,5	1,5	38,548	60	OK
3	4000	34,010	5,5	1,5	45,071	60	OK
2	4900	21,718	5,5	1,5	54,307	73,5	OK
1	4000	6,907	5,5	1,5	25,326	60	OK

b. Peta gempa 2017

Hasil perhitungan simpangan antar lantai untuk arah sumbu X dan Y dapat dilihat pada tabel 5.7 sampai 5.10 berikut.

1) Titik 1

a) Arah sumbu X

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 1 arah sumbu X.

Tabel 5.7 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah X pada Peta Gempa 2017

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe X (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	63,476	5,5	1,5	37,950	60	OK
6	4000	53,126	5,5	1,5	38,518	60	OK
5	4000	42,621	5,5	1,5	38,804	60	OK
4	4000	32,038	5,5	1,5	37,151	60	OK
3	4000	21,906	5,5	1,5	33,576	60	OK
2	4900	12,749	5,5	1,5	32,230	73,5	OK
1	4000	3,959	5,5	1,5	14,516	60	OK

b) Arah sumbu Y

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 1 arah sumbu Y.

Tabel 5.8 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah Y pada Peta Gempa 2017

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe Y (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	74,733	5,5	1,5	16,793	60	OK
6	4000	70,153	5,5	1,5	26,528	60	OK
5	4000	62,918	5,5	1,5	37,206	60	OK
4	4000	52,771	5,5	1,5	46,090	60	OK
3	4000	40,201	5,5	1,5	53,647	60	OK
2	4900	25,570	5,5	1,5	64,060	73,5	OK
1	4000	8,099	5,5	1,5	29,696	60	OK

2) Titik 2

a) Arah sumbu X

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 2 arah sumbu X.

Tabel 5.9 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah X pada Peta Gempa 2017

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe X (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	63,476	5,5	1,5	37,950	60	OK
6	4000	53,126	5,5	1,5	38,518	60	OK
5	4000	42,621	5,5	1,5	38,804	60	OK
4	4000	32,038	5,5	1,5	37,151	60	OK
3	4000	21,906	5,5	1,5	33,576	60	OK
2	4900	12,749	5,5	1,5	32,230	73,5	OK
1	4000	3,959	5,5	1,5	14,516	60	OK

b) Arah sumbu Y

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai titik 2 arah sumbu Y.

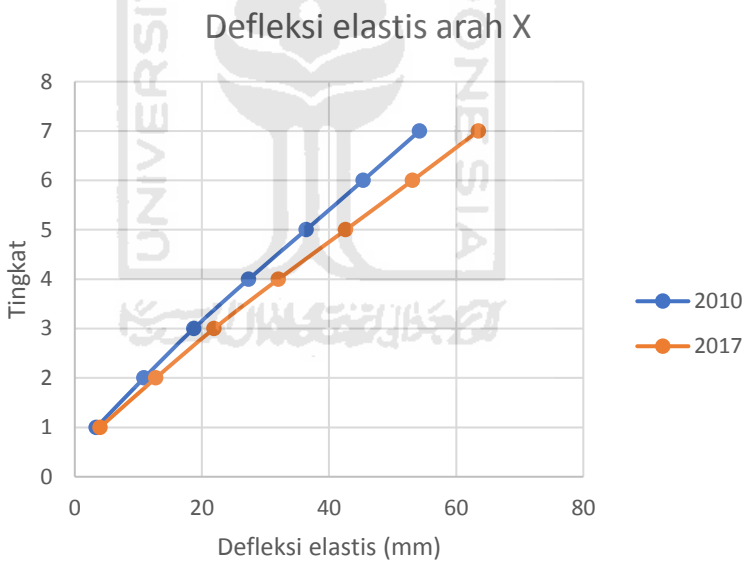
Tabel 5.10 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah Y pada Peta Gempa 2017

Tingkat	h_{sx} (mm)	δe Y (mm)	C_d	I_e	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Cek
7	4000	74,734	5,5	1,5	16,896	60	OK
6	4000	70,126	5,5	1,5	26,569	60	OK
5	4000	62,880	5,5	1,5	37,195	60	OK
4	4000	52,736	5,5	1,5	46,046	60	OK
3	4000	40,178	5,5	1,5	53,588	60	OK
2	4900	25,563	5,5	1,5	64,035	73,5	OK
1	4000	8,099	5,5	1,5	29,696	60	OK

c. Grafik perbandingan

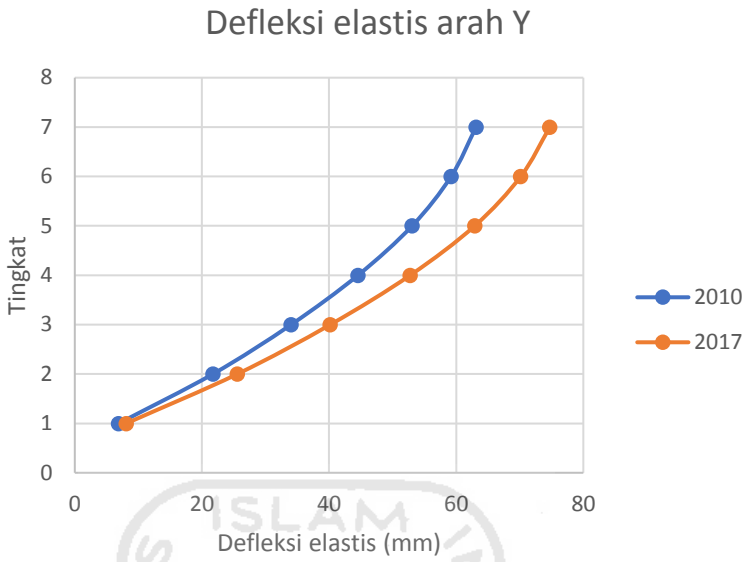
Berikut merupakan grafik perbandingan nilai defleksi dan simpangan antar lantai pada peta gempa 2010 dan 2017.

1) Defleksi elastis titik 1 arah X



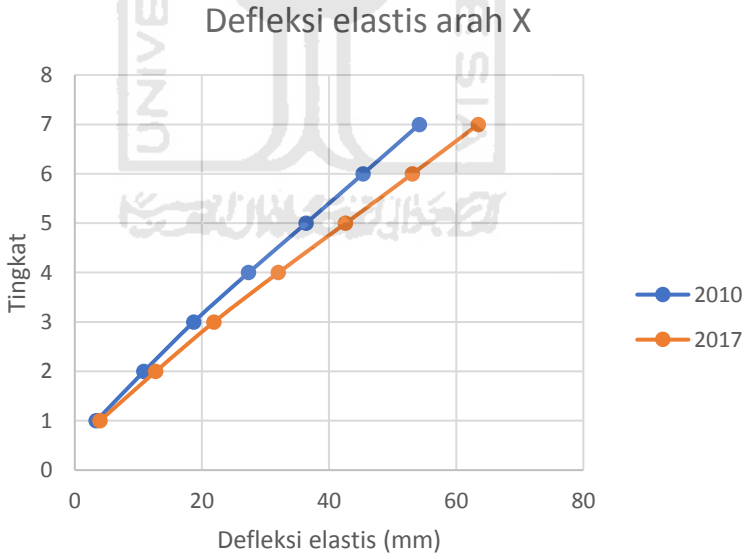
Gambar 5.13 Defleksi Elastis Titik 1 Arah X

2) Defleksi elastis titik 1 arah Y



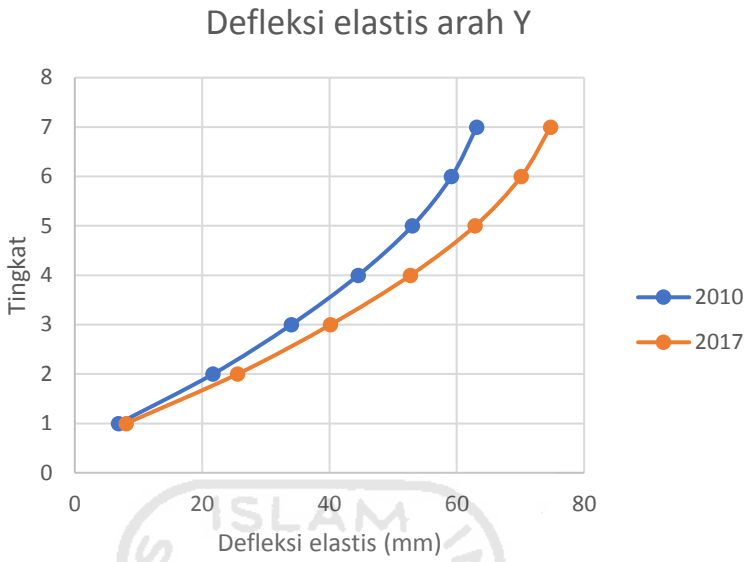
Gambar 5.14 Defleksi Elastis Titik 1 Arah Y

3) Defleksi elastis titik 2 arah X



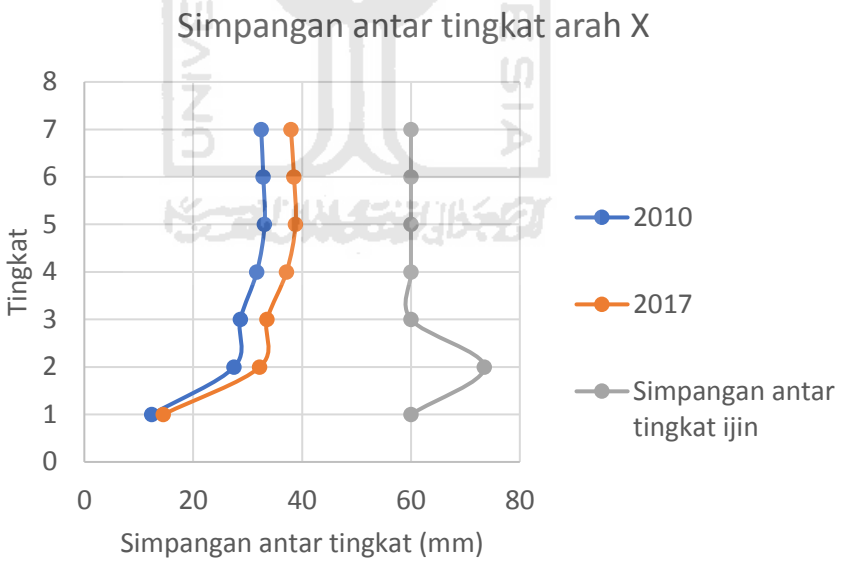
Gambar 5.15 Defleksi Elastis Titik 2 Arah X

4) Defleksi elastis titik 2 arah Y



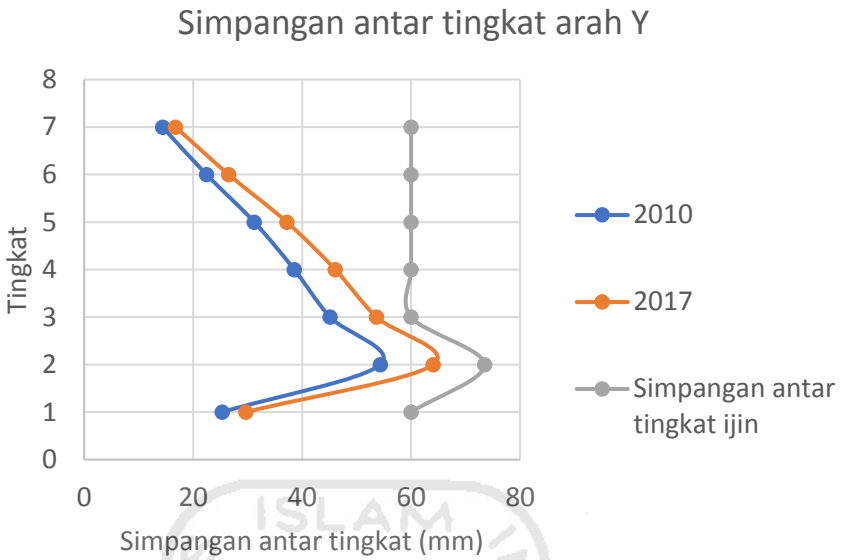
Gambar 5.16 Defleksi Elastis Titik 2 Arah Y

5) Simpangan antar tingkat titik 1 arah X



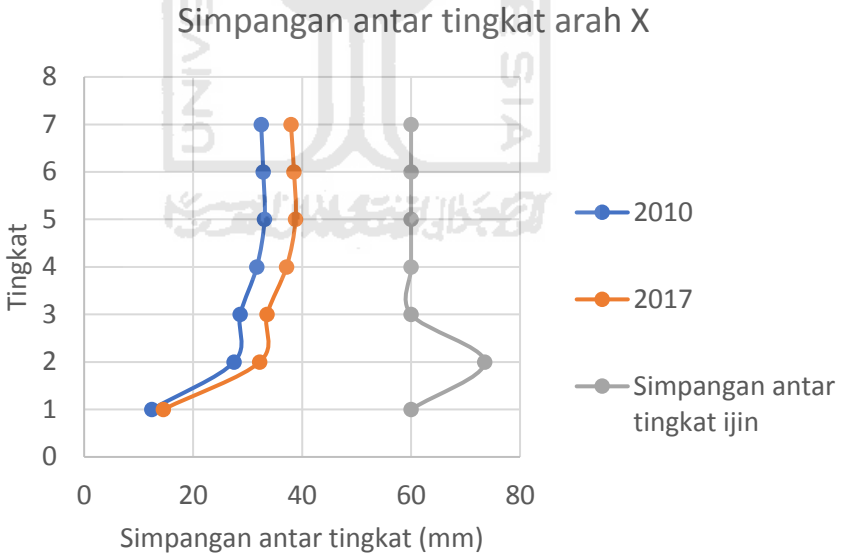
Gambar 5.17 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah X

6) Simpangan antar tingkat titik 1 arah Y



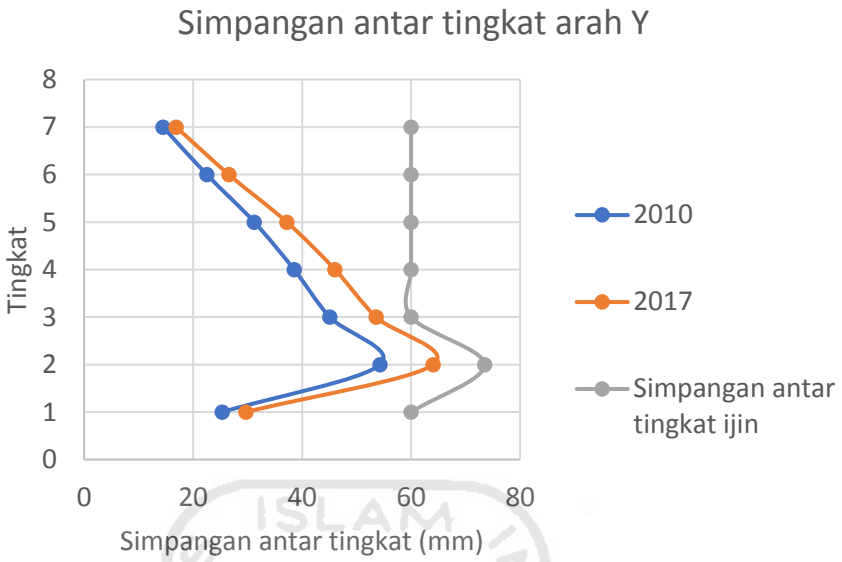
Gambar 5.18 Simpangan Antar Tingkat Titik 1 Arah Y

7) Simpangan antar tingkat titik 2 arah X



Gambar 5.19 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah X

8) Simpangan antar tingkat titik 2 arah Y



Gambar 5.20 Simpangan Antar Tingkat Titik 2 Arah Y

5. Ketidakberaturan horizontal jenis 1a

Contoh perhitungan untuk tingkat 7 peta gempa 2010

ΔX_1 = 32,487 mm

ΔX_2 = 32,487 mm

rata-rata Δ $= \frac{\Delta X1 + \Delta X2}{2}$

$= \frac{32,487 + 32,487}{2}$

= 32,487 mm

Δ maksimum dari ΔX_1 dan ΔX_2 = 32,487 mm

1,2 rata-rata Δ = 1,2 . 32,487 = 38,984 mm

Δ maksimum = 32,487 mm < 1,2 rata-rata Δ = 38,984 mm (OK)

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ketidakberaturan horizontal jenis 1a pada peta gempa 2010 dan 2017.

a. Peta gempa 2010

1) Arah sumbu X

Tabel 5.11 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X

Tingkat	ΔX_1 (mm)	ΔX_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,2 rata-rata Δ (mm)	Cek
7	32,487	32,487	32,487	32,487	38,984	OK
6	32,879	32,879	32,879	32,879	39,455	OK
5	33,117	33,117	33,117	33,117	39,741	OK
4	31,698	31,698	31,698	31,698	38,038	OK
3	28,651	28,651	28,651	28,651	34,382	OK
2	27,526	27,526	27,526	27,526	33,031	OK
1	12,419	12,419	12,419	12,419	14,903	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.12 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y

Tingkat	ΔY_1 (mm)	ΔY_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,2 rata-rata Δ (mm)	Cek
7	14,392	14,494	14,443	14,494	17,332	OK
6	22,469	22,517	22,493	22,517	26,992	OK
5	31,225	31,229	31,227	31,229	37,473	OK
4	38,581	38,548	38,564	38,581	46,277	OK
3	45,126	45,071	45,098	45,126	54,118	OK
2	54,340	54,307	54,324	54,340	65,188	OK
1	25,326	25,326	25,326	25,326	30,391	OK

b. Peta gempa 2017

1) Arah sumbu X

Tabel 5.13 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X

Tingkat	Δ X_1 (mm)	Δ X_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,2 rata-rata Δ (mm)	Cek
7	37,950	37,950	37,950	37,950	45,540	OK
6	38,518	38,518	38,518	38,518	46,222	OK
5	38,804	38,804	38,804	38,804	46,565	OK
4	37,151	37,151	37,151	37,151	44,581	OK
3	33,576	33,576	33,576	33,576	40,291	OK
2	32,230	32,230	32,230	32,230	38,676	OK
1	14,516	14,516	14,516	14,516	17,420	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.14 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y

Tingkat	Δ Y_1 (mm)	Δ Y_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,2 rata-rata Δ (mm)	Cek
7	16,793	16,896	16,845	16,896	20,214	OK
6	26,528	26,569	26,549	26,569	31,858	OK
5	37,206	37,195	37,200	37,206	44,640	OK
4	46,090	46,046	46,068	46,090	55,282	OK
3	53,647	53,588	53,618	53,647	64,341	OK
2	64,060	64,035	64,048	64,060	76,857	OK
1	29,696	29,696	29,696	29,696	35,636	OK

6. Ketidakberaturan horizontal jenis 1b

Contoh perhitungan untuk tingkat 7 peta gempa 2010

Δ X_1 = 32,487 mm

Δ X_2 = 32,487 mm

rata-rata Δ $= \frac{\Delta X1 + \Delta X2}{2}$

$= \frac{32{,}487 + 32{,}487}{2}$

= 32,487 mm

Δ maksimum dari Δ X_1 dan Δ X_2 = 32,487 mm

1,4 rata-rata Δ = 1,4 . 32,487 = 45,481 mm

Δ maksimum = 32,487 mm < 1,4 rata-rata Δ = 45,481 mm (OK)

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ketidakberaturan horizontal jenis 1b pada peta gempa 2010 dan 2017.

a. Peta gempa 2010

1) Arah sumbu X

Tabel 5.15 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X

Tingkat	Δ X_1 (mm)	Δ X_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,4 rata-rata Δ (mm)	Cek	Nilai ρ
7	32,487	32,487	32,487	32,487	45,481	OK	1
6	32,879	32,879	32,879	32,879	46,031	OK	1
5	33,117	33,117	33,117	33,117	46,364	OK	1
4	31,698	31,698	31,698	31,698	44,378	OK	1
3	28,651	28,651	28,651	28,651	40,112	OK	1
2	27,526	27,526	27,526	27,526	38,536	OK	1
1	12,419	12,419	12,419	12,419	17,387	OK	1

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.16 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y

Tingkat	Δ Y_1 (mm)	Δ Y_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,4 rata-rata Δ (mm)	Cek	Nilai ρ
7	14,392	14,494	14,443	14,494	20,220	OK	1
6	22,469	22,517	22,493	22,517	31,490	OK	1
5	31,225	31,229	31,227	31,229	43,718	OK	1
4	38,581	38,548	38,564	38,581	53,990	OK	1
3	45,126	45,071	45,098	45,126	63,137	OK	1
2	54,340	54,307	54,324	54,340	76,053	OK	1
1	25,326	25,326	25,326	25,326	35,456	OK	1

b. Peta gempa 2017

1) Arah sumbu X

Tabel 5.17 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X

Tingkat	Δ X_1 (mm)	Δ X_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,4 rata-rata Δ (mm)	Cek	Nilai ρ
7	37,950	37,950	37,950	37,950	53,130	OK	1
6	38,518	38,518	38,518	38,518	53,926	OK	1
5	38,804	38,804	38,804	38,804	54,326	OK	1
4	37,151	37,151	37,151	37,151	52,011	OK	1
3	33,576	33,576	33,576	33,576	47,006	OK	1
2	32,230	32,230	32,230	32,230	45,122	OK	1
1	14,516	14,516	14,516	14,516	20,323	OK	1

