

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIC GEDUNG APSLC
UGM DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER*
SESUAI PERATURAN SNI-1726-2019
(*SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF APSLC
UGM BUILDING WITH PUSHOVER ANALYSIS
METHOD IN ACCORDANCE WITH SNI-1726-2019
REGULATION*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Haristio Nugraha
17 511 032**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIK GEDUNG APSLC
UGM DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER*
SESUAI PERATURAN SNI-1726-2019
(*SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF APSLC
UGM BUILDING WITH PUSHOVER ANALYSIS
METHOD IN ACCORDANCE WITH SNI-1726-2019
REGULATION*)**



Disusun Oleh

Haristio Nugraha
17 511 032

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

Diuji pada tanggal 25 Oktober 2021

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U
NIK: 845110101

Penguji I

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji II

Ir. Suharyatma, M.T.
NIK: 865110201

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M. T.
NIK: 88511010

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana (S1) 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 dengan 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, 25 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,



Haristio Nugraha

(17511032)

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “*Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APSLC UGM dengan Metode Analisis Pushover Sesuai Peraturan SNI-1726-2019*”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia,
2. Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII Yogyakarta,
3. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil FTSP UII Yogyakarta,
4. Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U, selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
5. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng, selaku dosen penguji I atas segala saran, kritik, serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
6. Bapak Ir. Suharyatma, M.T, selaku dosen penguji II atas segala saran, kritik, serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Toni Harisman, S.Sos, M.Si. dan Ibu Asnia Tuti, SKM, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta kesabaran

- yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup. Penulis berharap dapat menjadi anak yang dibanggakan,
8. Kedua adik penulis tercinta, Hafizh Rizqi dan Syakirah Maise Fitriyah, terima kasih atas doa dan segala dukungan,
 9. Seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa dan semangat,
 10. Teman-Teman OWL, selaku sahabat sejati yang mendukung di segala kondisi dalam penyelesaian tugas akhir ini,
 11. Teman-teman Kos Detha, Rizky Andrian, Panji Setiawan, Rahmad Hidayat, M. Taufik Bima P., M. Naufal Ghozi, Kukuh Khoiru U., Fahrur Ihza, Rifki Hermawan A. Terima kasih atas kesenangan, canda tawa yang membahagiakan dan menjadi keluarga baru bagi penulis,
 12. Seluruh teman-teman penulis di Teknik Sipil Angkatan 2017 yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu. Terima kasih atas pertemanan selama ini,
 13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah dengan tulus dan ikhlas memberikan doa dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini, dan
 14. *Last but not least, I wanna thank me, for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for just being me at all times.*

Dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan tugas akhir ini serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Yogyakarta, 25 Oktober 2021
Penulis,

Haristio Nugraha

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Tentang Kinerja Struktur Bangunan	6
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	9
2.3 Keaslian Penelitian	13
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Gempa Bumi	14

3.2	Konsep Bangunan Tahan Gempa	15
3.3	Analisis Struktur Bangunan	16
3.4	Pembebanan Struktur	21
3.5	Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-1726-2019	24
3.6	Analisis Statik Non-Linier (<i>Pushover Analysis</i>)	37
3.7	Sendi Plastis (<i>Hinge</i>)	38
3.8	Kurva Kapasitas	40
3.9	Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	43
3.10	Batasan Deformasi (<i>Drift</i>) Menurut ATC-40	44
3.11	Level Kinerja Struktur Metode ATC-40	44
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		47
4.1	Objek Penelitian	47
4.2	Data Bangunan	49
4.3	Program dan <i>Software</i> yang digunakan	50
4.4	Tahapan Penelitian	51
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		55
5.1	Perhitungan Pembebanan Struktur	55
5.2	Analisis Beban Gempa	75
5.3	Analisis <i>Pushover</i>	79
5.4	Hasil Analisis <i>Pushover</i>	93
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		106
6.1	Kesimpulan	106
6.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA		108

DAFTAR TABEL

Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan	21
Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung	22
Tabel 3.3 Beban Hidup pada Lantai Gedung	23
Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	27
Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa	28
Tabel 3.6 Koefisien Situs F_a	30
Tabel 3.7 Koefisien Situs F_v	30
Tabel 3.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	31
Tabel 3.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	32
Tabel 3.10 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik	33
Tabel 3.11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	34
Tabel 3.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	35
Tabel 3.13 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	36
Tabel 3.14 Deformation Limits	44
Tabel 3.15 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur	46
Tabel 4.1 Dimensi dan Tipe Kolom	49
Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok	49
Tabel 4.3 Dimensi dan Tipe Pelat	50
Tabel 5.1 Reaksi Perletakan Joint Struktur Rangka Atap	69
Tabel 5.2 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal	75
Tabel 5.3 Data Kurva Kapasitas <i>PUSHOVER X</i>	94
Tabel 5.4 Data Kurva Kapasitas <i>PUSHOVER Y</i>	95
Tabel 5.5 <i>Output Capacity Spectrum and Demand Spectrum</i> Arah x	98

Tabel 5.6 <i>Output Capacity Spectrum and Demand Spectrum Arah y</i>	99
Tabel 5.7 Performance Point Metode ATC-40	100
Tabel 5.8 Keterangan Warna Titik Sendi Plastis	102



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Beban (P) dan Waktu (t)	19
Gambar 3.2 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 0,2 Detik	29
Gambar 3.3 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 1 Detik	29
Gambar 3.4 Spektrum Respons Desain	34
Gambar 3.5 Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada SAP2000	39
Gambar 3.6 Posisi Sumbu lokal Kolom Struktur pada SAP2000	39
Gambar 3.7 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom	40
Gambar 3.8 Kurva Kapasitas	40
Gambar 3.9 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa	41
Gambar 3.10 Perubahan Format Kurva Kapasitas. (a) Kurva Kapasitas Format Standar, (b) Kurva Kapasitas Format ADRS	42
Gambar 3.11 Perubahan Format Respons Spektra. (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS	43
Gambar 3.12 Penentuan <i>Performance Point</i>	43
Gambar 3.13 Ilustrasi Keruntuhan Gedung	45
Gambar 4.1 Denah Bangunan APSLC UGM	48
Gambar 4.2 Denah Potongan Bangunan APSLC UGM	48
Gambar 4.3 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian	53
Gambar 5.1 Koefisien Beban Angin	61
Gambar 5.2 Input Data Material	62
Gambar 5.3 Input <i>Frame Properties</i>	63
Gambar 5.4 Permodelan Atap	63
Gambar 5.5 <i>Joint Restraint</i>	64
Gambar 5.6 <i>Define Load Pattern</i>	64
Gambar 5.7 Input <i>Joint Load</i>	64
Gambar 5.8 Input <i>Frame Load</i>	65
Gambar 5.9 Beban Mati pada Struktur (<i>Dead Load</i>)	65

Gambar 5.10 Beban Hidup pada Struktur (<i>Live Load</i>)	66
Gambar 5.11 Beban Hujan pada Struktur (<i>Rain Load</i>)	66
Gambar 5.12 Beban Angin pada Struktur (<i>Wind Load</i>)	67
Gambar 5.13 <i>Frame Release</i>	67
Gambar 5.14 <i>Frame</i> Setelah di <i>Release</i>	68
Gambar 5.15 <i>Set Load Case to Run</i>	68
Gambar 5.16 Grafik Respon Spektrum	73
Gambar 5.17 <i>Mass Source</i>	76
Gambar 5.18 Membuat <i>Respon Spectrum Function</i>	77
Gambar 5.19 Mengisi Parameter Respon Spektrum	77
Gambar 5.20 <i>Base Reaction</i> akibat beban Gempa Statik Ekuivalen	77
Gambar 5.21 <i>Base Reaction</i> Akibat Gaya Gempa Dinamik	78
Gambar 5.22 Input <i>Scale Factor</i> pada <i>Load Case</i> Respon SX	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 5.23 Input <i>Scale Factor</i> pada <i>Load Case</i> Respon SY	79
Gambar 5.24 Gaya Gempa Dinamik setelah <i>Scale Factor</i>	79
Gambar 5.25 <i>Define Load Pattern</i>	80
Gambar 5.26 Input Beban Gempa Arah X	80
Gambar 5.27 Input Beban Gempa Arah Y	81
Gambar 5.28 <i>Load Case</i> GRAVITY X	82
Gambar 5.29 <i>Load Application</i> GRAVITY X	82
Gambar 5.30 <i>Results Saved</i> GRAVITY X	82
Gambar 5.31 <i>Nonlinier Parameters</i> GRAVITY X	83
Gambar 5.32 <i>Load Case</i> GRAVITY Y	84
Gambar 5.33 <i>Load Application</i> GRAVITY Y	84
Gambar 5.34 <i>Results Saved</i> GRAVITY Y	84
Gambar 5.35 <i>Nonlinier Parameters</i> GRAVITY Y	85
Gambar 5.36 <i>Load Case</i> PUSHOVER X	86
Gambar 5.37 <i>Load Application</i> PUSHOVER X	86
Gambar 5.38 <i>Results Saved</i> PUSHOVER X	87
Gambar 5.39 <i>Nonlinier Parameters</i> PUSHOVER X	87

Gambar 5.40 <i>Load Case</i> PUSHOVER Y	88
Gambar 5.41 <i>Load Application</i> PUSHOVER Y	88
Gambar 5.42 <i>Results Saved</i> PUSHOVER Y	89
Gambar 5.43 <i>Nonlinier Parameters</i> PUSHOVER Y	89
Gambar 5.44 <i>Select Frame</i> Balok	90
Gambar 5.45 <i>Input Frame</i> Hinge	90
Gambar 5.46 <i>Setting Hinge</i> Balok	91
Gambar 5.47 <i>Select Frame</i> Kolom	91
Gambar 5.48 <i>Input Frame</i> Hinge	92
Gambar 5.49 <i>Setting Hinge</i> Kolom	92
Gambar 5.50 <i>Running Analysis</i>	93
Gambar 5.51 Kurva Kapasitas PUSHOVER X	94
Gambar 5.52 Kurva Kapasitas PUSHOVER Y	94
Gambar 5.53 Perbandingan Kurva Kapasitas Arah x dan Arah y	95
Gambar 5.54 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur	96
Gambar 5.55 <i>Parameters for ATC-40 Capacity Spectrum</i>	97
Gambar 5.56 <i>Capacity Spectrum</i> Arah x	97
Gambar 5.57 <i>Capacity Spectrum</i> Arah y	98
Gambar 5.58 <i>Capacity Spectrum</i> dan <i>Demand Spectrum</i> Arah x	99
Gambar 5.59 <i>Capacity Spectrum</i> dan <i>Demand Spectrum</i> Arah y	100
Gambar 5.60 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah x	103
Gambar 5.61 Step Ketika Terjadi Sendi Plastis pada Kolom Arah x	103
Gambar 5.62 Step Akhir Sendi Plastis Arah x	104
Gambar 5.63 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah y	104
Gambar 5.64 Step Ketika Terjadi Kelelehan Awal Arah y	105
Gambar 5.65 Step Akhir Sendi Plastis Arah y	105

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Denah Lantai 1
- Lampiran 2 Denah Lantai 2
- Lampiran 3 Denah Lantai 3
- Lampiran 4 Denah Lantai 4
- Lampiran 5 Denah Lantai 5
- Lampiran 6 Denah Lantai 6
- Lampiran 7 Denah Lantai 7
- Lampiran 8 Denah Lantai 8
- Lampiran 9 Denah Lantai 9
- Lampiran 10 Potongan Memanjang Gedung
- Lampiran 11 Potongan Melintang Gedung
- Lampiran 12 Detail Kolom
- Lampiran 13 Detail Balok
- Lampiran 14 Detail Pelat
- Lampiran 15 Denah Atap
- Lampiran 16 Detail Atap

DAFTAR NOTASI

U	= Kuat Perlu
D	= Beban Mati
L	= Beban Hidup
E_v	= Beban Gempa Vertikal
E_h	= Beban Gempa Horizontal
S_S	= Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik
S_I	= Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter spektral desain perioda pendek
S_{M1}	= Parameter spektral desain perioda 1 detik
SRPM	= Sistem Rangka Pemikul Momen
SDS	= Sistem Dinding Struktur
B ; M ; K	= Biasa ; Menengah ; Khusus
S_{DS}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
S_{D1}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
T	= periode getar fundamental struktur
T_L	= Peta transisi periode panjang
^a	= Koefisien modifikasi respons, R , untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.
^b	= Jika nilai pada tabel faktor kuat lebih, Ω_0 , lebih besar atau sama dengan 2,5, Ω_0 maka diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.
^c	= Faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , untuk penggunaan dalam 0, 0, dan 0

d	= TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan
V	= gaya geser dasar seismik
C_s	= koefisien respons seismik
W	= berat seismik efektif
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
V	= gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
w_i dan w_x	= bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
h_i dan h_x	= tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
k	= eksponen yang terkait dengan periode struktur
PF_1	= faktor partisipasi modal pada mode pertama
α_1	= modal koefisien massa pada mode pertama
w_i / g	= massa pada tingkat ke- i
ϕ_{i1}	= amplitude mode-1 pada tingkat ke- i
S_a	= spektra percepatan/ <i>spectral acceleration</i> (g)
S_d	= spektra perpindahan/ <i>spectral displacement</i> (m)
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)

ABSTRAK

Indonesia adalah negara kepulauan yang diapit oleh 4 lempeng besar dunia sehingga membuat banyak daerah menjadi rawan bencana gempa bumi, termasuk Daerah Istimewa Yogyakarta. Salah satu gempa bumi terbesar yang pernah terjadi di Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 yang mengakibatkan banyak korban jiwa dan kerusakan bangunan. Kejadian tersebut menimbulkan kekhawatiran masyarakat akan terulang kembali, maka dari itu perlunya dilakukan evaluasi kinerja struktur untuk mengetahui tingkat kinerja struktur sehingga dapat dijadikan upaya mitigasi dan persiapan jika kejadian gempa bumi terulang kembali.

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi kinerja struktur dari objek penelitian ini yaitu gedung *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center* (APSLC) UGM. Evaluasi kinerja struktur menggunakan metode analisis *pushover* dengan *capacity spectrum* menurut ATC-40. Hasil analisis dengan metode ini yaitu berupa kurva kapasitas, titik kinerja, dan skema sendi plastis yang terjadi pada gedung tersebut.

Dari analisis yang telah dilakukan, hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kinerja gedung setelah dilakukan *pushover* arah x dan arah y dengan berdasarkan *performance point* yang dihitung dengan parameter *Maximum Total Drift Ratio* dan *Maximum Inelastic Drift Ratio* yaitu *Immediate Occupancy* (IO) dengan sendi plastis yang terjadi merata diawali dari balok. Dapat ditarik kesimpulan bahwa bangunan dapat menahan gempa yang terjadi dengan risiko korban jiwa dan kerusakan yang sangat kecil.

Kata Kunci: Gempa bumi, analisis *pushover*, titik kinerja, tingkat kinerja, sendi plastis

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country flanked by 4 major plates of the world, making many areas prone to earthquakes, including the Special Region of Yogyakarta. One of the biggest earthquakes ever occurred in Yogyakarta on 27 May 2006 which resulted in many casualties and damage to buildings. This incident raises public concerns that it will happen again, therefore it is necessary to evaluate the performance of the structure to determine the level of structure performance so that it can be used as mitigation and preparation efforts if an earthquake occurs again.

The purpose of this study is to evaluate the structural performance of the object of this research, namely the Advanced Pharmaceutical Science Learning Center (APSLC) UGM building. Evaluation of structure performance using pushover analysis method with capacity spectrum according to ATC-40 The results of the analysis with this method are in the form of a capacity curve, performance point, and a plastic hinge scheme that occurs in the building.

From the analysis that has been done, the results of the analysis show that the level of performance of the building after the pushover in the x direction and y direction is based on the performance point calculated with the parameter Maximum Total Drift Ratio and Maximum Inelastic Drift Ratio is Immediate Occupancy (IO) with plastic hinges that occur evenly starting from the beam. It can be concluded that the building can withstand earthquakes that occur with very small risk of loss of life and damage.

Keywords: *Earthquake, pushover analysis, performance point, performance level, plastic hinge*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara yang terdiri dari gabungan beberapa pulau, yang memiliki kerentanan terhadap gempa bumi hampir di seluruh pulau. Hal ini dikarenakan kepulauan Indonesia dilewati Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) serta berada pada pertemuan 4 lempeng tektonik besar dunia, yaitu lempeng Eurasia, Lempeng India, Lempeng Australia, dan Lempeng Pasifik.

Gempa bumi merupakan getaran atau gerakan bergelombang pada kulit bumi akibat dari pergeseran tiba-tiba dari lapisan tanah di bawah permukaan bumi (lempeng bumi). Ketika pergeseran ini terjadi, maka akan timbul getaran yang disebut dengan gelombang seismik. Gelombang ini menjalar ke segala arah menjauhi pusat gempa. Getaran yang sampai ke permukaan bumi bisa bersifat merusak struktur bangunan bahkan hingga menelan korban jiwa.

Gempa bumi yang pernah melanda Indonesia yang telah menimbulkan korban terhadap manusia dan harta benda yang cukup besar diantaranya adalah:

1. Gempa Aceh 26 Desember 2004 dengan kekuatan 9 SR,
2. Gempa Nias 28 Maret 2005 dengan kekuatan 8,7 SR,
3. Gempa Yogyakarta 26 Mei 2006 dengan kekuatan 5,9 SR,
4. Gempa Padang 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 SR,
5. Gempa Mentawai 25 Oktober 2010 dengan kekuatan 7,7 SR,
6. Gempa Banten 23 Januari 2018 dengan kekuatan 6,4 SR,
7. Gempa Lombok 29 Juli 2018 dengan kekuatan 6,4 SR, dan
8. Gempa Palu 28 September 2018 dengan kekuatan 7,4 SR.

Gempa yang sering terjadi hampir setiap tahun di berbagai tempat di Indonesia telah menimbulkan kerugian yang sangat besar berupa kerusakan prasarana dan bangunan. Hal tersebut menjadi kekhawatiran pada bangunan yang sudah ada ataupun yang akan dibangun apakah dapat bertahan jika terjadi gempa

bumi yang serupa atau bahkan lebih kuat. Guna mengantisipasi terjadinya bencana serupa di kemudian hari perlu upaya serius untuk meningkatkan kualitas konstruksi bangunan di Indonesia. Ini merupakan suatu tuntutan logis yang harus ditindak lanjuti sebagai konsekuensi hidup di daerah yang rawan gempa.

Sehubungan dengan adanya potensial kerusakan bangunan akibat gempa maka diperlukan perencanaan serta evaluasi kekuatan struktur pada bangunan yang sudah dibangun.

Saat ini metode perencanaan bangunan tahan gempa telah beralih dari berdasarkan kekuatan (*force based*) menjadi berdasarkan kinerja (*performance based*). Perencanaan berbasis kinerja sangat penting karena sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan dengan jelas. Sasaran kinerja gempa antara lain ditentukan dari tingkat kinerja. Tingkat kinerja merupakan batasan kerusakan yang ditentukan dari kerusakan fisik struktur dan elemen struktur, sehingga dengan adanya tingkat kinerja dapat diketahui keadaan struktur bangunan.

Evaluasi bangunan tidak hanya dilakukan pasca gempa, namun perlu upaya mitigasi untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan akibat bencana gempa. Sehingga perlu dilakukan evaluasi kinerja seismik pada bangunan yang sudah terbangun atau eksisting, hal ini merupakan langkah yang tepat dalam penanggulangan dampak bencana gempa.

Pada penelitian ini, bangunan Gedung *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center* (APSLC) yang ada di kawasan kampus Universitas Gadjah Mada (UGM) di Yogyakarta akan di evaluasi dengan menggunakan metode analisis *pushover* sesuai dengan pembebanan gempa yang diatur dalam SNI 1726:2019 dan prosedur analisis *pushover* mengacu pada metode ATC-40 (*Capacity Spectrum Method*) untuk mengetahui bagaimana level kinerja seismik struktur bangunan tersebut dan skema sendi plastis yang dapat terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, Adapun 3 (tiga) rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil kurva kapasitas dari analisis *pushover* pada gedung APSLC UGM?
2. Bagaimana hasil *performance point* dan level kinerja seismik struktur bangunan gedung APSLC UGM sesuai metode ATC-40?
3. Bagaimana skema sendi plastis yang terjadi setelah dilakukan analisis *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. mengetahui kurva kapasitas pada gedung APSLC UGM dari hasil analisis *pushover*,
2. mengetahui *performance point* dan level kinerja bangunan gedung APSLC UGM dengan metode ATC-40, dan
3. mengetahui skema sendi plastis yang terjadi pada gedung APSLC UGM setelah dilakukan analisis *pushover*.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bangunan yang diteliti adalah Gedung *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center* (APSLC) UGM.
2. Analisa gaya gempa berdasarkan SNI-1726-2019 dengan peta gempa terbaru
3. Komponen yang dievaluasi hanya komponen struktur
4. Fondasi dan kondisi tanah tidak dievaluasi
5. Mutu bahan pada struktur sebagai berikut.

- a. Mutu beton

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{berat jenis beton} = 2,4 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Modulus Elastisitas } (E_c) = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 25742,9602 \text{ MPa}$$

- b. Mutu baja tulangan

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$F_u = 560 \text{ MPa}$$

$$F_{ya} = 525 \text{ MPa}$$

$$F_{ua} = 700 \text{ MPa}$$

6. Analisis penelitian sebagai berikut ini.
 - a. Analisis struktur ditinjau dalam bentuk 3 dimensi menggunakan bantuan *software* SAP2000.
 - b. Tumpuan yang digunakan dalam permodelan numerik adalah jepit.
 - c. Sistem struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
 - d. Permodelan numerik sebagai *open frame*.
 - e. *Shear wall* dimodelkan sebagai *shell-thick*.
 - f. Dinding bata tidak dimodelkan.
 - g. Tangga dan *Lift* tidak dimodelkan.
 - h. Balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame*.
 - i. Pelat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin*.
 - j. Rangka atap dimodelkan terpisah, beban mati dan beban hidup pada atap diteruskan sebagai beban terpusat pada tumpuan kuda-kuda.
 - k. Beban angin dan hujan hanya diperhitungkan pada permodelan rangka atap.
 - l. Analisis yang digunakan dalam evaluasi adalah analisis statik nonlinier *pushover*
 - m. Analisis statik nonlinier *pushover* yang digunakan sesuai prosedur ATC-40 yang telah *built-in* dalam program SAP2000 V22
 - n. Analisis momen *curvature* balok dan kolom sebagai input dalam *property* sendi untuk mendefinisikan perilaku non linier dilakukan secara auto pada program SAP2000 V22 sesuai dengan FEMA 356.

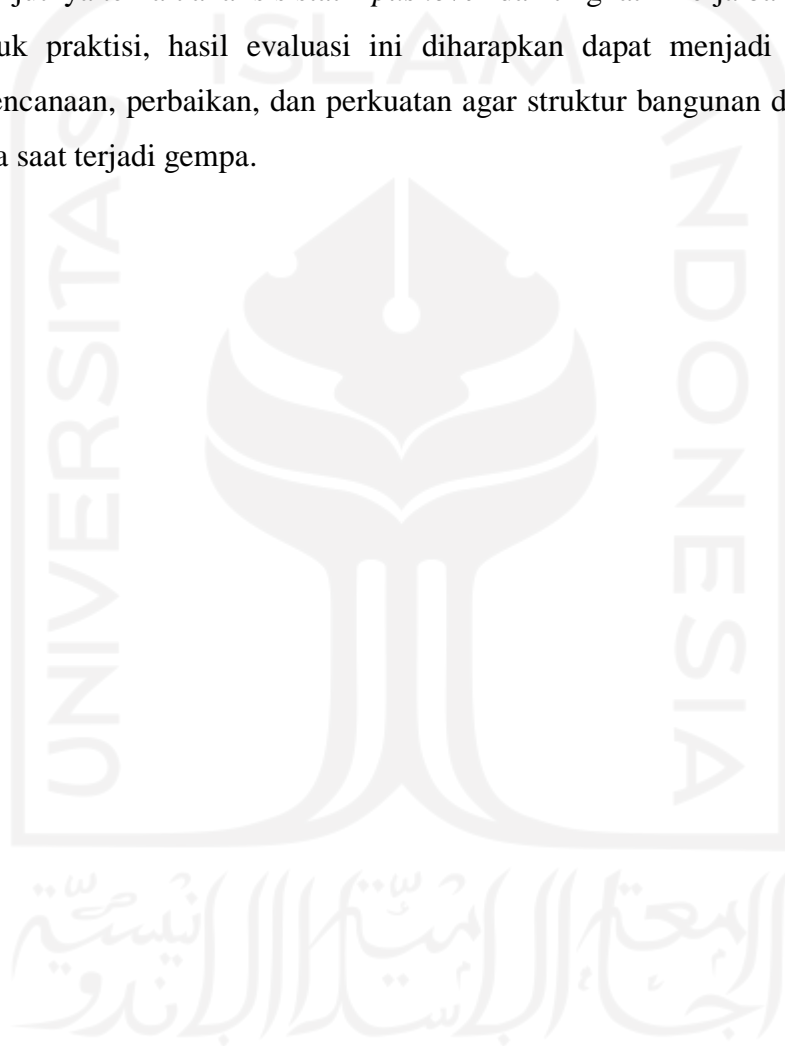
1.5 Manfaat Penelitian

Mengacu pada tujuan dari penelitian ini, adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk penulis, ilmu dan pemahaman dibidang teknik sipil tentang analisis statik *pushover* dapat bertambah, kemudian penulis dapat mengembangkan

kemampuan dalam menggunakan *software* SAP2000 khususnya dalam mendesain struktur beton portal 3D (tiga dimensi).

2. Untuk pembaca, wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai perilaku struktur bangunan terhadap gempa dengan analisis statik *pushover* dapat diperoleh dan hal-hal tersebut dapat menjadi bahan referensi jika terdapat penelitian selanjutnya terkait analisis statik *pushover* dan tingkat kinerja bangunan.
3. Untuk praktisi, hasil evaluasi ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan, perbaikan, dan perkuatan agar struktur bangunan dapat bertahan pada saat terjadi gempa.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab I telah dibahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan manfaat penelitian. Pada Bab II ini akan membahas tentang penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kinerja struktur bangunan bertingkat yang dievaluasi menggunakan metode analisis *pushover*.

2.1 Penelitian Tentang Kinerja Struktur Bangunan

Dalam melakukan penelitian, studi pustaka penting untuk dilakukan untuk mengetahui perkembangan penelitian terkait kinerja struktur bangunan yang terdahulu serta menghindari adanya plagiasi. Berikut penelitian sejenis tentang kinerja struktur bangunan sudah pernah dilakukan sebelumnya.

1. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Program SAP2000

Penelitian ini bersumber dari tugas akhir oleh Afandi (2010). Analisis dilakukan dengan bantuan *software* SAP2000. Gedung yang dianalisis adalah Gedung rumah sakit yang berada di lokasi Surakarta dengan jumlah lantai sebanyak 7 lantai.

Analisis dilakukan dengan menggunakan metode analisis gempa statik yaitu analisis statik *pushover*. Tujuan penulisan tugas akhir adalah re-evaluasi kinerja tahanan gempa gedung Rumah Sakit untuk mengetahui kapasitas gempa efektif struktur dan perilakunya dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan *code Applied Technology Council (ATC-40)* serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan code tersebut.

Hasil penelitian meliputi 3 hal berikut ini.

- a. Gaya dasar efektif sebesar 428,206 ton kurang dari gaya dasar rencana yaitu sebesar 747,132 ton yang menunjukkan bahwa struktur bangunan inelastis.

- b. Struktur bangunan mampu memberikan perilaku nonlinear yang ditunjukkan fase awal dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom.
 - c. Menurut ATC-40 gedung ini termasuk dalam katagori *Immediate Occupancy* (IO).
2. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis *Pushover* Terhadap *Drift* dan *Displacement* Menggunakan *Software* ETABS (Studi kasus: Hotel di Wilayah Surakarta).

Penelitian ini bersumber dari tugas akhir yang dilakukan oleh Marwanto (2014). Gedung hotel yang dimodelkan memiliki jumlah tingkat sebanyak 11 lantai dan berada di Wilayah Surakarta. Permodelan gedung tersebut dilakukan dengan bantuan program *ETABS* dalam bentuk 3D sesuai dengan *Shop Drawing*.

Dalam analisisnya menggunakan metode analisis statik *pushover* dengan menggunakan program *ETABS*. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui keamanan gedung dilihat dari *displacement* dan *drift*. Hasil dari penelitian ini dianalisis dengan metode ATC-40 untuk menentukan level kinerja struktur bangunan tersebut.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Nilai *drift* pada arah x adalah 0,00312 dan pada arah y adalah 0,00298.
 - b. Nilai maksimal *in-elastic drift* pada arah x adalah 0,00310 dan arah y adalah 0,00297.
 - c. Menurut ATC-40, nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*.
3. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta Menggunakan Analisa *Pushover* Sesuai Pedoman ATC-40

Penelitian ini bersumber dari jurnal karya Marianda (2016). Bangunan Asrama Mahasiswi UGM memiliki jumlah lantai sebanyak 6 lantai. Bangunan tersebut difungsikan sebagai rusunawa. Permodelan gedung menggunakan *shop drawing* dengan bantuan program *SAP2000 V14* dalam bentuk 3D.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui posisi sendi plastis pada bangunan dan mengetahui kinerja struktur bangunan tersebut terhadap pengaruh beban

gempa. Metode yang digunakan adalah analisis statik *pushover* dengan menggunakan program SAP2000 V14.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Sendi plastis hasil analisis *pushover* arah x terjadi di balok *tie beam* di elevasi -0.7 m untuk *step* 1. Kemudian *step* 2 sendi plastis terjadi di balok lantai 2 elevasi +3.2 m dan lantai 3 elevasi +6 m. *Step* 3 terjadi sendi plastis di kolom-kolom lantai 1 dan 2. Pada *step* 4 sampai *step* 8 sendi plastis masih terjadi di balok dan kolom yang sama. Namun pada *step* 8 pada kolom sudah banyak titik mengalami kondisi *collapse*
 - b. Sendi plastis hasil analisis *pushover* arah y terjadi juga di balok *tie beam* di elevasi -0.7 m untuk *step* 1. Kemudian *step* 2 sampai *step* 6 sendi plastis hanya terjadi di balok *TB* dan 1 balok di lantai 2, 3, 4, dan lantai 5. Sedangkan pada kolom terjadi 2 titik yang mengalami kondisi *collapse* pada *step* 6.
 - c. Level kinerja bangunan Asrama Mahasiswi Putri UGM menurut metode ATC- 40 adalah *Immediate Occupancy*, yaitu bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
4. Evaluasi Kinerja dan Probabilitas Kerusakan Seismik Gedung Laboratorium Dengan Analisis *Pushover* dan Metode *Hazus*

Penelitian ini bersumber dari tugas akhir oleh Saputra (2019). Penelitian ini dilakukan pada Gedung beraturan bertingkat 5 lantai. Gedung tersebut diuji dengan analisis statik *pushover* dan metode *hazus* dengan bantuan SAP2000 V15.1.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kurva kapasitas, *performance point*, kinerja struktur menurut ATC-40, skema keruntuhan, dan menghitung probabilitas kerusakan dengan metode HAZUS.

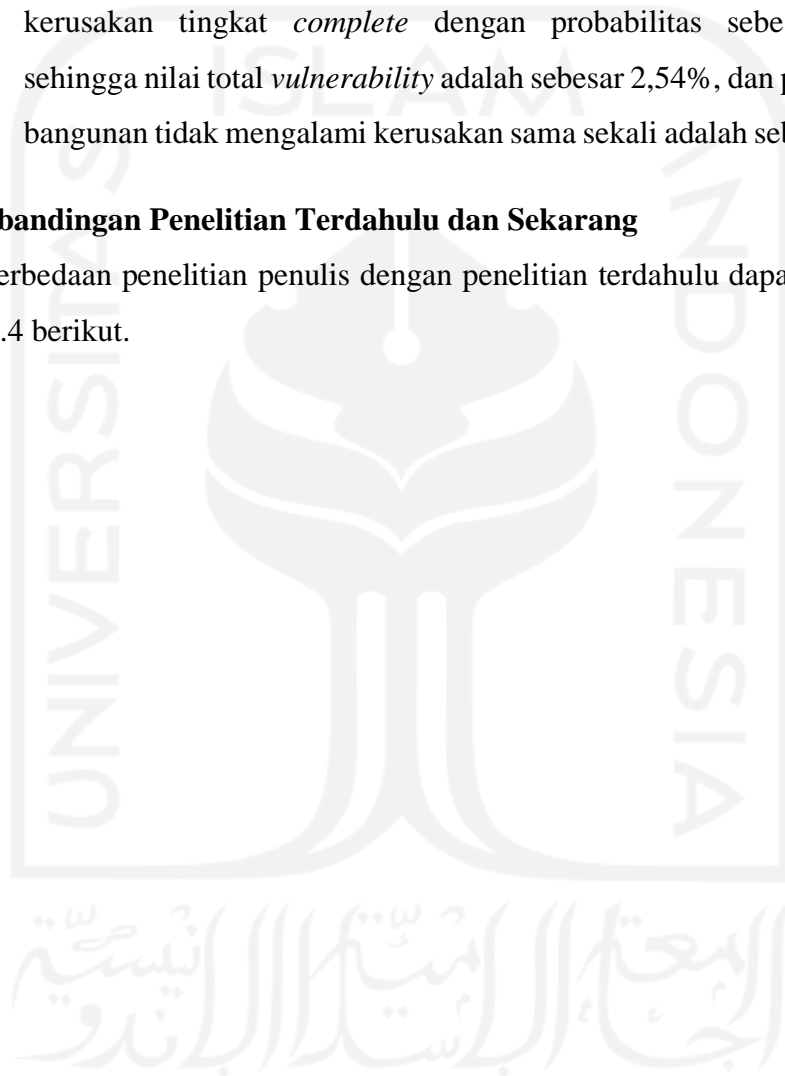
Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Level kinerja gedung pada arah-x dan arah-y dengan parameter *Maximum Total Drift Ratio* adalah *Immediate Occupancy* dan untuk *Maximum Inelastic Drift Ratio* adalah *Immediate Occupancy*.

- b. Analisis probabilitas kerusakan dengan metode HAZUS yang telah dilakukan diperoleh nilai *cumulative probability* yang menunjukkan bangunan mengalami tingkat kerusakan *slight* dengan probabilitas sebesar 2,28%, kerusakan tingkat *moderate* dengan probabilitas sebesar 0,26%, kerusakan tingkat *extensive* dengan probabilitas sebesar 0,0007%, kerusakan tingkat *complete* dengan probabilitas sebesar 0,0003% sehingga nilai total *vulnerability* adalah sebesar 2,54%, dan probabilitas bangunan tidak mengalami kerusakan sama sekali adalah sebesar 97,46%.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.



Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Aspek	Peneliti				
		Afandi, N. (2010)	Marwanto, A (2014)	Marinanda, D (2016)	Saputra, A (2019)	Penulis (2021)
1.	Judul	Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton dengan Analisis <i>Pushover</i> Menggunakan Program SAP2000	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis <i>Pushover</i> Terhadap <i>Drift</i> dan <i>Displacement</i> Menggunakan Software ETABS (Studi kasus: Hotel di Wilayah Surakarta).	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta Menggunakan Analisa <i>Pushover</i> Sesuai Pedoman ATC-40	Evaluasi Kinerja dan Probabilitas Kerusakan Seismik Gedung Laboratorium Dengan Analisis <i>Pushover</i> dan Metode <i>Hazus</i>	Evaluasi Kinerja Gedung Bertingkat Dengan Analisis <i>Pushover</i> Sesuai Peraturan SNI-1726-2019 (Studi Kasus: <i>Advanced Pharmaceutical Science Learning Center</i> (APSLC) UGM)
2.	Tujuan Penelitian	Mengetahui kapasitas gempa efektif dan terjadinya sendi plastis pada struktur dengan metode <i>pushover</i> sesuai peraturan ATC-40.	Mengetahui keamanan gedung dilihat dari <i>displacement</i> dan <i>drift</i> . Hasil dari penelitian ini dianalisis dengan metode ATC-40 untuk menentukan level kinerja struktur bangunan tersebut.	Mengetahui posisi sendi plastis pada bangunan dan mengetahui kinerja struktur bangunan tersebut terhadap pengaruh beban gempa.	Mengetahui kurva kapasitas, <i>performance point</i> , kinerja struktur, dan menghitung probabilitas kerusakan dengan metode HAZUS.	Mengetahui kurva kapasitas, <i>performance point</i> dan skema sendi plastis serta level kinerja struktur bangunan gedung (APSLC) UGM.

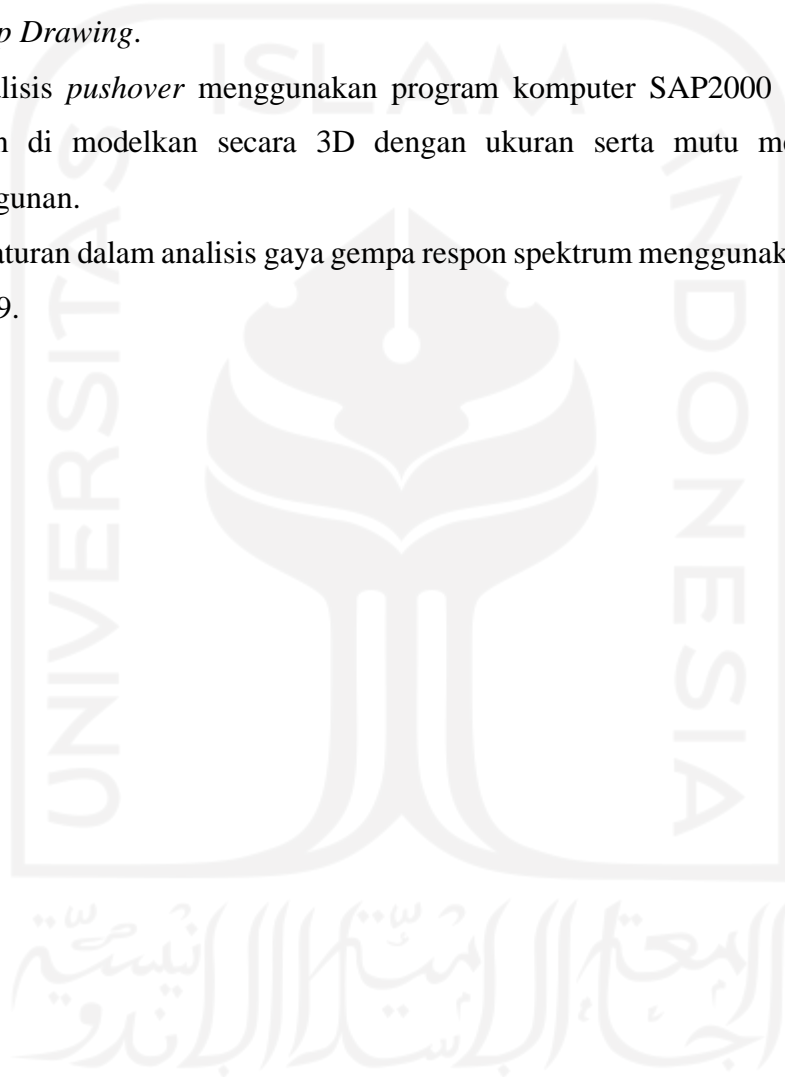
3.	Bentuk dan Tinggi Bangunan Gedung	Gedung rumah sakit dengan tingkat 7 lantai dan memiliki ketinggian 27,8 m	Gedung hotel dengan tingkat 11 lantai dan memiliki ketinggian 33,95 m	Gedung asrama dengan tingkat 6 lantai dan memiliki ketinggian 24 m	Gedung laboratorium dengan tingkat 5 lantai dan memiliki ketinggian 21,9 m	Gedung perkuliahan dengan 9 lantai dan memiliki ketinggian 36,45 m
4.	Metode Penelitian	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan bangunan dalam bentuk 3D dengan program SAP2000, menghitung pembebanan, hasil analisis struktur berupa kurva kapasitas, <i>drift / displacement</i> , menjelaskan apakah struktur aman berdasarkan <i>performance point</i> .	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan bangunan dalam bentuk 3D dengan program ETABS, menghitung pembebanan, analisis respon spektrum, perhitungan beban gempa, penentuan sendi plastis, evaluasi kinerja struktur.	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan bangunan dalam bentuk 3D dengan program SAP2000, menghitung pembebanan, analisis <i>pushover</i> .	Studi literatur dan pengumpulan data bangunan, memodelkan bangunan dalam bentuk 3D dengan program SAP2000, menghitung pembebanan, analisis <i>pushover</i> , mekanisme sendi plastis analisis tingkat kerusakan dengan metode <i>hazuz</i> .	Pengumpulan data bangunan, memodelkan struktur bangunan dengan program SAP2000, elemen struktur yang dimodelkan kolom, balok dan pelat. Kemudian dianalisis menggunakan metode analisis statik <i>pushover</i> . Lalu mengevaluasi kinerja struktur.

5.	Hasil Penelitian	<p>Gaya geser dasar efektif yaitu 428,206 ton < gaya geser rencana yaitu 747,132 ton dengan percepatan puncak batuan dasar 0,012 g < percepatan puncak batuan dasar rencana wilayah gempa 3 yaitu 0,15 g. Menurut ATC-40 gedung ini masuk dalam katagori <i>Immediate Occupancy</i> (IO).</p>	<p>Nilai <i>drift</i> pada arah x adalah 0,00312 dan pada arah y adalah 0,00298. Nilai maksimal <i>inelastic drift</i> pada arah x adalah 0,00310 dan arah y adalah 0,00297. Menurut ATC-40, nilai level kinerja termasuk <i>Immediate Occupancy</i>.</p>	<p>Distribusi sendi plastis pada saat kinerja tercapai tidak ada komponen yang melewati batas IO. Bangunan Asrama Mahasiswa UGM termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO).</p>	<p>Bangunan laboratorium termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO). Probabilitas bangunan tidak mengalami kerusakan sama sekali adalah sebesar 97,46%.</p>	-
----	------------------	---	---	---	---	---

2.3 Keaslian Penelitian

Bersumber pada penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dirangkum dalam Tabel 2.1, penelitian yang akan dilakukan merupakan karya asli dan bukan merupakan plagiasi, berikut ini perbedaan terhadap penelitian pada tugas akhir ini.

1. Gedung yang akan dianalisis adalah Gedung *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center* (APSLC) UGM dengan menggunakan denah berdasarkan *Shop Drawing*.
2. Analisis *pushover* menggunakan program komputer SAP2000 Versi 22 dan akan di modelkan secara 3D dengan ukuran serta mutu mengikuti data bangunan.
3. Peraturan dalam analisis gaya gempa respon spektrum menggunakan SNI-1726-2019.



BAB III

LANDASAN TEORI

Pada Bab II telah dibahas tentang keaslian penelitian tentang kinerja struktur bangunan dan pada Bab III ini akan dibahas teori-teori tentang gempa bumi, konsep bangunan tahan gempa, ketentuan umum perencanaan struktur bangunan berdasarkan SNI-1726-2019, analisis *pushover*, definisi sendi plastis, serta menentukan level kinerja struktur berdasarkan metode ATC-40.

3.1 Gempa Bumi

Bath (1979) dalam Kusumaningrum (2017) menyatakan getaran seismik yang menjalar dari dalam bumi hingga mencapai permukaan bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba akibat adanya pergeseran batuan kerak bumi di sepanjang zona penunjang lempeng (subduksi) disebut gempa bumi.

Pawirodikromo (2012) menyatakan Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Gempa bumi secara pasti belum dapat diprediksi tempat dan waktu kejadian, magnitude gempa maupun kedalaman fokus. Walaupun belum dapat diprediksi secara akurat, tetapi perkiraan tempat-tempat potensi kejadian gempa pada masa mendatang sudah dapat diidentifikasi secara baik.

Mustafa (2010) menyatakan jenis-jenis gempa berdasarkan penyebabnya adalah sebagai berikut.

1. Gempa tektonik merupakan gempa yang disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik. Lempeng tektonik bumi kita ini terus bergerak, ada yang saling mendekat dan saling menjauh, atau saling menggeser secara horizontal. Karena tepian lempeng yang tidak rata, jika terjadi gesekan, maka timbulah friksi. Friksi ini kemudian mengakumulasi energi yang kemudian dapat melepaskan energi guncangan menjadi sebuah gempa.

2. Gempa vulkanik merupakan gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung api. Magma yang berada pada kantong di bawah gunung tersebut mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba-tiba sehingga menimbulkan getaran tanah. Gempa ini disebabkan oleh kegiatan vulkanik (gunung api). Magma yang berada pada kantong di bawah gunung tersebut mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba-tiba sehingga menimbulkan getaran tanah. Gempa vulkanik dapat menjadi gejala/petunjuk akan terjadinya letusan gunung berapi. Namun gempa vulkanik ini biasanya tidak merusak karena kekuatannya cukup kecil, sehingga hanya dirasakan oleh orang-orang yang berada dalam radius yang kecil saja dari sebuah gunungapi
3. Gempa runtuh merupakan gempa lokal yang terjadi apabila suatu gua di daerah topografi karst atau di daerah pertambangan runtuh atau massa batuan yang cukup besar di sebuah lereng bukit runtuh/longsor. Kekuatan gempa akibat runtuh massa batuan ini juga kecil sehingga tidak berbahaya.

Gempa buatan merupakan gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia, misalnya dalam kegiatan eksplorasi bahan tambang atau untuk keperluan teknik sipil dalam rangka mencari batuan dasar (*bedrock*) sebagai dasar fondasi bangunan. Kekuatannya juga kecil sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi manusia dan bangunan.

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah sebuah struktur yang jika terjadi gempa, bangunan tersebut tidak langsung hancur. Dalam menciptakan bangunan yang kuat terhadap gempa dibutuhkan biaya yang sangat mahal. Pawirodikromo (2012) menyatakan prinsip bangunan yang akan dibangun hendaknya mengacu pada prinsip *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang relatif kuat terhadap bahaya gempa tetapi pembangunannya relatif murah. Sehingga tujuan dari merencanakan bangunan tahan gempa dapat tercapai yaitu mampu mengurangi biaya semaksimal mungkin bila harus dilakukan perbaikan bangunan yang rusak akibat gempa dan mengurangi risiko memakan korban jiwa jika keruntuhan bangunan terjadi.

Menurut Pawirodikromo (2012) prinsip-prinsip desain filosofi bangunan tahan gempa adalah:

1. pada gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan,
2. pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relative jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru, dan
3. pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*).

3.3 Analisis Struktur Bangunan

Menurut Elliza (2013) dalam melakukan analisis struktur bangunan terhadap beban gempa secara umum terbagi menjadi 2 (dua) macam sebagai berikut.

1. Analisis statik ekuivalen merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horisontal statik yang bekerja pada pusatpusat massa bangunan. Prinsip analisis ini didasarkan bahwa bila sebuah sistem struktur mengalami getaran, maka seluruh ragam getar dapat terjadi bersamaan sehingga terjadi interference antar pengaruh dari semua ragam getar. Pada kondisi tertentu, ragam getar pertama memberikan pengaruh yang dominan terhadap struktur, sehingga pengaruh ragam yang lain dapat diabaikan. Pada kondisi ini, pengaruh getaran terhadap struktur dapat diwakili dengan serangkaian beban horizontal statik yang disebut beban statik ekuivalen yang mengakibatkan terjadinya respons (simpangan dan gaya dalam) yang sama dengan respons yang diakibatkan oleh getaran ragam pertama tersebut.
2. Analisis dinamik merupakan metode analisis struktur dengan pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (dua) macam sebagai berikut.

- a. Analisis riwayat waktu (*time history*) merupakan analisis dinamis dengan cara memberikan suatu catatan rekaman gempa pada sebuah model struktur dan menghitung respon struktur langkah demi langkah pada interval tertentu.
- b. Analisis ragam respon spektrum (*spectrum response*) dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.

Analisis dinamik dilakukan untuk mengetahui perilaku sebuah struktur bangunan akibat pengaruh gempa dan jika dibutuhkan untuk evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur.

Pada bangunan tingkat tinggi atau tidak beraturan, analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis ataupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*) dan Analisis Ragam Respon Spektrum (*Respon Spectrum Modal Analysis*). Pada analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

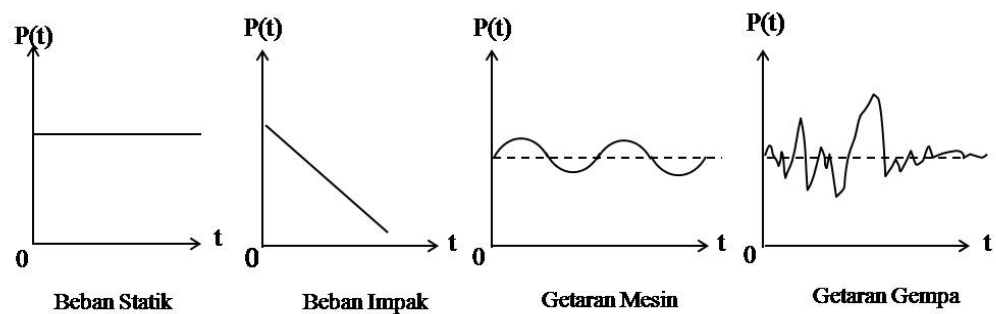
Dalam SNI-1726-2002 untuk struktur bangunan yang mempunyai ketidakberaturan horizontal harus dianalisis menggunakan peenggambaran 3 dimensi. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya respon struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, paling tidak gerak ragam pertama (fundamental) harus dominan dalam translasi.

Analisis dinamik adalah untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. Pada analisis ragam spektum respon, sebagai spektrum percepatan respon gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar (C) untuk wilayah masing-masing gempa. Nilai C tersebut tidak berdimensi sehingga respon masing-masing ragam merupakan respon relatif.

Dalam SNI-1726-2002 Untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan harus dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau *CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan, apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam tersebut dapat dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau *SRSS*).

Pawirodikromo (2000) menyatakan pada ilmu statika keseimbangan gaya-gaya didasarkan atas kondisi statik, artinya gaya-gaya tersebut tetap intensitasnya, tetap tempatnya dan tetap arah/ garis kerjanya. Gaya-gaya tersebut dikategorikan sebagai beban statik. Kondisi seperti ini akan berbeda dengan beban dinamik dengan pokok-pokok perbedaan sebagai berikut.

1. Beban dinamik adalah beban yang berubah-ubah menurut waktu (*time varying*) sehingga beban dinamik merupakan fungsi dari waktu.
2. Beban dinamik umumnya hanya bekerja pada rentang waktu tertentu. Untuk gempa bumi maka rentang waktu tersebut kadang-kadang hanya beberapa detik saja. Walaupun hanya beberapa detik saja namun beban angin dan beban gempa misalnya dapat merusakkan struktur dengan kerugian yang sangat besar.
3. Beban dinamik dapat menyebabkan timbulnya gaya inersia pada pusat massa yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan.
4. Beban dinamik lebih kompleks dibanding dengan beban statik, baik dari bentuk fungsi bebannya maupun akibat yang ditimbulkan. Asumsi-asumsi kadang perlu diambil untuk mengatasi ketidakpastian yang mungkin ada pada beban dinamik.
5. Karena beban dinamik berubah-ubah intensitasnya menurut waktu, maka pengaruhnya terhadap struktur juga berubah-ubah menurut waktu. Oleh karena itu penyelesaian problem dinamik harus dilakukan secara berulang-ulang bersifat penyelesaian tunggal (*single solution*), maka penyelesaian problem dinamik bersifat penyelesaian berulang-ulang (*multiple solution*).
6. Sebagai akibat penyelesaian yang berulang-ulang maka penyelesaian struktur dengan beban dinamik akan lebih mahal dan lebih lama.



Gambar 3.1 Diagram Beban (P) dan Waktu (t)

Sumber: www.googleimage.com diakses pada tanggal 24 Maret 2021

Beban dinamik menimbulkan respon yang berubah-ubah menurut waktu, maka struktur yang bersangkutan akan ikut bergetar atau ada gerakan. Dalam hal ini bahan akan melakukan resistensi terhadap gerakan dan pada umumnya dikatakan bahan yang bersangkutan mempunyai kemampuan untuk meredam getaran. Dengan demikian pada pembebanan dinamik, akan terdapat peristiwa redaman yang hal ini tidak ada pada pembebanan statik.

Dalam SNI-1726-2002 struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut.

1. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
2. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
3. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
4. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama orthogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
5. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini,

struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.

6. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat.
7. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
8. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
9. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, sehingga menurut standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan diatas, ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh Gempa Rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik.