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.18 Ketidakberaturan Horizontal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y

Tingkat	Δ Y_1 (mm)	Δ Y_2 (mm)	rata-rata Δ (mm)	Δ maksimum (mm)	1,4 rata-rata Δ (mm)	Cek	Nilai ρ
7	16,793	16,896	16,845	16,896	23,583	OK	1
6	26,528	26,569	26,549	26,569	37,168	OK	1
5	37,206	37,195	37,200	37,206	52,080	OK	1
4	46,090	46,046	46,068	46,090	64,495	OK	1
3	53,647	53,588	53,618	53,647	75,065	OK	1
2	64,060	64,035	64,048	64,060	89,667	OK	1
1	29,696	29,696	29,696	29,696	41,575	OK	1

7. Ketidakberaturan vertikal jenis 1a

Berikut contoh perhitungan ketidakberaturan vertikal jenis 1a untuk tingkat 6 pada peta gempa 2010

V_x = 5208,461 kN

Δ_x = 32,879 mm

K_x = V_x / Δ_x = 5208,461 / 32,879 = 158,413 kN/mm

0,7 K_x = 0,7 . 158,413 = 110,889 kN/mm

K_x tingkat 6 = 158,413 kN/mm > 0,7 K_x tingkat 7 = 52,875 kN/mm (OK)

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ketidakberaturan vertikal jenis 1a pada peta gempa 2010 dan 2017.

a. Peta gempa 2010

1) Arah sumbu X

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X

Tingkat	V_x (kN)	Δ_x (mm)	K_x (kN/mm)	0,7 * K_x	Cek
7	2453,899	32,487	75,536	52,875	-
6	5208,461	32,879	158,413	110,889	OK
5	7395,725	33,117	223,319	156,323	OK
4	9016,99	31,698	284,463	199,124	OK
3	10188,092	28,651	355,589	248,912	OK
2	11022,537	27,526	400,446	280,312	OK
1	11395,471	12,419	917,584	642,309	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y

Tingkat	V_y (kN)	Δ_y (mm)	K_y (kN/mm)	0,7 * K_y	Cek
7	1591,141	14,392	110,560	77,392	-
6	3131,497	22,469	139,368	97,557	OK
5	4004,799	31,225	128,255	89,778	OK
4	4589,387	38,581	118,956	83,269	OK
3	5159,953	45,126	114,346	80,042	OK
2	5905,053	54,340	108,669	76,068	OK
1	6306,826	25,326	249,029	174,320	OK

b. Peta gempa 2017

1) Arah sumbu X

Tabel 5.21 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X

Tingkat	V_x (kN)	Δ_x (mm)	K_x (kN/mm)	0,7 * K_x	Cek
7	2782,644	37,950	73,324	51,327	-
6	6058,259	38,518	157,282	110,098	OK
5	8638,894	38,804	222,627	155,839	OK
4	10553,007	37,151	284,060	198,842	OK
3	11908,428	33,576	354,674	248,272	OK
2	12864,349	32,230	399,142	279,399	OK
1	13258,48	14,516	913,349	639,344	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.22 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1a pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y

Tingkat	V_y (kN)	Δ_y (mm)	K_y (kN/mm)	0,7 * K_y	Cek
7	1734,094	16,793	103,261	72,283	-
6	3511,365	26,528	132,363	92,654	OK
5	4605,783	37,206	123,793	86,655	OK
4	5389,585	46,090	116,936	81,855	OK
3	6099,960	53,647	113,706	79,594	OK
2	6920,593	64,060	108,032	75,623	OK
1	7336,013	29,696	247,034	172,924	OK

8. Ketidakberaturan vertikal jenis 1b

Berikut contoh perhitungan ketidakberaturan vertikal jenis 1b untuk tingkat 6 pada peta gempa 2010

V_x = 5208,461 kN

Δ_x = 32,879 mm

K_x = V_x / Δ_x = 5208,461 / 32,879 = 158,413 kN/mm

0,6 K_x = 0,6 . 158,413 = 95,048 kN/mm

K_x tingkat 6 = 158,413 kN/mm > 0,6 K_x tingkat 7 = 45,321 kN/mm (OK)

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ketidakberaturan vertikal jenis 1b pada peta gempa 2010 dan 2017.

a. Peta gempa 2010

1) Arah sumbu X

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X

Tingkat	V_x (kN)	Δ_x (mm)	K_x (kN/mm)	0,6 * K_x	Cek
7	2453,899	32,487	75,536	45,321	-
6	5208,461	32,879	158,413	95,048	OK
5	7395,725	33,117	223,319	133,991	OK
4	9016,99	31,698	284,463	170,678	OK
3	10188,092	28,651	355,589	213,353	OK
2	11022,537	27,526	400,446	240,267	OK
1	11395,471	12,419	917,584	550,550	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.24 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y

Tingkat	V_y (kN)	Δ_y (mm)	K_y (kN/mm)	0,6 * K_y	Cek
7	1591,141	14,392	110,560	66,336	-
6	3131,497	22,469	139,368	83,621	OK
5	4004,799	31,225	128,255	76,953	OK
4	4589,387	38,581	118,956	71,373	OK
3	5159,953	45,126	114,346	68,608	OK
2	5905,053	54,340	108,669	65,201	OK
1	6306,826	25,326	249,029	149,417	OK

b. Peta gempa 2017

1) Arah sumbu X

Tabel 5.25 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X

Tingkat	V_x (kN)	Δ_x (mm)	K_x (kN/mm)	0,6 * K_x	Cek
7	2782,644	37,950	73,324	43,994	-
6	6058,259	38,518	157,282	94,369	OK
5	8638,894	38,804	222,627	133,576	OK
4	10553,007	37,151	284,060	170,436	OK
3	11908,428	33,576	354,674	212,805	OK
2	12864,349	32,230	399,142	239,485	OK
1	13258,48	14,516	913,349	548,009	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.26 Ketidakberaturan Vertikal Jenis 1b pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y

Tingkat	V_y (kN)	Δ_y (mm)	K_y (kN/mm)	0,6 * K_y	Cek
7	1734,094	16,793	103,261	61,957	-
6	3511,365	26,528	132,363	79,418	OK
5	4605,783	37,206	123,793	74,276	OK
4	5389,585	46,090	116,936	70,162	OK
3	6099,960	53,647	113,706	68,223	OK
2	6920,593	64,060	108,032	64,819	OK
1	7336,013	29,696	247,034	148,221	OK

9. Ketidakberaturan massa

Contoh perhitungan untuk tingkat 5

Massa tingkat 5 = 1382,749 ton

1,5 massa tingkat 6 = 2139,155 ton

Massa tingkat 5 = 1382,749 ton < 1,5 massa tingkat 6 = 2139,155 ton (OK)

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ketidakberaturan massa sesuai dengan tabel 11, jenis ketidakberaturan 2 pada SNI 1726:2012.

Tabel 5.27 Ketidakberaturan Massa

Tingkat	Massa (ton)	1,5 massa	Cek
7	926,128	1389,192	-
6	1426,103	2139,155	-
5	1382,749	2074,124	OK
4	1356,015	2034,023	OK
3	1334,249	2001,374	OK
2	1526,739	2290,109	OK
1	1609,420	2414,130	OK

10. Koefisien stabilitas

SNI 1726:2012 pasal 7.8.7 menjelaskan bahwa struktur perlu dilakukan pemeriksaan apakah terdapat pengaruh P-delta atau tidak, maka dari itu dilakukan pemeriksaan koefisien stabilitas (θ). Pengaruh P-delta dapat diabaikan jika koefisien stabilitas memiliki nilai dibawah nilai koefisien stabilitas maksimum, hal tersebut berarti struktur sudah cukup stabil.

Contoh perhitungan nilai koefisien stabilitas dapat dilihat pada penjabaran berikut.

h_{sx} tingkat 7 = 4000 mm

Δ tingkat 7 = 32,487 mm

P (beban vertikal total) tingkat 7 = 13585,30 kN

V (gaya geser seismik antar tingkat) tingkat 7 = 2453,899 kN

C_d = 5,5

I_e = 1,5

β (rasio kebutuhan geser) = 1,0

$$\theta = \frac{P \,.\, \Delta \,.\, I_e}{V \,.\, h_{sx} \,.\, C_d}$$

$$= \frac{13585{,}30 \,.\, 32{,}487 \,.\, 1{,}5}{2453{,}899 \,.\, 4000 \,.\, 5{,}5}$$

$$= 0{,}0123$$

θ maks $= \frac{0,5}{\beta \,.\, C_d}$

$= \frac{0,5}{1 \,.\, 5,5}$

$= 0,0909$

$\theta < \theta$ maks, maka koefisien stabilitas tingkat 7 sudah memenuhi syarat. Perhitungan koefisien stabilitas untuk tingkat yang lain baik pada peta gempa 2010 maupun 2017 akan ditampilkan dalam bentuk tabel seperti berikut.

a. Peta gempa 2010

1) Arah sumbu X

Tabel 5.28 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu X

Tingkat	h_{sx} (mm)	Δ (mm)	*P* (kN)	*V* (kN)	θ (rad)	θ maks (rad)	Cek
7	4000	32,487	13585,30	2453,899	0,0123	0,0909	OK
6	4000	32,879	38735,16	5208,461	0,0167	0,0909	OK
5	4000	33,117	61691,73	7395,725	0,0188	0,0909	OK
4	4000	31,698	84583,54	9016,99	0,0203	0,0909	OK
3	4000	28,651	106426,00	10188,092	0,0204	0,0909	OK
2	4900	27,526	131704,92	11022,537	0,0183	0,0909	OK
1	4000	12,419	156333,04	11395,471	0,0116	0,0909	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.29 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2010 Arah Sumbu Y

Tingkat	h_{sx} (mm)	Δ (mm)	*P* (kN)	*V* (kN)	θ (rad)	θ maks (rad)	Cek
7	4000	14,392	13585,304	1591,141	0,0084	0,0909	OK
6	4000	22,469	38735,164	3131,497	0,0190	0,0909	OK
5	4000	31,225	61691,729	4004,799	0,0328	0,0909	OK
4	4000	38,581	84583,541	4589,387	0,0485	0,0909	OK
3	4000	45,126	106426	5159,953	0,0635	0,0909	OK
2	4900	54,340	131704,915	5905,053	0,0675	0,0909	OK
1	4000	25,326	156333,042	6306,826	0,0428	0,0909	OK

b. Peta gempa 2017

1) Arah sumbu X

Tabel 5.30 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu X

Tingkat	h_{sx} (mm)	Δ (mm)	*P* (kN)	*V* (kN)	θ (rad)	θ maks (rad)	Cek
7	4000	37,950	13585,304	2782,644	0,0126	0,0909	OK
6	4000	38,518	38735,164	6058,259	0,0168	0,0909	OK
5	4000	38,804	61691,729	8638,894	0,0189	0,0909	OK
4	4000	37,151	84583,541	10553,007	0,0203	0,0909	OK
3	4000	33,576	106426	11908,428	0,0205	0,0909	OK
2	4900	32,230	131704,915	12864,349	0,0184	0,0909	OK
1	4000	14,516	156333,042	13258,48	0,0117	0,0909	OK

2) Arah sumbu Y

Tabel 5.31 Koefisien Stabilitas pada Peta Gempa 2017 Arah Sumbu Y

Tingkat	h_{sx} (mm)	Δ (mm)	*P* (kN)	*V* (kN)	θ (rad)	θ maks (rad)	Cek
7	4000	16,793	13585,304	1734,094	0,0090	0,0909	OK
6	4000	26,528	38735,164	3511,365	0,0200	0,0909	OK
5	4000	37,206	61691,729	4605,783	0,0340	0,0909	OK
4	4000	46,090	84583,541	5389,585	0,0493	0,0909	OK
3	4000	53,647	106426	6099,96	0,0638	0,0909	OK
2	4900	64,060	131704,915	6920,593	0,0679	0,0909	OK
1	4000	29,696	156333,042	7336,013	0,0431	0,0909	OK

5.6 Perhitungan Kebutuhan Tulangan pada Peta Gempa 2010 dan 2017

5.6.1 Peta gempa 2010

1. Tulangan lentur balok

   Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan lentur balok B1 dan B9 K (Kantilever) pada peta gempa 2010 untuk daerah tumpuan.

   a. Balok B1

   1) Data:

   M_{u^-} $= 206{,}336$ ton.m

   M_{u^+} $= 54{,}882$ ton.m

   f ‘c $= 30$ Mpa $= 306$ kg/cm^2

   ε_{cu} $= 0{,}003$

   S_b $= 4$ cm

   fy $= 400$ Mpa $= 4080$ kg/cm^2

   E_s $= 200000$ Mpa $= 2{,}04 \times 10^6$ kg/cm^2

   d_{pokok} $= 2{,}5$ cm

   $d_{sengkang}$ $= 1{,}0$ cm

   b $= 50$ cm

   h_t $= 90$ cm

   2) Perhitungan:

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

   $= 0{,}85 - ((30 - 28)/7) \times 0{,}05$

   $= 0{,}8357$

   $m = \frac{fy}{0{,}85 \,.\, f'c}$

   $= \frac{4080}{0{,}85 \,.\, 306}$

   $= 15{,}686$

   $\varepsilon_y = \frac{fy}{E_s}$

   $= \frac{4080}{2{,}04 \times 10^6}$

   $= 0{,}002$

$$\rho_b = \frac{\beta}{m} . \frac{\varepsilon cu}{\varepsilon cu + \varepsilon y}$$

$$= \frac{0,8357}{15,686} . \frac{0,003}{0,003 + 0,002}$$

$$= 0,03197$$

$$\rho_m = 0,75 . \rho_b$$

$$= 0,75 . 0,03197$$

$$= 0,02397$$

$$R_b = \rho_b . fy . \left(1 - \frac{1}{2} (\rho_b . m)\right)$$

$$= 0,03197 . 4080 . \left(1 - \frac{1}{2} (0,03197 . 15,686)\right)$$

$$= 97,72 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_m = \rho_m . fy . \left(1 - \frac{1}{2} (\rho_m . m)\right)$$

$$= 0,02397 . 4080 . \left(1 - \frac{1}{2} (0,02397 . 15,686)\right)$$

$$= 79,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = S_b + d_{sengkang} + d_{pokok} + \frac{2,5}{2}$$

$$= 4 + 1 + 4 + \frac{2,5}{2}$$

$$= 8,75 \text{ cm}$$

$$d' = S_b + d_{sengkang} + \frac{d_{pokok}}{2}$$

$$= 4 + 1 + \frac{2,5}{2}$$

$$= 6,25 \text{ cm}$$

$$h^- = h_t - d$$

$$= 90 - 8,75$$

$$= 81,25 \text{ cm}$$

$$h^+ = h_t - d'$$

$$= 90 - 6,25$$

$$= 83,75 \text{ cm}$$

Tulangan sebelah

$R_1 = 0{,}25 \cdot R_b$

$= 0{,}25 \cdot 97{,}723$

$= 24{,}43 \text{ kg/cm}^2$

$M_1 = R_1 \cdot b \cdot (h^-)^2$

$= 24{,}43 \cdot 50 \cdot 81{,}25^2$

$= 8064057{,}83 \text{ kg.cm}$

$M_1 = C_c \cdot (h^- - \frac{a}{2})$

$8064057{,}83 = 0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (81{,}25 - \frac{a}{2})$

$8064057{,}83 = 0{,}85 \cdot 306 \cdot a \cdot 50 \cdot (81{,}25 - \frac{a}{2})$

$8064057{,}83 = 1056656{,}25\ a - 6502{,}5\ a^2$

$a = 8{,}028 \text{ cm}$

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{8{,}028}{0{,}8357}$

$= 9{,}607 \text{ cm}$

Cek baja desak,

$\varepsilon_{s'} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{9{,}607 - 6{,}25}{9{,}607}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00105 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$As_1 = \frac{C_c}{f_y}$

$= \frac{0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y}$

$= \frac{0{,}85 \cdot 306 \cdot 8{,}028 \cdot 50}{4080}$

$= 25{,}59 \text{ cm}^2$

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

$= 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 2{,}5^2$

$= 4{,}909 \text{ cm}^2$

n_1 butuh $= \frac{As_1}{As_d}$

$= \frac{25{,}590}{4{,}909}$

$= 5{,}21$ buah

n_1 pakai $= 8$ buah

As_1 pakai $= n_1$ pakai $\,.\, As_d$

$= 8 \,.\, 4{,}909$

$= 39{,}27 \text{ cm}^2$

Jarak tulangan $= \frac{\text{b} - 2\,(S_b + d_{sengkang}) - \text{n} \,.\, d_{pokok}}{(\text{n}-1)}$

$= \frac{50 - 2\,(4+1) - 8 \,.\, 2{,}5}{(8-1)}$

$= 2{,}86 \text{ cm} > 2{,}5 \text{ cm}$ (jarak tulangan OK)

$Ts_1 = As_1$ pakai $\,.\,$ fy

$= 39{,}270 \,.\, 4080$

$= 160221{,}23$ kg

$a = \frac{Ts_1 \text{ pakai}}{0{,}85 \,.\, f'c \,.\, b}$

$= \frac{160221{,}23}{0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 50}$

$= 12{,}32$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{12{,}32}{0{,}8357}$

$= 14{,}742$ cm

Cek baja desak,

$\varepsilon_{s'} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{14{,}742 - 6{,}25}{14{,}742}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00173 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$\varepsilon_t = \left(\frac{h^- - c}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{81{,}25 - 14{,}742}{14{,}742}\right) 0{,}003$

$= 0{,}01353 > 0{,}005$ $(\phi = 0{,}9)$

$M_1 = 0{,}85 \text{ . f 'c . a . b } \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \text{ . } 306 \text{ . } 12{,}32 \text{ . } 50 \left(81{,}25 - \frac{12{,}32}{2}\right)$

$= 12031014{,}12$ kg.cm

$M_{n^-} = \frac{M_{u^-}}{\phi}$

$= \frac{206{,}336\ x\ 10^5}{0{,}9}$

$= 22926215{,}13$ kg.cm

$M_2 = M_{n^-} - M_1$

$= 22926215{,}13 - 12031014{,}12$

$= 10895201{,}02$ kg.cm

<u>Tulangan kembar</u>

$Ts_2 = \frac{M_2}{h^- - d'}$

$= \frac{10895201{,}02}{81{,}25 - 6{,}25}$

$= 145269{,}35$ kg

$As_2 = \frac{Ts_2}{fy}$

$= \frac{145269{,}35}{4080}$

$= 35{,}605$ cm^2

n_2 butuh $= \frac{As_2}{As_d}$

$= \frac{35{,}605}{4{,}909}$

$= 7{,}253$ buah

n_2 pakai $= 8$ buah

Jarak tulangan $= \frac{\text{b} - 2\left(S_b + d_{sengkang}\right) - \text{n} \,.\, d_{pokok}}{(\text{n}-1)}$

$= \frac{50 - 2\,(4+1) - 8\,.\,2{,}5}{(8-1)}$

$= 2{,}86\ cm > 2{,}5\ cm$ (jarak tulangan OK)

Hasil akhir,

Tulangan atas dipakai = n_1 pakai + n_2 pakai = 8 + 8 = 16D25

Tulangan bawah dipakai = n_2 pakai = 8D25

$As_t = As_d$. n atas

$= 4{,}909 \,.\, 16$

$= 78{,}54\ \text{cm}^2$

$As' = As_d$. n bawah

$= 4{,}909 \,.\, 8$

$= 39{,}27\ \text{cm}^2$

<u>Momen tersedia negatif</u>

$T_s = C_c + C_s$

As_t . fy $= (0{,}85 \,.\, \text{f 'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b}) + \left(As' \frac{a-(\beta \,.\, d')}{a}\ \varepsilon_{cu} \,.\, E_s\right)$

$78{,}54 \,.\, 4080 = (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, \text{a} \,.\, 50) +$

$\left(39{,}27\ \frac{a-(0{,}8357\,.\,6{,}25)}{a}\ 0{,}003 \,.\, 2{,}04\ x\ 10^6\right)$

a $= 13{,}376$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{13{,}376}{0{,}8357}$

$= 16{,}006$ cm

$\varepsilon_{s'} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{16{,}006 - 6{,}25}{16{,}006}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00183 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$f_{s'} = \varepsilon_{s'} \,.\, E_s$

$= 0{,}00183 \,.\, 2{,}04\, x\, 10^6$

$= 3730{,}22$ kg/cm^2

$M_1 = 0{,}85 \,.\, \text{f 'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b} \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 13{,}376 \,.\, 50 \left(81{,}25 - \frac{13{,}376}{2}\right)$

$= 12970568{,}03$ kg.cm

$M_2 = As' \,.\, f_{s'} \,.\, (h^- - d')$

$= 39{,}27 \,.\, 3730{,}22 \,.\, (81{,}25 - 6{,}25)$

$= 10986408{,}38$ kg.cm

$M_{n^-} = M_1 + M_2$

$= 12970568{,}03 + 10986408{,}38$

$= 23956976{,}42$ kg.cm

$= 239{,}57$ ton.m

$M_{t^-} = \phi \,.\, M_{n^-}$

$= 0{,}9 \,.\, 239{,}57$

$= 215{,}61$ Tm $> M_{u^-}$ (206,336 ton.m) (OK)