3.4 Pembebanan Struktur

Pada penelitian ini yang akan dianalisis hanya 3 jenis beban yang paling berpengaruh terhadap struktur yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bagian sebuah gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Beban mati yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	kg/m ³
2	Batu alam	2600	kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500	kg/m ³
4	Batu karang (berat tumpuk)	700	kg/m ³
5	Batu pecah	1450	kg/m ³
6	Besi tuang	7250	kg/m ³
7	Beton ⁽¹⁾	2200	kg/m ³
8	Beton bertulang ⁽²⁾	2400	kg/m ³
9	Kayu (kelas 1) ⁽³⁾	1000	kg/m ³
10	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650	kg/m ³
11	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	kg/m ³
12	Pasangan batu cetak	2200	kg/m ³
13	Pasangan batu karang	1450	kg/m ³
14	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	kg/m ³
15	Pasir (jenuh air)	1800	kg/m ³
16	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850	kg/m ³
17	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700	kg/m ³
18	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	kg/m ³
19	Timah hitam (timbel)	1140	kg/m ³

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No.	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Adukan, per cm tebal : ➤ Dari semen ➤ Dari kapur, semen merah atau tras	21 17	kg/m ³
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m ³
3	Dinding pasangan bata merah : ➤ Satu batu ➤ Setengah batu	450 250	kg/m ³
4	Dinding pasangan batako : ➤ Berlubang : ▪ Tebal dinding 20 cm (HB 20) ▪ Tebal dinding 10 cm (HB 10) ➤ Tanpa lubang ▪ Tebal dinding 15 cm ▪ Tebal dinding 10 cm	200 120 300 200	kg/m ³
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terpadu dari : ➤ Semen asbes (<i>eternity</i> dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4mm. ➤ Kaca, dengan tebal 3-4 mm.	11 10	kg/m ³
6	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m.	40	kg/m ³
7	Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso per m ² bidang atap.	50	kg/m ³
8	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap.	40	kg/m ³
9	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	kg/m ³
10	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal.	21	kg/m ³
11	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m ³
12	Ducting AC dan penerangan	30,6	kg/m ³

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah sehingga dapat mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai atau atap. Beban hidup yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Beban Hidup pada Lantai Gedung

No.	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam no 2.	200	kg/m ³
2	Lantai tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk took, pabrik atau bengkel.	125	kg/m ³
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit.	250	kg/m ³
4	Lantai ruang olah raga.	400	kg/m ³
5	Lantai dansa.	500	kg/m ³
6	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari yang disebut dalam no 1 s/d 5, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap.	400	kg/m ³
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri.	500	kg/m ³
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 3.	300	kg/m ³
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 4,5,6 dan 7.	500	kg/m ³
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam no 3,4,5,6 dan 7.	250	kg/m ³
11	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, took buku, took besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum.	400	kg/m ³
12	Lantai gedung parkir bertingkat : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Untuk lantai bawah ➤ Untuk lantai tingkat lainnya 	400	kg/m ³
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai yang berbatasan dengan minimum.	300	kg/m ³

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.

4. Kombinasi Pembebanan

Faktor-faktor untuk beban yang bekerja nilainya telah ditetapkan dalam standar pembebanan struktur gedung atau standar beton yang berlaku. Faktor-faktor ini kemudian dikombinasikan untuk memperoleh beban yang paling ekstrem. Dari

kombinasi-kombinasi pembebanan menurut SNI-1726-2019, maka kombinasi pembebanan yang dipakai dalam penelitian ini antara lain:

- a. $U = 1,4D$,
- b. $U = 1,2D + 1,6L$,
- c. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0E_h + 0,3E_v$,
- d. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0E_h - 0,3E_v$,
- e. $U = 1,2D + 1,0L - 1,0E_h + 0,3E_v$,
- f. $U = 1,2D + 1,0L - 1,0E_h - 0,3E_v$,
- g. $U = 1,2D + 1,0L + 0,3E_h + 1,0E_v$,
- h. $U = 1,2D + 1,0L + 0,3E_h - 1,0E_v$,
- i. $U = 1,2D + 1,0L - 0,3E_h + 1,0E_v$,
- j. $U = 1,2D + 1,0L - 0,3E_h - 1,0E_v$,
- k. $U = 1,0D + 0,5L$

Dimana:

- U = Kuat Perlu
 D = Beban Mati
 L = Beban Hidup
 E_v = Beban Gempa Vertikal
 E_h = Beban Gempa Horizontal

3.5 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-1726-2019

Dalam kaitannya pada perencanaan beban gempa untuk tugas akhir ini terdapat ketentuan-ketentuan yang akan digunakan sebagai berikut.

1. Peta Sebaran Gempa Bumi di Indonesia

Indonesia memiliki banyak sekali daerah rawan gempa. Sebaran gempa bumi yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Peta Sebaran Gempa Bumi berikut yang dapat digunakan sebagai penentuan tingkat risiko kegempaan suatu bangunan.

Tabel 3.4 Klasifikasi Situs

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

Sumber: SNI-1726-2019

3. Kategori risiko struktur bangunan gedung

Pada SNI-1726-2019 kategori risiko bangunan dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan tersebut dan kaitannya dengan risiko yang akan ditimbulkan berdasarkan prioritasnya. Kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mal - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>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.</p>	III

Lanjutan Tabel 3.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat <p>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.</p>	IV

Sumber: SNI-1726-2019

4. Faktor keutamaan gempa

Setiap bangunan memiliki risiko yang berbeda sehingga faktor keutamaan gempa juga berbeda, hal ini digunakan sebagai faktor pengali dalam perhitungan beban gempa dapat dilihat pada Tabel 3.6 yang menunjukkan hubungan kategori risiko gempa dengan faktor keutamaan gempa.

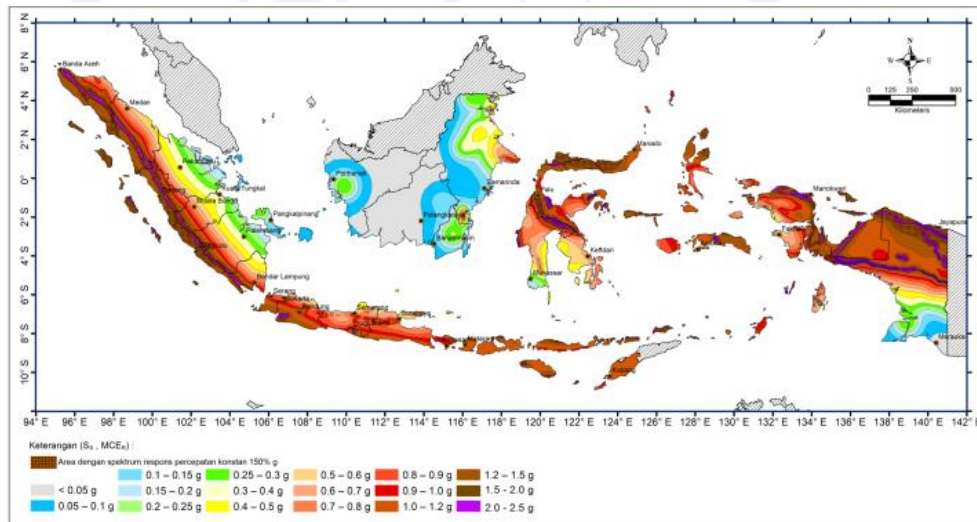
Tabel 3.6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI-1726-2019

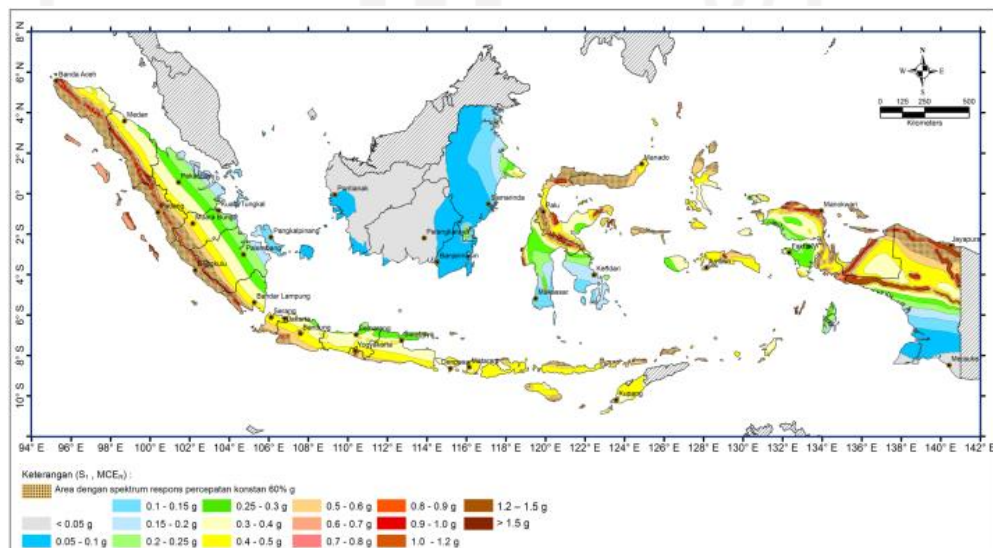
5. Penentuan nilai respons spektra

Kejadian gempa daerah satu dengan yang lainnya pasti akan sangat berbeda hal itu menyebabkan respon spektra setiap daerah menjadi berbeda-beda. Dalam mendesain sebuah bangunan gedung, diperlukan penentuan nilai respon spektra pada percepatan periode pendek yaitu 0,2 detik (S_s) dan nilai respon spektra pada percepatan 1 detik (S_I). Nilai tersebut dapat dilihat pada peta gempa SNI-1726-2019. Seperti yang disajikan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.3 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 0,2 Detik (S_s)

Sumber: SNI-1726-2019



Gambar 3.4 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 1 Detik (S_I)

Sumber: SNI-1726-2019

Dalam menentukan parameter respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik (F_a) dan periode 1 detik (F_v) yang bisa didapatkan dari hubungan percepatan gempa dengan kelas situs yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.7 Koefisien Situs F_a

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

Sumber: SNI-1726-2019

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier
- SS^(a) = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3.8 Koefisien Situs F_v

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

Sumber: SNI-1726-2019

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
- SS^(a) = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Untuk mengetahui parameter respons spektrum percepatan dipermukaan tanah dapat diketahui dengan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad (3.1)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3.2)$$

Keterangan:

S_S = Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik

S_I = Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik

Dalam perancangan nilai respons spektrum desain dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3.4)$$

Keterangan:

S_{MS} = Parameter spektral desain perioda pendek

S_{MI} = Parameter spektral desain perioda 1 detik

6. Kategori desain seismik

Sebuah struktur bangunan harus memiliki suatu Kategori Desain Seismik (KDS) dengan mengikuti ketentuan sebagai berikut.

- a. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang memiliki nilai $S_I \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai kategori desain seismik E.
- b. Struktur dengan kategori risiko IV yang memiliki nilai $S_I \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai kategori desain seismik F.

Apabila $S_I \leq 0,75$ maka kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan berdasarkan pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.9 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
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI-1726-2019

Tabel 3.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DSI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI-1726-2019

7. Definisi Kategori Desain Seismik

a. Kategori desain seismik A dan B

Bangunan dengan kategori desain seismik A dan B minimal di desain dengan menggunakan peraturan yang mengacu pada desain Struktur Momen Pemikul Momen Biasa (SMPMB) ataupun Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).

b. Kategori desain seismik C

Bangunan dengan kategori desain seismik C minimal didesain dengan menggunakan peraturan yang mengacu pada desai Struktur Momen Pemikul Momen Menengah (SMPMM) ataupun Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).

c. Kategori desain seismik D

Bangunan dengan kategori desain seismik D minimal didesain dengan menggunakan peraturan yang mengacu pada desai Struktur Momen Pemikul Momen Khusus (SMPMK) ataupun Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK).

d. Kategori desain seismik E dan F

Bangunan dengan kategori desain seismik E dan F harus di desain mengikuti peraturan yang diisyaratkan dikategori desain seismik D.

Lebih mudahnya kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

Tingkat Risiko Kegempaan	Kategori Desain Seismik	Syarat
Rendah	A dan B	SRPM B/M/K SDS B/K
Menengah	C	SRPM M/K SDS B/K
Tinggi	D, E, dan F	SRPM K SDS K

Sumber: SNI-1726-2019

Keterangan:

SRPM = Sistem Rangka Pemikul Momen

SDS = Sistem Dinding Struktur

B ; M ; K = Biasa ; Menengah ; Khusus

8. Spektrum Respons Desain

Dalam SNI-1726-2019 di atur bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situ tidak digunakan, maka kurva desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 3.5 dan mengikuti ketentuan berikut ini.

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
- c. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (3.7)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

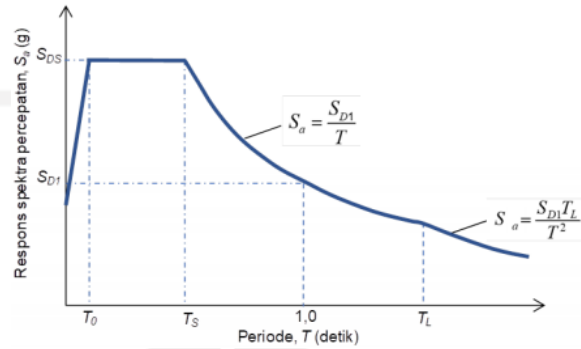
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.9)$$

T_L = Peta transisi periode panjang



Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI-1726-2019

9. Parameter dan pemilihan sistem Gedung

Setelah mengetahui sistem pemikul gaya seismik pada gedung yang akan didesain lalu akan menggunakan 3 jenis faktor berguna dalam menghitung beban lateral. Ketiga faktor tersebut adalah faktor modifikasi respon R , faktor kuat lebih sistem Ω_0 , dan faktor pembesaran defleksi C_d . Berikut contoh untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen yang sering digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0^b	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI-1726-2019

Keterangan:

- ^a = Koefisien modifikasi respons, R , untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.
- ^b = Jika nilai pada tabel faktor kuat lebih, Ω_0 , lebih besar atau sama dengan 2,5, Ω_0 maka diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.
- ^c = Faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , untuk penggunaan dalam 0, 0, dan 0
- ^d = TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan

10. Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental struktur (T) dapat diketahui melalui hasil analisis struktur yang ditinjau. Namun dalam SNI-1726-2019 di atur sebuah persyaratan bahwa periode fundamental yang digunakan sebagai perhitungan tidak boleh melebihi dari batas atas periode fundamental pendekatan yang didapat dari perkalian antara koefisien periode batas atas (C_u) dengan periode pendekatan (T_a). Untuk memudahkan pelaksanaan periode alami fundamental T ini boleh langsung digunakan periode pendekatan T_a . Periode pendekatan ditentukan dari Persamaan 3.10 berikut.

$$T_a = Ct \cdot h_n^x \quad (3.10)$$

Keterangan:

h_n merupakan ketinggian struktur bangunan gedung dengan satuan meter diatas dasar sampai tingkat tertentu, sedangkan nilai Ct dan x ditentukan pada Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.13 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI-1726-2019

Tabel 3.14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

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

Sumber: SNI-1726-2019

11. Gaya geser dasar seismik

Dalam SNI-1726-2019 gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 3.11 berikut.

$$V = C_s \times W \quad (3.11)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Untuk nilai koefisien respons seismik (C_s) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.12 yang nilainya tidak boleh melebihi nilai yang dihasilkan oleh Persamaan 3.13 untuk $T \leq T_L$ dan Persamaan 3.14 untuk $T > T_L$ dan juga nilai koefisien respons seismik (C_s) tidak boleh kurang dari nilai yang dihasilkan oleh Persamaan 3.15. Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari Persamaan 3.16.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.12)$$

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.13)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

C_S harus tidak kurang dari

$$C_S = 0,044 S_{DS} \quad I_e \geq 0,001 \quad (3.15)$$

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

12. Distribusi vertikal gaya seismik

Pendistribusian gaya seismik lateral (F_x) disetiap tingkat lantai dapat ditentukan dengan Persamaan 3.17 dengan menggunakan koefisien faktor distribusi vertikal (C_{vx}) dengan Persamaan 3.18 berikut.

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.17)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.18)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.6 Analisis Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*)

Utomo (2012) menjelaskan bahwa analisis *pushover* adalah suatu cara analisis statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi

plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis.

Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh di satu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Analisis *pushover* merupakan analisis statik non-linear yang relatif mudah dilakukan dengan harapan dapat digunakan untuk meramalkan performa struktur terhadap beban lateral. Pada program SAP2000 telah terdapat kemampuan otomatis untuk melakukan analisis statik *pushover*.

3.7 Sendi Plastis (*Hinge*)

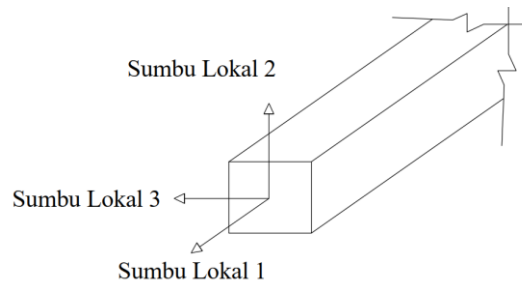
Menurut Marwanto (2014) Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut (Gambar 3.5). Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam.

Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep *Strong Coloum Weak Beam*. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.

Untuk mendapatkan sendi plastis diperlukan beberapa langkah sebagai berikut:

1. *Hinge* Propertis Balok

Data *hinge* propertis dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model momen (M3), yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

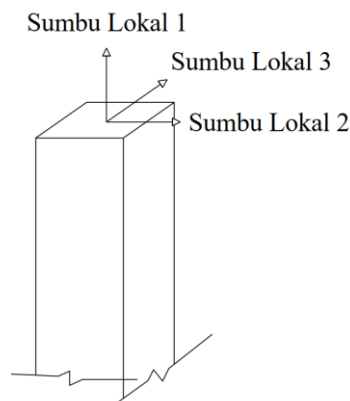


Gambar 3.6 Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada SAP2000

Sumber: Dewobroto (2006)

2. Hinge Propertis Kolom

Data hinge propertis untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut.



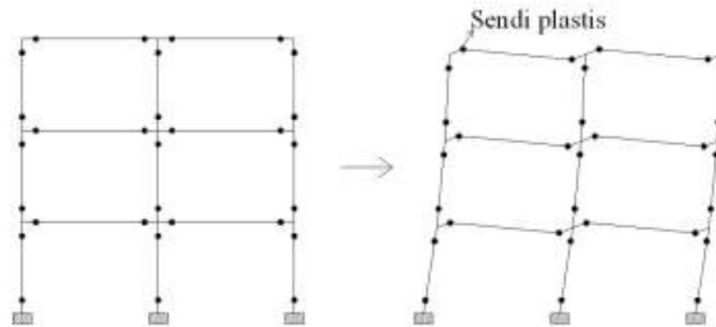
Gambar 3.7 Posisi Sumbu lokal Kolom Struktur pada SAP2000

Sumber: Dewobroto (2006)

3. Penentuan Letak Sendi Plastis (*Hinge*)

Setelah pendefinisian data hinge propertis balok dan kolom adalah penentuan letak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua posisi ini terletak dimuka kolom.

Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari Panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok.

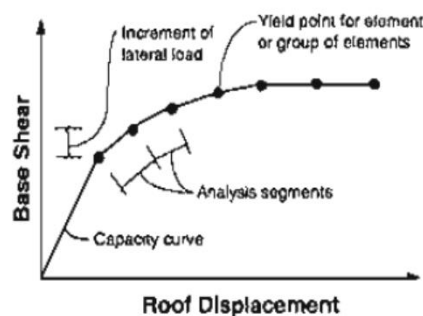


Gambar 3.8 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom

Sumber: Dewobroto (2006)

3.8 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Hasil analisis statis *pushover* non linier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.



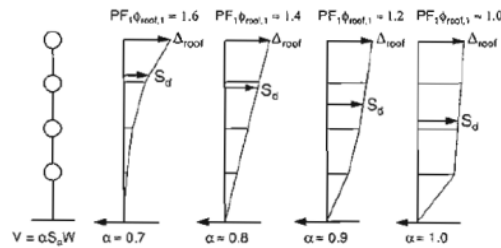
Gambar 3.9 Kurva Kapasitas

Sumber: ATC-40 Figure 8-1(1996)

1. Konversi kurva kapasitas dalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS)

Untuk merubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS atau menjadi spektrum kapasitas maka terlebih dahulu dipahami tentang hubungan faktor partisipasi

modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa

Sumber: ATC-40 Figure 8-5(1996)

Pada Gambar 3.10 terlihat hubungan antara faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk nilai simpangan antar lantai yang berbeda di setiap bangunan. Proses pertama untuk merubah kurva kapasitas ke format ADRS adalah menghitung nilai faktor partisipasi massa (PF_1), dan modal koefisien massa (α_1). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 3.19 dan Persamaan 3.20 berikut.

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.19)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.20)$$

Keterangan:

PF_1 = faktor partisipasi modal pada mode pertama

α_1 = modal koefisien massa pada mode pertama

w_i / g = massa pada tingkat ke-I

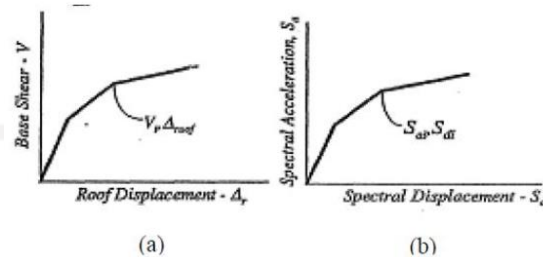
ϕ_{i1} = amplitude mode-1 pada tingkat ke-i

Kemudian setiap poin pada kurva kapasitas (V) dan (Δ_{roof}) dikonversi ke poin (S_a) dan (S_d). Selanjutnya dapat dilihat pada Persamaan 3.21 dan Persamaan 3.22 berikut.

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3.21)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (3.22)$$

Dari persamaan di atas maka akan didapatkan spektrum kapasitas. Perubahan format kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Perubahan Format Kurva Kapasitas. (a) Kurva Kapasitas Format Standar, (b) Kurva Kapasitas Format ADRS

Sumber: ATC-40 Page 8-5(1996)

Demand spektrum didapatkan dengan merubah respon spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektra percepatan (S_a) dan periode (T) menjadi format ADRS (S_a, S_d).

Metode konversi kurva kapasitas ke format spektrum kapasitas secara khusus telah di *built-in* pada program SAP2000, konversi kurva kapasitas ke format ADRS dikerjakan secara otomatis oleh program tersebut.

2. Konversi kurva respon spektrum (*demand spectrum*) ke format ADRS

Untuk merubah respon spektrum ke dalam format ADRS dapat dihitung dengan Persamaan 3.23 berikut.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a (g) \quad (3.23)$$

atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (3.24)$$

Keterangan:

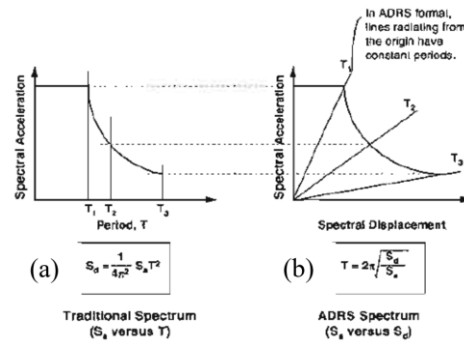
S_a = spektra percepatan/*spectral acceleration* (m)

S_d = spektra perpindahan/*spectral displacement* (g)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

T = periode getar fundamental (dt)

Sehingga hasil kurva *demand spectrum* dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



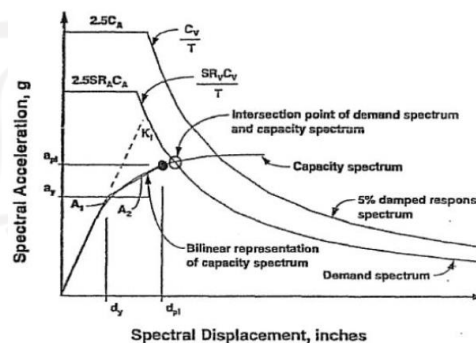
Gambar 3.12 Perubahan Format Respons Spektra. (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS

Sumber: ATC-40 Figure 8-6(1996)

Pada SAP2000, proses konversi kurva kapasitas dan kurva respon spektrum ke format ADRS sudah dihitung dan dibuat secara otomatis oleh program tersebut, yang dilakukan hanya perlu memasukkan data untuk membuat respon spektrum.

3.9 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Perpotongan antara *demand spectrum* dan *capacity spectrum* akan menghasilkan sebuah titik, titik tersebut yang dinamakan *performance point*. Pada *performance point* dapat mengetahui nilai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Untuk penentuan nilai *performance point* membutuhkan iterasi yang akan dilakukan secara otomatis menggunakan program SAP2000. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Penentuan *Performance Point*

Sumber: ATC-40 Figure 8-28(1996)

Titik kinerja merupakan perpotongan antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum*. Dengan demikian titik kinerja merupakan representasi dari dua kondisi yaitu:

1. karena terletak pada spektrum kapasitas, merupakan representasi kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu, dan
2. karena terletak pada kurva *demand*, menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi *demand* beban yang diberikan.

3.10 Batasan Deformasi (*Drift*) Menurut ATC-40

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam ATC-40, 1996 bab 11.3.3. deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.15 Deformation Limits

<i>Interstory Drift Limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Struktural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift Ratio</i>	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V/P_1
<i>Maximum Inelastic Drift Ratio</i>	0,005	0,005-0,0015	No Limit	No Limit

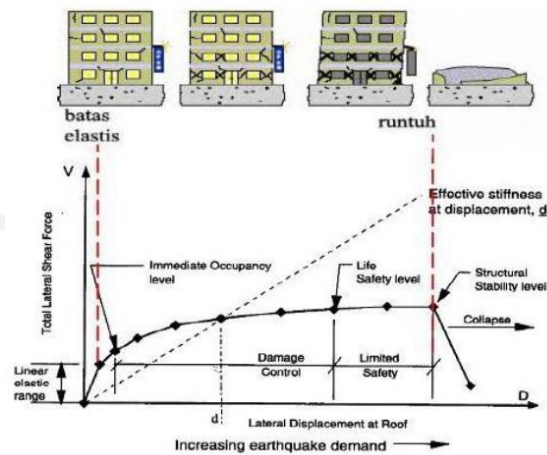
Sumber: ATC-40 (1996)

Pada Tabel 3.15 dijelaskan bahwa simpangan total maksimum (*maximum total drift ratio*) adalah simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point displacement*) atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. *Maximum inelastic drift ratio* adalah proporsi simpangan total maksimum diluar titik leleh efektif sehingga dapat dikatakan bahwa *maximum inelastic drift ratio* merupakan nilai simpangan maksimum pada atap saat *performance point* dikurangi dengan *displacement* pada pelelehan pertama dibagi dengan tinggi total bangunan.

3.11 Level Kinerja Struktur Metode ATC-40

Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Kurva kapasitas menggambarkan plot dari total gaya geser dasar akibat gempa (V) pada struktur, untuk berbagai kenaikan pembebanan

dan perpindahan lateral gedung pada atap pada tingkat gaya lateral tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Ilustrasi Keruntuhan Gedung

Sumber: ATC-40 (1996)

Pada Gambar 3.14, simbol (\blacklozenge) pada kurva kapasitas mewakili kejadian-kejadian penting selama respon lateral terhadap struktur. Kejadian-kejadian penting tersebut seperti pelepasan pertama pada salah satu elemen struktur atau kerusakan tertentu contohnya adalah pecahnya atau terkelupasnya selimut beton pada kolom atau kegagalan geser pada spandrel hingga keruntuhan total pada sistem.

Gambar 3.13 telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban lateral, dimana terdapat level-level kinerja tertentu. Level kinerja tersebut dapat dideskripsikan lagi atas bagaimana kondisi bangunan setelah terjadi gempa dan kategori bangunan yang diizinkan terhadap level kinerja tertentu, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

Tabel 3.16 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya rumah sakit, gudang bahan bakar atau bahan berbahaya.
SP-2 <i>Damage Control (DC)</i>	Merupakan transisi antara <i>SP-1</i> dan <i>SP-3</i> . Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, risiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
SP-3 <i>Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (risiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non struktural.	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, Gudang dan lain sebagainya.
SP-4 <i>Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara <i>SP-3</i> dan <i>SP-4</i> dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	-
SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan.	-
SP-6 <i>Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau retrofit.	-

Sumber: ATC-40 (1996)

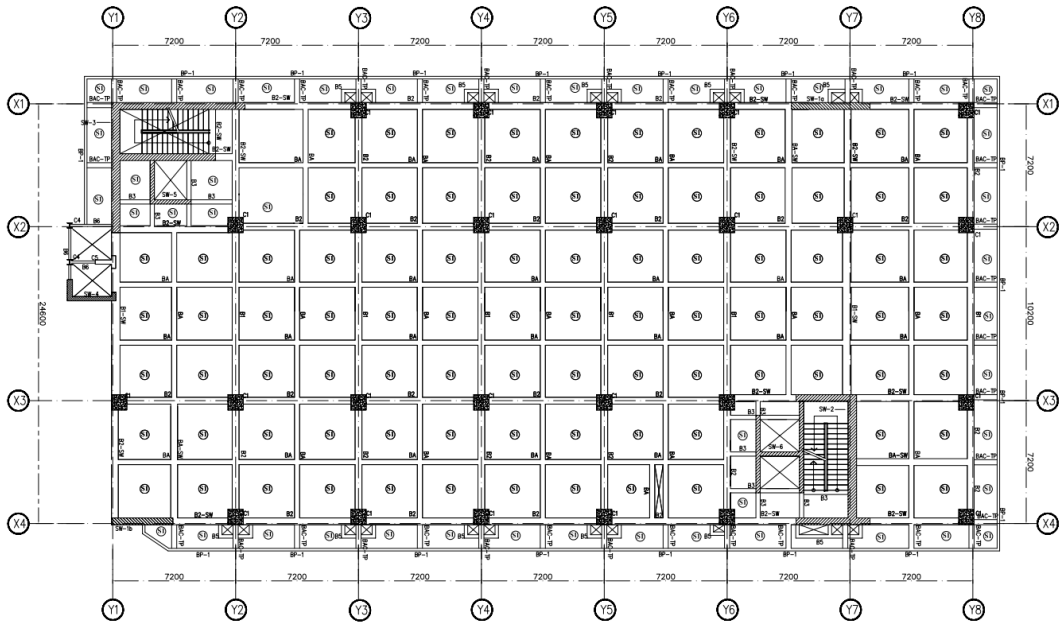
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab III telah dibahas tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini untuk acuan dalam pelaksanaan penelitian evaluasi kinerja gedung. Pada Bab IV akan menjelaskan mengenai metode penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai *performance point* dan mengetahui level kinerja struktur bangunan gedung serta mengetahui skema sendi plastis yang akan terjadi berdasarkan pedoman ATC-40.

Tahap awal dalam penelitian ini yaitu melakukan studi literatur mengenai analisis *pushover*. Tahap kedua dilanjutkan dengan pengumpulan data dan informasi mengenai bangunan yang akan diteliti baik data sekunder maupun data primer. Data yang telah dikumpulkan dilakukan permodelan Tiga Dimensi (3D) menggunakan bantuan program SAP2000. Bangunan yang telah dimodelkan lalu dilakukan perhitungan pembebanan dan analisis statik menggunakan metode analisis *pushover*.

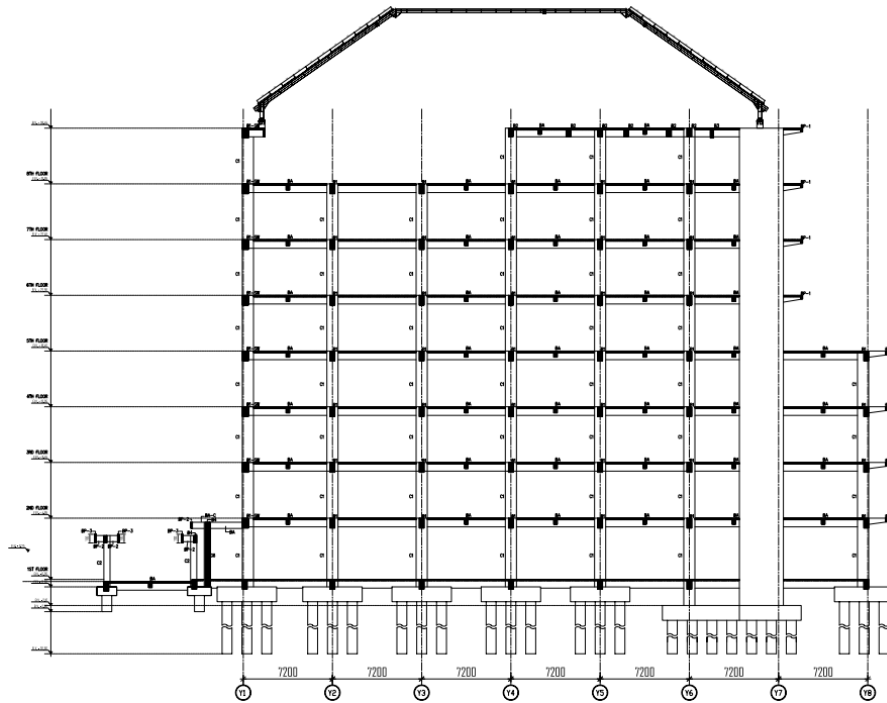
4.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini objeknya adalah Gedung *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center* (APSLC) yang berlokasi di wilayah kampus Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung tersebut memiliki tingkatan sebanyak 9 lantai dengan tinggi total bangunan yaitu 36,45 m. Denah bangunan dan potongan gedung dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Denah Bangunan APSLC UGM

Sumber: Data Shop Drawing



Gambar 4.2 Denah Potongan Bangunan APSLC UGM

Sumber: Data Shop Drawing

4.2 Data Bangunan

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data *Shop Drawing*. Data tersebut didapat dari PT. Pembangunan Perumahan selaku pelaksana proyek. Data yang didapat dari *Shop Drawing* adalah sebagai berikut.

1. Mutu beton

- a. $f'c$ = 30 MPa
- b. berat jenis beton = 2,4 ton/m³
- c. Modulus Elastisitas (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{f'c} = 25742,9602$ MPa

2. Mutu baja tulangan

- a. F_y = 420 MPa
- b. F_u = 560 MPa
- c. F_{ya} = 525 MPa
- d. F_{ua} = 700 MPa

3. Dimensi elemen struktur

a. Kolom

Dimensi tiap kolom sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Dimensi dan Tipe Kolom

No.	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1.	C1	900 x 900
2.	C2	500 x 500
3.	C3	D500
4.	C4	300 x 300
5.	C5	750 x 1200
6.	C6	150 x 300

Sumber: Data Shop Drawing

b. Balok

Dimensi tiap balok sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1.	TB	400 x 800
2.	BP1	150 x 300
3.	BP2	150 x 500
4.	BP3	150 x 700

Sumber: Data Shop Drawing

Lanjutan Tabel 4.3 Dimensi dan Tipe Balok

No.	Tipe Pelat	Dimensi (mm)
1.	B1	400 x 800
2.	B2	400 x 700
3.	B3	250 x 700
4.	B4	250 x 600
5.	BA	300 x 500
6.	B1-SW	500 x 800
7.	B2-SW	400 x 700
8.	BA-SW	400 x 500
9.	BAC	300 x 500
10.	B2-C	400 x 700
11.	BAC-TP	300 x 500
12.	BAC-TP2	300 x 400

Sumber: Data Shop Drawing

c. Pelat

Dimensi tiap pelat sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.4 Dimensi dan Tipe Pelat

No.	Tipe Pelat	Tebal (mm)
1.	S1	130
2.	S2	100
3.	S3	150
4.	S4	300
5.	S5	350

Sumber: Data Shop Drawing

4.3 Program dan Software yang digunakan

Pada penelitian ini digunakan sebuah program untuk membantu dalam proses pelaksanaan penelitian yang tujuannya untuk mempermudah menyelesaikan masalah. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. SAP2000 V22, program ini akan digunakan sebagai alat permodelan struktur bangunan dan analisis dari struktur bangunan.
2. Microsoft Excel 2019, program ini akan digunakan untuk menghitung dan menganalisis data hasil *output* dari program SAP2000 V22
3. Autocad 2021, program ini akan digunakan untuk menggambar denah, potongan, dan detail bangunan.

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan selama penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur

Pada tahapan studi literatur ini dilakukan dari berbagai sumber seperti *journal*, tugas akhir, dan buku-buku yang berkaitan dengan analisis statik nonlinier *pushover*. Buku peraturan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah SNI-1726-2019 untuk perencanaan bangunan tahan gempa, SNI-2847-2013 untuk persyaratan beton struktural bangunan bertingkat, SNI-1727-2013 dan PPIUG 1983 untuk pembebanan yang akan digunakan.

2. Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini data yang didapat berupa data *Shop Drawing* bangunan *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center (APSLC) UGM*. Data tersebut akan digunakan untuk permodelan bangunan dalam bentuk 3D yang selanjutnya akan dianalisis menggunakan bantuan program SAP2000 V22.

3. Permodelan 3D

Permodelan 3D dibuat dengan bantuan program SAP2000 V22. Permodelan bangunan berupa portal *open frame*, dimana hanya struktur bangunan yang dimodelkan dalam permodelan struktur 3D. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam permodelan numerik pada gedung APSLC UGM sebagai berikut.

- a. Kolom dan balok dimodelkan sebagai *Frame*
- b. Pelat lantai dimodelkan sebagai *Shell-Thin*
- c. Shear Wall dimodelkan sebagai *Shell-Thick*
- d. Rangka atap dimodelkan terpisah, beban mati, beban hidup, beban hujan, dan beban angin pada atap diteruskan pada permodelan bangunan utama sebagai beban terpusat pada tumpuan kuda-kuda.

4. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan dibantu dengan program SAP2000 V22. Beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa di input satu per satu ke dalam program

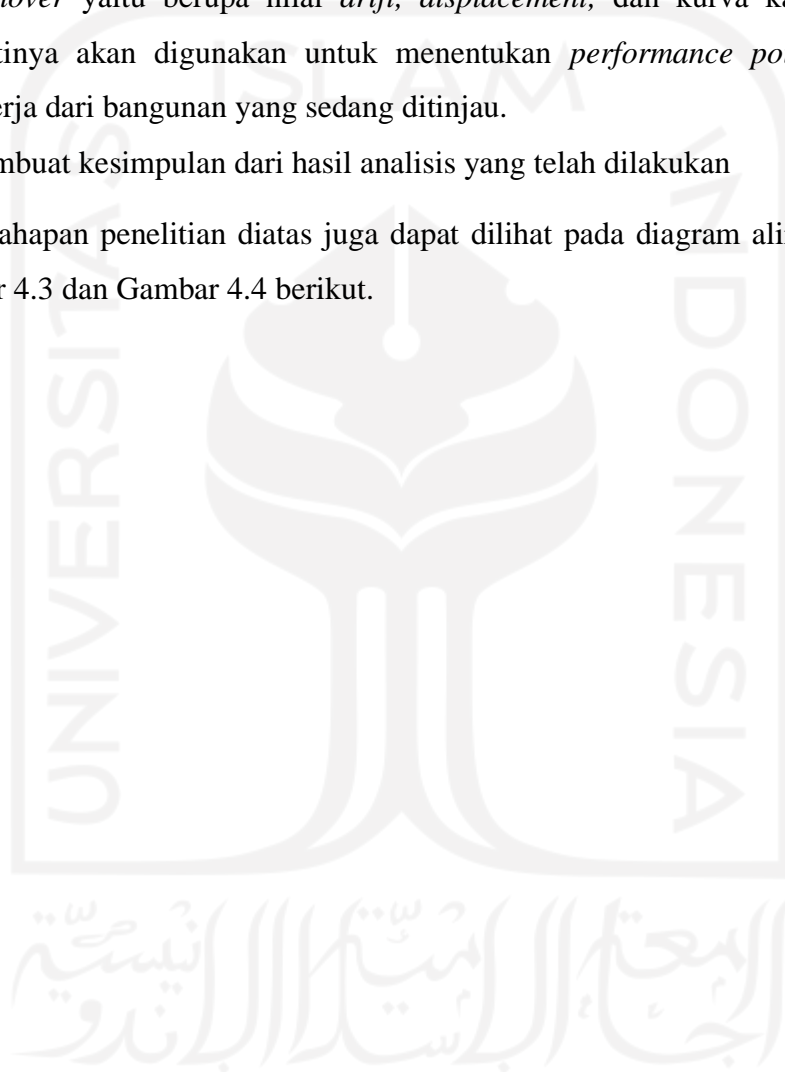
SAP2000 V22 untuk seterusnya dilakukan analisis terhadap struktur gedung tersebut.

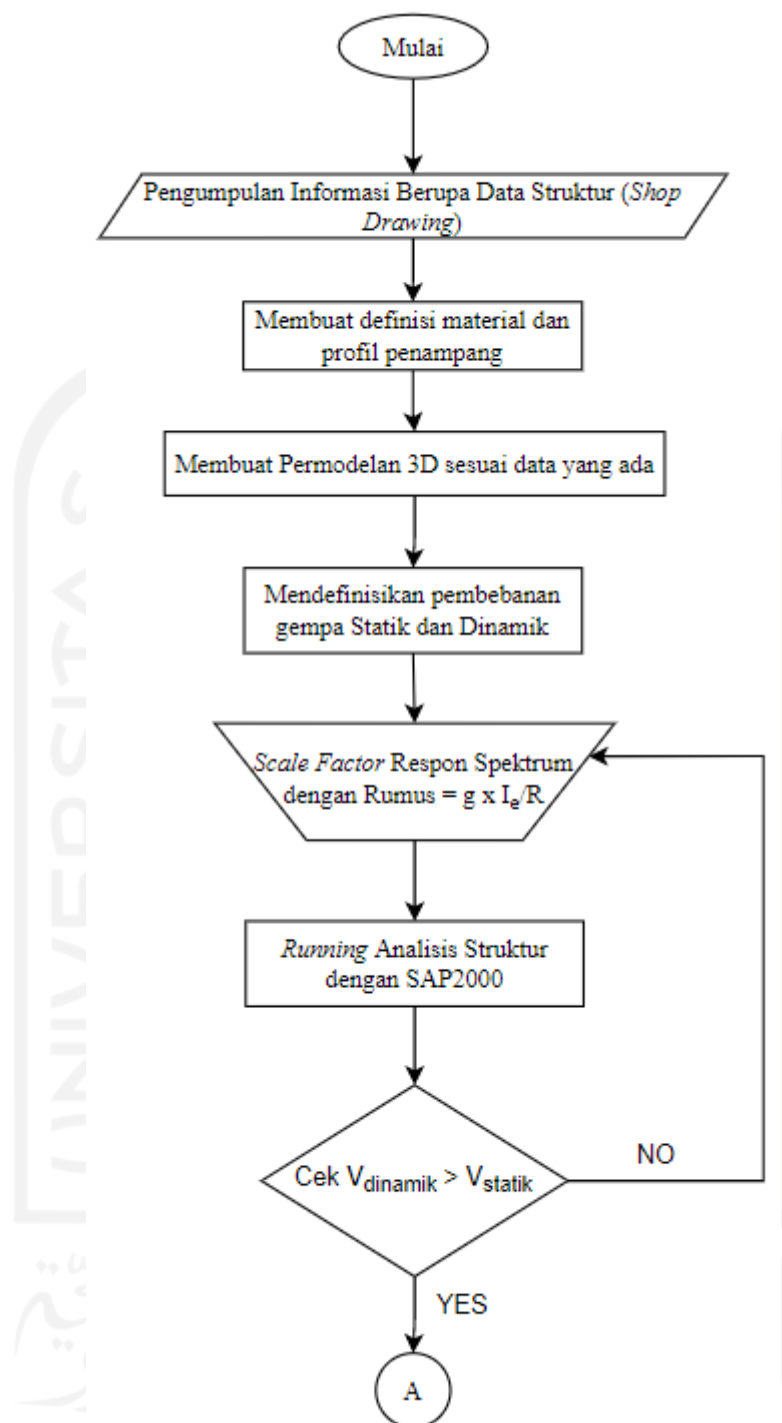
5. Analisis Statik *Pushover*

Analisis dilakukan dengan langkah-langkah yang berpedoman pada ATC-40 *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Analisis statik *pushover* dilakukan dengan bantuan program SAP2000 V22. Dari hasil analisis statik *pushover* yaitu berupa nilai *drift*, *displacement*, dan kurva kapasitas yang nantinya akan digunakan untuk menentukan *performance point* dan level kinerja dari bangunan yang sedang ditinjau.

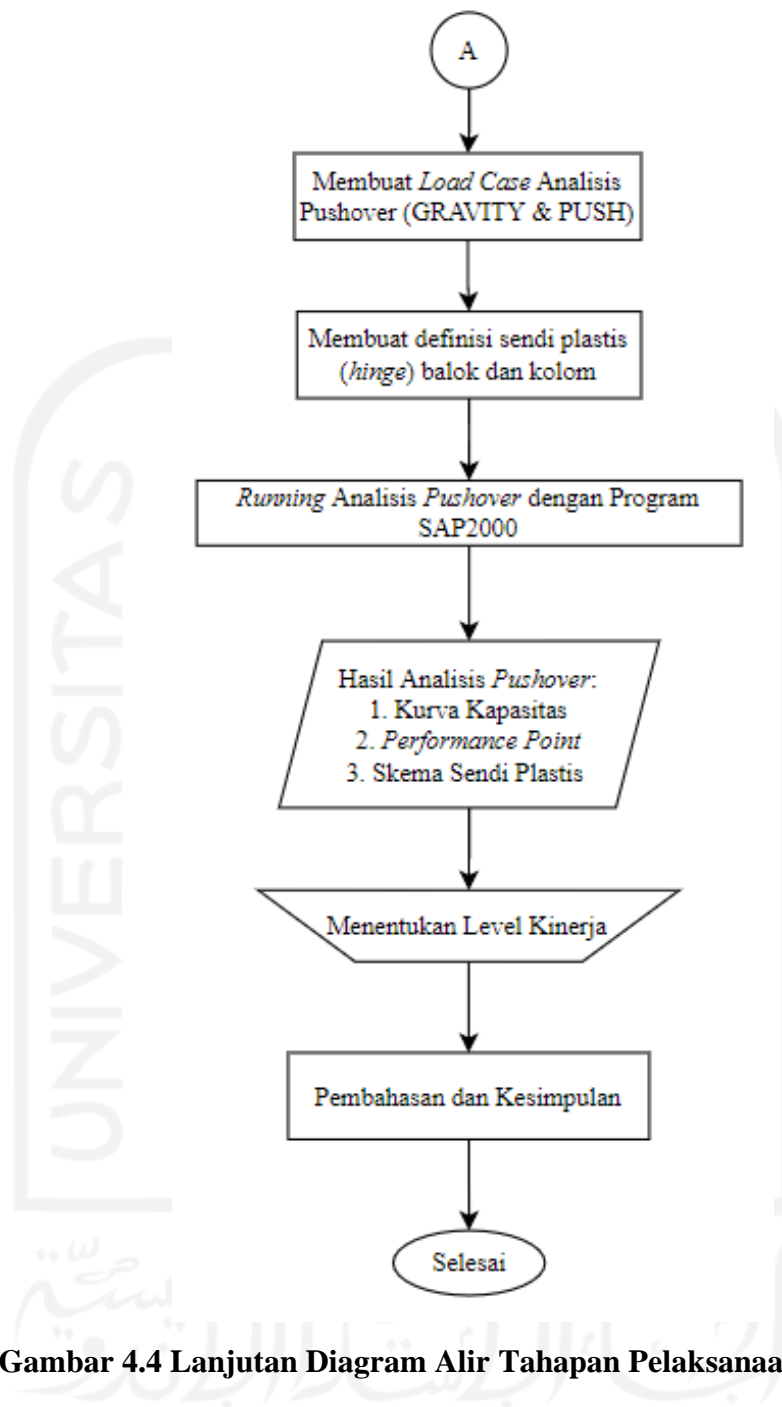
6. Membuat kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan

Tahapan penelitian diatas juga dapat dilihat pada diagram alir yang ada di Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 berikut.





Gambar 4.3 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian



Gambar 4.4 Lanjutan Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan struktur pada gedung ini meliputi perhitungan beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai SNI-1726-2019 yang akan didistribusikan pada bangunan utama dan untuk bangunan atap ditambahkan beban air hujan dan beban angin. Bangunan atap dimodelkan secara terpisah dengan bangunan utama. Berikut penjelasan dari masing-masing perhitungan pembebanan.

5.1.1 Beban Mati

Berat sendiri elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat akan dihitung otomatis oleh program SAP2000 dan dibandingkan dengan perhitungan manual. Perhitungan berat sendiri yang akan dilakukan merupakan beban mati tambahan yang akan ditambahkan di dalam pembebanan struktur. Tahapan perhitungan beban mati tambahan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Perhitungan berat sendiri

Perhitungan manual berat sendiri dilakukan sebagai pembanding hasil berat sendiri yang otomatis dari SAP2000. Perhitungan manual berat sendiri akan dilakukan pada elemen kolom, balok, pelat, dan dinding geser.

a. Balok

Perhitungan berat sendiri balok akan dicontohkan pada balok lantai 2 yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Perhitungan Berat Balok

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Vol (m ³)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
1.	B1	10,2	0,4	0,8	3.264	6	2400	47001.6
2	B2	7,2	0,4	0,7	2.016	28	2400	135475.2
3	B3	2	0,25	0,8	0.4	16	2400	15360
4	BA	3,6	0,3	0,5	0.54	45	2400	58320
		3,4	0,3	0,5	0.51	49	2400	59976
		3,1	0,3	0,5	0.465	17	2400	18972
		2,5	0,3	0,5	0.375	2	2400	1800
		2	0,3	0,5	0.3	1	2400	720
5	B1-SW	10,2	0,5	0,8	4.08	2	2400	19584
6	B2-SW	7,2	0,4	0,7	2.016	16	2400	77414.4
7	BA-SW	7,2	0,4	0,5	1.44	3	2400	10368
TOTAL								444991.2

Untuk perhitungan selanjutnya dilakukan sama seperti pada tabel di atas dengan menghitung balok yang ada di setiap lantai. Hasil rekapitulasi perhitungan berat balok setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Berat Balok

Balok Tingkat	Berat (Kg)
LT 1 (-0.05)	332361.6
LT 2 (+4.95)	444991.2
LT 3 (+9.45)	450175.2
LT 4 (+13.95)	476239.2
LT 5 (+18.45)	390991.2
LT 6 (+22.95)	390991.2
LT 7 (+27.45)	390991.2
LT 8 (+31.95)	390991.2
LT 9 (+36.45)	241089.6
TOTAL	3508821.6

b. Kolom

Perhitungan berat sendiri kolom akan dicontohkan pada kolom lantai 2 yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Perhitungan Berat Kolom

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Vol (m ³)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
1.	C1	0,9	0,9	4,5	3,645	26	2400	227448
TOTAL								227448

Untuk perhitungan selanjutnya dilakukan sama seperti pada tabel di atas dengan menghitung kolom yang ada di setiap lantai. Hasil rekapitulasi perhitungan berat kolom setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Berat Kolom

Kolom Tingkat	Berat (Kg)
LT 1 (-0.05)	229975.2
LT 2 (+4.95)	227448
LT 3 (+9.45)	227448
LT 4 (+13.95)	227448
LT 5 (+18.45)	192456
LT 6 (+22.95)	183708
LT 7 (+27.45)	183708
LT 8 (+31.95)	131220
LT 9 (+36.45)	29700
TOTAL	1633111.2

c. Dinding Geser

Perhitungan berat sendiri dinding geser akan dicontohkan pada balok lantai 2 yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Perhitungan Berat Dinding Geser

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Vol (m ³)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
1.	SW1	4,6	0,4	4,5	8,28	1	2400	19872
2		3,6	0,4	4,5	6,48	1	2400	15552
3	SW2	6,45		4,5	29,04	1	2400	69703.2
4	SW3	8,98		4,5	40,42	1	2400	97011
5	SW4	1,09		4,5	4,89	1	2400	11745
6	SW5	1,18		4,5	5,29	1	2400	12690
7	SW6	3,05		4,5	13,73	1	2400	32953.5
TOTAL								259526.7

Untuk perhitungan selanjutnya dilakukan sama seperti pada tabel di atas dengan menghitung dinding geser yang ada di setiap lantai. Hasil rekapitulasi perhitungan berat dinding geser setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Berat Dinding Geser

Dinding Geser Tingkat	Berat (Kg)
LT 1 (-0.05)	259526.7
LT 2 (+4.95)	259526.7
LT 3 (+9.45)	259526.7
LT 4 (+13.95)	259526.7
LT 5 (+18.45)	259526.7
LT 6 (+22.95)	259526.7
LT 7 (+27.45)	259526.7
LT 8 (+31.95)	259526.7
LT 9 (+36.45)	259526.7
TOTAL	2335740.3

d. Pelat

Perhitungan berat sendiri pelat akan dicontohkan pada pelat lantai 2 yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Perhitungan Berat Pelat