<u>Momen tersedia positif</u>

$T_s = C_c + C_s$

$As'.\,\text{fy} = (0{,}85 \,.\, \text{f 'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b}) + \left(As_t \frac{a - (\beta \,.\, d)}{a} \varepsilon_{cu} \,.\, E_s\right)$

$39{,}27 \,.\, 4080 = (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, \text{a} \,.\, 50) +$

$\left(78{,}54 \frac{a - (0{,}8357 \,.\, 8{,}75)}{a} 0{,}003 \,.\, 2{,}04\, x\, 10^6\right)$

$\text{a} = 8{,}22$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{8,22}{0,8357}$

$= 9,84$ cm

$\varepsilon_{s\prime} = \left(\frac{c - d}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{9,84 - 8,75}{9,84}\right) 0,003$

$= 0,00033 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$f_{s\prime} = \varepsilon_{s\prime} . E_s$

$= 0,00033 . 2,04 \; x \; 10^6$

$= 678,245$ kg/cm^2

$M_1 = 0,85 .$ f 'c $. a . b \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$= 0,85 . 306 . 8,22 . 50 \left(83,75 - \frac{8,22}{2}\right)$

$= 8517444,26$ kg.cm

$M_2 = As_t . f_{s\prime} . (h^+ - d)$

$= 78,54 . 678,245 . (83,75 - 8,75)$

$= 3995195,59$ kg.cm

$M_{n^+} = M_1 + M_2$

$= 8517444,26 + 3995195,59$

$= 12512639,86$ kg.cm

$= 125,126$ ton.m

$M_{t^+} = \phi . M_{n^+}$

$= 0,9 . 125,126$

$= 112,614$ ton.m $> M_{u^+}$ (54,882 ton.m) (OK)

<u>Momen kapasitas negatif</u>

$T_s = C_c + C_s$

$As_t .$ fy $. \phi_0 = (0,85 .$ f 'c $. a . b) + (As'.$ fy)

$78,54 . 4080 . 1,25 = (0,85 . 306 . a . 50) + (39,27 . 4080)$

a $= 18{,}48$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{18{,}48}{0{,}8357}$

$= 22{,}11$ cm

$\varepsilon_{s\prime} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{22{,}11 - 6{,}25}{22{,}11}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00215 > \varepsilon_y$ (sudah leleh)

$T_s = C_c + C_s$

As_t . fy . $\phi_0 = (0{,}85$. f 'c . a . b$) + \left(As' \frac{a - (\beta \,.\, d')}{a} \varepsilon_{cu} \,.\, E_s\right)$

$78{,}54$. 4080 . $1{,}25 = (0{,}85$. 306 . a . $50) +$

$\left(39{,}27 \frac{a - (0{,}8357 \,.\, 6{,}25)}{a} 0{,}003 \,.\, 2{,}04\, x\, 10^6\right)$

a $= 17{,}76$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{17{,}76}{0{,}8357}$

$= 21{,}25$ cm

$\varepsilon_{s\prime} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{21{,}25 - 6{,}25}{21{,}25}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00212 > \varepsilon_y$ (sudah leleh)

$f_y = 4080$ kg/cm^2

$M_1 = 0{,}85$. f 'c . a . b $\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85$. 306 . $17{,}76$. $50 \left(81{,}25 - \frac{17{,}76}{2}\right)$

$= 16712003{,}44$ kg.cm

$= 167{,}12$ ton.m

$M_2 = As'$. fy . $(h^- - d')$

$= 39{,}27 \,.\, 4080 \,.\, (81{,}25 - 6{,}25)$

$= 12016591{,}90$ kg.cm

$= 120{,}17$ ton.m

$M_{kap^-} = M_1 + M_2$

$= 167{,}12 + 120{,}17$

$= 287{,}29$ ton.m $> M_{u^-}$ (206,336 ton.m) (OK)

<u>Momen kapasitas positif</u>

$T_s = C_c + C_s$

$As' \,.\, \text{fy} \,.\, \phi_0 = (0{,}85 \,.\, \text{f'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b}) + \left(As_t \frac{a-(\beta \,.\, d)}{a} \, \varepsilon_{cu} \,.\, E_s\right)$

$39{,}27 \,.\, 4080 \,.\, 1{,}25 = (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, \text{a} \,.\, 50) +$

$\left(78{,}54 \frac{a-(0{,}8357 \,.\, 8{,}75)}{a} \, 0{,}003 \,.\, 2{,}04 \, x \, 10^6\right)$

$\text{a} = 8{,}88$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{8{,}88}{0{,}8357}$

$= 10{,}62$ cm

$\varepsilon_{s\prime} = \left(\frac{c-d}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{10{,}62 - 8{,}75}{10{,}62}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00053 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$f_{s\prime} = \varepsilon_{s\prime} \,.\, E_s$

$= 0{,}00053 \,.\, 2{,}04 \, x \, 10^6$

$= 1079{,}76$ kg/cm^2

$M_1 = 0{,}85 \,.\, \text{f'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b} \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 8{,}88 \,.\, 50 \left(83{,}75 - \frac{8{,}88}{2}\right)$

$= 9158141{,}98$ kg.cm

$= 91{,}581$ ton.m

$M_2 = As_t \,.\, f_{s'} \,.\, (h^+ - d)$

$= 78{,}54 \,.\, 1079{,}76 \,.\, (83{,}75 - 8{,}75)$

$= 6360337{,}26$ kg.cm

$= 63{,}603$ ton.m

$M_{kap^+} = M_1 + M_2$

$= 91{,}581 + 63{,}603$

$= 155{,}185$ ton.m $> M_{u^+}$ (54,882 ton.m) (OK)

b. Balok B9 K (Kantilever)

1) Data:

M_{u^-} = 63,108 ton.m

M_{u^+} = 3,997 ton.m

f 'c = 30 Mpa = 306 kg/cm^2

ε_{cu} = 0,003

S_b = 4 cm

fy = 400 Mpa = 4080 kg/cm^2

E_s = 200000 Mpa = 2,04 x 10^6 kg/cm^2

d_{pokok} = 2,5 cm

$d_{sengkang}$ = 1,0 cm

b = 40 cm

h_t = 70 cm

2) Perhitungan:

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

$= 0{,}85 - ((30 - 28)/7) \times 0{,}05$

$= 0{,}8357$

$m = \frac{fy}{0{,}85 \,.\, f'c}$

$= \frac{4080}{0{,}85 \,.\, 306}$

$= 15{,}686$

$\varepsilon_y = \frac{fy}{E_s}$

$= \frac{4080}{2{,}04 \times 10^6}$

$= 0{,}002$

$\rho_b = \frac{\beta}{m} . \frac{\varepsilon cu}{\varepsilon cu + \varepsilon y}$

$= \frac{0{,}8357}{15{,}686} . \frac{0{,}003}{0{,}003 + 0{,}002}$

$= 0{,}03197$

$\rho_m = 0{,}75 . \rho_b$

$= 0{,}75 . 0{,}03197$

$= 0{,}02397$

$R_b = \rho_b . fy . \left(1 - \frac{1}{2} (\rho_b . m)\right)$

$= 0{,}03197 . 4080 . \left(1 - \frac{1}{2} (0{,}03197 . 15{,}686)\right)$

$= 97{,}72 \text{ kg/cm}^2$

$R_m = \rho_m . fy . \left(1 - \frac{1}{2} (\rho_m . m)\right)$

$= 0{,}02397 . 4080 . \left(1 - \frac{1}{2} (0{,}02397 . 15{,}686)\right)$

$= 79{,}42 \text{ kg/cm}^2$

$d = S_b + d_{sengkang} + d_{pokok} + \frac{2{,}5}{2}$

$= 4 + 1 + 4 + \frac{2{,}5}{2}$

$= 8{,}75 \text{ cm}$

$d' = S_b + d_{sengkang} + \frac{d_{pokok}}{2}$

$= 4 + 1 + \frac{2{,}5}{2}$

$= 6{,}25 \text{ cm}$

$h^- = h_t - d$

$= 70 - 8{,}75$

$= 61{,}25 \text{ cm}$

$h^+ = h_t - d'$

$= 70 - 6{,}25$

$= 63{,}75\text{cm}$

Tulangan sebelah

$R_1 = 0{,}25 \cdot R_b$

$= 0{,}25 \cdot 97{,}723$

$= 24{,}43\ \text{kg/cm}^2$

$M_1 = R_1 \cdot b \cdot (h^-)^2$

$= 24{,}43 \cdot 40 \cdot 61{,}25^{\,2}$

$= 3666140{,}18\ \text{kg.cm}$

$M_1 = C_c \cdot (h^- - \frac{a}{2})$

$3666140{,}18 = 0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (61{,}25 - \frac{a}{2})$

$3666140{,}18 = 0{,}85 \cdot 306 \cdot a \cdot 40 \cdot (61{,}25 - \frac{a}{2})$

$3666140{,}18 = 637245\ a - 5202\ a^2$

$a = 6{,}052\ \text{cm}$

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{6{,}052}{0{,}8357}$

$= 7{,}242\ \text{cm}$

Cek baja desak,

$\varepsilon_{s'} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{7{,}242 - 6{,}25}{7{,}242}\right) 0{,}003$

$= 0{,}00041 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$As_1 = \frac{C_c}{f_y}$

$= \frac{0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y}$

$= \frac{0{,}85 \cdot 306 \cdot 6{,}052 \cdot 40}{4080}$

$= 15{,}433\ \text{cm}^2$

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

$= 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 2{,}5^2$

$= 4{,}909 \text{ cm}^2$

n_1 butuh $= \frac{As_1}{As_d}$

$= \frac{15{,}433}{4{,}909}$

$= 3{,}144$ buah

n_1 pakai $= 4$ buah

As_1 pakai $= n_1$ pakai $\,.\, As_d$

$= 4 \,.\, 4{,}909$

$= 19{,}635 \text{ cm}^2$

Jarak tulangan $= \frac{\text{b} - 2\,(S_b + d_{sengkang}) - \text{n} \,.\, d_{pokok}}{(\text{n}-1)}$

$= \frac{40 - 2\,(4+1) - 4 \,.\, 2{,}5}{(4-1)}$

$= 6{,}67 \text{ cm} > 2{,}5 \text{ cm}$ (jarak tulangan OK)

$Ts_1 = As_1$ pakai . fy

$= 19{,}635 \,.\, 4080$

$= 80110{,}61$ kg

$a = \frac{Ts_1 \text{ pakai}}{0{,}85 \,.\, f'c \,.\, b}$

$= \frac{80110{,}61}{0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 40}$

$= 7{,}70$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{7{,}70}{0{,}8357}$

$= 9{,}214$ cm

Cek baja desak,

$\varepsilon_{s'} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{9{,}214 - 6{,}25}{9{,}214}\right)\ 0{,}003$

$= 0{,}00096 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$\varepsilon_t = \left(\frac{h^- - c}{c}\right)\ \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{61{,}25 - 9{,}214}{9{,}214}\right)\ 0{,}003$

$= 0{,}01694 > 0{,}005\ (\phi = 0{,}9)$

$M_1 = 0{,}85\ .\ \text{f 'c}\ .\ \text{a}\ .\ \text{b}\left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85\ .\ 306\ .\ 7{,}70\ \ .40\left(61{,}25 - \frac{7{,}70}{2}\right)$

$= 4598349{,}89$ kg.cm

$M_{n^-} = \frac{M_{u^-}}{\phi}$

$= \frac{63{,}108\ x\ 10^5}{0{,}9}$

$= 7012053{,}33$ kg.cm

$M_2 = M_{n^-} - M_1$

$= 7012053{,}33 - 4598349{,}89$

$= 2413703{,}45$ kg.cm

<u>Tulangan kembar</u>

$Ts_2 = \frac{M_2}{h^- - d'}$

$= \frac{2413703{,}45}{61{,}25 - 6{,}25}$

$= 43885{,}517$ kg

$As_2 = \frac{Ts_2}{fy}$

$= \frac{43885{,}517}{4080}$

$= 10{,}756\ \text{cm}^2$

n_2 butuh $= \frac{As_2}{As_d}$

$= \frac{10{,}756}{4{,}909}$

$= 2{,}191$ buah

n_2 pakai $= 3$ buah

Jarak tulangan $= \frac{\text{b} - 2\left(S_b + d_{sengkang}\right) - \text{n} \,.\, d_{pokok}}{(\text{n}-1)}$

$= \frac{40 - 2\,(4+1) - 3\,.\,2{,}5}{(3-1)}$

$= 11{,}25\ cm > 2{,}5\ cm$ (jarak tulangan OK)

Hasil akhir,

Tulangan atas dipakai $= n_1$ pakai $+ n_2$ pakai $= 4 + 3 = 7\text{D}25$

Tulangan bawah dipakai $= n_2$ pakai $= 3\text{D}25$

$As_t = As_d$. n atas

$= 4{,}909 \,.\, 7$

$= 34{,}36\ \text{cm}^2$

$As' = As_d$. n bawah

$= 4{,}909 \,.\, 3$

$= 14{,}73\ \text{cm}^2$

<u>Momen tersedia negatif</u>

$T_s = C_c + C_s$

As_t . fy $= (0{,}85 \,.\, \text{f 'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b}) + \left(As' \frac{a-(\beta \,.\, d')}{a}\ \varepsilon_{cu} \,.\, E_s\right)$

$34{,}36 \,.\, 4080 = (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, \text{a} \,.\, 40) +$

$\left(14{,}73\ \frac{a-(0{,}8357\ .\ 6{,}25)}{a}\ 0{,}003 \,.\, 2{,}04\ x\ 10^6\right)$

a $= 9{,}550$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{9{,}550}{0{,}8357}$

$= 11{,}428$ cm

$\varepsilon_{s'} = \left(\frac{c - d'}{c}\right)\ \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{11{,}428 - 6{,}25}{11{,}428}\right)\ 0{,}003$

$= 0{,}00136 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$f_{s\prime}$ $= \varepsilon_{s\prime} \,.\, E_s$

$= 0{,}00136 \,.\, 2{,}04\ x\ 10^6$

$= 2772{,}83$ kg/cm^2

M_1 $= 0{,}85 \,.\, \text{f 'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b} \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 9{,}55 \,.\, 40 \left(61{,}25 - \frac{9{,}55}{2}\right)$

$= 5611358{,}08$ kg.cm

M_2 $= As' \,.\, f_{s\prime} \,.\, (h^- - d')$

$= 14{,}73 \,.\, 2772{,}83 \,.\, (61{,}25 - 6{,}25)$

$= 2245835{,}11$ kg.cm

M_n^- $= M_1 + M_2$

$= 5611358{,}08 + 2245835{,}11$

$= 7857193{,}19$ kg.cm

$= 78{,}572$ ton.m

M_t^- $= \phi \,.\, M_n^-$

$= 0{,}9 \,.\, 78{,}572$

$= 70{,}71$ Tm $> M_u^-$ (63,108 ton.m) (OK)

<u>Momen tersedia positif</u>

$T_s = C_c + C_s$

As'. fy $= (0{,}85 \,.\, \text{f 'c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b}) + \left(As_t \frac{a-(\beta \,.\, d)}{a}\ \varepsilon_{cu} \,.\, E_s\right)$

$14{,}73 \,.\, 4080$ $= (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, \text{a} \,.\, 40) +$

$\left(34{,}36 \frac{a-(0{,}8357 \,.\, 8{,}75)}{a}\ 0{,}003 \,.\, 2{,}04\ x\ 10^6\right)$

a $= 6{,}92$ cm

c $= \frac{a}{\beta}$

$= \frac{6{,}92}{0{,}8357}$

$= 8{,}28$ cm

$\varepsilon_{s\prime}$ $= \left(\frac{c-d}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{8{,}28 - 8{,}75}{8{,}28}\right)$ 0,003

$=$ -0,00017 $< \varepsilon_y$ (belum leleh)

$f_{s\prime}$ $= \varepsilon_{s\prime} \,.\, E_s$

$=$ -0,00017 . 2,04 x 10^6

$=$ -346,797 kg/cm^2

M_1 $=$ 0,85 . f ‘c . a . b $\left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 6{,}92 \,.\, 40 \left(63{,}75 - \frac{6{,}92}{2}\right)$

$=$ 4340826,42 kg.cm

M_2 $= As_t \,.\, f_{s\prime} \,.\, (h^+ - d)$

$= 34{,}36 \,.\, (-346{,}797) \,.\, (63{,}75 - 8{,}75)$

$=$ -655399,84 kg.cm

$M_{n^+} = M_1 + M_2$

$=$ 4340826,42 + (-655399,84)

$=$ 3685426,581 kg.cm

$=$ 36,85 ton.m

$M_{t^+} = \phi \,.\, M_{n^+}$

$= 0{,}9 \,.\, 36{,}85$

$=$ 33,169 ton.m $> M_{u^+}$ (3,997 ton.m) (OK)

<u>Momen kapasitas negatif</u>

$T_s = C_c + C_s$

As_t . fy . ϕ_0 $= (0{,}85 \,.\, \text{f ‘c} \,.\, \text{a} \,.\, \text{b}) + (As' \,.\, \text{fy})$

34,36 . 4080 . 1,25 $= (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, \text{a} \,.\, 40) + (14{,}73 \,.\, 4080)$

a $=$ 11,07 cm

c $= \frac{a}{\beta}$

$= \frac{11{,}07}{0{,}8357}$

$=$ 13,24 cm

$\varepsilon_{s\prime}$ $= \left(\frac{c- d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{13{,}24 - 6{,}25}{13{,}24}\right)$ 0,003

$= 0{,}00158 > \varepsilon_y$ (sudah leleh)

$T_s = C_c + C_s$

As_t . fy . ϕ_0 $= (0{,}85 \text{ . f 'c . a . b}) + \left(As' \frac{a-(\beta \text{ . } d')}{a} \varepsilon_{cu} \text{ . } E_s\right)$

34,36 . 4080 . 1,25 $= (0{,}85 \text{ . } 306 \text{ . a . } 40) +$

$\left(14{,}73 \frac{a-(0{,}8357 \text{ . } 6{,}25)}{a} 0{,}003 \text{ . } 2{,}04 \, x \, 10^6\right)$

a $= 11{,}96$ cm

c $= \frac{a}{\beta}$

$= \frac{11{,}96}{0{,}8357}$

$= 14{,}32$ cm

$\varepsilon_{s\prime}$ $= \left(\frac{c- d'}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{14{,}32 - 6{,}25}{14{,}32}\right)$ 0,003

$= 0{,}00169 > \varepsilon_y$ (sudah leleh)

f_y $= 4080$ kg/cm^2

M_1 $= 0{,}85 \text{ . f 'c . a . b} \left(h^- - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \text{ . } 306 \text{ . } 11{,}96 \text{ . } 40 \left(61{,}25 - \frac{11{,}96}{2}\right)$

$= 6879038{,}731$ kg.cm

$= 68{,}79$ ton.m

M_2 $= As' \text{. fy . } (h^- - d')$

$= 14{,}73 \text{ . } 4080 \text{ . } (61{,}25 - 6{,}25)$

$= 2792670{,}00$ kg.cm

$= 27{,}92$ ton.m

M_{kap^-} $= M_1 + M_2$

$= 68{,}79 + 27{,}92$

$= 96{,}72$ ton.m $> M_{u^-}$ (63,108 ton.m) (OK)

<u>Momen kapasitas positif</u>

$T_s = C_c + C_s$

As' . fy . ϕ_0 $= (0{,}85 \text{ . f 'c . a . b}) + \left(As_t \frac{a-(\beta \text{ . } d)}{a} \varepsilon_{cu} \text{ . } E_s\right)$

$14{,}73 \text{ . } 4080 \text{ . } 1{,}25$ $= (0{,}85 \text{ . } 306 \text{ . a . } 40) +$

$\left(34{,}36 \frac{a-(0{,}8357 \text{ . } 8{,}75)}{a} \; 0{,}003 \text{ . } 2{,}04 \; x \; 10^6\right)$

a $= 7{,}29$ cm

$c = \frac{a}{\beta}$

$= \frac{7{,}29}{0{,}8357}$

$= 8{,}72$ cm

$\varepsilon_{s\prime} = \left(\frac{c-d}{c}\right) \varepsilon_{cu}$

$= \left(\frac{8{,}72 - 8{,}75}{8{,}72}\right) 0{,}003$

$= -0{,}00001 < \varepsilon_y$ (belum leleh)

$f_{s\prime} = \varepsilon_{s\prime} \text{ . } E_s$

$= -0{,}00001 \text{ . } 2{,}04 \; x \; 10^6$

$= -20{,}87$ kg/cm^2

$M_1 = 0{,}85 \text{ . f 'c . a . b} \left(h^+ - \frac{a}{2}\right)$

$= 0{,}85 \text{ . } 306 \text{ . } 7{,}29 \text{ . } 40 \left(63{,}75 - \frac{7{,}29}{2}\right)$

$= 4557293{,}70$ kg.cm

$= 45{,}57$ ton.m

$M_2 = As_t \text{ . } f_{s\prime} \text{ . } (h^+ - d)$

$= 34{,}36 \text{ . } -20{,}87 \text{ . } (63{,}75 - 8{,}75)$

$= -39436{,}39$ kg.cm

$= -0{,}394$ ton.m

$M_{kap^+} = M_1 + M_2$

$= 45{,}57 + (-0{,}394)$

$= 45{,}179$ ton.m $> M_{u^+}$ (3,997 ton.m) (OK)

Pada balok kantilever, momen yang dominan adalah momen negatif, baik di daerah lapangan maupun tumpuan, maka dari itu tulangan di daerah lapangan menggunakan tulangan yang sama dengan daerah tumpuan.

3) Rekapitulasi

Berikut merupakan tabel rekapitulasi kebutuhan tulangan lentur balok pada peta gempa 2010.

Tabel 5.32 Kebutuhan Tulangan Lentur Balok pada Peta Gempa 2010

Balok	Tulangan Lentur			
	Tumpuan		Lapangan	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	16 D25	8 D25	3 D25	8 D25
B2	12 D25	5 D25	3 D25	6 D25
B3	13 D19	6 D19	4 D19	7 D19
B4	10 D22	4 D22	2 D22	6 D22
B5	9 D22	4 D22	2 D22	5 D22
B6	7 D22	3 D22	2 D22	4 D22
B7	5 D22	2 D22	2 D22	4 D22
B7 K	10 D25	4 D25	10 D25	4 D25
B8	8 D25	6 D25	3 D25	5 D25
B9 K	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25
B10	7 D16	3 D16	2 D16	4 D16
B11	4 D19	2 D19	2 D19	4 D19
B12	6 D22	4 D22	2 D22	4 D22
B13 K	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19
B14 K	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19
B15 K	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25
B16 K	6 D19	4 D19	6 D19	4 D19
B17 K	8 D25	4 D25	8 D25	4 D25
B18	7 D22	4 D22	3 D22	5 D22
B19 K	5 D13	2 D13	5 D13	2 D13

2. Tulangan geser balok

   Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan geser balok B1 pada peta gempa 2010.

   a. Data:

   M_{kap^-} = 287,286 ton.m

   M_{kap^+} = 155,185 ton.m

   f ‘c = 30 Mpa = 306 kg/cm^2

   fy = 400 Mpa = 4080 kg/cm^2

   L_{netto} = 12,10 m

   d_{pokok} = 2,5 cm

   $d_{sengkang}$ = 1,0 cm

   ϕ = 0,75

   b = 50 cm

   h_t = 90 cm

   b. Perhitungan:

   $V_e = \frac{M_{kap^+}}{L_{netto}} + \frac{M_{kap^-}}{L_{netto}}$

   $= \frac{155,185}{12,10} + \frac{287,286}{12,10}$

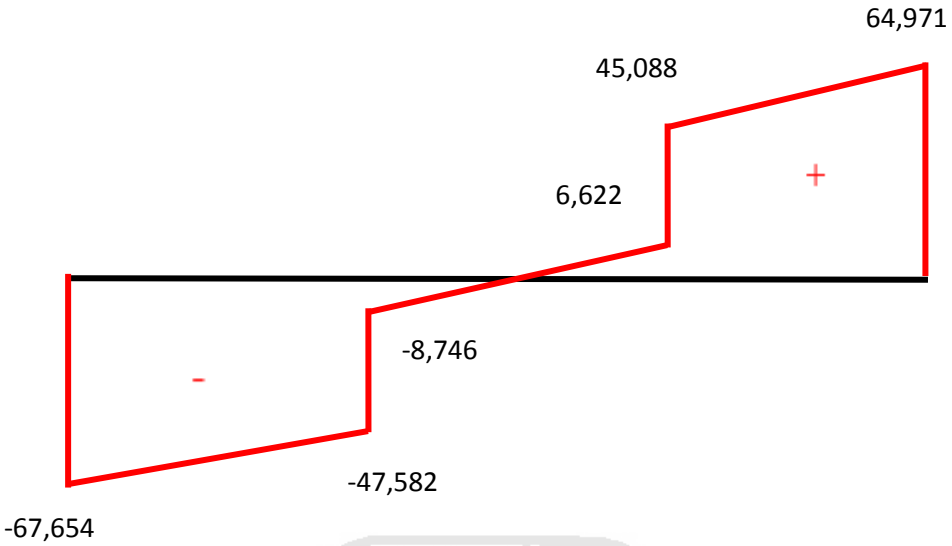
   = 36,568 ton.m

   $V_c = \frac{1}{6} . \sqrt{\text{f ‘c}} . \text{b} . h_t$

   $= \frac{1}{6} . \sqrt{306} . 50 . 90$

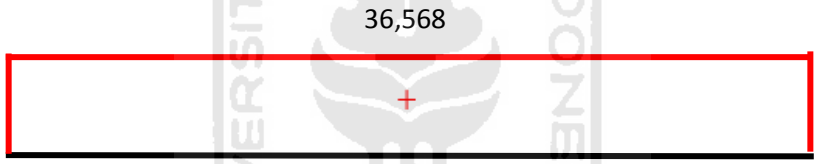
   = 11,844 ton.m

   SFD akibat beban gravitasi (1,2D + L), dalam ton.m



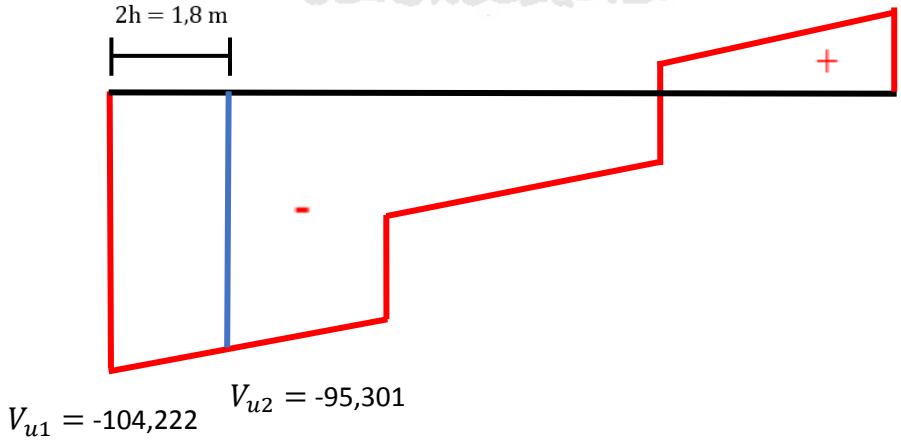
Gambar 5.21 SFD Akibat Beban Gravitasi

SFD akibat beban gempa, dalam ton.m



Gambar 5.22 SFD Akibat Beban Gempa

SFD akibat beban kombinasi, dalam ton.m



Gambar 5.23 SFD Akibat Beban Kombinasi

Cek apakah nilai V_c boleh diambil = 0

- V_e > 0,5 V_u

  36,568 ton.m $<$ 0,5 . 104,222 $=$ 52,111 ton.m (Tidak OK)

- P aksial terfaktor $<$ A_g . f ‘c / 20

  2,365 ton $<$ 68,85 ton (OK)

Karena syarat pertama tidak terpenuhi, maka $V_c \neq 0$

1) Daerah sendi plastis

V_{s1} $= \frac{V_{u1}}{\phi} - V_c$

$= \frac{104,222}{0,75} - 11,844$

$= 127,118$ ton.m

A_v $= \frac{1}{4} . \pi . d_{sengkang}^{\ 2}$

$= \frac{1}{4} . \pi . 1^2$

$= 0,785$ cm^2

n kaki $= 5$

$S_{perlu} = \frac{n . A_v . \text{fy} . d}{V_{s1}}$

$= \frac{5 . 0,785 . 4080/1000 . 81,25}{127,118}$

$= 10,241$ cm

$= 102,41$ mm

$S_{pakai} = 100$ mm

Cek syarat:

$S_{\min 1} = \text{d}/4$

$= 81,25/4$

$= 20,31$ cm

$= 203,1$ mm

$S_{\min 2} = 8 . d_{pokok}$

$= 8 . 2,5$

$= 20$ cm

$= 200$ mm

$S_{\min 3} = 24 \,.\, d_{sengkang}$

$= 24 \,.\, 1$

$= 24$ cm

$= 240$ mm

$S_{\min 4} = 300$ mm

$S_{pakai} = 100$ mm $< S_{\min \text{pakai}} = 200$ mm (OK)

Maka digunakan sengkang 5 D10-100 pada daerah sendi plastis.

2) Daerah luar sendi plastis

$V_{s2} = \frac{V_{u2}}{\phi} - V_c$

$= \frac{95{,}301}{0{,}75} - 11{,}844$

$= 115{,}224$ ton

n kaki $= 3$

$S_{perlu} = \frac{3 \,.\, A_v \,.\, \text{fy} \,.\, d}{V_{s2}}$

$= \frac{3 \,.\, 0{,}785 \,.\, 4080/1000 \,.\, 81{,}25}{115{,}224}$

$= 6{,}779$ cm

$= 67{,}79$ mm

$S_{pakai} = 65$ mm

Cek syarat:

$S_{\min 1} = \text{d}/2$

$= 81{,}25/2$

$= 40{,}625$ cm

$= 406{,}25$ mm

$S_{\min 2} = 600$ mm

$S_{pakai} = 65$ mm $< S_{\min \text{pakai}} = 406{,}25$ mm (OK)

Maka digunakan sengkang 3 D10 $-$ 65 pada daerah luar sendi plastis.

c. Rekapitulasi

Berikut merupakan tabel rekapitulasi kebutuhan tulangan geser balok pada peta gempa 2010.

Tabel 5.33 Kebutuhan Tulangan Geser Balok pada Peta Gempa 2010

Balok	Tulangan Geser	
	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
B1	5 D10-100 mm	3 D10-65 mm
B2	4 D10-90 mm	3 D10-80 mm
B3	3 D10-90 mm	3 D10-140 mm
B4	3 D10-80 mm	2 D10-90 mm
B5	3 D10-80 mm	2 D10-90 mm
B6	3 D10-140 mm	2 D10-90 mm
B7	2 D10-50 mm	2 D10-60 mm
B7 K	4 D10-55 mm	4 D10-70 mm
B8	4 D10-100 mm	3 D10-120 mm
B9 K	3 D10-60 mm	3 D10-70 mm
B10	3 D10-60 mm	2 D10-50 mm
B11	2 D10-55 mm	2 D10-75 mm
B12	3 D10-100 mm	2 D10-90 mm
B13 K	3 D10-70 mm	3 D10-90 mm
B14 K	3 D10-90 mm	3 D10-150 mm
B15 K	3 D10-55 mm	3 D10-90 mm
B16 K	4 D10-120 mm	4 D10-200 mm
B17 K	4 D10-60 mm	4 D10-90 mm
B18	3 D10-80 mm	3 D10-120 mm
B19 K	2 D10-90 mm	2 D10-150 mm

3. Tulangan utama kolom

Berikut merupakan contoh perhitungan pembuatan diagram M_n-P_n yang digunakan untuk menentukan jumlah tulangan pada kolom. Perhitungan berikut merupakan perhitungan kolom K1 lantai *basement* (Tingkat 1) dengan menggunakan peta gempa 2010.

a. Data

M_u $= 83{,}585$ ton.m

P_u $= 949{,}128$ ton

f 'c $= 30$ Mpa $= 306$ kg/cm^2

β $= 0{,}8357$

ε_{cu} $= 0{,}003$

S_b $= 4$ cm

fy $= 400$ Mpa $= 4080$ kg/cm^2

E_s $= 200000$ Mpa $= 2{,}04 \times 10^6$ kg/cm^2

d_{pokok} $= 2{,}2$ cm

$d_{sengkang}$ $= 1{,}0$ cm

b $= 80$ cm

h_t $= 80$ cm

ε_y $= \frac{fy}{E_s} = \frac{4080}{2{,}04 \times 10^6} = 0{,}002$

$d_s = d'$ $= S_b + d_{sengkang} + \frac{d_{pokok}}{2}$

$= 4 + 1 + \frac{2{,}2}{2}$

$= 6{,}1$ cm

d $= h_t - d_s = 80 - 6{,}1 = 73{,}9$ cm

n tulangan $= 10$/sisi

$A_s = A_{s'}$ $= \text{n} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{pokok}^{\,2}$

$= 9 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2{,}2^2$

$= 38{,}01$ cm^2

b. Perhitungan

1) Kondisi *balance*

C_b $= \frac{\varepsilon_{cu} \cdot d}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y}$

$= \frac{0{,}003 \cdot 73{,}9}{0{,}003 + 0{,}002}$

$= 44{,}34$ cm

a $= \beta \cdot C_b$

$= 0{,}8357 \cdot 44{,}34$

$= 37{,}056$ cm

$C_c = 0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$

$= (0{,}85 \cdot 306 \cdot 37{,}056 \cdot 80)/1000$

$= 771{,}052$ ton

$C_s = A_{s'}\ (\text{fy} - 0{,}85 \cdot f'c)$

$= (38{,}01\ (4080 - 0{,}85 \cdot 306))/1000$

$= 145{,}207$ ton

$T_s = A_s \cdot \text{fy}$

$= (38{,}01 \cdot 4080)/1000$

$= 155{,}094$ ton

$\phi = 0{,}65$ (sengkang persegi)

$P_n = C_c + C_s - T_s$

$= 771{,}052 + 145{,}207 - 155{,}094$

$= 761{,}165$ ton

$\phi P_n = 0{,}65 \cdot 761{,}165$

$= 494{,}757$ ton

$M_n = C_c \left(\frac{1}{2} H_t - \frac{1}{2} a\right) + C_s \left(\frac{1}{2} H_t - d'\right) + T_s \left(\frac{1}{2} H_t - d_s\right)$

$= 771{,}052 \left(\frac{80}{2} - \frac{37{,}056}{2}\right) + 145{,}207 \left(\frac{80}{2} - 6{,}1\right) + 155{,}094 \left(\frac{80}{2} - 6{,}1\right)$

$= 267{,}364$ ton.m

$\phi M_n = 0{,}65 \cdot 267{,}364$

$= 173{,}787$ ton.m

2) Kondisi patah desak (C > C_b)

C $= 1{,}6\ C_b$

$= 1{,}6 \cdot 44{,}34$

$= 70{,}944$ cm

a $= \beta \cdot C$

$= 0{,}8357 \cdot 70{,}944$

$= 59{,}289$ cm

$\varepsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \varepsilon_c$

$= \frac{70{,}944 - 6{,}1}{70{,}944} 0{,}003$

$= 0{,}002742 > \varepsilon_y = 0{,}002$

Baja desak sudah leleh, maka perhitungan C_s menggunakan fy

$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \varepsilon_c$

$= \frac{73{,}9 - 70{,}944}{70{,}944} 0{,}003$

$= 0{,}000125 < \varepsilon_y = 0{,}002$

Baja tarik belum leleh perhitungan T_s menggunakan f_s

$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s$

$= 0{,}000125 \cdot 2{,}04 \times 10^6$

$= 255$ kg/cm^2

$C_c = 0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$

$= (0{,}85 \cdot 306 \cdot 59{,}289 \cdot 80)/1000$

$= 1233{,}684$ ton

$C_s = A_{s'}$ (fy $- 0{,}85 \cdot f'c$)

$= (38{,}01\ (4080 - 0{,}85 \cdot 306))/1000$

$= 145{,}207$ ton

$T_s = A_s \cdot f_s$

$= (38{,}01 \cdot 255)/1000$

$= 9{,}693$ ton

$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \varepsilon_c$

$= \frac{73{,}9 - 70{,}944}{70{,}944} 0{,}003$

$= 0{,}000125 < 0{,}002$ maka $\phi = 0{,}65$ (sengkang persegi)

$P_n = C_c + C_s - T_s$

$= 1233{,}684 + 145{,}207 - 9{,}693$

$= 1369{,}197$ ton

$\phi P_n = 0{,}65 \,.\, 1369{,}197$

$= 889{,}978$ ton

$M_n = C_c \left(\frac{1}{2} H_t - \frac{1}{2}\, a\right) + C_s \left(\frac{1}{2} H_t - d'\right) + T_s \left(\frac{1}{2} H_t - d_s\right)$

$= 1233{,}684 \left(\frac{80}{2} - \frac{59{,}289}{2}\right) + 145{,}207 \left(\frac{80}{2} - 6{,}1\right) + 9{,}693 \left(\frac{80}{2} - 6{,}1\right)$

$= 180{,}266$ ton.m

$\phi M_n = 0{,}65 \,.\, 180{,}266$

$= 117{,}173$ ton.m

3) Kondisi patah tarik (C < C_b)

C $= 0{,}9\, C_b$

$= 0{,}9 \,.\, 44{,}34$

$= 39{,}906$ cm

a $= \beta \,.\, C$

$= 0{,}8357 \,.\, 39{,}906$

$= 33{,}350$ cm

$\varepsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c}\, \varepsilon_c$

$= \frac{39{,}906 - 6{,}1}{39{,}906}\, 0{,}003$

$= 0{,}002541 > \varepsilon_y = 0{,}002$

Baja desak sudah leleh, maka perhitungan C_s menggunakan fy

$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c}\, \varepsilon_c$

$= \frac{73{,}90 - 39{,}906}{39{,}906}\, 0{,}003$

$= 0{,}002556 > \varepsilon_y = 0{,}002$

Baja tarik sudah leleh perhitungan T_s menggunakan fy

C_c $= 0{,}85 \,.\, f'c \,.\, a \,.\, b$

$= (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 33{,}350 \,.\, 80)/1000$

$= 693{,}947$ ton

C_s $= A_s\ (\text{fy} - 0{,}85 \,.\, f'c)$

$= (38{,}01\ (4080 - 0{,}85 \,.\, 306))/1000$

$= 145{,}207$ ton

T_s $= A_s \,.\, \text{fy}$

$= 38{,}01 \,.\, 4080$

$= 155{,}094$ ton

ε_t $= \frac{d - c}{c}\, \varepsilon_c$

$= \frac{73{,}9 - 39{,}906}{39{,}906}\, 0{,}003$

$= 0{,}002556 > 0{,}002$ tetapi $< 0{,}005$

maka ϕ $= 0{,}65 + \left[\frac{250}{3}\ (\varepsilon_t - 0{,}002)\right]$

$= 0{,}65 + \left[\frac{250}{3}\ (0{,}002556 - 0{,}002)\right]$

$= 0{,}696$

P_n $= C_c + C_s - T_s$

$= 693{,}947 + 145{,}207 - 155{,}094$

$= 684{,}060$ ton

ϕP_n $= 0{,}696 \,.\, 684{,}060$

$= 476{,}308$ ton

M_n $= C_c \left(\frac{1}{2} H_t - \frac{1}{2}\ a\right) + C_s \left(\frac{1}{2} H_t - d'\right) + T_s \left(\frac{1}{2} H_t - d_s\right)$

$= 693{,}947\ \left(\frac{80}{2} - \frac{33{,}350}{2}\right) + 145{,}207\ \left(\frac{80}{2} - 6{,}1\right) + 155{,}094$

$\left(\frac{80}{2} - 6{,}1\right)$

$= 26366516{,}36$ kg.cm

$= 263{,}665$ ton.m

ϕM_n $= 0{,}696 \,.\, 263{,}665$

$= 183{,}589$ ton.m

4) Kondisi desak sentris

$a = h_t = 80$ cm

C_c $= 0{,}85 \,.\, f'c \,.\, a \,.\, b$

$= (0{,}85 \,.\, 306 \,.\, 80 \,.\, 80)/1000$

$= 1664{,}64$ ton

C_{s1} $= A_s$ (fy $- 0{,}85\, f'c$)

$= (38{,}01\ (4080 - 0{,}85 \,.\, 306))/1000$

$= 145{,}207$ ton

C_{s2} $= A_{s'}$ (fy $- 0{,}85\, f'c$)

$= (38{,}01\ (4080 - 0{,}85 \,.\, 306))/1000$

$= 145{,}207$ ton

ϕ $= 0{,}65$

M_n $= 0$

P_n $= C_c + C_{s1} + C_{s2}$

$= 1664{,}64 + 145{,}207 + 145{,}207$

$= 1955{,}054$ ton

ϕP_n $= 0{,}65 \,.\, 1955{,}054$

$= 1270{,}785$ ton

5) Kondisi lentur murni

$(0{,}85 \,.\, f'c \,.\, b)a^2 + [(A_{s'} . \varepsilon_{cu} \,.\, E_s) - (A_s . fy)]\text{a} - A_{s'} . d' . E_s . \varepsilon_{cu} . \beta = 0$