No.	Jenis Elemen	Dimensi (m)			Vol (m ³)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat Total (Kg)
		L	B	H				
1.	S1	3,6	3,6	0,13	1,6848	1	2400	173871,36
2		3,4	3,4	0,13	1,5028	1	2400	100988,16
3		3,15	2,5	0,13	1,0234	1	2400	2457
3		3,2	2,8	0,13	1,1648	1	2400	5591,04
4		4	1,7	0,13	0,8840	1	2400	2121,6
TOTAL								285029,16

Untuk perhitungan selanjutnya dilakukan sama seperti pada tabel di atas dengan menghitung pelat yang ada di setiap lantai. Hasil rekapitulasi perhitungan berat pelat setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Berat Pelat

Pelat Tingkat	Berat (Kg)
LT 1 (-0.05)	274924.8
LT 2 (+4.95)	285029.16
LT 3 (+9.45)	302925.48
LT 4 (+13.95)	286751.4
LT 5 (+18.45)	248937
LT 6 (+22.95)	248937
LT 7 (+27.45)	248937
LT 8 (+31.95)	248937
LT 9 (+36.45)	248937
TOTAL	2394315.84

Untuk hasil seluruh elemen struktur di setiap lantai serta perbandingan antara berat yang dihasilkan langsung dari program SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Perhitungan Berat Manual

Tingkat	Berat Total (kN)
LT 1 (-0.05)	10723.759
LT 2 (+4.95)	11926.552
LT 3 (+9.45)	12152.739
LT 4 (+13.95)	12249.660
LT 5 (+18.45)	10700.727
LT 6 (+22.95)	10614.996
LT 7 (+27.45)	10614.996
LT 8 (+31.95)	10100.614
LT 9 (+36.45)	7636.682
TOTAL	96720.725
TOTAL BERAT SAP2000	96912.863
SELISIH	-192.138

2. Beban Atap Struktur

a. Spesifikasi Atap

- Jenis Material : Baja
- Bentuk Atap : Perisai
- Penutup Atap : Genteng Tanah Liat
- Bentang Kuda-kuda : 21,6 m
- Jarak Antar Kuda-kuda : 3,6 m
- Jarak Antar Gording : 1,2 m
- Sudut Atap : 35°

b. Spesifikasi Bahan

- Mutu Baja : BJ-56
- BJ Baja : 7850 kg/m³
- BJ Genteng : 50 kg/m² = 0,4903325 kN/m²
- BJ Gording : 7,51 kg/m = 0,07364794 kN/m
- Modulus Elastisitas (E) : 200.000 MPa
- Modulus Geser (G) : 80.000 MPa
- Poisson Ratio : 0,3
- Profil Baja : IWF 300x150x6,9x9
CNP 150x65x20x2,3

c. Beban Mati (QD)

- Penutup Atap : $1,2 \times 3,6 \times 0,4903325 = 2,1182 \text{ kN}$
- Gording : $1,2 \times 0,07364794 = 0,0883 \text{ kN} +$
 $PD = 2,2065 \text{ kN}$

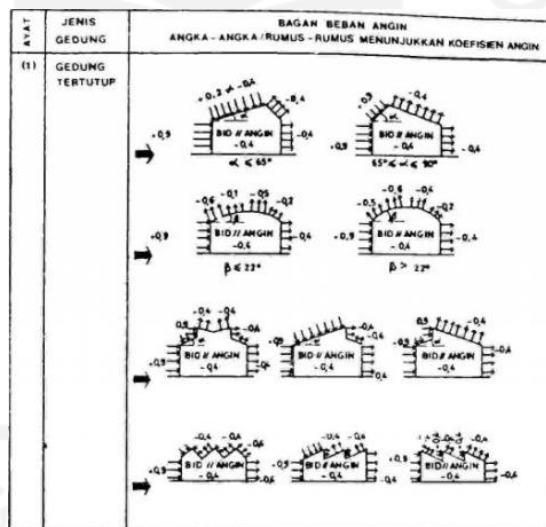
d. Beban Hidup (QL)

- Pekerja : $1,2 \times 3,6 \times 0,981 = 4,2379 \text{ kN}$
- Hujan : $(40 - 0,8\alpha) = (40 - 0,8 \times 35) = 12 \text{ kg/m}^2$
 $: 1,2 \times 12 = 14,4 \text{ kg/m}^2 = 0,14121576 \text{ kN/m}^2$

e. Beban Angin (QW)

- Tekan tiup angin : $25 \text{ kg/m}^2 = 0,24525 \text{ kN/m}^2$
- Koef. Angin Tekan : $(0,02 \times 35) - 0,4 = 0,3$
- Koef. Angin Hisap : $0,4$

Koefisien angin tekan dan angin hisap ditentukan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987 Pasal 4.3. Untuk detail penentuan koefisien tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Koefisien Beban Angin

Sumber: PPIUG 1987

- Angin Tekan (Q_T)

$$\begin{aligned}
 W_I &= \text{Lantar gording} \times \text{Bantar kuda-kuda} \times \text{Koefisien} \times q_w \\
 &= 1,2 \times 3,6 \times 0,3 \times 0,24525 \\
 &= 0,3178 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal } (V_T) = W1 \times \cos 35 = 0,26032 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Horizontal } (V_H) = W1 \times \sin 35 = 0,18228 \text{ kN}$$

- Angin Hisap (Q_H)

$$W2 = \text{Lantar gording} \times \text{Bantar kuda-kuda} \times \text{Koeffhisap} \times q_w$$

$$= 1,2 \times 3,6 \times 0,4 \times 0,24525$$

$$= 0,4238 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal } (V_T) = W2 \times \cos 35 = 0,34715 \text{ kN}$$

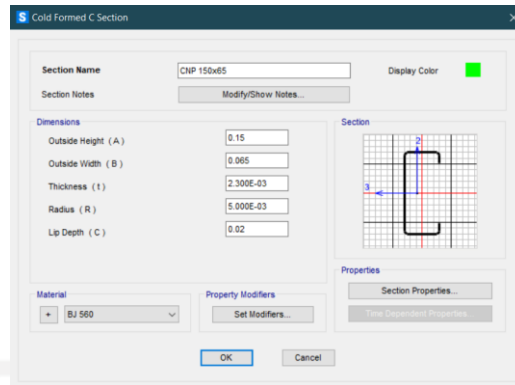
$$\text{Beban Angin Horizontal } (V_H) = W2 \times \sin 35 = 0,24308 \text{ kN}$$

Setelah perhitungan pembebanan atap secara manual dilakukan. Beban-beban tersebut di input ke dalam program SAP2000 untuk dianalisis agar diketahui reaksi perletakan *joint*. Tahapan melakukan analisis struktur rangka atap sebagai berikut.

- Pendefinisian material dengan cara klik *Define – Materials – Add New Material* – pilih material *ColdFormed* – isi data material dengan mutu baja BJ56, tegangan putus minimum (f_u) = 560 MPa, tegangan leleh minimum (f_y) = 420 MPa. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

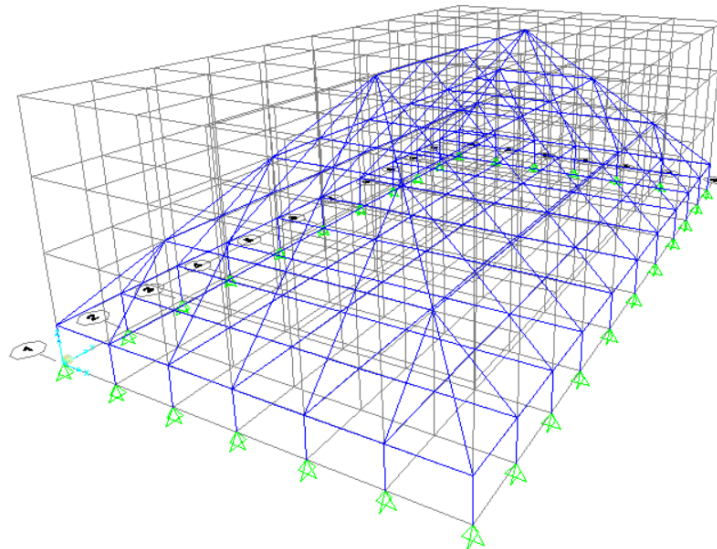
Gambar 5.2 Input Data Material

- Pendefinisian *profile* baja ringan dengan cara klik *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Properties*. Buat *frame C* dan *IWF* yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



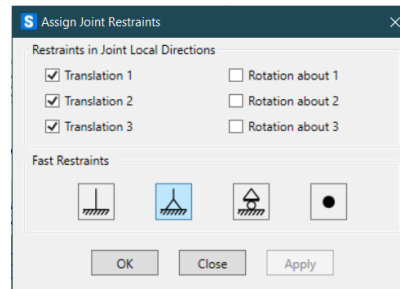
Gambar 5.3 Input Frame Properties

- c. Melakukan permodelan rangka atap pada SAP2000 dalam bentuk 3D yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



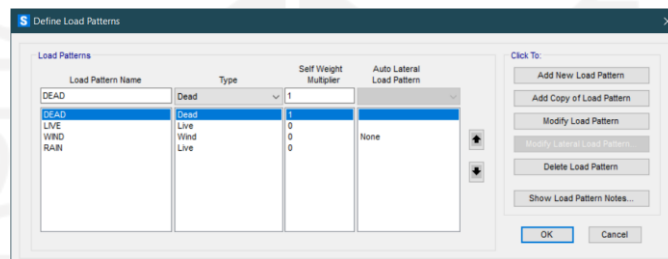
Gambar 5.4 Permodelan Atap

- d. Memberikan tumpuan pada frame dengan cara *select* terlebih dahulu seluruh *joint-joint* yang akan diberikan tumpuan – klik *Assign – Joint – Restrain* – pilih *Joint* sendi – *Assign Joint Restraint* – OK. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



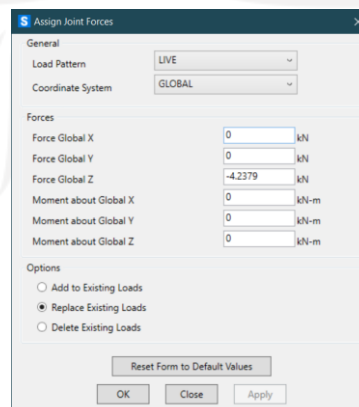
Gambar 5.5 Joint Restraint

- e. Menentukan jenis beban dengan cara klik *Define – Load Pattern* – buat beban DEAD, LIVE, RAIN, dan WIND – pada kolom *Self Weight Multiplier* pada beban DEAD di isi 1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Define Load Pattern

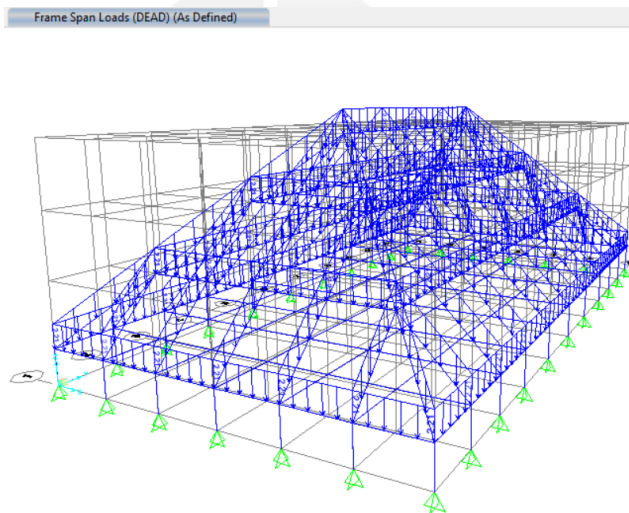
- f. Memasukkan beban yang telah dihitung manual dengan cara *select joint* dan *frame* yang akan diberikan beban – klik *Assign – Joint Load – Force* untuk beban titik dan klik - *Assign – Frame Load – Distibuted* untuk beban merata – input beban kearah -Z – OK. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



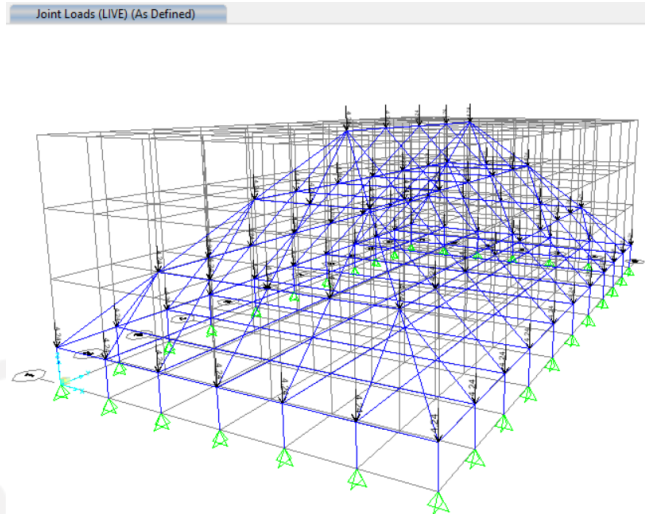
Gambar 5.7 Input Joint Load

Gambar 5.8 Input *Frame Load*

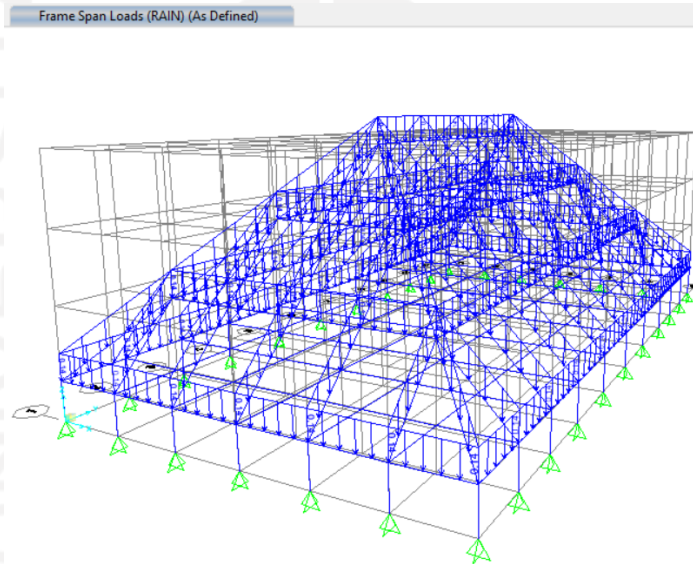
- g. Berikut tampilan pada SAP2000 setelah diinput beban pada struktur rangka atap dapat dilihat pada Gambar 5.9 hingga Gambar 5.12



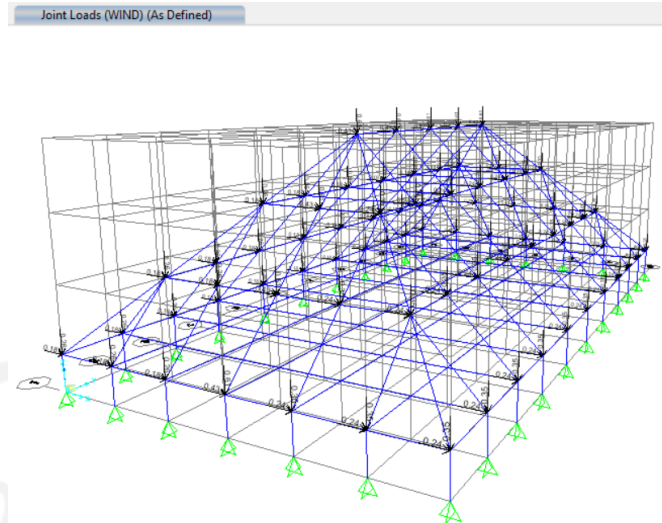
Gambar 5.9 Beban Mati pada Struktur (*Dead Load*)



Gambar 5.10 Beban Hidup pada Struktur (*Live Load*)

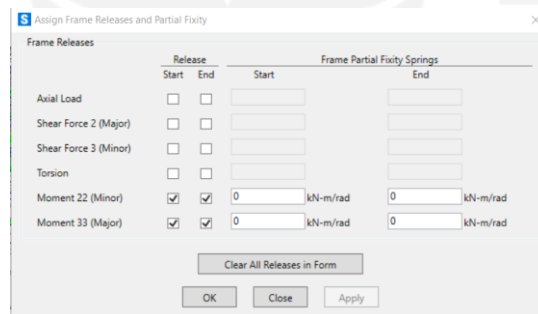


Gambar 5.11 Beban Hujan pada Struktur (*Rain Load*)

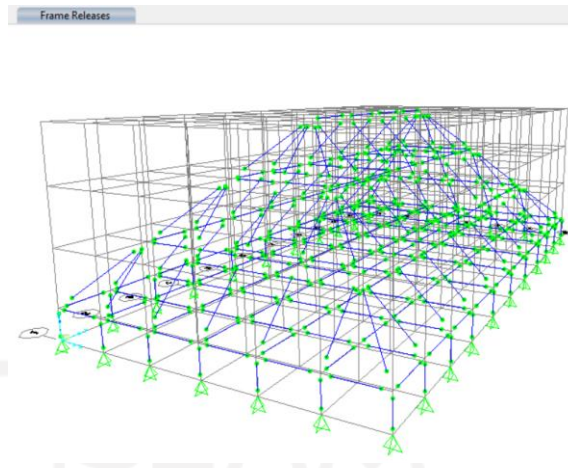


Gambar 5.12 Beban Angin pada Struktur (Wind Load)

- h. Setelah semua beban diinput, sebelum melakukan *running* analisis pertama harus dilakukan *Frame Release* dengan cara *select* semua *frame* – klik *Assign – Frame – Frame Release/Partial Fixity* – Centang *Moment 33* dan *Moment 22* – OK. Model struktur akan menjadi seperti Gambar 5.14.

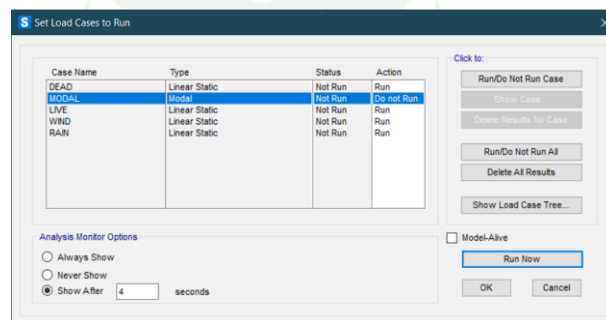


Gambar 5.13 Frame Release



Gambar 5.14 Frame Setelah di Release

- i. Melakukan *Running Analysis* dengan cara klik *Analyze – Run Analysis – Do Not Run Case MODAL – Run Now*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Set Load Case to Run

- j. Untuk melihat hasil reaksi tumpuan pada joint dapat dilihat dengan cara klik *Display – Show Tables – pilih Analyze Result – pilih Joint Output – pilih Reactions – OK*. beban-beban tersebut akan digunakan sebagai berat sendiri kuda-kuda yang dimodelkan sebagai beban titik pada ring balok atap dalam analisis struktur gedung pada penelitian ini. Hasil reaksi tumpuan pada joint untuk pembebanan struktur atap dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Reaksi Perletakan *Joint* Struktur Rangka Atap

Titik Tumpuan	Beban Reaksi				TOTAL
	DEAD	LIVE	WIND	RAIN	
184	9.67	2.08	0.51	2.01	14.27
185	60.37	11.15	3.32	1.43	76.27
186	60.23	11.34	3.23	0.08	74.88
187	39.35	7.66	2.02	0.77	49.8
188	59.42	11.16	3.18	0.65	74.41
189	62.1	11.53	3.32	0.11	77.06
190	6.6	1.86	0.39	0.64	9.49
191	38.1	6.31	2.01	0.62	47.04
192	38.38	6.58	2.01	1.46	48.43
193	53.95	9.52	2.82	0.44	66.73
194	48.85	9.39	2.49	0.29	61.02
195	57.12	10.62	3	0.5	71.24
196	58.43	10.62	2.97	0.67	72.69
197	62.01	10.96	3.3	0.12	76.39
198	51.1	8.91	2.7	1.87	64.58
199	44.85	7.73	2.4	3.59	58.57
200	0.06	0.35	0.01	2.96	3.38
201	59.75	10.99	3.18	0.51	74.43
202	57.15	10.61	3.11	0.6	71.47
203	35.91	6.95	1.89	0.63	45.38
204	53.09	9.97	2.83	0.71	66.6
205	60.06	11.15	3.3	1.66	76.17
206	27.87	5.71	1.5	4.6	39.68
207	39.39	6.39	2.04	1.25	49.07
208	48.53	8.45	2.69	1.51	61.18
209	66.84	11.83	3.56	0.89	83.12
210	58.67	11.25	3.13	1.29	74.34
211	55.29	10.45	2.96	1	69.7
212	85.15	15.5	4.54	2	107.19
213	55.3	9.39	2.88	0.58	68.15
214	38.98	6.69	2.05	1.3	49.02
215	55.12	9.62	2.94	5.82	73.5
216	9.67	2.08	0.51	2.01	14.27

2. Beban Tambahan Pelat

a. Pelat Lantai

$$\text{Pasir} = 0,03 \text{ m} \times 17,658 \text{ kN/m}^3 = 0,52974 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,02 \text{ m} \times 19,1295 \text{ kN/m}^3 = 0,3825 \text{ kN/m}^2$$

Keramik	= 0,1716 kN/m ²	= 0,1716 kN/m ²
Plafon Asbes	= 0,10791 kN/m ²	= 0,10791 kN/m ²
Penggantung	= 0,06867 kN/m ²	= 0,06867 kN/m ²
Ducting AC	= 0,1962 kN/m ²	= 0,1962 kN/m ² +
		$Q_d \text{ lantai} = 1,4568 \text{ kN/m}^2$

b. Pelat Atap (*Finishing* Lantai Atap)

<i>Waterproofing</i> (3 cm)	= 0,03 m x 18,6390 kN/m ³	= 0,55917 kN/m ²
Plafon Asbes	= 0,10791 kN/m ²	= 0,10791 kN/m ² +
		$Q_d \text{ atap} = 0,75537 \text{ kN/m}^2$

5.1.2 Beban Hidup

Bangunan difungsikan sebagai ruang perkuliahan sehingga untuk beban hidup yang digunakan sebagai berikut.

1. Beban Hidup pada Lantai

$$QL = 250 \text{ kg/m}^2 = 2,4525 \text{ kN/m}^2$$

2. Beban Hidup pada Atap

$$QL = 100 \text{ kg/m}^2 = 0,981 \text{ kN/m}^2$$

3. Beban hidup reaksi perletakan *joint* untuk berat sendiri atap dapat dilihat pada Tabel 5.1.

5.1.3 Beban Gempa

Lokasi bangunan berada di daerah Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan jenis tanah sedang (SD). Bangunan memiliki jumlah tingkat 8 lantai dengan tinggi bangunan 36,45 m. Analisis beban gempa pada struktur bangunan ini menggunakan analisis statik ekuivalen.

1. Parameter Percepatan Gempa

a. Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek (S_S)

Dari peta respon spektra (Gambar 3.2) percepatan 0,2 dt di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun SNI 1726 - 2019, nilai S_S untuk wilayah Sleman, DIY berada pada rentang 1,0 – 1,2 g. Nilai S_S yang diambil yaitu 1,1137 g.

b. Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik (S_I)

Dari peta respon spektra (Gambar 3.3) percepatan 1 dt di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun SNI 1726 - 2019, nilai S_I untuk wilayah Sleman, DIY berada pada rentang 0,4 – 0,5 g. Nilai S_I yang diambil yaitu 0,5024 g.

c. Koefisien Situs

Faktor amplifikasi seismik (F_a dan F_v) ditentukan berdasarkan Tabel 3.6 dan 3.7. Faktor amplifikasi seismik pada getaran perioda pendek (F_a), karena nilai $S_s = 1,1137$ berada diantara 1 – 1,25 dan terletak ditanah sedang (SD) perlu dilakukan interpolasi sehingga nilai $F_a = 1,0545$. Faktor amplifikasi seismik pada getaran perioda 1 detik (F_v), karena nilai $S_I = 0,5024$ dan berada diantara 0,5 – 0,75 terletak pada koefisien situs tanah sedang (SD) sehingga nilai $F_v = 1,7976$.

d. Parameter Respon Spektrum

Hubungan koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra sebagai berikut.