$20808\ a^2 + 77547{,}07\ \text{a} - 1185971{,}70 = 0$

$\text{a} = 5{,}913$ cm

c $= \frac{a}{\beta}$

$= \frac{5{,}913}{0{,}8357}$

$= 7{,}075$ cm

$\varepsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \varepsilon_c$

$= \frac{7{,}075 - 6{,}1}{7{,}075} 0{,}003$

$= 0{,}00041345 < \varepsilon_y = 0{,}002$

Baja desak belum leleh, maka perhitungan T_s menggunakan $f_{s'}$

$f_{s'} = \varepsilon_{s'} . E_s$

$= 0{,}00041345 . 2{,}04 \text{ x } 10^6$

$= 843{,}442 \text{ kg/cm}^2$

$T_s = A_s . f_{s'}$

$= (38{,}01 . 843{,}442)/1000$

$= 32{,}062 \text{ ton}$

$C_c = 0{,}85 . f'c . a . b$

$= (0{,}85 . 306 . 5{,}913 . 80)/1000$

$= 123{,}032 \text{ ton}$

$\phi = 0{,}90$

$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) + T_s (h_t - d')$

$= 123{,}032 \left(73{,}9 - \frac{5{,}913}{2}\right) + 32{,}062 (73{,}9 - 6{,}1)$

$= 10902151{,}09 \text{ kg.cm}$

$= 109{,}022 \text{ ton.m}$

$\phi M_n = 0{,}9 . 109{,}022$

$= 98{,}119 \text{ ton.m}$

$P_n = 0$

6) Kondisi tarik sentris

$M_n = 0$

$P_n = -(A_s . \text{fy} + A_{s'} . \text{fy})$

$= -(38{,}01 . 4080 + 38{,}01 . 4080)$

$= -310188{,}292 \text{ kg.cm}$

$= -310{,}188 \text{ ton}$

$\phi \quad = 0{,}65$

$\phi P_n \quad = 0{,}65 \,.\, (-310{,}188)$

$\quad = -201{,}622$ ton

7) Rekapitulasi nilai ϕM_n dan ϕP_n

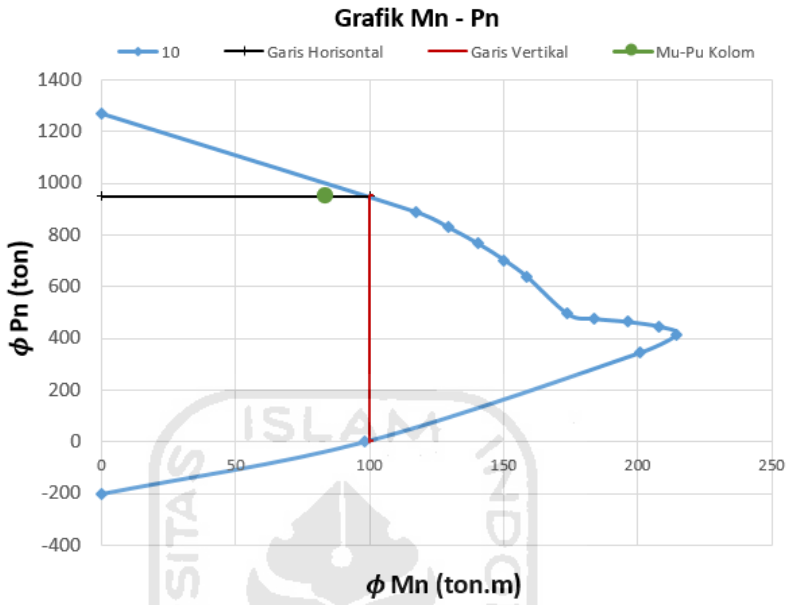
Berikut merupakan tabel rekapitulasi nilai ϕM_n dan ϕP_n dari perhitungan di atas. Tabel dibawah merupakan perhitungan untuk jumlah tulangan 10 buah per-sisi. Selain jumlah tulangan tersebut akan dihitung untuk jumlah tulangan lain yaitu 12 dan 14 buah per sisi.

Tabel 5.34 Nilai ϕM_n dan ϕP_n Kolom K1 Tingkat 1 untuk Jumlah Tulangan 10 Buah per-sisi

Rekap		10	
		ϕMn (ton.m)	ϕPn (ton)
Beban Sentris		0	1270,785
Patah Desak	C = 1,6 cb	117,173	889,978
	C = 1,5 cb	129,471	829,359
	C = 1,4 cb	140,421	767,239
	C = 1,3 cb	150,140	703,273
	C = 1,2 cb	158,784	636,999
Balance	C = Cb	173,787	494,757
Patah Tarik	C = 0,9 cb	183,589	476,308
	C = 0,8 cb	196,183	464,471
	C = 0,7 cb	207,739	446,407
	C = 0,6 cb	214,604	415,496
	C = 0,5 cb	200,989	346,101
Lentur Murni		98,119	0,000
Tarik Sentris		0,000	-201,622

8) Grafik ϕM_n dan ϕP_n

Berikut merupakan grafik ϕM_n dan ϕP_n dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 5.24 Grafik ϕM_n dan ϕP_n Kolom K1 Tingkat 1

Berdasarkan grafik diatas maka untuk kolom K1 Tingkat 1 digunakan 10 buah tulangan per-sisi (36 D22) dengan nilai $\phi M_n = 99$ ton.m $\geq M_u = 83{,}585$ ton.m dan nilai $\phi P_n = 949{,}128$ ton $\geq P_u = 949{,}128$ ton.

Contoh perhitungan pemeriksaan *Strong Column Weak Beam* (SCWB) Kolom K1 Tingkat 1 pada peta gempa 2010:

ϕM_n kolom tingkat 2 $= 131$ ton.m

ϕM_n kolom tingkat 1 $= 99$ ton.m

$\boldsymbol{\Sigma}\ \phi M_n$ c $= 136 + 99 = 230$ ton.m

ϕM_n- balok B2 $= 162{,}59$ ton.m

ϕM_{n^+} balok B7K $= 28{,}733$ ton.m

$1{,}2\ \boldsymbol{\Sigma}\ \phi M_n$ g $= 1{,}2\ (162{,}59 + 28{,}73) = 229{,}59$ ton.m

$\boldsymbol{\Sigma}\ \phi M_n$ c $= 230$ ton.m $> 1{,}2\ \boldsymbol{\Sigma}\ \phi M_n$ g $= 229{,}59$ ton.m (OK)

c. Rekapitulasi

Berikut merupakan tabel rekapitulasi kebutuhan tulangan utama kolom pada peta gempa 2010.

Tabel 5.35 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K1 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	32 D22	2,48	-
6	700	700	32 D22	2,48	OK
5	700	700	32 D22	2,48	OK
4	700	700	32 D22	2,48	OK
3	800	800	32 D22	1,90	OK
2	800	800	32 D22	1,90	OK
1	800	800	36 D22	2,14	OK

Tabel 5.36 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K2 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	20 D19	1,16	-
6	700	700	20 D19	1,16	OK
5	700	700	20 D19	1,16	OK
4	700	700	20 D19	1,16	OK
3	700	700	20 D19	1,16	OK
2	700	700	20 D19	1,16	OK
1	700	700	20 D19	1,16	OK

Tabel 5.37 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K3 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	32 D25	3,21	-
6	700	700	40 D25	4,01	OK
5	700	700	44 D25	4,41	OK
4	700	700	48 D25	4,81	OK
3	800	800	48 D25	3,68	OK
2	800	800	48 D25	3,68	OK
1	800	800	52 D25	3,99	OK

Tabel 5.38 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K4 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	40 D22	3,10	-
6	700	700	40 D22	3,10	OK
5	700	700	40 D22	3,10	OK
4	700	700	40 D22	3,10	OK
3	800	800	40 D22	2,38	OK
2	800	800	40 D22	2,38	OK
1	800	800	40 D22	2,38	OK

Tabel 5.39 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K5 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)	Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	d			
7	700	24 D25	3,06	-
6	700	24 D25	3,06	OK
5	700	24 D25	3,06	OK
4	700	24 D25	3,06	OK
3	700	24 D25	3,06	OK
2	700	24 D25	3,06	OK
1	700	28 D25	3,57	OK

Tabel 5.40 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K6 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
2	500	500	24 D19	2,72	-
1	500	500	24 D19	2,72	OK

Tabel 5.41 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K7 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
1	400	400	16 D19	2,84	-

4. Tulangan sengkang kolom

   Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan sengkang kolom K1 Semi *Basement* (Tingkat 2) dengan menggunakan peta gempa 2010.

   a. Data

f ‘c	= 30 Mpa
fy	= 400 Mpa
E_s	= 200000 Mpa
b kolom	= 800 mm
h kolom	= 800 mm
h balok atas	= 900 mm
h balok bawah	= 900 mm
L kolom	= 4900 mm
P_u desain	= 792,71 ton
	= 7776,51 kN
V_u (1,2D + L)	= 16,43 ton
	= 161,21 kN
N_u	= 280,27 ton
	= 2749,48 kN
$\boldsymbol{\phi}$	= 0,75
d_{pokok}	= 22 mm
$d_{sengkang}$	= 10 mm
S_b	= 40 mm
$\boldsymbol{\lambda}$	= 1

   b. Perhitungan

   L_n = L kolom – (0,5 . h balok atas) – (0,5 . h balok bawah)

   = 4900 – (0,5 . 900) – (0,5 . 900)

   = 4000 mm

d_s $= S_b + d_{sengkang} + 0{,}5 \,.\, d_{pokok}$

$= 40 + 10 + 0{,}5 \,.\, 22$

$= 61$ mm

d $=$ h kolom $- d_s$

$= 800 - 61$

$= 739$ mm

b_c $=$ b kolom $- (2 \,.\, (S_b + (0{,}5 \,.\, d_{sengkang})))$

$= 800 - (2 \,.\, (40 + (0{,}5 \,.\, 10)))$

$= 710$ mm

A_g $=$ b kolom . h kolom

$= 800 \,.\, 800$

$= 640000$ mm^2

Ach $=$ (h kolom $- 2 \,.\, S_b$) . (b kolom $- 2 \,.\, S_b$)

$= (800 - 2 \,.\, 40) \,.\, (800 - 2 \,.\, 40)$

$= 518400$ mm^2

Ash1/s $= 0{,}3 \,.\, \left(b_c \,.\, \frac{\text{f'c}}{fy}\right) \,.\, \left(\frac{A_g}{Ach} - 1\right)$

$= 0{,}3 \,.\, \left(710 \,.\, \frac{30}{400}\right) \,.\, \left(\frac{640000}{518400} - 1\right)$

$= 3{,}75$ mm/mm^2

Ash2/s $= (0{,}09 \,.\, b_c \,.\, \text{f'c})/\text{fy}$

$= (0{,}09 \,.\, 710 \,.\, 30)/400$

$= 4{,}79$ mm/mm^2

Ash/s pakai $= 4{,}79$ mm/mm^2

s dicoba $= 100$ mm

n dicoba $= 7$ kaki

Ash syarat $=$ Ash/s pakai . s

$= 4{,}79 \,.\, 100$

$= 479{,}25$ mm^2

Ash tulangan $= \text{n} \cdot 0{,}25 \cdot \pi \cdot d^2$

$= 7 \cdot 0{,}25 \cdot \pi \cdot 10^2$

$= 549{,}78 \text{ mm}^2 > \text{Ash syarat} = 479{,}25 \text{ mm}^2$ (OK)

$h_x = (\text{b kolom} - 2 \cdot S_b - 2 \cdot d_{sengkang} - d_{pokok})/(\text{n} - 1)$

$= (800 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 22)/(7 - 1)$

$= 113 \text{ mm}$

Spasi maksimum adalah yang terkecil antara:

$s_1 = 0{,}25 \cdot$ dimensi terkecil kolom

$= 0{,}25 \cdot 800$

$= 200 \text{ mm}$

$s_2 = 6 \cdot d_{pokok}$

$= 6 \cdot 22$

$= 132 \text{ mm}$

$s_0 = 100 + (350 - h_x)/3$

$= 100 + (350 - 113)/3$

$= 179 \text{ mm}$

s_0 tidak perlu diambil kurang dari 100 mm dan lebih dari 150 mm,

s_0 pakai $= 150$ mm

s maksimum pakai $= 132$ mm

s dicoba $= 100$ mm $<$ s maksimum pakai $= 132$ mm (OK)

Panjang daerah L_0 diambil nilai terbesar diantara:

- h kolom $= 800$ mm
- $\frac{1}{6} L_n = \frac{1}{6} 4000 = 666{,}67$ mm
- 450 mm

Dipakai $L_0 = 800$ mm

M_{kap^-} balok atas $= 222{,}343$ ton.m

M_{kap^+} balok atas $= 72{,}828$ ton.m

M_{kap} balok atas $= (222{,}343 + 72{,}828)\ .\ 9{,}81$

$= 2895{,}63$ kN.m

Df atas $= 0{,}45$

M_{kap^-} balok bawah $= 222{,}343$ ton.m

M_{kap^+} balok bawah $= 72{,}828$ ton.m

M_{kap} balok bawah $= (222{,}343 + 38{,}985)\ .\ 9{,}81$

$= 2563{,}62$ kN.m

Df bawah $= 0{,}45$

$$V_{sway} = \frac{M_{kap} \text{ balok atas } .\ \text{Df atas} + M_{kap} \text{ balok bawah } .\ \text{Df bawah}}{Ln}$$

$$= \frac{2895{,}63\ .\ 4{,}5 + 2563{,}62\ .\ 4{,}5}{4000/1000}$$

$= 613{,}399$ kN $> V_u = 161{,}21$ kN

Dipakai $V_e = 613{,}399$ kN

Cek apakah $V_c = 0$ atau tidak,

- $V_e > 0{,}5\ V_u$ $= 613{,}399$ kN $> 0{,}5\ .\ 161{,}21$

  $= 613{,}399$ kN $> 80{,}605$ kN (OK)
- $P_u < 0{,}05$ Ag . f ‘c $= 7776{,}51\ .\ 1000$ N $< 0{,}05\ .\ 640000\ .\ 30$

  $= 7776510$ N > 960000 (Tidak OK)

Jadi nilai $V_c \neq 0$

$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f\ 'c}\ .\ b_w\ .$ d

$= \frac{1}{6}\sqrt{30}\ .\ 800\ .\ 739$

$= 539{,}689$ kN

V_s = (Ash tulangan . fy . d) / s

= (549,78 . 400 . 739) / 100

= 1625,146 kN

$\boldsymbol{\phi}$ $(V_c + V_s)$ = 0,75 (539,689 + 1625,146)

= 1623,626 kN > V_e = 613,399 kN (OK)

Maka untuk daerah sepanjang L_0 dipakai sengkang 7 D10-100

Untuk luar daerah L_0

Spasi sengkang maksimum adalah yang terkecil antara:

- 150 mm
- 6 . d_{pokok} = 6 . 22 = 132 mm

Maka S maksimum = 132 mm

Dicoba s = 130 mm

n = 3 kaki

A_v = n . 0,25 . π . d^2

= 3 . 0,25 . π . 10^2

= 235,62 mm^2

N_u/A_g = (2749,48 . 1000) / 640000

= 4,296 Mpa

V_c = 0,17 $\left(1 + \frac{N_u}{14\ A_g}\right)$. λ . $\sqrt{f'c}$. b_w . d

= 0,17 $\left(1 + \frac{4,296}{14}\right)$. 1 . $\sqrt{30}$. 800 . 739

= 719,41 kN

V_s = (A_v . fy . d) / s

= (235,62 . 400 . 739) / 130

= 535,762 kN

$\boldsymbol{\phi}$ $(V_c + V_s)$ = 0,75 (719,41 + 535,762)

= 941,376 kN > V_e = 613,399 kN (OK)

Maka untuk daerah diluar L_0 dipakai sengkang 3 D10-130

c. Rekapitulasi

Berikut merupakan tabel rekapitulasi kebutuhan tulangan sengkang kolom pada peta gempa 2010.

Tabel 5.42 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K1 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	5 D10-120
6	700	700	6 D10-100	5 D10-120
5	700	700	6 D10-100	4 D10-130
4	700	700	6 D10-100	4 D10-130
3	800	800	7 D10-100	3 D10-130
2	800	800	7 D10-100	3 D10-130
1	800	800	7 D10-100	3 D10-130

Tabel 5.43 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K2 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	3 D10-110
6	700	700	6 D10-100	3 D10-110
5	700	700	6 D10-100	3 D10-110
4	700	700	6 D10-100	3 D10-110
3	700	700	6 D10-100	3 D10-110
2	700	700	6 D10-100	3 D10-110
1	700	700	6 D10-100	3 D10-110

Tabel 5.44 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K3 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	6 D10-120
6	700	700	6 D10-100	6 D10-120
5	700	700	6 D10-100	6 D10-120
4	700	700	6 D10-100	6 D10-120
3	800	800	7 D10-100	4 D10-120
2	800	800	7 D10-100	4 D10-130
1	800	800	7 D10-100	4 D10-130

Tabel 5.45 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K4 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	6 D10-120
6	700	700	6 D10-100	6 D10-120
5	700	700	6 D10-100	6 D10-120
4	700	700	6 D10-100	5 D10-120
3	800	800	7 D10-100	4 D10-120
2	800	800	7 D10-100	3 D10-130
1	800	800	7 D10-100	3 D10-130

Tabel 5.46 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K5 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)	Tulangan Geser	
	d	Tumpuan	Lapangan
7	700	6 D10-100	4 D10-120
6	700	6 D10-100	5 D10-120
5	700	6 D10-100	4 D10-120
4	700	6 D10-100	4 D10-120
3	700	6 D10-100	4 D10-120
2	700	6 D10-100	4 D10-120
1	700	6 D10-100	4 D10-120

Tabel 5.47 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K6 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
2	500	500	5 D10-100	3 D10-110
1	500	500	5 D10-100	3 D10-110

Tabel 5.48 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K7 pada Peta Gempa 2010

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
1	400	400	5 D10-100	2 D10-110

5.6.2 Peta gempa 2017

1. Tulangan lentur

Perhitungan tulangan lentur balok pada peta gempa 2017 menggunakan perhitungan yang sama dengan peta gempa 2010. Berikut merupakan rekapitulasi penulangan lentur balok pada peta gempa 2017.

Tabel 5.49 Kebutuhan Tulangan Lentur Balok pada Peta Gempa 2017

Balok	Tulangan Lentur			
	Tumpuan		Lapangan	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	16 D25	8 D25	3 D25	8 D25
B2	12 D25	5 D25	3 D25	6 D25
B3	14 D19	6 D19	4 D19	7 D19
B4	10 D22	4 D22	2 D22	6 D22
B5	10 D22	5 D22	3 D22	6 D22
B6	8 D22	4 D22	2 D22	4 D22
B7	6 D22	3 D22	2 D22	4 D22
B7 K	10 D25	4 D25	10 D25	4 D25
B8	7 D29	5 D29	3 D29	5 D29
B9 K	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25
B10	7 D16	3 D16	2 D16	4 D16
B11	4 D19	2 D19	2 D19	4 D19
B12	6 D22	4 D22	2 D22	4 D22
B13 K	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19
B14 K	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19
B15 K	8 D25	3 D25	8 D25	3 D25
B16 K	6 D19	4 D19	6 D19	4 D19
B17 K	8 D25	4 D25	8 D25	4 D25
B18	7 D22	4 D22	3 D22	5 D22
B19 K	5 D13	2 D13	5 D13	2 D13

2. Tulangan geser

Perhitungan tulangan geser balok pada peta gempa 2017 menggunakan perhitungan yang sama dengan peta gempa 2010. Berikut merupakan rekapitulasi penulangan geser balok pada peta gempa 2017.

Tabel 5.50 Kebutuhan Tulangan Geser Balok pada Peta Gempa 2017

Balok	Tulangan Geser	
	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
B1	5 D10-100 mm	3 D10-65 mm
B2	4 D10-90 mm	3 D10-80 mm
B3	3 D10-90 mm	3 D10-130 mm
B4	3 D10-80 mm	2 D10-90 mm
B5	3 D10-75 mm	2 D10-80 mm
B6	3 D10-130 mm	2 D10-90 mm
B7	3 D10-65 mm	2 D10-50 mm
B7 K	4 D10-55 mm	4 D10-70 mm
B8	4 D10-90 mm	3 D10-100 mm
B9 K	3 D10-60 mm	3 D10-70 mm
B10	3 D10-60 mm	2 D10-50 mm
B11	2 D10-55 mm	2 D10-75 mm
B12	3 D10-100 mm	2 D10-90 mm
B13 K	3 D10-70 mm	3 D10-90 mm
B14 K	3 D10-90 mm	3 D10-150 mm
B15 K	3 D10-50 mm	3 D10-80 mm
B16 K	4 D10-120 mm	4 D10-200 mm
B17 K	4 D10-60 mm	4 D10-90 mm
B18	3 D10-80 mm	3 D10-120 mm
B19 K	2 D10-90 mm	2 D10-150 mm

3. Tulangan utama kolom

   Perhitungan tulangan utama kolom pada peta gempa 2017 menggunakan perhitungan yang sama dengan peta gempa 2010. Berikut merupakan rekapitulasi penulangan utama kolom pada peta gempa 2017.