Percepatan pada Perioda Pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,0545 \times 1,1137 \\ &= 1,1744 \text{ g} \end{aligned} \tag{5.1}$$

Percepatan pada Perioda 1 Detik (S_{MI})

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \times S_I \\ &= 1,7976 \times 0,5024 \\ &= 0,9031 \text{ g} \end{aligned} \tag{5.2}$$

2. Parameter Percepatan Spektral Desain

a. Spektral Desain untuk Perioda Pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,1744 \\ &= 0,7829 \end{aligned} \tag{5.3}$$

b. Spektral Desain untuk Perioda 1 Detik (S_{DI})

$$\begin{aligned}
 S_{DI} &= \frac{2}{3} \times S_{MI} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,9031 \\
 &= 0,6021
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

3. Desain Respon Spektrum

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= 0,2 \frac{0,6021}{0,7829} \\
 &= 0,1538 \text{ dt}
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,6021}{0,7829} \\
 &= 0,7690 \text{ dt}
 \end{aligned}
 \tag{5.6}$$

Untuk $T < T_0$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\
 &= 0,7829 \left(0,4 + 0,6 \frac{0,1}{0,1538} \right) \\
 &= 0,6184
 \end{aligned}
 \tag{5.7}$$

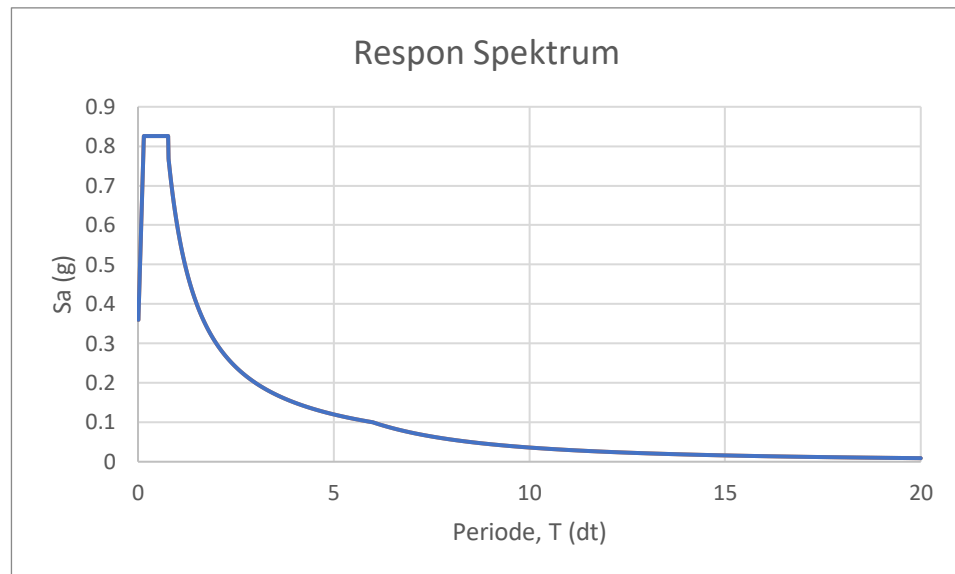
Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \\
 &= 0,7829
 \end{aligned}
 \tag{5.8}$$

Untuk $T \geq T_s$

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
 &= \frac{0,6021}{1} \\
 &= 0,6021
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

Dari hasil perhitungan dengan parameter-parameter diatas didapat grafik respon spektrum menurut SNI-1726-2019 yang dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Grafik Respon Spektrum

4. Perhitungan Periode Pendekatan Fundamental

a. Menentukan Waktu Getar Struktur (T)

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times 36,45^{0,9} \\ &= 1,185 \text{ dt} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Keterangan:

h_n = Tinggi bangunan total hingga atap (m)

C_t = Nilai Parameter Periode Pendekatan

x = Nilai Parameter Periode Pendekatan

b. Menentukan Nilai Periode Maksimum

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 1,185 \\ &= 1,659 \text{ dt} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Keterangan:

C_u = Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

c. Menentukan Periode Struktur Pakai

Dari hasil output SAP2000 V22 didapat nilai $T_c = 1,53055$ dt

Karena $T_a < T_c < T_{max}$

Maka T yang digunakan adalah 1,53055 dt

5. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

- a. Tingkat Daktilitas Struktur, $R = 1$ (untuk evaluasi)
- b. Faktor Keutamaan Struktur, $I_e = 1,5$ (fungsi bangunan untuk perkuliahan)
- c. Nilai C_s

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} & (5.12) \\ &= \frac{0,7829}{\left(\frac{1}{1,5}\right)} \\ &= 1,174 \text{ g} \end{aligned}$$

- d. Nilai C_{smax}

$$\begin{aligned} C_{smax} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} & (5.13) \\ &= \frac{0,6021}{1,53055\left(\frac{1}{1,5}\right)} \\ &= 0,59 \text{ g} \end{aligned}$$

- e. Nilai C_{smin}

$$\begin{aligned} C_{smin} &= 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 & (5.14) \\ &= 0,044 \times 0,7829 \times 1,5 \geq 0,01 \\ &= 0,052 \geq 0,01 \text{ g} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat bahwa nilai $C_{smin} < C_{smax} < C_s$, maka nilai C_s pakai = 0,59 g

6. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI-1726-2019 gaya geser dasar seismik dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} V &= C_s W & (5.15) \\ &= 0,59 \times 96912,863 \text{ kN} \\ &= 57178,589 \text{ kN} \end{aligned}$$

7. Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen

Gaya Seismik Lateral (F_x) yang terjadi pada setiap tingkat dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (5.16)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (5.17)$$

Keterangan:

- C_{vx} = Faktor Distribusi Vertikal
 V = Gaya Lateral Desain Total atau Geser di dasar Struktur
 w_i dan w_x = Berat bangunan pada tingkat i atau x
 h_i dan h_x = Tinggi bangunan pada tingkat i atau x
 k = eksponen yang terkait periode struktur dengan nilai:
 $k = 1$, untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ dt
 $k = 2$, untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ dt
 $k =$ interpolasi, untuk struktur dengan $0,5 \leq T \leq 2,5$ dt

Nilai k untuk $T = 1,185$ dt dicari dengan interpolasi sebagai berikut.

$$k = \frac{(2-1) \times (1,53055 - 0,5)}{(2,5 - 0,5) + 1}$$

$$= 0,3435$$

Untuk hasil distribusi gaya seismik lateral berdasarkan beban gempa SNI-1726-2019 setiap lantai dapat di lihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal

Lantai	w_i (kN)	h (m)	h^k	$w_i \times h^k$	C_{vx}	F_x
Lantai 8 +36,45	7501,537	36,45	3,439	25798,43	0,1070	6117,585
Lantai 7 +31,95	11287,618	31,95	3,287	37101,21	0,1539	8797,812
Lantai 6 +27,45	11287,618	27,45	3,120	35216,13	0,1460	8350,803
Lantai 5 +22,95	11287,618	22,95	2,934	33115,49	0,1373	7852,678
Lantai 4 +18,45	11287,618	18,45	2,722	30723,60	0,1274	7285,489
Lantai 3 +13,95	11978,77	13,95	2,473	29619,21	0,1228	7023,606
Lantai 2 +9,45	12732,874	9,45	2,163	27541,48	0,1142	6530,913
Lantai 1 +4,95	12707,561	4,95	1,732	22011,98	0,0913	5219,702
TOTAL				241127,52	1	57178,589

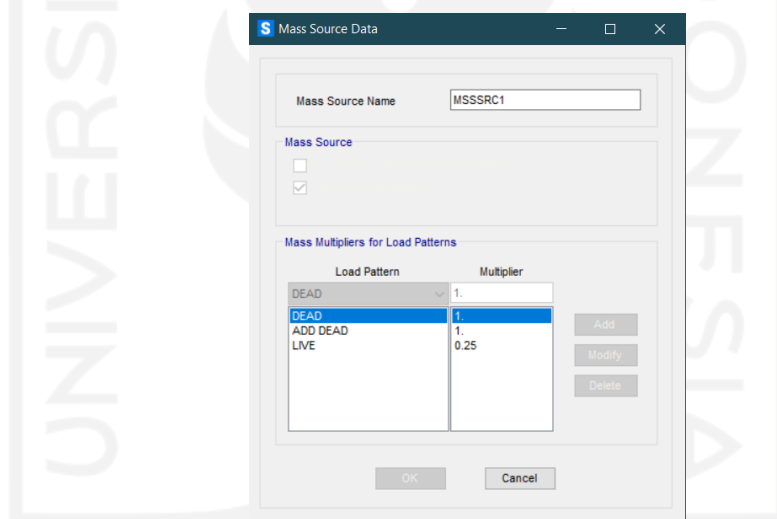
5.2 Analisis Beban Gempa

Sebelum melakukan tahapan analisis *pushover*, terlebih dahulu di cek syarat beban gempa yang telah di analisis sebelumnya. Dalam SNI-1726-2019, syarat yang harus dipenuhi untuk beban gempa yaitu $V_{dinamik} > V_{statik}$. Berikut analisa beban gempa statik dan dinamik yang dilakukan otomatis menggunakan bantuan *software* SAP2000.

5.2.1 Pendefinisian *Mass Source*

Pendefinisian massa struktur sangat penting dilakukan dalam analisis dinamik respon spektrum karena secara garis besar beban berasal dari percepatan dikali dengan massa struktur. Jika pendefinisian tidak tepat dilakukan maka gaya atau beban gempa yang dihasilkan akan terlalu besar atau terlalu kecil.

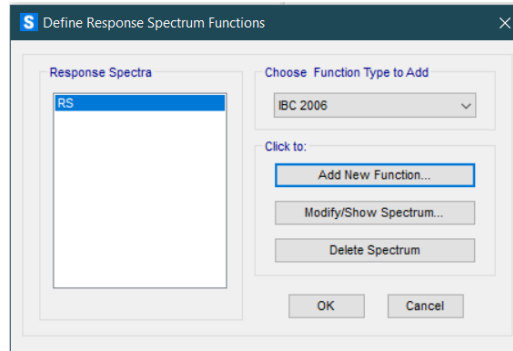
Penentuan massa struktur dalam analisis mempengaruhi waktu getar struktur (T_c), sehingga dapat mempengaruhi besar kecilnya gaya gempa baik statik maupun dinamik. Tahapan melakukan pendefinisian struktur dapat dilakukan dengan cara klik *Define – Mass Source – Add New Mass Source* – pada kotak *Mass Source Name* isi dengan nama Massa Struktur – pada kotak *Mass Source* centang *Specified Load Patterns* – pada kotak *Mass Multipliers for Load Patterns* input *Load Pattern* DEAD = 1, ADD DEAD = 1, dan LIVE = 0,25. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



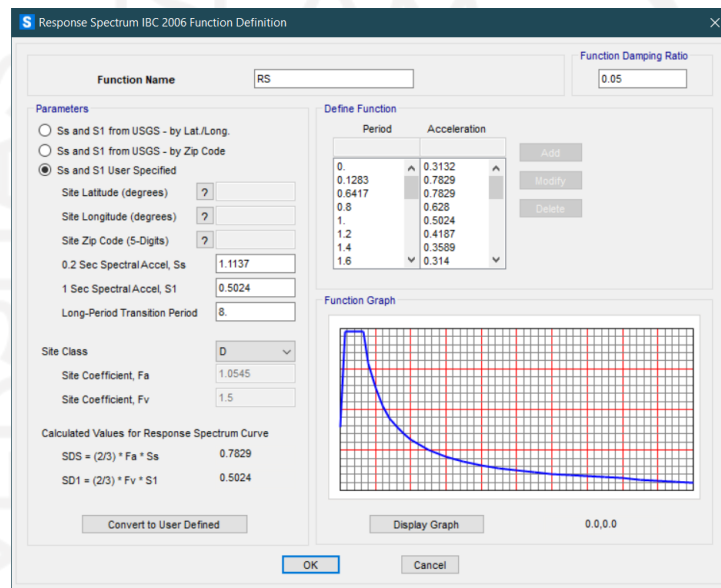
Gambar 5.17 Mass Source

5.2.2 Input Data Respon Spektrum

Tahapan input data respon spektrum pada SAP2000 dapat dilakukan dengan cara klik *Define – Function – Respons Spectrum* – pada kotak *Choose Function Type to Add* pilih IBC 2006 – lalu input data respon spektrum – OK. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.18 Membuat *Respon Spectrum Function*



Gambar 5.19 Mengisi Parameter Respon Spektrum

5.2.3 Analisa Beban Gempa Statik

Dalam analisa beban gempa statik ekuivalen hasil analisis berupa gaya geser dasar (*base shear*) dilakukan otomatis melalui SAP2000 dengan tahapan *display – show table – base reaction* – pilih *output case EQX & EQY* – OK. *Output base reaction (Vstatik)* dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.

	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
	EQX	LinStatic	-14332.817	4.722E-09	7.01E-12	-511.832	-51128.5429	518860.9268
	EQY	LinStatic	3.596E-08	-28527.238	-5.684E-12	95479.9801	339.2846	-382574.74

Gambar 5.20 *Base Reaction* akibat beban Gempa Statik Ekuivalen

Dari Gambar 5.20 diketahui bahwa gaya geser yang diakibatkan beban gempa untuk arah x (V_x) = 14332,817 kN dan arah y (V_y) = 28527,238 kN.

5.2.4 Analisa Beban Gempa Dinamik

Dalam analisa beban gempa dinamik hasil analisis berupa gaya geser dasar (*base shear*) dilakukan otomatis melalui SAP2000 dengan tahapan *display – show table – base reaction – pilih output case RESPON SX & RESPON SY – OK*. *Output base reaction ($V_{dinamik}$)* dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
	Respon SX	LinRespSpec	Max	14373.383	39.604	1.487	677.7297	51372.7831	498887.8408
	Respon SY	LinRespSpec	Max	178.228	27251.42	322.885	99088.498	6335.0388	424716.8068

Gambar 5.21 Base Reaction Akibat Gaya Gempa Dinamik

Dari Gambar 5.21 diketahui bahwa gaya geser yang diakibatkan beban gempa respon spektrum untuk arah x (V_x) = 14373,383 kN dan arah y (V_y) = 27251,42 kN.

5.2.5 Cek Syarat $V_{dinamik} > V_{statik}$

1. Arah X (Respon SX)

$$V_{statik} = 14332,817 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} = 14373,383 \text{ kN}$$

Cek Syarat:

$$V_{dinamik} > V_{statik}$$

$$14373,383 > 14332,817 \text{ (Memenuhi Syarat)}$$

2. Arah Y (Respon SY)

$$V_{statik} = 28527,238 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} = 27251,42 \text{ kN}$$

Cek Syarat:

$$V_{dinamik} < V_{statik}$$

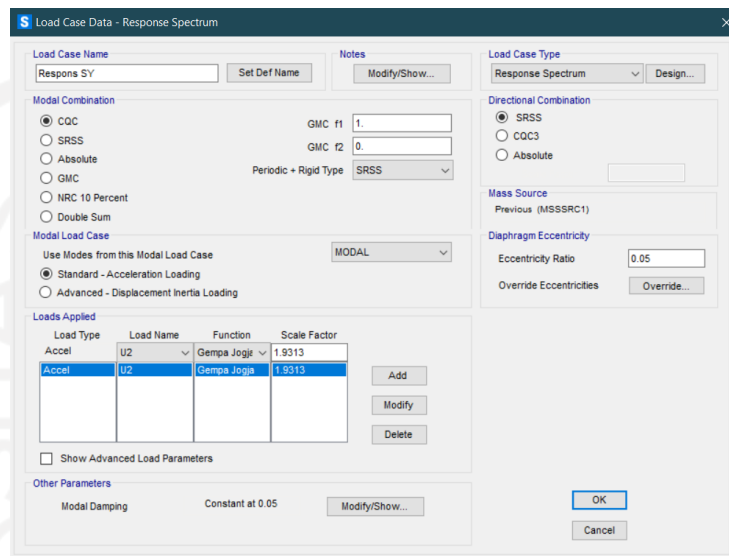
$$27251,42 < 28527,238 \text{ (Tidak Memenuhi Syarat)}$$

$$\begin{aligned} \text{Evaluasi Scale Factor} &= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\ &= \frac{28527,238}{27251,42} \end{aligned}$$

$$= 1,0468$$

$$U_2 = 1,8394 \times 1,0468 = 1,9313$$

Setelah dicek syarat dan dilakukan evaluasi *scale factor* arah y, Nilai U₂ yang sudah dikali dengan *scale factor* di input kembali pada *respon spectrum cases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.22 Input Scale Factor pada Load Case Respon SY

Selanjutnya di cek kembali syarat $V_{dinamik} > V_{statik}$ apakah sudah sesuai syarat setelah dilakukan evaluasi *scale factor* dengan tahapan *display – show table – base reaction* – pilih *output case* RESPON SX & RESPON SY – OK. *Output base reaction* ($V_{dinamik}$) dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
Respon SX	LinRespSpec	Max	14373.383	39.604	1.487	677.7297	51372.7831	498887.8408
Respon SY	LinRespSpec	Max	187.07	28603.624	338.906	104005.2262	6649.3806	445791.0701

Gambar 5.23 Gaya Gempa Dinamik setelah Scale Factor

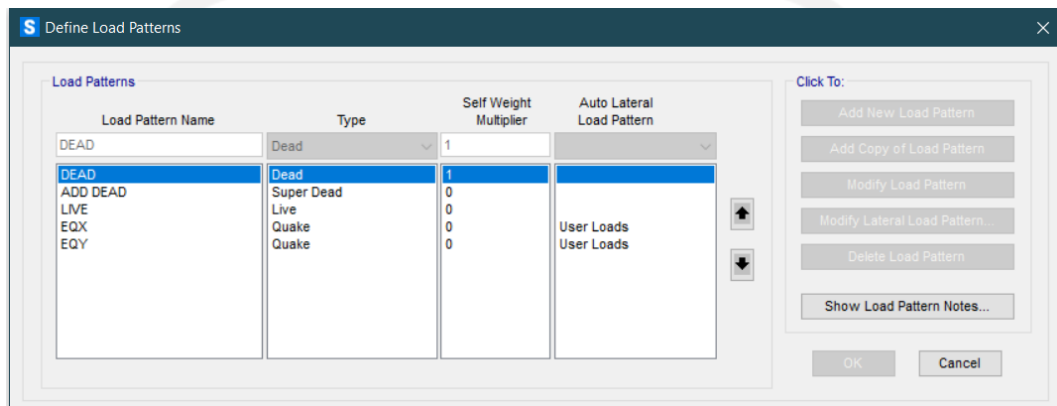
5.3 Analisis Pushover

5.3.1 Pendefinisian Load Pattern Pushover Analysis

Dalam melakukan analisis *pushover* gaya lateral horizontal statik yang berupa beban titik diberikan disetiap tingkat pada pusat massa bangunan arah x dan arah y.

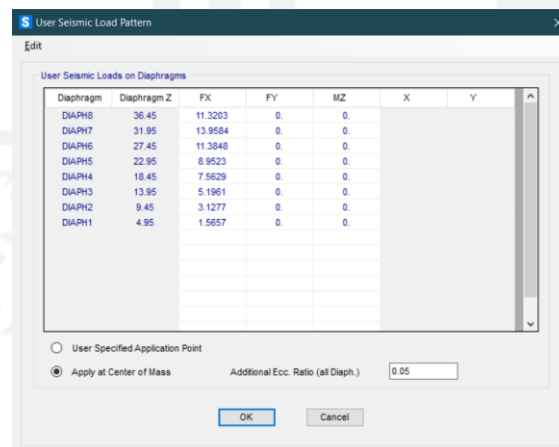
Gaya lateral horizontal statik tersebut didefinisikan sebagai EQX dan EQY pada SAP2000.

Tahapan pendefinisian beban lateral tersebut dalam SAP2000 yaitu dengan cara klik *Define – Load Pattern – Add New Load Pattern* EQX dan EQY dengan *type* QUAKE – Isi kotak *Self Weight Multiplier* dengan angka 0 – Isi kotak *Auto Lateral Load Pattern* dengan *User Load*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.24 Define Load Pattern

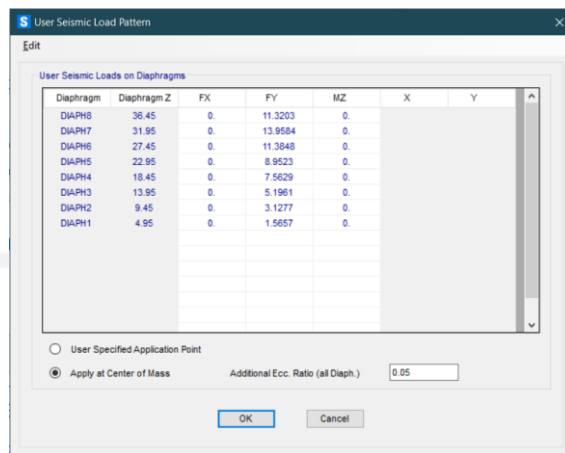
Selanjutnya pada beban EQX klik *Modify Lateral Load Pattern* – isi kotak FX dengan gaya gempa yang telah dihitung sebelumnya – setelah seluruh beban diisi centang *apply at center of mass* – OK. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.25 Input Beban Gempa Arah X

Selanjutnya pada beban EQY klik *Modify Lateral Load Pattern* – isi kotak FX dengan gaya gempa yang telah dihitung sebelumnya – setelah seluruh beban

diisi centang *apply at center of mass* – OK. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.



Gambar 5.26 Input Beban Gempa Arah Y

Setelah selesai diinput seluruh beban gempa, program SAP2000 akan otomatis mendistribusikan gaya lateral pada pusat massa di setiap tingkat bangunan.

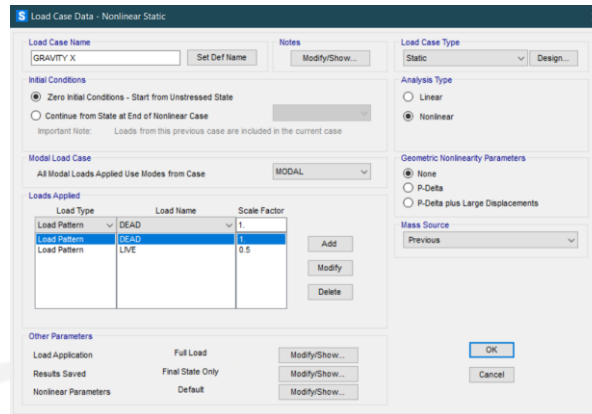
5.3.2 Pendefinisian *Load Case Pushover Analysis*

Load case pada analisis *pushover* dilakukan 2 (dua) tahapan. Tahapan pertama analisis struktur bangunan diberi beban mati dan beban hidup tetapi belum mempertimbangkan kondisi non linear. Tahapan kedua dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral secara bertahap.

1. Pendefinisian beban gravitasi *Pushover* (GRAVITY X dan GRAVITY Y)

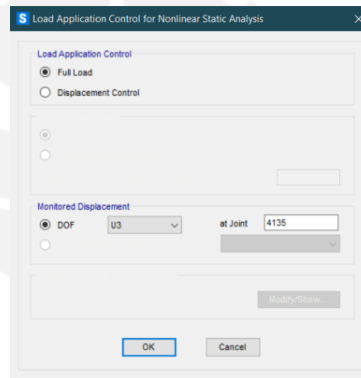
Pendefinisian beban gravitasi pada SAP2000 dilakukan dengan tahapan klik *Define – Load Case – Add New Load Case*. Selanjutnya pengisian data *Load Case* dan modifikasi nilai untuk GRAVITY X dapat disesuaikan pada tahapan berikut.

- a. *Load Case Name* : *GRAVITY X*
- b. *Load Case Type* : *Static*
- c. *Initial Conditions* : *Zero Initial Conditions – Start from Unstressed State*
- d. *Analysis Type* : *Nonlinier*
- e. *Loads Applied* : - *Load Pattern – DEAD – 1*
- *Load Pattern – LIVE – 0,5*



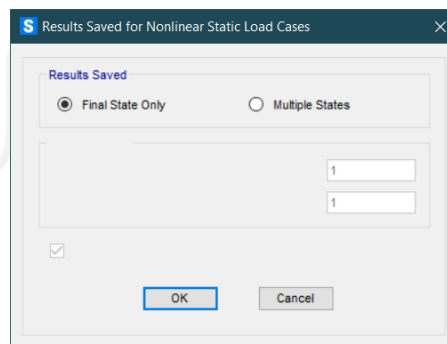
Gambar 5.27 Load Case GRAVITY X

- f. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control* pilih *Full Load* – pada *Monitored Displacement* pilih *DOF U3* pada *Joint 4135* – OK.



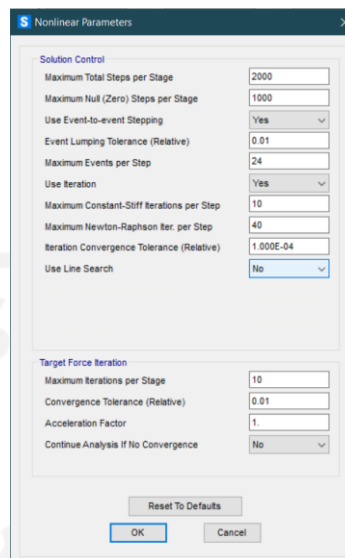
Gambar 5.28 Load Application GRAVITY X

- g. *Results Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Final State Only* – OK.



Gambar 5.29 Results Saved GRAVITY X

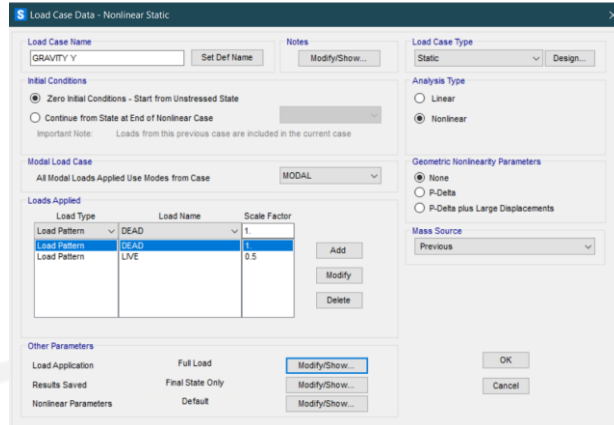
- h. *Nonlinier Parameters* : klik *Modify/Show* – parameternya dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



Gambar 5.30 Nonlinier Parameters GRAVITY X

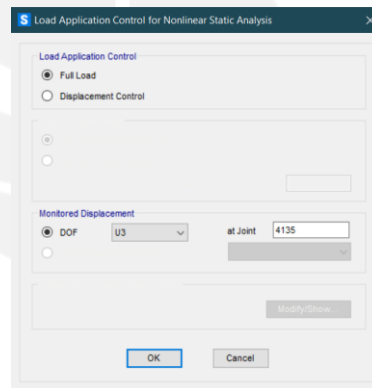
Selanjutnya pengisian data *load case* dan modifikasi nilai untuk GRAVITY Y dapat disesuaikan pada tahapan berikut.

- a. *Load Case Name* : *GRAVITY Y*
- b. *Load Case Type* : *Static*
- c. *Initial Conditions* : *Zero Initial Conditions – Start from Unstressed State*
- d. *Analysis Type* : *Nonlinier*
- e. *Loads Applied* : - *Load Pattern – DEAD – 1*
- *Load Pattern – LIVE – 0,5*



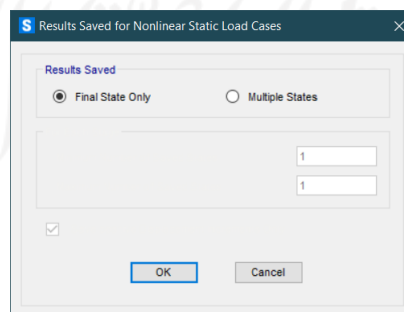
Gambar 5.31 Load Case GRAVITY Y

- f. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control* pilih *Full Load* – pada *Monitored Displacement* pilih *DOF U3* pada *Joint 4135* – OK.



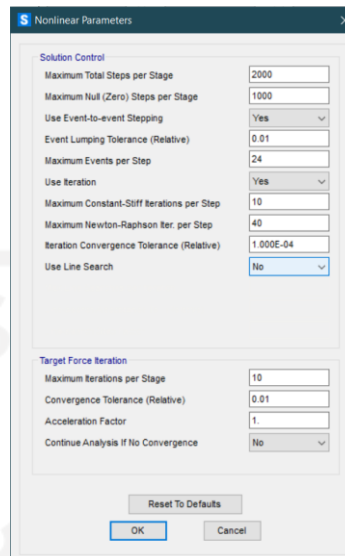
Gambar 5.32 Load Application GRAVITY Y

- g. *Results Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Final State Only* – OK.



Gambar 5.33 Results Saved GRAVITY Y

- h. *Nonlinier Parameters* : klik *Modify/Show* – parameternya dapat dilihat pada Gambar 5. berikut.