Tabel 5.51 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K1 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	32 D22	2,48	-
6	700	700	32 D22	2,48	OK
5	700	700	32 D22	2,48	OK
4	700	700	32 D22	2,48	OK
3	800	800	32 D22	1,90	OK
2	800	800	32 D22	1,90	OK
1	800	800	40 D22	2,38	OK

Tabel 5.52 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K2 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	20 D19	1,16	-
6	700	700	20 D19	1,16	OK
5	700	700	20 D19	1,16	OK
4	700	700	20 D19	1,16	OK
3	700	700	20 D19	1,16	OK
2	700	700	20 D19	1,16	OK
1	700	700	20 D19	1,16	OK

Tabel 5.53 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K3 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	32 D25	3,21	-
6	700	700	40 D25	4,01	OK
5	700	700	44 D25	4,41	OK
4	700	700	48 D25	4,81	OK
3	800	800	48 D25	3,68	OK
2	800	800	48 D25	3,68	OK
1	800	800	52 D25	3,99	OK

Tabel 5.54 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K4 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
7	700	700	40 D22	3,10	-
6	700	700	40 D22	3,10	OK
5	700	700	40 D22	3,10	OK
4	700	700	40 D22	3,10	OK
3	800	800	40 D22	2,38	OK
2	800	800	40 D22	2,38	OK
1	800	800	40 D22	2,38	OK

Tabel 5.55 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K5 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)	Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	d			
7	700	28 D25	3,57	-
6	700	28 D25	3,57	OK
5	700	28 D25	3,57	OK
4	700	28 D25	3,57	OK
3	700	28 D25	3,57	OK
2	700	28 D25	3,57	OK
1	700	32 D25	4,08	OK

Tabel 5.56 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K6 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
2	500	500	28 D19	3,18	-
1	500	500	28 D19	3,18	OK

Tabel 5.57 Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K7 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Utama	Rasio Tulangan (%)	Cek SCWB
	b	h			
1	400	400	16 D19	2,84	-

4. Tulangan sengkang kolom

   Berikut merupakan rekapitulasi penulangan sengkang kolom pada peta gempa 2017.

Tabel 5.58 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K1 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	6 D10-120
6	700	700	6 D10-100	5 D10-120
5	700	700	6 D10-100	4 D10-130
4	700	700	6 D10-100	4 D10-130
3	800	800	7 D10-100	3 D10-130
2	800	800	7 D10-100	3 D10-130
1	800	800	7 D10-100	3 D10-130

Tabel 5.59 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K2 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	3 D10-110
6	700	700	6 D10-100	3 D10-110
5	700	700	6 D10-100	3 D10-110
4	700	700	6 D10-100	3 D10-110
3	700	700	6 D10-100	3 D10-110
2	700	700	6 D10-100	3 D10-110
1	700	700	6 D10-100	3 D10-110

Tabel 5.60 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K3 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	6 D10-120
6	700	700	6 D10-100	6 D10-120
5	700	700	6 D10-100	6 D10-120
4	700	700	6 D10-100	6 D10-120
3	800	800	7 D10-100	4 D10-120
2	800	800	7 D10-100	4 D10-130
1	800	800	7 D10-100	4 D10-130

Tabel 5.61 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K4 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	700	700	6 D10-100	6 D10-120
6	700	700	6 D10-100	6 D10-120
5	700	700	6 D10-100	6 D10-120
4	700	700	6 D10-100	5 D10-120
3	800	800	7 D10-100	4 D10-120
2	800	800	7 D10-100	3 D10-130
1	800	800	7 D10-100	3 D10-130

Tabel 5.62 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K5 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)	Tulangan Geser	
	d	Tumpuan	Lapangan
7	700	6 D10-100	4 D10-120
6	700	6 D10-100	5 D10-120
5	700	6 D10-100	4 D10-120
4	700	6 D10-100	4 D10-120
3	700	6 D10-100	4 D10-120
2	700	6 D10-100	4 D10-120
1	700	6 D10-100	4 D10-120

Tabel 5.63 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K6 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	500	500	5 D10-100	3 D10-110
6	500	500	5 D10-100	3 D10-110

Tabel 5.64 Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K7 pada Peta Gempa 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		Tulangan Geser	
	b	h	Tumpuan	Lapangan
7	400	400	5 D10-100	2 D10-110

5.7 Perbandingan Kebutuhan Tulangan pada Peta Gempa 2010 dan 2017

1. Tulangan lentur balok

Tabel 5.65 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Lentur Balok pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Balok	2010				2017			
	Tulangan Lentur				Tulangan Lentur			
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	16 D25	8 D25	3 D25	8 D25	16 D25	8 D25	3 D25	8 D25
B2	12 D25	5 D25	3 D25	6 D25	12 D25	5 D25	3 D25	6 D25
B3	13 D19	6 D19	4 D19	7 D19	14 D19	6 D19	4 D19	7 D19
B4	10 D22	4 D22	2 D22	6 D22	10 D22	4 D22	2 D22	6 D22
B5	9 D22	4 D22	2 D22	5 D22	10 D22	5 D22	3 D22	6 D22
B6	7 D22	3 D22	2 D22	4 D22	8 D22	4 D22	2 D22	4 D22
B7	5 D22	2 D22	2 D22	4 D22	6 D22	3 D22	2 D22	4 D22
B7 K	10 D25	4 D25	10 D25	4 D25	10 D25	4 D25	10 D25	4 D25
B8	8 D25	6 D25	3 D25	5 D25	7 D29	5 D29	3 D29	5 D29
B9 K	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25
B10	7 D16	3 D16	2 D16	4 D16	7 D16	3 D16	2 D16	4 D16
B11	4 D19	2 D19	2 D19	4 D19	4 D19	2 D19	2 D19	4 D19
B12	6 D22	4 D22	2 D22	4 D22	6 D22	4 D22	2 D22	4 D22
B13 K	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19
B14 K	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19	5 D19	3 D19
B15 K	7 D25	3 D25	7 D25	3 D25	8 D25	3 D25	8 D25	3 D25
B16 K	6 D19	4 D19	6 D19	4 D19	6 D19	4 D19	6 D19	4 D19
B17 K	8 D25	4 D25	8 D25	4 D25	8 D25	4 D25	8 D25	4 D25
B18	7 D22	4 D22	3 D22	5 D22	7 D22	4 D22	3 D22	5 D22
B19 K	5 D13	2 D13	5 D13	2 D13	5 D13	2 D13	5 D13	2 D13

2. Tulangan geser balok

Tabel 5.66 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Geser Balok pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Balok	2010		2017	
	Tulangan Geser		Tulangan Geser	
	Sendi Plastis	Sendi Plastis	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
B1	5 D10-100	3 D10-65	5 D10-100	3 D10-65
B2	4 D10-90	3 D10-80	4 D10-90	3 D10-80
B3	3 D10-90	3 D10-140	3 D10-90	3 D10-130
B4	3 D10-80	2 D10-90	3 D10-80	2 D10-90
B5	3 D10-80	2 D10-90	3 D10-75	2 D10-80
B6	3 D10-140	2 D10-90	3 D10-130	2 D10-90
B7	2 D10-50	2 D10-60	3 D10-65	2 D10-50
B7 K	4 D10-55	4 D10-70	4 D10-55	4 D10-70
B8	4 D10-100	3 D10-120	4 D10-90	3 D10-100
B9 K	3 D10-60	3 D10-70	3 D10-60	3 D10-70
B10	3 D10-60	2 D10-50	3 D10-60	2 D10-50
B11	2 D10-55	2 D10-75	2 D10-55	2 D10-75
B12	3 D10-100	2 D10-90	3 D10-100	2 D10-90
B13 K	3 D10-70	3 D10-90	3 D10-70	3 D10-90
B14 K	3 D10-90	3 D10-150	3 D10-90	3 D10-150
B15 K	3 D10-55	3 D10-90	3 D10-50	3 D10-80
B16 K	4 D10-120	4 D10-200	4 D10-120	4 D10-200
B17 K	4 D10-60	4 D10-90	4 D10-60	4 D10-90
B18	3 D10-80	3 D10-120	3 D10-80	3 D10-120
B19 K	2 D10-90	2 D10-150	2 D10-90	2 D10-150

3. Tulangan utama kolom

Tabel 5.67 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K1 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		2010	2017
	b	h		
7	700	700	32 D22	32 D22
6	700	700	32 D22	32 D22
5	700	700	32 D22	32 D22
4	700	700	32 D22	32 D22
3	800	800	32 D22	32 D22
2	800	800	32 D22	32 D22
1	800	800	36 D22	40 D22

Tabel 5.68 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K2 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		2010	2017
	b	h		
7	700	700	20 D19	20 D19
6	700	700	20 D19	20 D19
5	700	700	20 D19	20 D19
4	700	700	20 D19	20 D19
3	700	700	20 D19	20 D19
2	700	700	20 D19	20 D19
1	700	700	20 D19	20 D19

Tabel 5.69 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K3 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		2010	2017
	b	h		
7	700	700	32 D25	32 D25
6	700	700	40 D25	40 D25
5	700	700	44 D25	44 D25
4	700	700	48 D25	48 D25
3	800	800	48 D25	48 D25
2	800	800	48 D25	48 D25
1	800	800	52 D25	52 D25

Tabel 5.70 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K4 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		2010	2017
	b	h		
7	700	700	40 D22	40 D22
6	700	700	40 D22	40 D22
5	700	700	40 D22	40 D22
4	700	700	40 D22	40 D22
3	800	800	40 D22	40 D22
2	800	800	40 D22	40 D22
1	800	800	40 D22	40 D22

Tabel 5.71 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K5 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)	2010	2017
	d		
7	700	24 D25	28 D25
6	700	24 D25	28 D25
5	700	24 D25	28 D25
4	700	24 D25	28 D25
3	700	24 D25	28 D25
2	700	24 D25	28 D25
1	700	28 D25	32 D25

Tabel 5.72 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K6 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		2010	2017
	b	h		
2	500	500	24 D19	28 D19
1	500	500	24 D19	28 D19

Tabel 5.73 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Utama Kolom K7 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	Dimensi (mm)		2010	2017
	b	h		
1	400	400	16 D19	16 D19

4. Tulangan sengkang kolom

Tabel 5.74 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K1 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
7	6 D10-100	5 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
6	6 D10-100	5 D10-120	6 D10-100	5 D10-120
5	6 D10-100	4 D10-130	6 D10-100	4 D10-130
4	6 D10-100	4 D10-130	6 D10-100	4 D10-130
3	7 D10-100	3 D10-130	7 D10-100	3 D10-130
2	7 D10-100	3 D10-130	7 D10-100	3 D10-130
1	7 D10-100	3 D10-130	7 D10-100	3 D10-130

Tabel 5.75 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K2 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
7	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110
6	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110
5	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110
4	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110
3	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110
2	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110
1	6 D10-100	3 D10-110	6 D10-100	3 D10-110

Tabel 5.76 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K3 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
7	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
6	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
5	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
4	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
3	7 D10-100	4 D10-120	7 D10-100	4 D10-120
2	7 D10-100	4 D10-130	7 D10-100	4 D10-130
1	7 D10-100	4 D10-130	7 D10-100	4 D10-130

Tabel 5.77 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K4 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
7	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
6	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
5	6 D10-100	6 D10-120	6 D10-100	6 D10-120
4	6 D10-100	5 D10-120	6 D10-100	5 D10-120
3	7 D10-100	4 D10-120	7 D10-100	4 D10-120
2	7 D10-100	3 D10-130	7 D10-100	3 D10-130
1	7 D10-100	3 D10-130	7 D10-100	3 D10-130

Tabel 5.78 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K5 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
7	6 D10-100	4 D10-120	6 D10-100	4 D10-120
6	6 D10-100	5 D10-120	6 D10-100	5 D10-120
5	6 D10-100	4 D10-120	6 D10-100	4 D10-120
4	6 D10-100	4 D10-120	6 D10-100	4 D10-120
3	6 D10-100	4 D10-120	6 D10-100	4 D10-120
2	6 D10-100	4 D10-120	6 D10-100	4 D10-120
1	6 D10-100	4 D10-120	6 D10-100	4 D10-120

Tabel 5.79 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K6 pada Peta Gempa 2010 Dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
2	5 D10-100	3 D10-110	5 D10-100	3 D10-110
1	5 D10-100	3 D10-110	5 D10-100	3 D10-110

Tabel 5.80 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom K7 pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Tingkat	2010		2017	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1	5 D10-100	2 D10-110	5 D10-100	2 D10-110

Keterangan:
Warna merah = terjadi perubahan kebutuhan tulangan

5.8 Pembahasan

1. Gaya geser dasar dinamik pada Peta Gempa 2010 sebesar 1162,015 ton untuk arah X dan 643,117 ton untuk arah Y, sedangkan pada Peta Gempa 2017 yaitu 1351,989 ton untuk arah X dan 748,065 ton untuk arah Y. Peningkatan nilai gaya geser dasar pada Peta Gempa 2017 terhadap Peta Gempa 2010 yaitu sebesar 16,35% untuk arah X dan 16,32% untuk arah Y. Hal tersebut disebabkan karena meningkatnya nilai parameter pada Peta Gempa 2017 yaitu nilai S_S dan S_1,
2. Nilai simpangan antar tingkat maksimum pada peta gempa 2010 sebesar 33,117 mm untuk arah X dan 54,340 mm untuk arah Y, sedangkan pada Peta Gempa 2017 yaitu 38,804 mm untuk arah X dan 64,060 mm untuk arah Y. Peningkatan nilai simpangan antar tingkat pada Peta Gempa 2017 terhadap Peta Gempa 2010 yaitu sebesar 17,17% untuk arah X dan 17,89% untuk arah Y. Hal tersebut disebabkan karena meningkatnya nilai gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan,
3. Nilai simpangan antar tingkat baik pada Peta Gempa 2010 maupun Peta Gempa 2017 masih memenuhi syarat menurut SNI 1726:2012,
4. Perubahan kebutuhan luas tulangan elemen balok dan kolom pada Peta Gempa 2017 terhadap Peta Gempa 2010 nilainya tidak signifikan yaitu 7,44% untuk tulangan lentur balok, 3,65% untuk tulangan geser balok dan 1,32% untuk tulangan utama kolom. Hal tersebut dikarenakan peningkatan gaya dalam pada elemen balok dan kolom nilainya bervariasi. Peningkatan momen balok berkisar 0,50% - 15,07%, peningkatan momen kolom berkisar 2,13% - 16,87%, peningkatan gaya aksial kolom berkisar 0,66% - 6,94%. Selain itu dalam perencanaan ini digunakan konsep bahwa $\phi M_n \geq M_u$ dan $\phi P_n \geq P_u$, ketika terjadi peningkatan nilai M_u ataupun P_u tetapi nilainya masih dibawah nilai ϕM_n dan ϕP_n maka kebutuhan tulangannya tidak berubah.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini.

1. Gaya geser dasar dinamik pada Peta Gempa 2017 meningkat sebesar 16,35% untuk arah X dan 16,32% untuk arah Y dibandingkan Peta Gempa 2010,
2. Nilai simpangan antar tingkat maksimum pada Peta Gempa 2017 meningkat sebesar 17,17% untuk arah X dan 17,89% untuk arah Y dibandingkan Peta Gempa 2010,
3. Nilai simpangan antar tingkat baik pada Peta Gempa 2010 maupun 2017 masih memenuhi syarat,
4. Kebutuhan luas tulangan balok pada Peta Gempa 2017 meningkat sebesar 7,44% untuk tulangan lentur dan 3,65% untuk tulangan geser, sedangkan kebutuhan luas tulangan utama kolom pada Peta Gempa 2017 meningkat sebesar 1,32% dibandingkan Peta Gempa 2010.

6.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang yaitu sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan SNI yang baru yaitu SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019,
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada jenis bangunan dengan ketidakberaturan,
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada bangunan tingkat tinggi untuk melihat nilai simpangan antar tingkat yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Adam, B. 2017. Analisis Simpangan dan Kebutuhan Tulangan Berdasarkan PPIUG 1983 Dibandingkan dengan SNI 1727:2013. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Amaliah, R. 2018. Studi Komparasi Respon Spektra Indonesia untuk Bangunan Gedung dengan Pembebanan Peta Gempa 2010 dan 2017. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Asrurifak, M. dkk. 2017. Peta Gempa Indonesia 2017 dan Aplikasinya untuk Perencanaan Gedung dan Infrastruktur Tahan Gempa. *Workshop* Pengurangan Risiko Bencana Gempa Kota Surabaya & Jawa Timur. ITS Surabaya. 19 Oktober:18-26.

Fauzan. dkk. 2018. Pengaruh Beban Gempa Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 Terhadap Respon Struktur Gedung Rusunawa Universitas Andalas. Prosiding PIT ke-5 Riset Kebencanaan IABI. Universitas Andalas Padang. 2-4 Mei:739-750

Ian, M.R. 2017. Analisis Respons Gedung Terhadap Beban Gempa Respons Spektrum Berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Imran, I. dan Hendrik, F. 2016. *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang.* ITB Press. Bandung.

Satyarno, I., Nawangalam, P. dan Pratomo, I. 2012. *Belajar SAP2000.* 2^{nd} ed. Zamil Publishing. Yogyakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

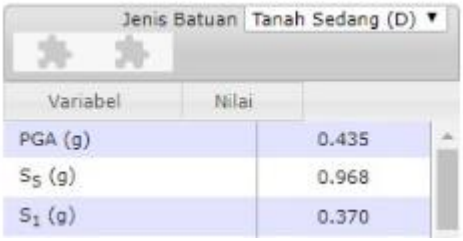
Standar Nasional Indonesia. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

Widodo, P. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

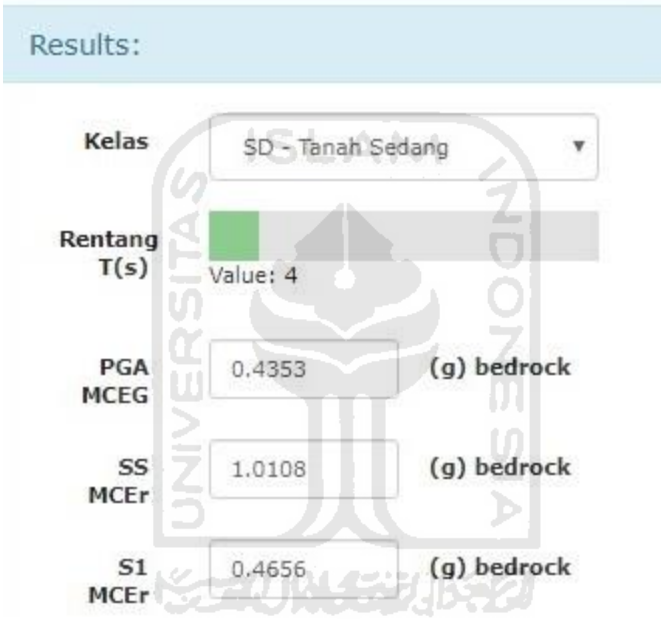
Wight, J.K. dan MacGregor, J.G. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics & Design*. 6^{th} ed. Pearson Education, Inc. New Jersey.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembacaan nilai S_s dan S_1 pada *website* PUSKIM

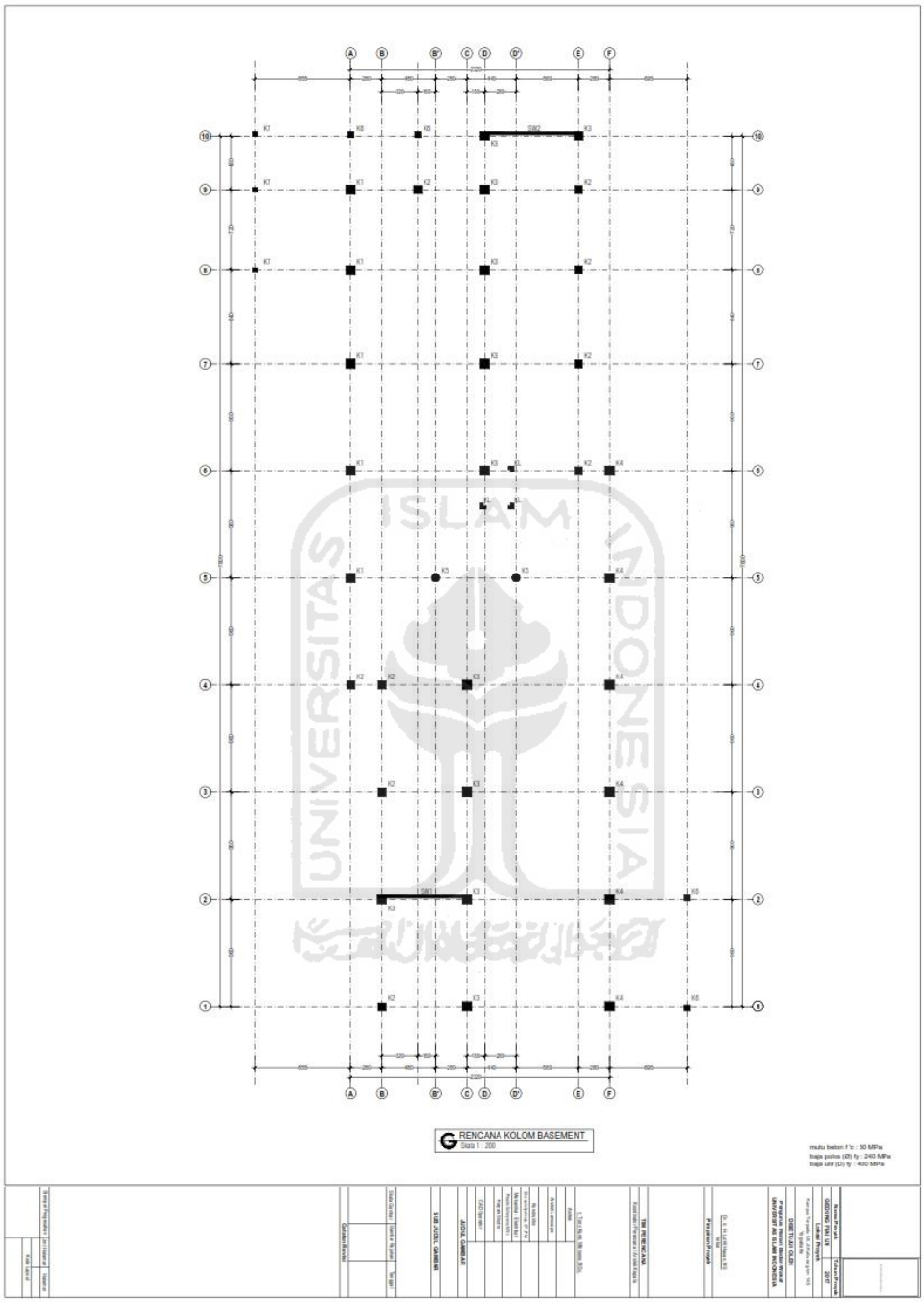


Gambar L - 1.1 Nilai S_s dan S_1 untuk Peta Gempa 2010
(Sumber: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