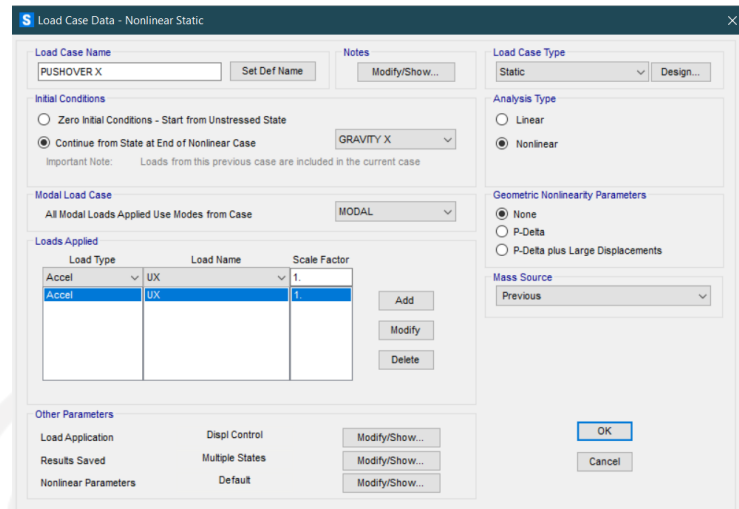


Gambar 5.34 Nonlinier Parameters GRAVITY Y

2. Pendefinisian beban lateral *Pushover* (*PUSHOVER X* dan *PUSHOVER Y*)

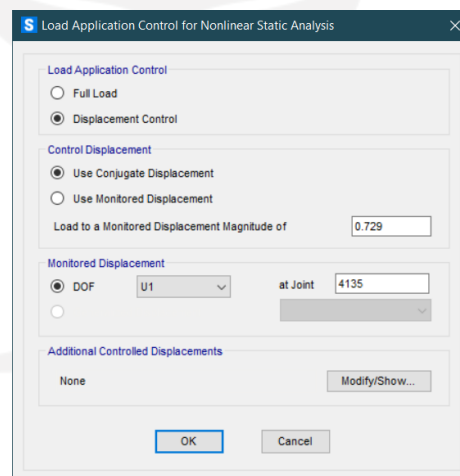
Pendefinisian beban lateral pada SAP2000 dilakukan dengan tahapan klik *define – load case – add new load case*. Selanjutnya pengisian data *load case* dan modifikasi nilai untuk *PUSHOVER X* dapat disesuaikan pada tahapan berikut.

- f. *Load Case Name* : *PUSHOVER X*
- g. *Load Case Type* : *Static*
- h. *Initial Conditions* : *Continue from State at End of Nonlinier Case – GRAVITY X*
- i. *Analysis Type* : *Nonlinier*
- j. *Loads Applied* : *Load Pattern – EQX – 1*



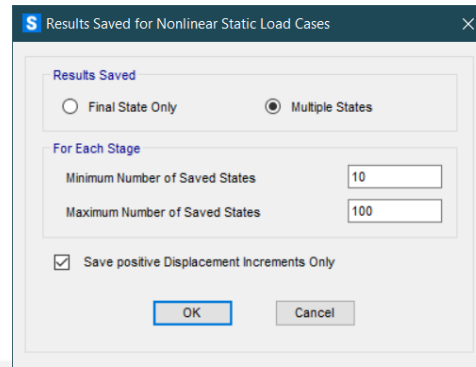
Gambar 5.35 Load Case PUSHOVER X

- i. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control* pilih *Displacement Control* – pada *Control Displacement* pilih *Use Conjugate Displacement* dengan *Monitored Displacement* sebesar 2% dari tinggi bangunan 36,45 m yaitu 0,729 m – pada *Monitored Displacement* pilih DOF U1 pada *Joint* 4135 – OK.



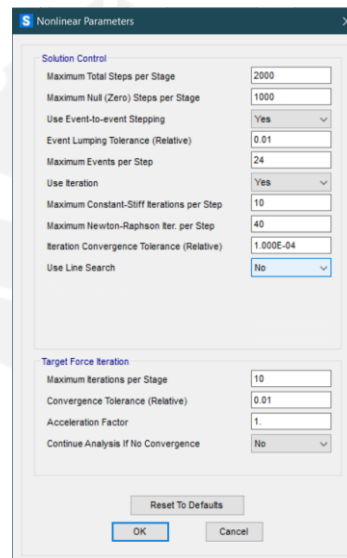
Gambar 5.36 Load Application PUSHOVER X

- j. *Results Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Multiple States* – pada *For Each Stage minimum number* di isi 10 dan *maximum number* di isi 100 – OK.



Gambar 5.37 Results Saved PUSHOVER X

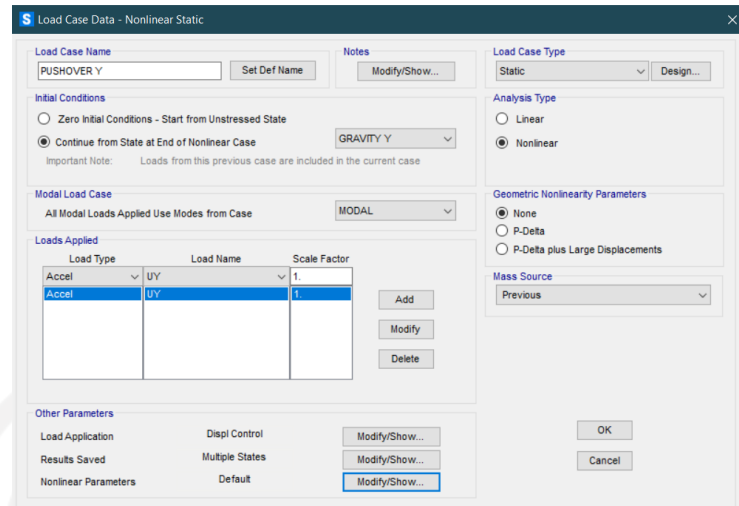
- k. *Nonlinier Parameters* : klik *Modify/Show* – parameternya dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut.



Gambar 5.38 Nonlinier Parameters PUSHOVER X

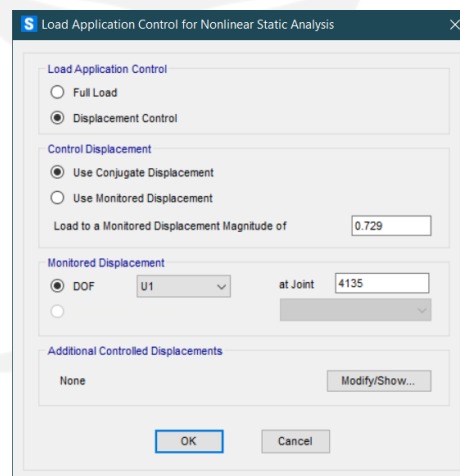
Selanjutnya pengisian data *load case* dan modifikasi nilai untuk *PUSHOVER Y* dapat disesuaikan pada tahapan berikut.

- k. *Load Case Name* : *PUSHOVER Y*
 l. *Load Case Type* : *Static*
 m. *Initial Conditions* : *Continue from State at End of Nonlinier Case – GRAVITY Y*
 n. *Analysis Type* : *Nonlinier*
 o. *Loads Applied* : *Load Pattern – EQY – 1*



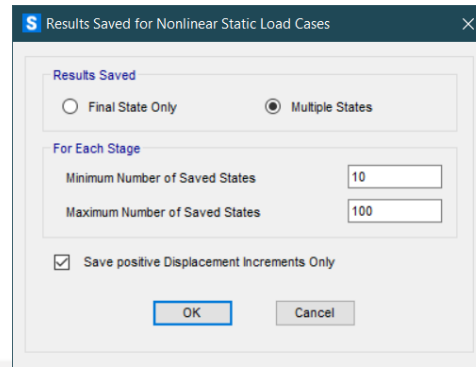
Gambar 5.39 Load Case PUSHOVER Y

1. *Load Application* : klik *Modify/Show* – pada *Load Application Control* pilih *Displacement Control* – pada *Control Displacement* pilih *Use Conjugate Displacement* dengan *Monitored Displacement* sebesar 2% dari tinggi bangunan 36,45 m yaitu 0,729 m – pada *Monitored Displacement* pilih DOF U1 pada *Joint* 4135 – OK.



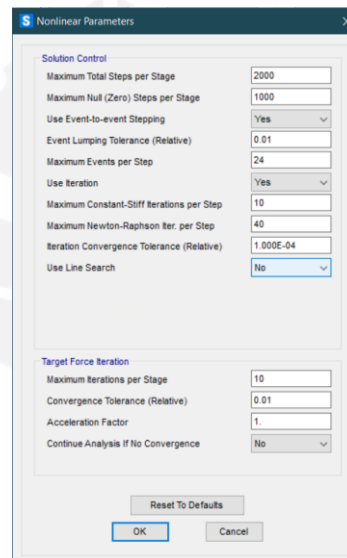
Gambar 5.40 Load Application PUSHOVER Y

- m. *Results Saved* : klik *Modify/Show* – pada *Result Saved* pilih *Multiple States* – pada *For Each Stage minimum number* di isi 10 dan *maximum number* di isi 100 – OK.



Gambar 5.41 Results Saved PUSHOVER Y

- n. *Nonlinier Parameters* : klik *Modify/Show* – parameterinya dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut.



Gambar 5.42 Nonlinier Parameters PUSHOVER Y

5.3.3 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinge*)

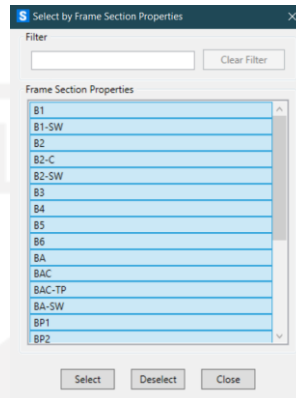
Sebelum melakukan analisis *pushover* hal yang perlu dilakukan juga adalah pendefinisian sendi plastis (*Plastic Hinge*) pada setiap elemen struktur. Pendefinisian sendi plastis ini dimodelkan berdasarkan perilaku struktur yang akan sangat berpengaruh pada jenis struktur yang di desain.

Struktur bangunan akan didesain dengan perilaku sebagai *beam sway mechanism*, dimana ketika struktur menerima beban lateral, balok akan leleh terlebih dahulu pada ujung-ujungnya kemudian baru dilanjutkan dengan pada kolom dan dinding geser pada pangkalnya.

1. Pendefinisian sendi plastis pada balok

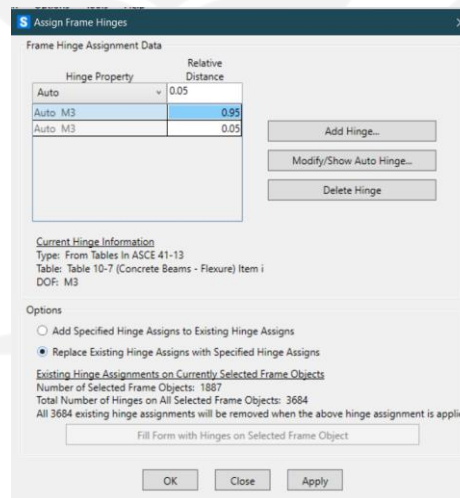
Tahapan dalam melakukan pendefinisian sendi plastis balok pada SAP2000 dapat dilakukan dengan cara berikut.

- a. Klik *Select – Properties – Frame Section* – pilih semua balok yang sudah di modelkan sebelumnya.



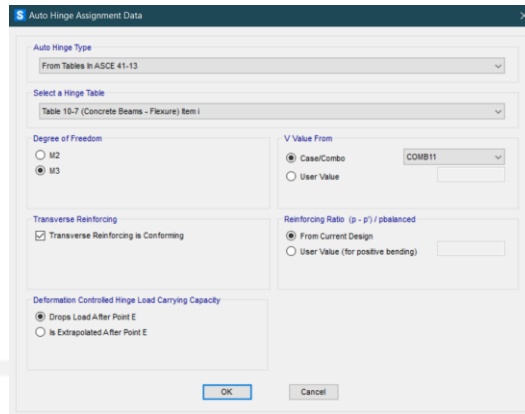
Gambar 5.43 Select Frame Balok

- b. Klik *Assign – Frame – Hinge* – isi *Frame Hinge Assignment Data* sesuai dengan Gambar 5.45 Berikut – klik *Add Hinge*.



Gambar 5.44 Input Frame Hinge

- c. Pada kotak *Auto Hinge Type* pilih *From Table in ASCE 41-13* – pada kotak *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-7 (Concrete Beams – Flexure) item 1* – pada kotak *Degree of Freedom* pilih *M3* – pada kotak *V Value From* pilih *Case/Combo COMB11* – OK.

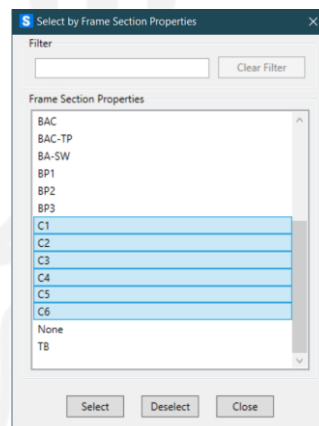


Gambar 5.45 Setting Hinge Balok

- d. Buat 2 sendi plastis dengan *Relative Distance* 0,95 dan 0,05 pada kotak *Frame Hinge Data*, Hal ini menunjukkan bahwa sendi plastis pada balok di letakan di ujung – ujung elemen balok.
2. Pendefinisian sendi plastis pada kolom

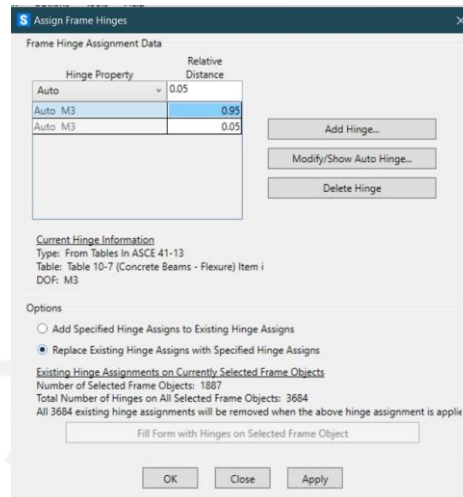
Tahapan dalam melakukan pendefinisian sendi plastis kolom pada SAP2000 dapat dilakukan dengan cara berikut.

 - a. Klik *Select – Properties – Frame Section* – pilih semua kolom yang sudah di modelkan sebelumnya.



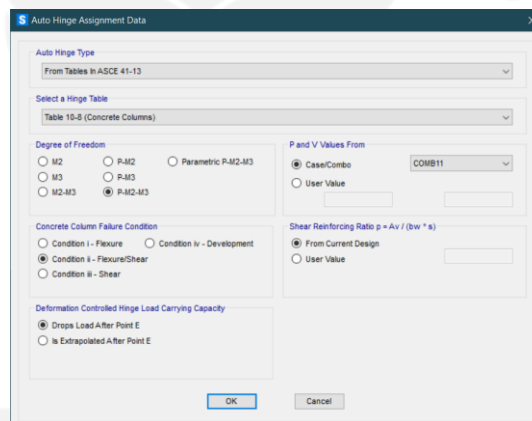
Gambar 5.46 Select Frame Kolom

- b. Klik *Assign – Frame – Hinge* – isi *Frame Hinge Assignment Data* sesuai dengan Gambar 5. Berikut – klik *Add Hinge*.



Gambar 5.47 Input Frame Hinge

- c. Pada kotak *Auto Hinge Type* pilih *From Table in ASCE 41-13* – pada kotak *Select a Hinge Table* pilih *Table 10-8 (Concrete Column)*– pada kotak *Degree of Freedom* pilih *P-M2-M3* – pada kotak *V Value From* pilih *Case/Combo COMB11* – OK.



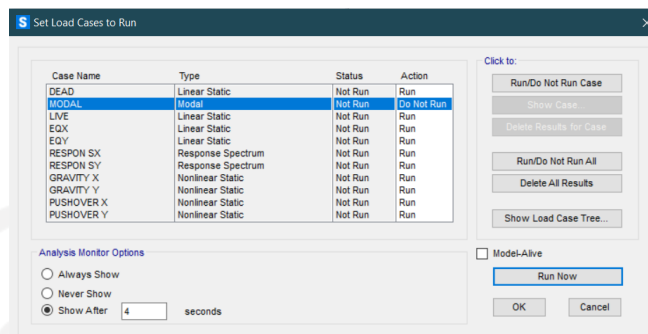
Gambar 5.48 Setting Hinge Kolom

- d. Buat 2 sendi plastis dengan *Relative Distance* 0,95 dan 0,05 pada kotak *Frame Hinge Data*, Hal ini menunjukkan bahwa sendi plastis pada kolom di letakan di ujung – ujung elemen kolom.

5.3.4 Running Pushover Analysis

Setelah memasukan *Load Pattern & Load Case Pushover Analysis* serta menginput definisi sendi plastis (*Hinge*) pada struktur di SAP2000. Langkah selanjutnya yaitu *Running Pushover Analysis* dengan tahapan klik *Analyze – Run*

Analyze – Run Now (seluruh case name) – OK. *Running* akan dilakukan otomatis oleh program SAP2000 dengan waktu yang cukup lama, pada permodelan ini *running* membutuhkan waktu sekitar 1 jam hingga selesai.



Gambar 5.49 Running Analysis

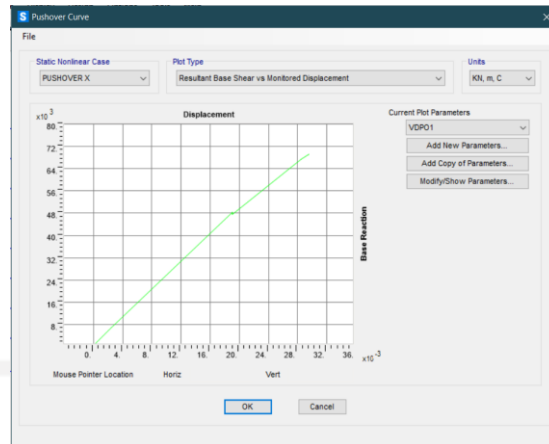
5.4 Hasil Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* yang telah selesai di *running* akan menghasilkan output berupa kurva kapasitas dan nilai *performance point*. Nilai *performance point* akan digunakan untuk menentukan tingkat kinerja struktur menggunakan metode ATC-40. Hasil akhir dari analisis *pushover* juga akan menunjukkan skema sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan tersebut.

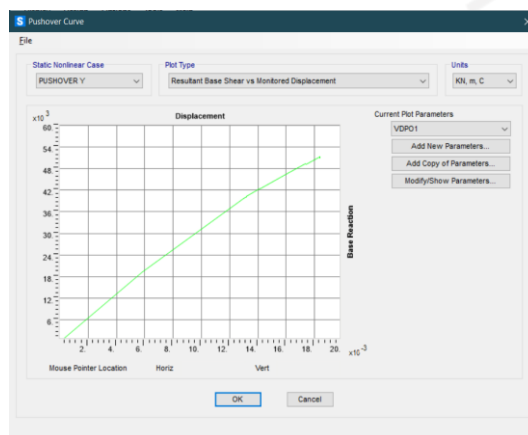
5.4.1 Kurva Kapasitas

Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*) menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan lateral lantai hingga atap. Kurva kapasitas dari hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa besarnya kekuatan struktur tergantung pada kemampuan momen deformasi dari setiap komponen struktur.

Untuk menampilkan kurva kapasitas pada program SAP2000 dapat dilakukan dengan tahapan klik *Display – Show Static Pushover Curve*, lalu kurva kapasitas akan muncul otomatis dari masing-masing desain pembebanan. Hasil kurva kapasitas pada struktur gedung ini dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 berikut.



Gambar 5.50 Kurva Kapasitas *PUSHOVER X*



Gambar 5.51 Kurva Kapasitas *PUSHOVER Y*

Untuk menampilkan Tabel antara *base reaction (V)* dan *displacement (D)* dari kurva kapasitas dapat dilakukan dengan cara klik *File – Display Tables*. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12 Dan Tabel 5.13 berikut.

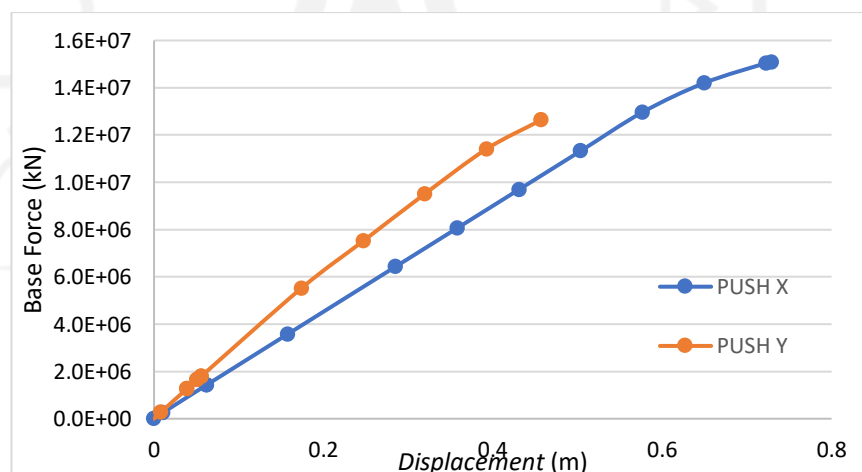
Tabel 5.12 Data Kurva Kapasitas *PUSHOVER X*

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	0.000019	0
1	0.010685	261542.0
2	0.061882	1424019.1
3	0.061884	1423599.3
4	0.157565	3572809.4
5	0.28514	6430575.8
6	0.35804	8062208.8
7	0.43094	9695271.5
8	0.50384	11328441.5
9	0.57674	12963870.6
10	0.64964	14200757.5
11	0.72254	15039232.2
12	0.729019	15085065.1

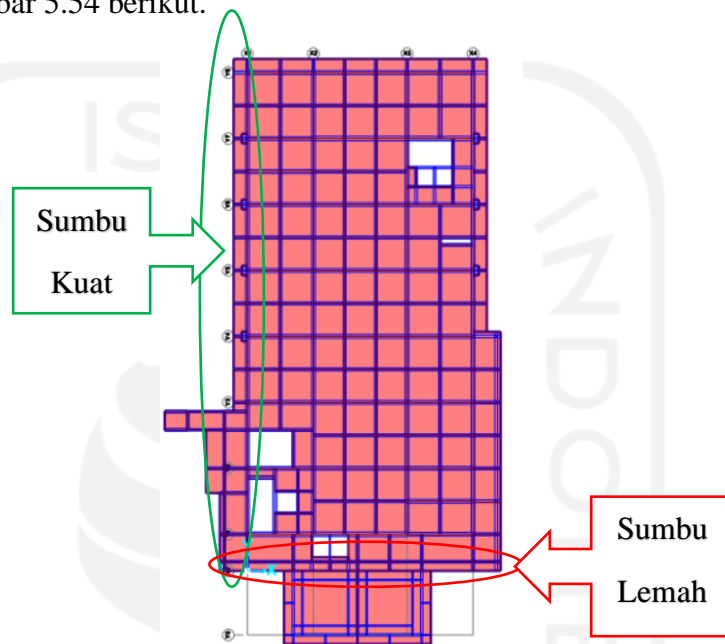
Tabel 5.13 Data Kurva Kapasitas *PUSHOVER* Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000021	0
1	0.007763	265972.1
2	0.039084	1273896.1
3	0.039086	1273159.7
4	0.050848	1645108.7
5	0.050855	1644240.6
6	0.055605	1793520.6
7	0.055605	1791856.6
8	0.055605	1790124.0
9	0.174067	5521291.3
10	0.246967	7815858.5
11	0.319867	9813156.6
12	0.392767	11411610.3
13	0.457125	12636028.7

Berdasarkan dari Tabel 5.12 untuk *pushover* arah x gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebesar 15085065,1 kN yang terjadi pada step-12 dengan *displacement* sebesar 0,729019 m dari Tabel 5.13 untuk *pushover* arah y gaya lateral maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebesar 12636028,7 kN yang terjadi pada step-13 dengan *displacement* sebesar 0,457125 m. Analisis mencapai titik kontrol *displacement* yang ditentukan yakni 0,729 m karena telah terlampauinya kapasitas deformasi pada tiap elemen struktur yang sebelumnya telah didefinisikan pada properti sendi plastis. Perbandingan kurva kapasitas *pushover* arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.53 berikut.

**Gambar 5.52 Perbandingan Kurva Kapasitas Arah x dan Arah y**

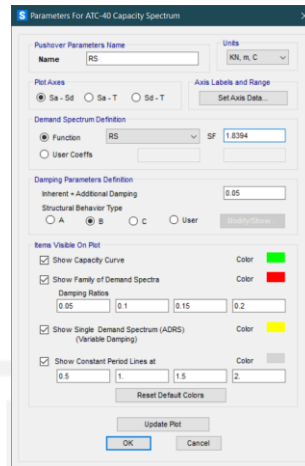
Berdasarkan Gambar 5.53 terlihat bahwa kurva *pushover* arah y lebih tegak atau lebih kaku dari pada *pushover* arah x. Hal ini dikarenakan posisi arah y memiliki jumlah kolom dan balok yang lebih banyak serta konfigurasi dinding geser dari pada arah x. Arah y di desain menjadi sumbu kuat ditumpu kolom yang lebih banyak dari pada arah x. sumbu kuat dan sumbu lemah pada struktur ini dapat dilihat pada Gambar 5.54 berikut.



Gambar 5.53 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur

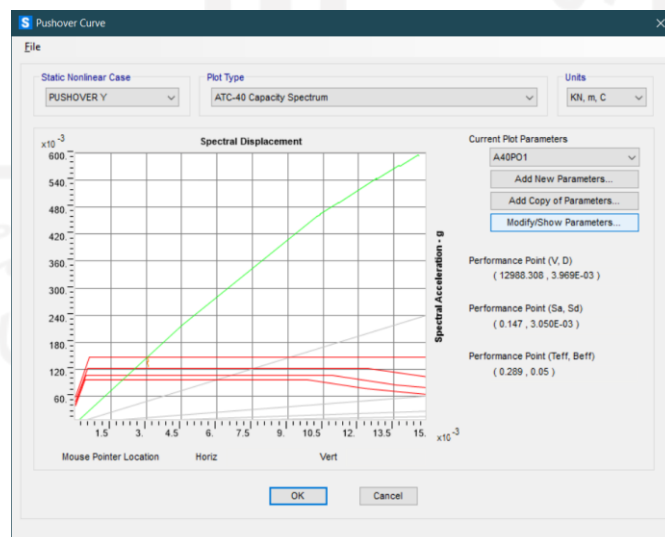
5.4.2 Performance Point Metode ATC-40

Dalam menentukan titik kinerja bangunan metode yang digunakan yaitu *Capacity Spectrum* sesuai ATC-40. Kurva kapasitas yang dihasilkan setelah analisis *pushover* adalah kurva hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan yang di konversi ke dalam bentuk spektrum kapasitas dengan format ADRS (*Acceleration Displacement Respon Spectrum*) yaitu S_a dan S_d (sebagai *spektrum capacity*). Tahapan untuk mengubah parameter *capacity spectrum* dapat dilakukan dengan cara klik *Define – Pushover Parameters Sets – ATC-40 Capacity Spectrum – Add New Parameters* – lalu isi kotak dialog sesuai dengan Gambar 5.55 – OK.