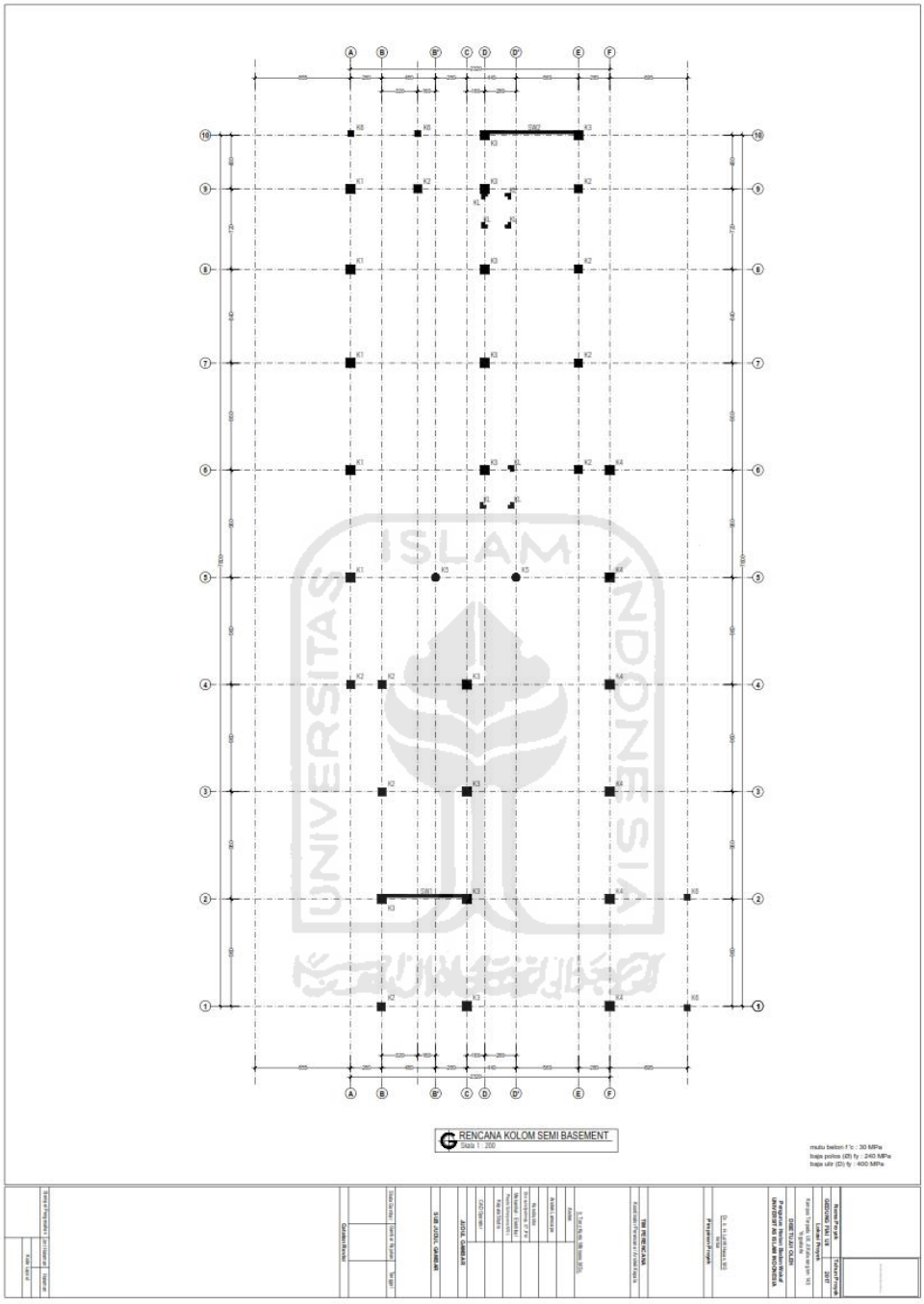


Gambar L - 1.2 Nilai S_s dan S_1 untuk Peta Gempa 2017
(Sumber: http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id)

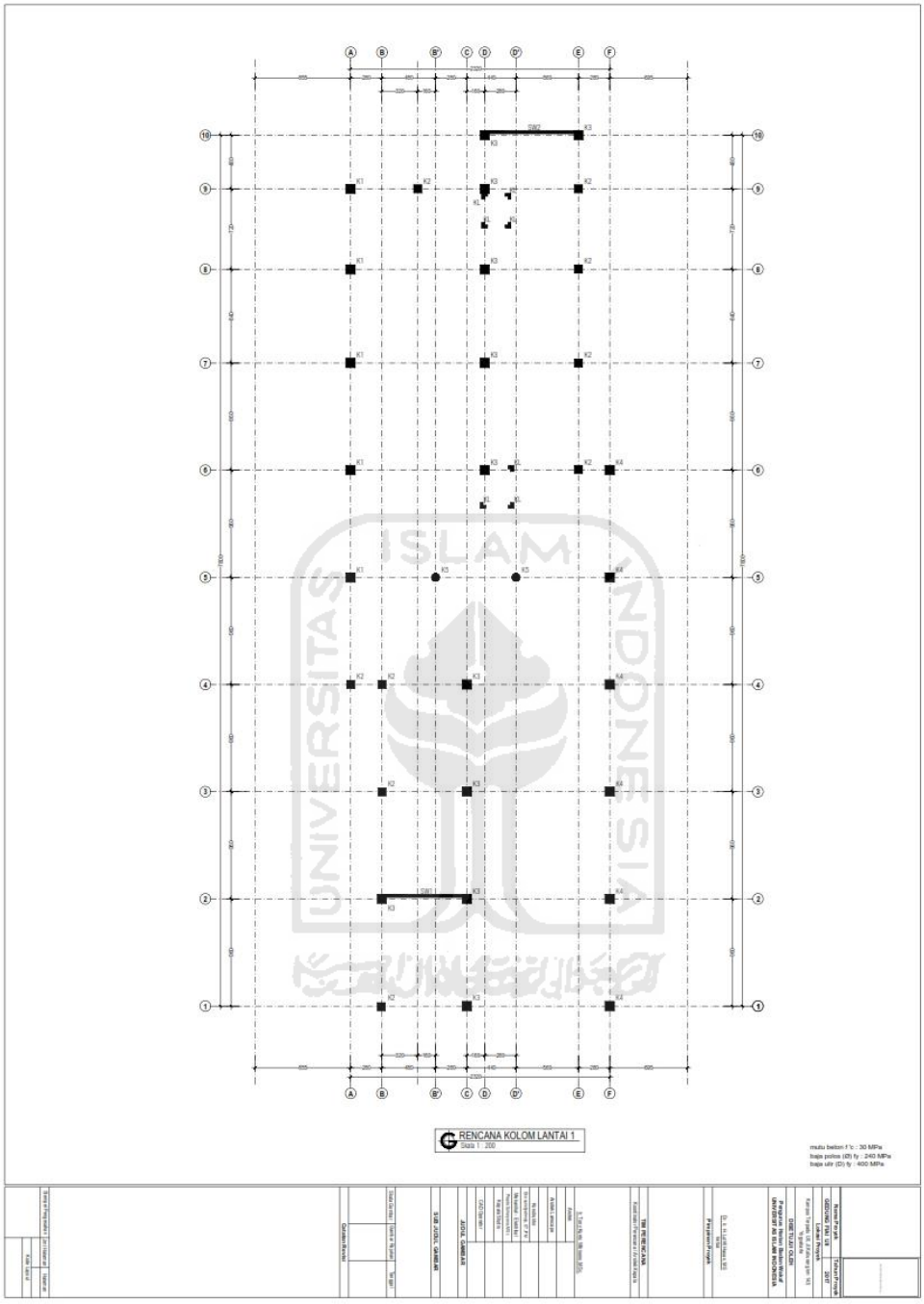
Lampiran 2 Denah Gedung FIAI UII



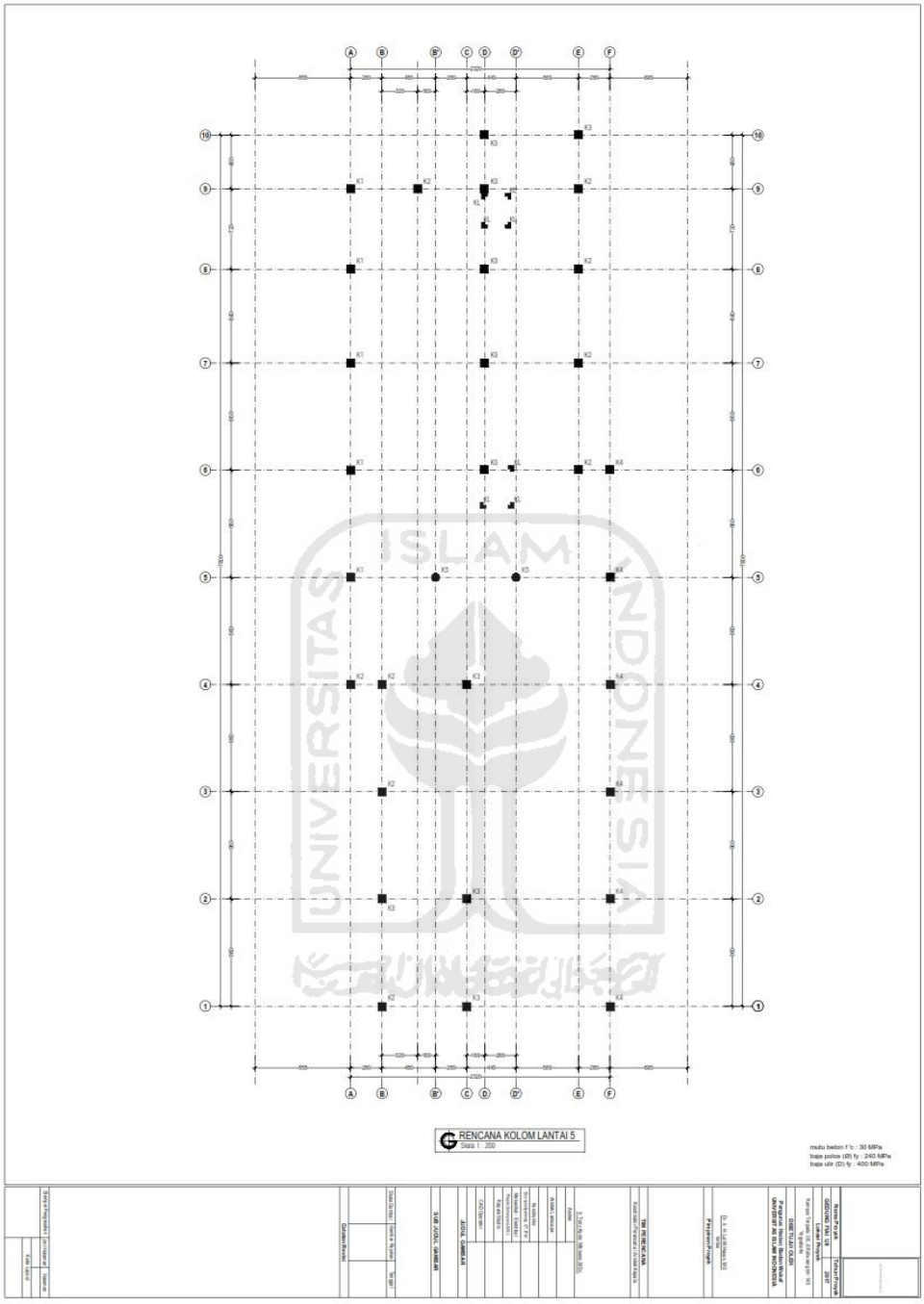
Gambar L - 2.1 Rencana Kolom *Basement*



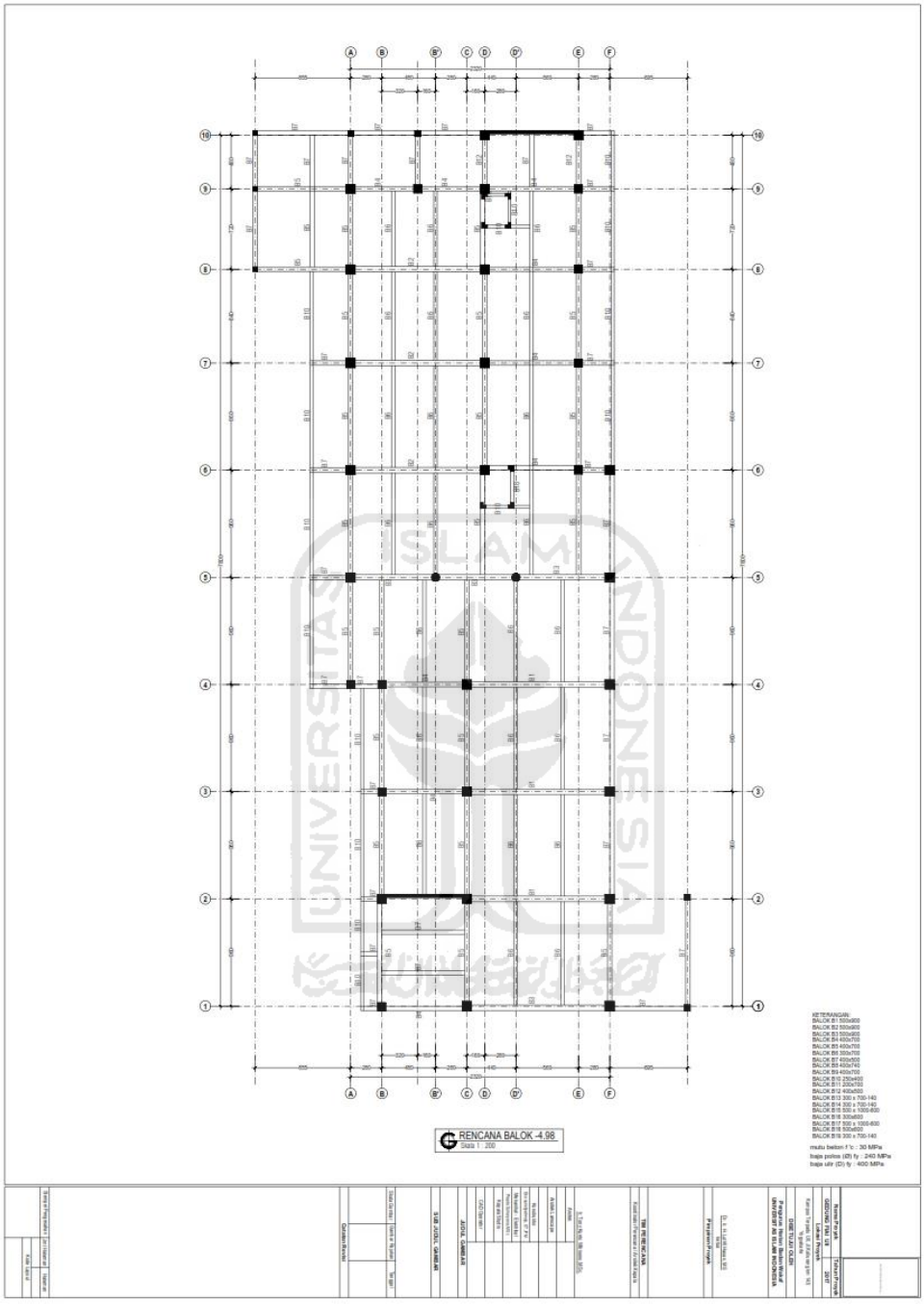
Gambar L - 2.2 Rencana Kolom Semi *Basement*



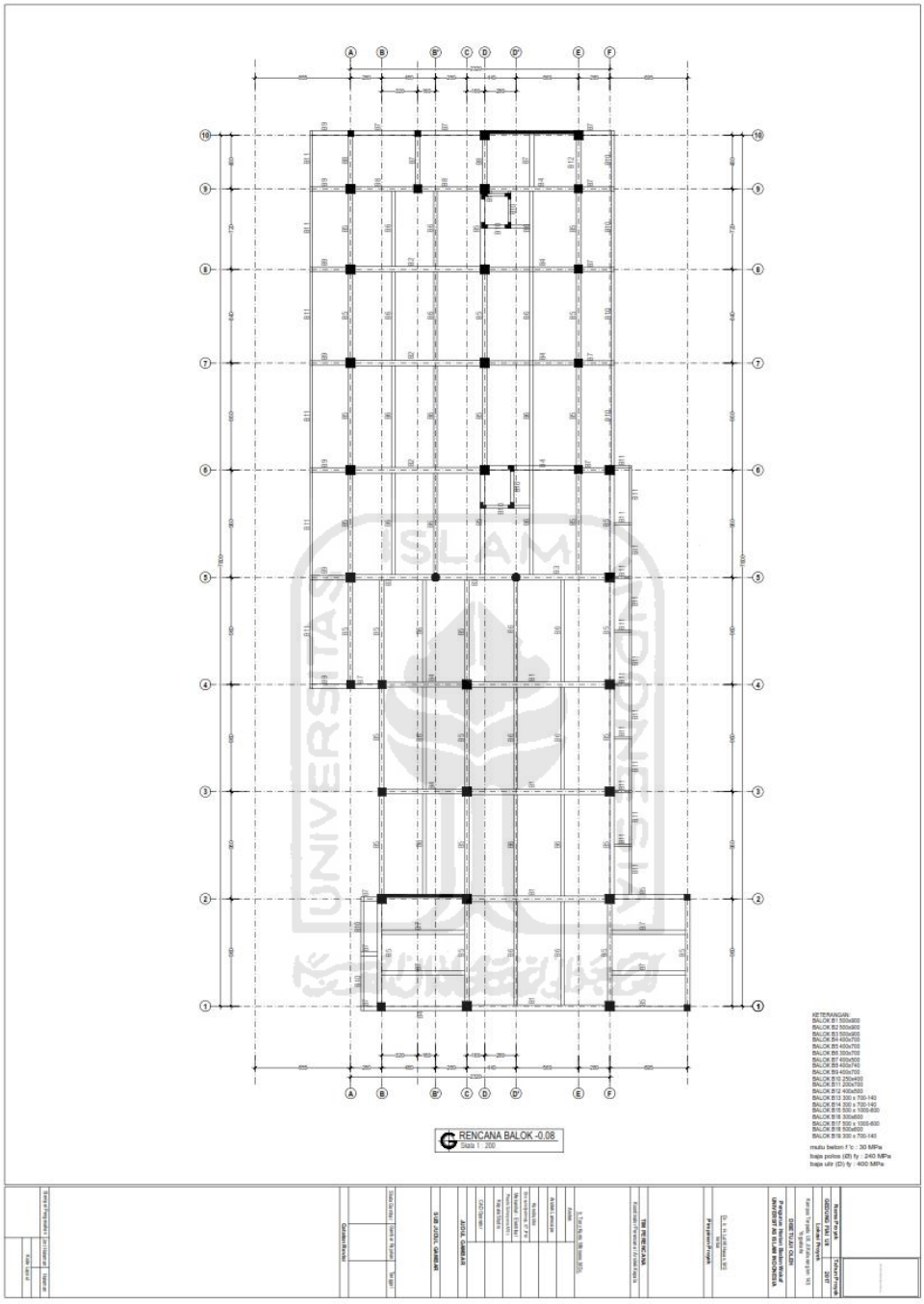
Gambar L - 2.3 Rencana Kolom Lantai 1 sampai Lantai 4



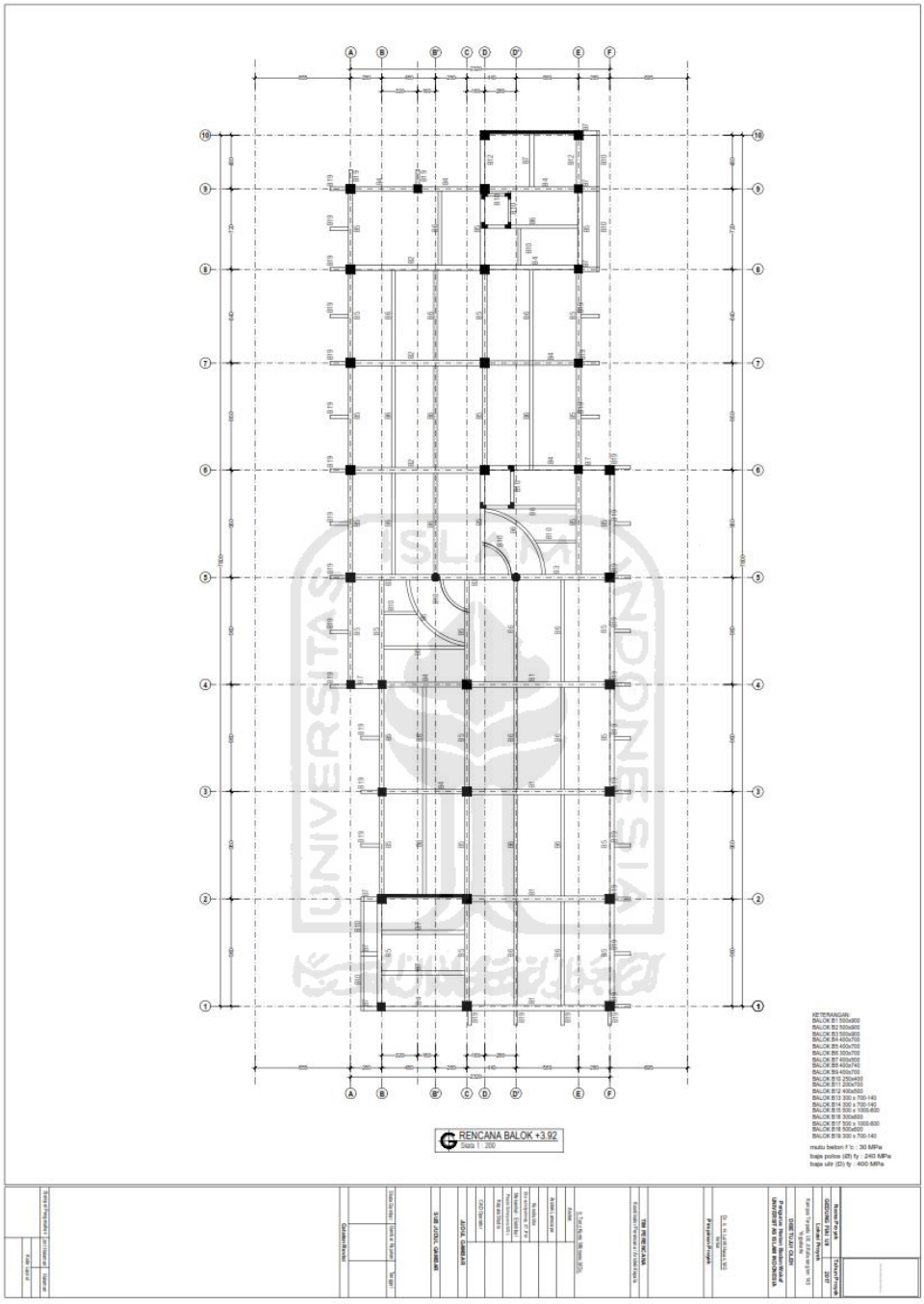
Gambar L - 2.4 Rencana Kolom Lantai 5



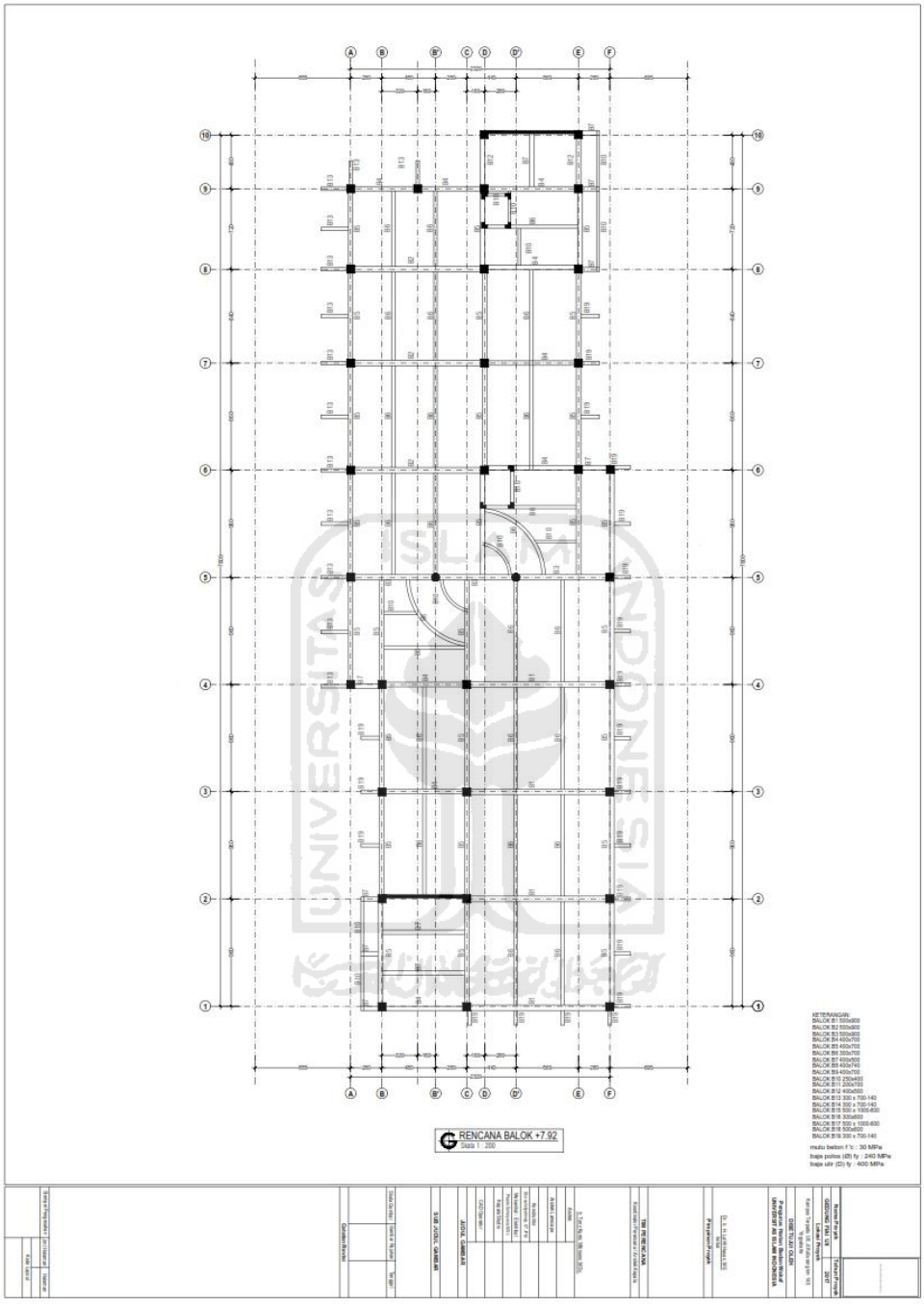
Gambar L - 2.5 Rencana Balok Semi *Basement*



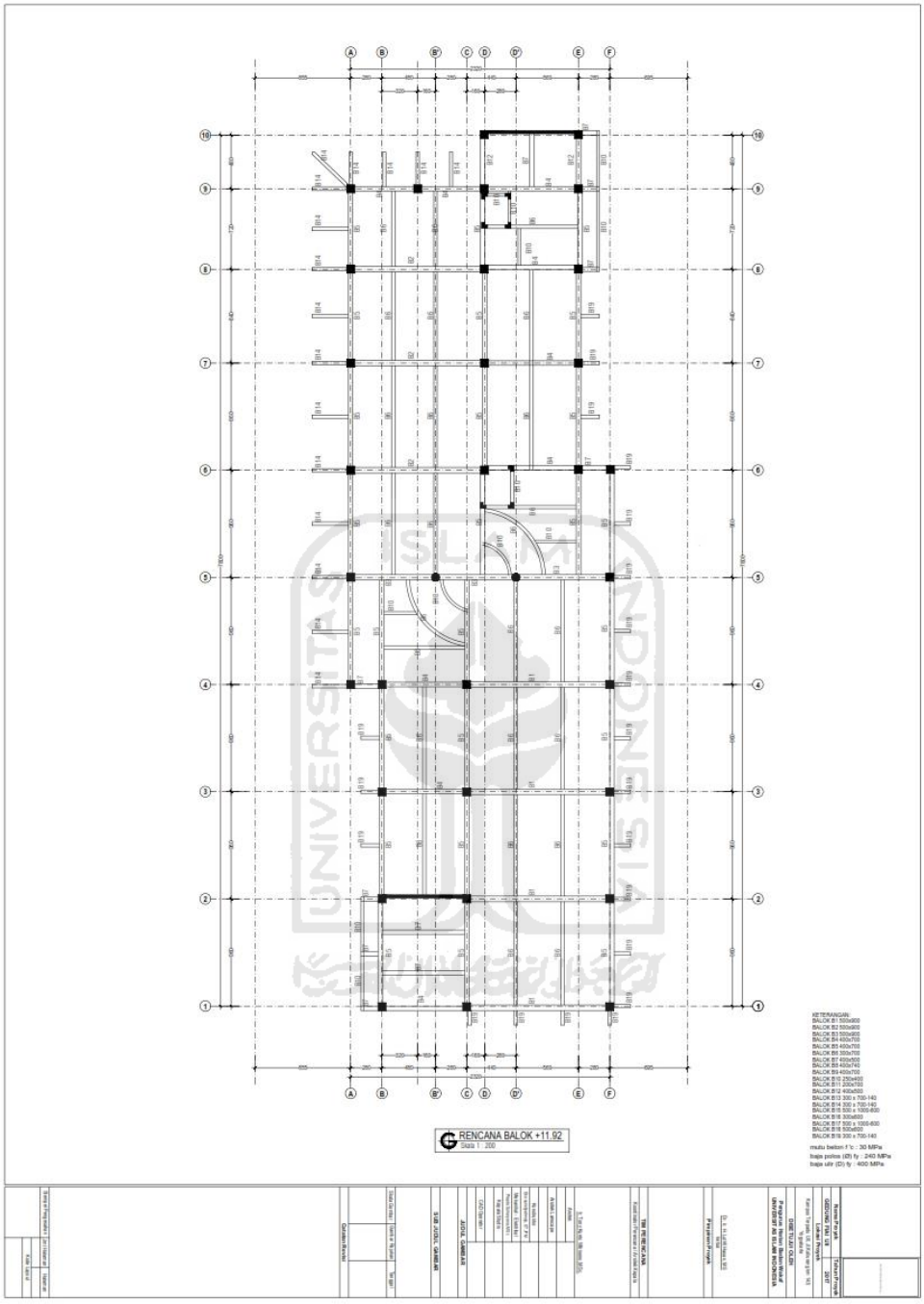
Gambar L - 2.6 Rencana Balok Lantai 1



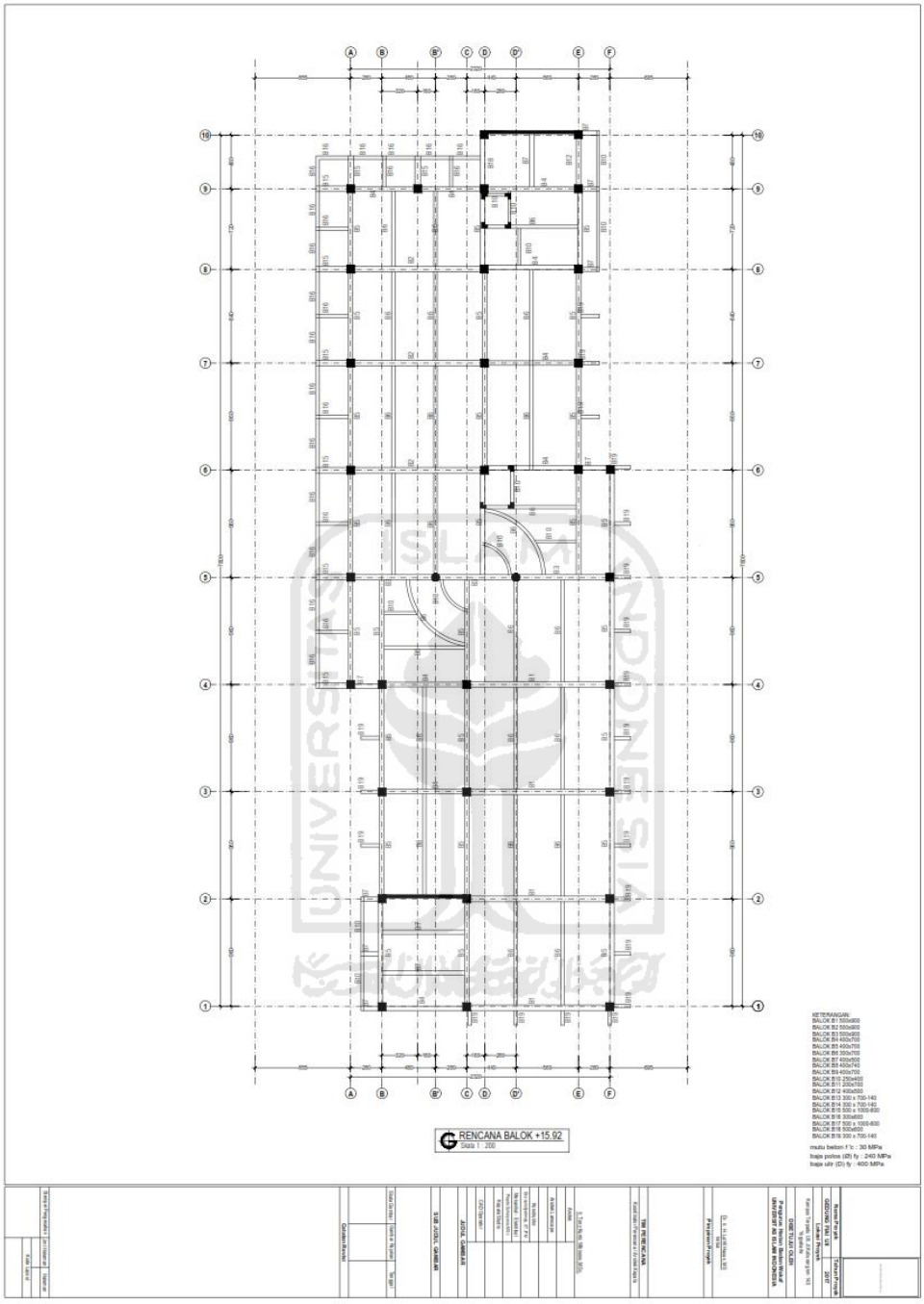
Gambar L - 2.7 Rencana Balok Lantai 2



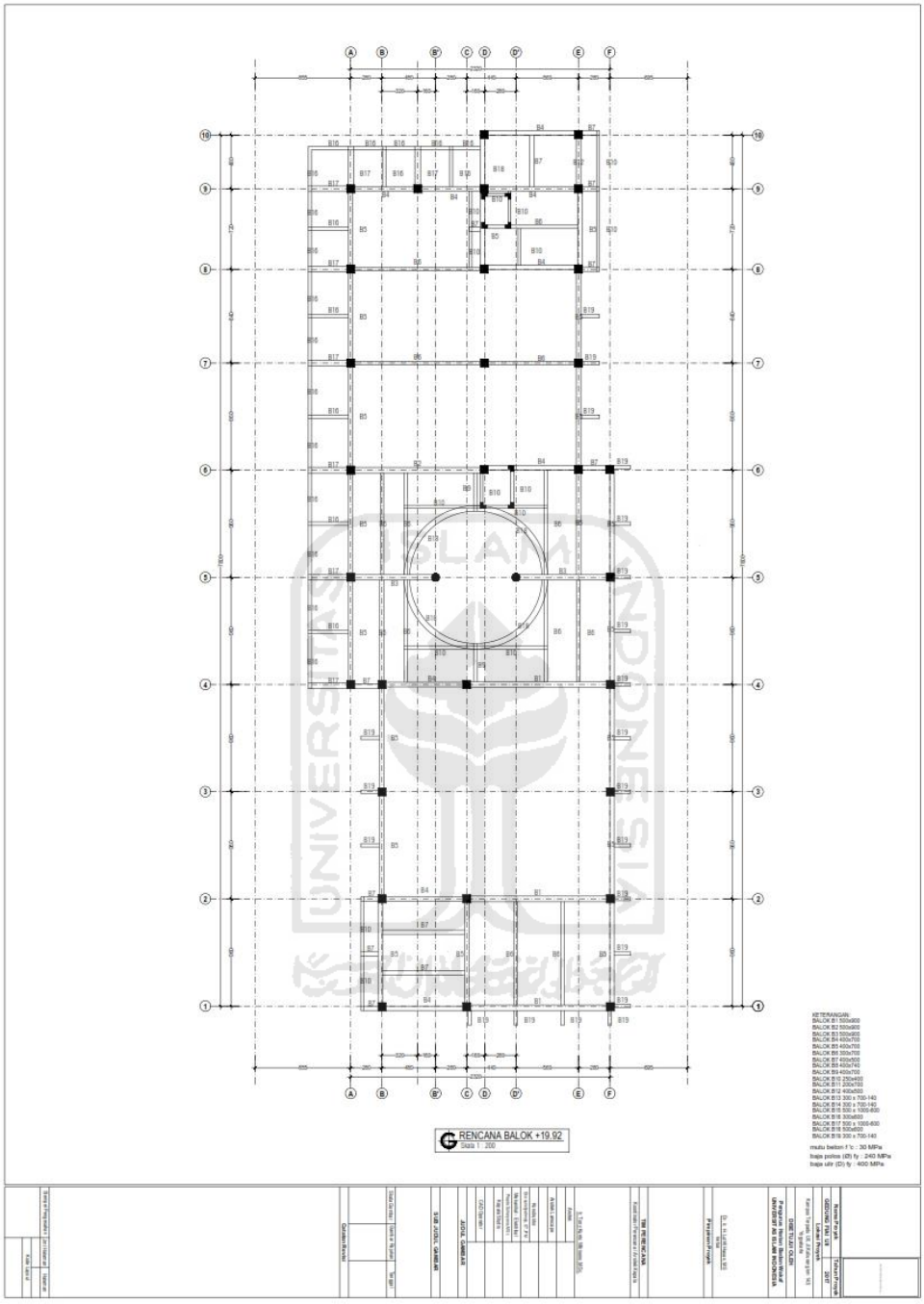
Gambar L - 2.8 Rencana Balok Lantai 3



Gambar L - 2.9 Rencana Balok Lantai 4



Gambar L - 2.10 Rencana Balok Lantai 5



Gambar L - 2.11 Rencana Balok Lantai Atap

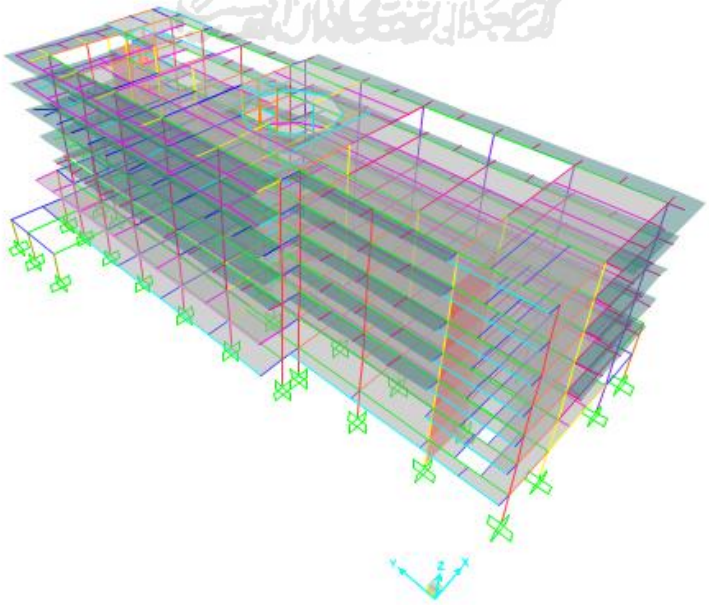
Lampiran 3 Pengujian N-SPT Tanah

Tabel L - 3.1 Hasil Pengujian N-SPT Tanah

No	Tebal lapis, m (ti)	Ni	ti / Ni
1	2	20	0.1
2	2	30	0.06666667
3	2	40	0.05
4	2	39	0.05128205
5	2	54	0.03703704
6	2	46	0.04347826
7	2	48	0.04166667
8	2	45	0.04444444
9	2	60	0.03333333
10	2	60	0.03333333
11	2	60	0.03333333
12	2	60	0.03333333
13	2	60	0.03333333
14	2	60	0.03333333
15	2	60	0.03333333
Jumlah	**30**		**0.6679085**
		N rerata	**44.916335**

N rerata = 44,9 maka termasuk Tanah Sedang (Klasifikasi SD)

Lampiran 4 Pemodelan Bangunan pada Program SAP2000



Gambar L - 4.1 Tampak 3 Dimensi pada Pemodelan Bangunan