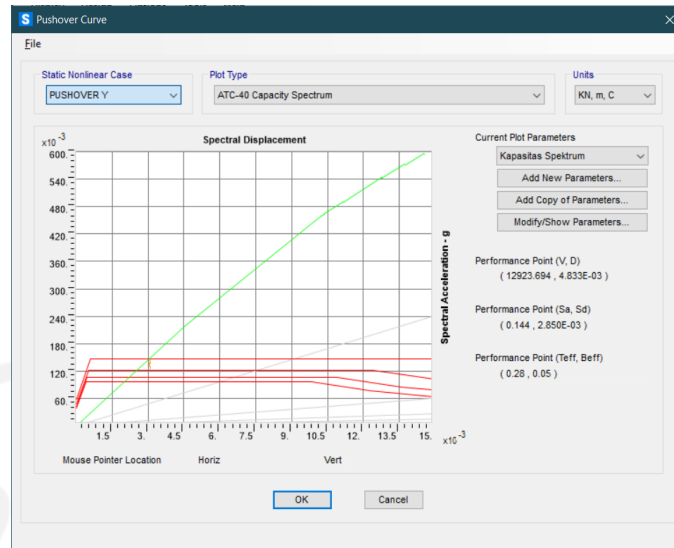


Gambar 5.54 Parameters for ATC-40 Capacity Spectrum

Kotak dialog *Pushover Parameters Name* diisi dengan Spektrum Kapasitas. Pada kotak dialog *Demand Spectrum Definition* diisi dengan pilih *Function* isi dengan RS lalu nilai SF = 1,8394, nilai ini digunakan untuk koreksi ordinat spektrum respon sebesar $\frac{I_e}{R}g$ dengan I = 1,5, R = 1, dan g = 9,81 maka didapatkan nilai 1,8394. Tahapan selanjutnya untuk menampilkan hasil modifikasi spektrum kapasitas pada program SAP2000 dapat dilakukan dengan tahapan klik *Display - Show Static Pushover Curve* – pada *Plot Type* pilih *ATC-40 Capacity Spectrum*. Kurva *Capacity Spectrum* untuk arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.56 dan Gambar 5.57 berikut.



Gambar 5.55 Capacity Spectrum Arah x



Gambar 5.56 Capacity Spectrum Arah y

Dari kurva diatas dapat dibuat Tabel *output* hasil kurva *capacity spectrum* dan *demand spectrum* untuk arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut.

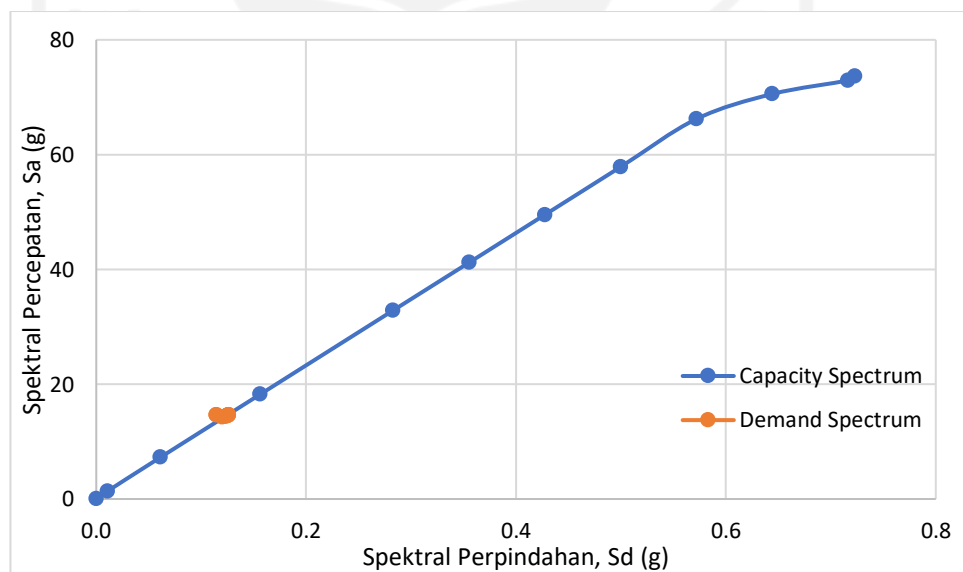
Tabel 5.14 Output Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah x

Steps	Sd (C)	Sa (C)	Sd (D)	Sa (D)
0	0	0	0.1145	14.6423
1	0.010424	1.3327	0.1145	14.6423
2	0.061166	7.2629	0.1201	14.2572
4	0.156178	18.2333	0.1232	14.3829
5	0.282844	32.8467	0.1246	14.4729
6	0.355099	41.1725	0.125	14.4959
7	0.427382	49.5121	0.1253	14.5196
8	0.499635	57.8535	0.1256	14.5391
9	0.571878	66.2019	0.1257	14.5566
10	0.644101	70.5584	0.1259	14.573
11	0.716285	72.9218	0.126	14.5888
12	0.722705	73.6669	0.126	14.5904

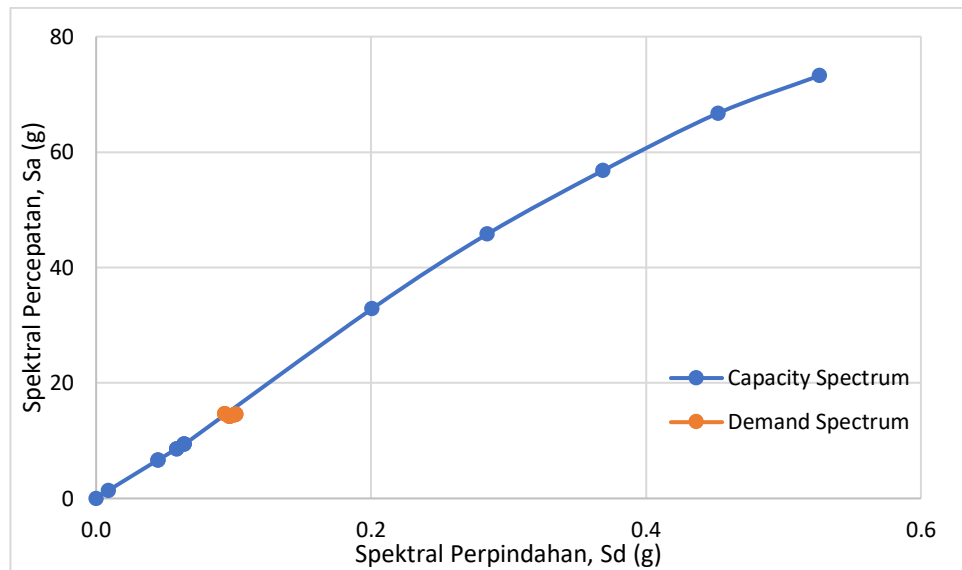
Tabel 5.15 Output Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah y

Steps	$S_d (C)$	$S_a (C)$	$S_d (D)$	$S_a (D)$
0	0	0.0	0.0937	14.6423
1	0.008857	1.3836	0.0937	14.6423
2	0.045029	6.6600	0.0968	14.3145
3	0.045034	6.6563	0.0967	14.2952
4	0.058634	8.6078	0.0973	14.2823
5	0.058642	8.6024	0.0972	14.2603
6	0.064108	9.3812	0.0974	14.2562
7	0.064124	9.3740	0.0973	14.2277
8	0.064142	9.3665	0.0972	14.1977
9	0.200734	32.8642	0.1005	14.4445
10	0.284668	45.8117	0.101	14.4794
11	0.368685	56.7957	0.1014	14.5173
12	0.452534	66.7429	0.1016	14.5359
13	0.526457	73.2615	0.1017	14.5435

Dari Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 dapat dilihat terdapat parameter S_d dan $S_a (C)$ dengan parameter S_d dan $S_a (D)$. Dari parameter tersebut dapat diplot kedalam grafik dimana tempat bertemunya grafik S_d dan $S_a (C)$ dengan grafik S_d dan $S_a (D)$ disebut sebagai *performance point*. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.58 dan Gambar 5.59 berikut.



Gambar 5.57 Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah x



Gambar 5.58 Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah y

Dapat dilihat pada Gambar 5.56 hasil *pushover* untuk arah x didapat nilai $\delta_t = 0,2828$ m dan gaya geser dasar target $V_t = 328467,728$ kN $< V_{static} = 57178,589$ kN maka dalam metode *capacity spectrum* perilaku struktur arah x pada gempa rencana mengalami kondisi elastis.

Dapat dilihat pada Gambar 5.57 hasil *pushover* untuk arah y didapat nilai $\delta_t = 0,2007$ m dan gaya geser dasar target $V_t = 328642,432$ kN $< V_{static} = 57178,589$ kN maka dalam metode *capacity spectrum* perilaku struktur arah y pada gempa rencana mengalami kondisi elastis.

Nilai *performance point*, waktu getar alami efektif dan redaman *viscous* efektif berdasarkan metode ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Performance Point Metode ATC-40

Beban	Base Shear (kN)	Performance Point					
		V_t	δ_t	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Pushover X	57178,589	328467,728	0,2828	0,144	0,1246	0,185	0,05
Pushover Y	57178,589	328642,432	0,2007	0,144	0,1005	0,167	0,05

5.4.3 Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur bangunan dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift* yang didapat saat titik kinerja tercapai. Berdasarkan Tabel 5.7 tentang batasan *drift* pada atap dapat diketahui tingkat kinerja struktur dengan parameter *maximum total*

drift ratio dan *maximum inelastic drift ratio*. Perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. *Pushover* arah x

a. *Maximum Total Drift Ratio*: $\frac{\delta_t}{H} = \frac{0,2828}{36,45} = 0,007758 < 0,01$

Berdasarkan ATC-40 Table 11-2 nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,01$ masuk kedalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* artinya bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

b. *Maximum Inelastic Ratio*: $\frac{\delta_t - \delta_{t1}}{H} = \frac{0,2828 - 0,010685}{36,45} = 0,007465 < 0,05$

Berdasarkan ATC-40 Table 11-2 nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,05$ masuk kedalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* artinya bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

2. *Pushover* arah y

a. *Maximum Total Drift Ratio*: $\frac{\delta_t}{H} = \frac{0,2007}{36,45} = 0,005506 < 0,01$

Berdasarkan ATC-40 Table 11-2 nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,01$ masuk kedalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* artinya bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

b. *Maximum Inelastic Ratio*: $\frac{\delta_t - \delta_{t1}}{H} = \frac{0,2007 - 0,007763}{36,45} = 0,005293 < 0,05$

Berdasarkan ATC-40 Table 11-2 nilai *Maximum Total Drift Ratio* $< 0,05$ masuk kedalam kategori tingkat kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* artinya bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

5.4.4 Skema Sendi Plastis

Struktur akan mulai mengalami sendi plastis yang diakibatkan oleh momen yang terjadi lebih besar dari momen kapasitas elemen setelah dilakukan analisis *pushover*. Saat beban yang bekerja relatif kecil pada struktur maka momen yang bekerja pada penampang masih dalam keadaan elastis, jika beban yang bekerja ditingkatkan secara bertahap maka akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang mencapai keadaan plastis.

Dalam *software* SAP2000, keadaan sendi plastis pada elemen ditunjukkan dalam bentuk warna dimana tiap warna tersebut menunjukkan kondisi sendi plastis yang berbeda-beda. Keterangan mengenai kondisi sendi plastis sesuai warna dalam program SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

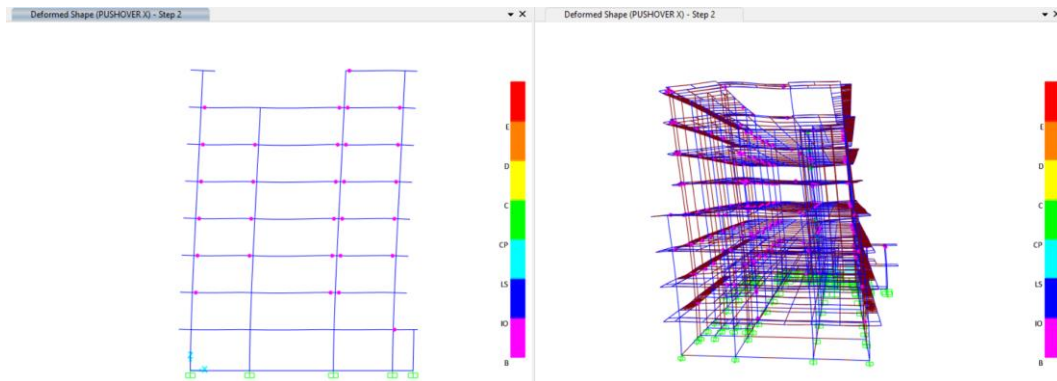
Tabel 5.17 Keterangan Warna Titik Sendi Plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	●	Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C	●	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D	●	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E	●	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

1. Sendi Plastis *Pushover* arah X

a. Step awal terjadi sendi plastis

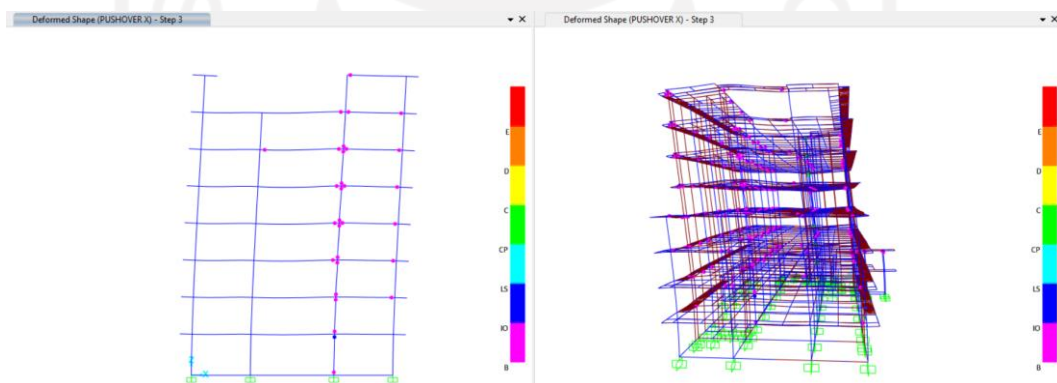
Sendi plastis sudah terjadi pada balok dari step-2. Telah muncul titik-titik plastis pada ujung kolom berwarna ungu yang berarti sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step awal terjadi sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut.



Gambar 5.59 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah x

- b. Step ketika terjadi sendi plastis pada kolom

Sendi plastis pada kolom terjadi pada step-3, titik-titik sendi plastis mulai muncul dari lantai dasar hingga ke lantai atas dengan titik berwarna ungu yang berarti sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step sendi plastis yang terjadi pada kolom dapat dilihat pada Gambar 5.61 berikut.

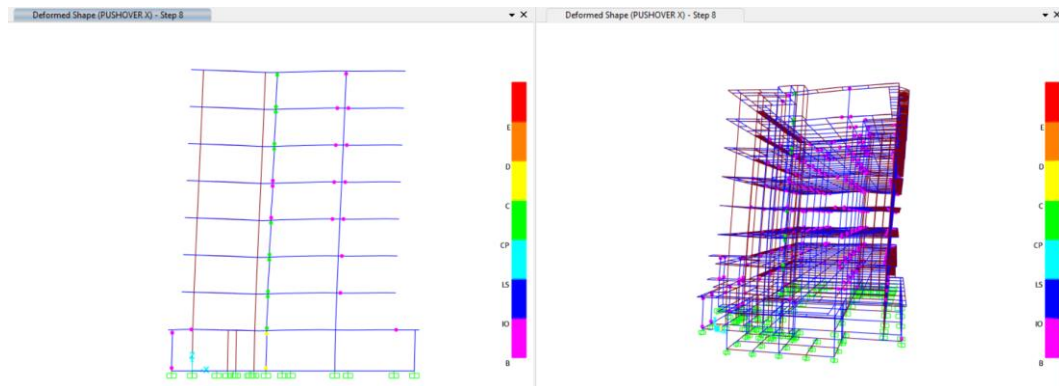


Gambar 5.60 Step Ketika Terjadi Sendi Plastis pada Kolom Arah x

- c. Step akhir sendi plastis

Pada step-8, program SAP2000 berhenti melakukan *iterasi*. Sendi plastis muncul hampir di seluruh elemen balok dan kolom struktur dengan sifat *inelastic*. Beberapa kolom dan balok sudah mengalami kerusakan berat hingga *collapse* yang ditandai dengan adanya titik berwarna hijau dan kuning pada sendi plastis yang berarti sendi plastis berada pada level CP-C hingga C-D. hal ini seharusnya tidak boleh terjadi karena posisi kolom yang sudah mengalami kerusakan berada pada lantai 1 dan didekat jalur akses keluar masuk bangunan yang dapat membahayakan orang-orang jika terjadi gempa.

Oleh karena itu disarankan untuk dilakukan perkuatan pada kolom dilantai satu agar bangunan tetap aman saat terjadi gempa nantinya. Step akhir terjadinya sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut.

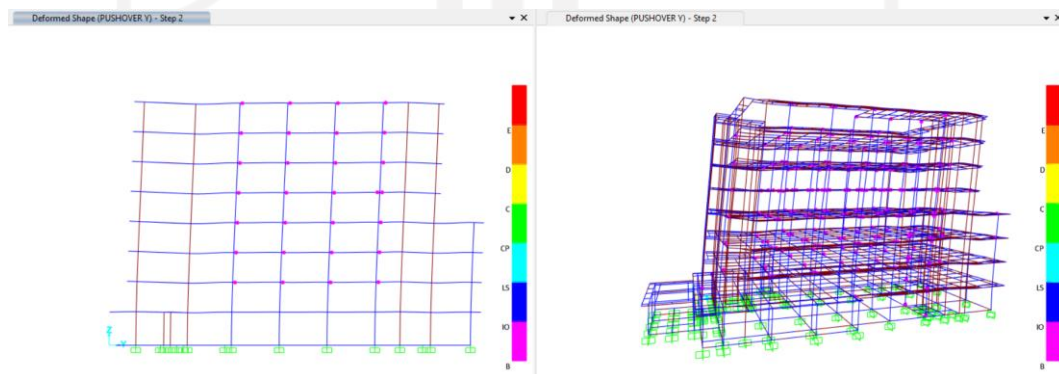


Gambar 5.61 Step Akhir Sendi Plastis Arah x

2. Sendi Plastis *Pushover* Arah Y

a. Step awal terjadi sendi plastis

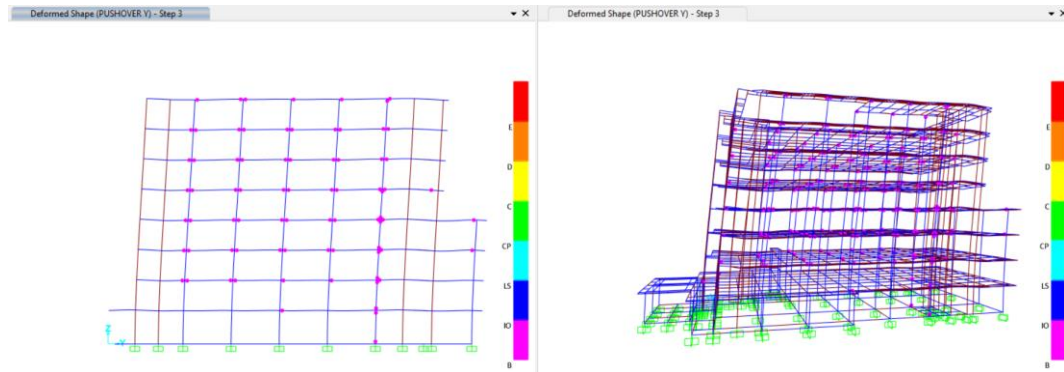
Sendi plastis sudah terjadi pada balok dari step-2. Telah muncul titik-titik plastis pada ujung kolom berwarna ungu yang berarti sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step awal terjadi sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut.



Gambar 5.62 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah y

b. Step ketika terjadi sendi plastis pada kolom

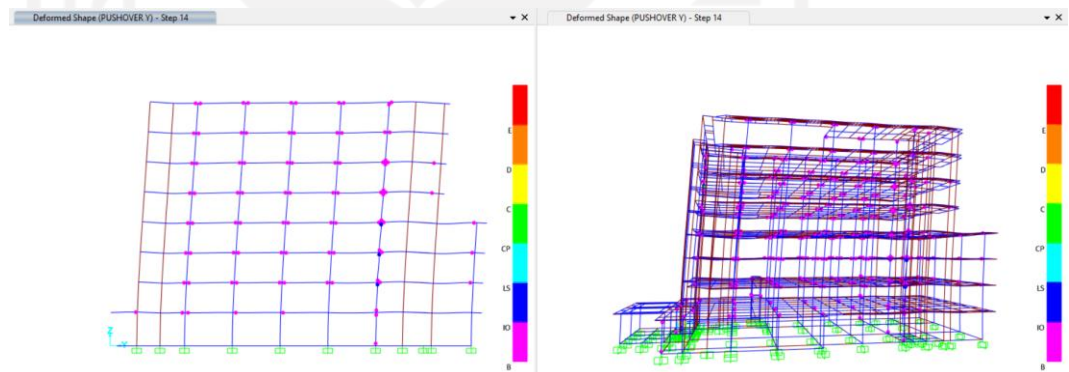
Step ketika terjadi sendi plastis pada kolom pada step-3. Dapat dilihat titik-titik sendi plastis pada kolom dengan warna ungu yang menunjukkan bahwa sendi plastis berada pada level kinerja B-IO. Step terjadi sendi plastis pada kolom dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut.



Gambar 5.63 Step Ketika Terjadi Kelelahan Awal Arah y

c. Step akhir sendi plastis

Pada step-14, program SAP2000 berhenti melakukan *iterasi*. Sendi plastis muncul hampir di seluruh elemen balok dan kolom struktur dengan sifat *elastic*. Beberapa kolom dan balok sudah mengalami kerusakan berat hingga *collapse* yang ditandai dengan adanya titik berwarna biru pada sendi plastis yang berarti sendi plastis berada pada level IO-LS. Hal ini menunjukkan bahwa gedung masih cukup aman akibat dari beban *pushover* arah y. Step akhir terjadinya sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5.65 berikut.



Gambar 5.64 Step Akhir Sendi Plastis Arah y

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dan evaluasi terhadap kinerja bangunan APSLC UGM maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan kurva kapasitas yang telah dihasilkan terlihat kurva kapasitas arah y memiliki bentuk yang lebih tegak dari pada kurva kapasitas arah x, hal ini menunjukkan bahwa arah y lebih kaku dari pada arah x. Dengan nilai gaya lateral arah X sebesar 15085065,1 kN dan *displacement* sebesar 0.729019 m sedangkan untuk arah arah Y gaya lateral sebesar 12636028,7 kN dan *displacement* sebesar 0.457125 m.
2. Nilai *performance point* yang didapat untuk arah x yaitu $V_t = 328467,728$ kN, $\delta_t = 0,2828$ m, $S_a = 0,144$, $S_d = 0,1246$, $T_{eff} = 0,185$, dan $\beta_{eff} = 0,05$ dan untuk arah y yaitu $V_t = 328642,432$ kN, $\delta_t = 0,2007$ m, $S_a = 0,144$, $S_d = 0,1005$, $T_{eff} = 0,167$, dan $\beta_{eff} = 0,05$. Dari nilai *performance point* tersebut lalu dihitung nilai *drift* menggunakan metode ATC-40 di dapat tingkat kinerja struktur dari bangunan gedung APSLC UGM adalah *Immediate Occupancy* (IO).
3. Adapun skema sendi plastis yaitu awal terjadinya sendi plastis untuk arah X dan arah Y pada step ke-2 yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna ungu pada balok kemudian kolom pada step ke-3. Sendi plastis berakhir untuk arah X terjadi pada step ke-8 dan untuk arah Y terjadi pada step ke-14 karena program SAP2000 sudah berhenti melakukan iterasi.

6.2 Saran

Saran untuk pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian tentang analisis *pushover* kedepannya sebagai berikut.

1. Gunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi agar dapat mempercepat proses *running* dan memperkecil kemungkinan terjadinya kegagalan saat proses *running*.

2. Perlu dilakukan penelitian pada bangunan yang berada di daerah yang lebih rawan gempa bumi dan memiliki bentuk yang tidak beraturan sehingga mendapatkan hasil yang cukup signifikan.
3. Dapat ditambahkan metode lain seperti metode FEMA 356 dan FEMA 440 dalam analisis hasil *pushover* sebagai perbandingan dengan hasil metode ATC-40.
4. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan profil beton, serta mutu beton yang berbeda. Apakah akan mempengaruhi tingkat pelayan dan *performance point* dari struktur.



DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, N. R. (2010). Evaluasi kinerja seismik struktur beton dengan analisis *Pushover* menggunakan program sap 2000.
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California. Seismic Safety Commission State of California
- Bath, M. (1979). *Introduction to Seismology* (Second). Birkhäuser Verlag GmbH.
- BSN. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI 1726-2002. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726-2012. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain*, SNI 1727-2013. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2019. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726-2019. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Dewobroto, W. (2006). Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 7-24.
- DPU. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, PPIUG 1983. Penerbit Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- FEMA-356. 2000. *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Virginia American Society of Civil Engineers.
- Kusumaningrum, E. (2017). Evaluasi Kriteria Kerusakan Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa Bumi.

- Marianda, D. (2016). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta Menggunakan Analisa *Pushover* Sesuai Pedoman Atc-40.
- Marwanto, A., Budi, A. S., & Supriyadi, A. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis *Pushover* Terhadap Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Wilayah Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).
- Pawirodikromo, W. (2000). *Respons Dinamik Struktur*. UII Press. Yogyakarta.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan* (Pertama). Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Saputra, A. A. (2019). Evaluasi Kinerja dan Probabilitas Kerusakan Seismik Gedung Laboratorium dengan Analisis *Pushover* dan Metode Hazus.
- Utomo, C., Susanto, R. I., Tadjono, S., & Wibowo, H. (2012). Evaluasi Struktur Dengan *Pushover* Analysis Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta (The Evaluation Of The Structure by Using *Pushover* Analysis of Kalibata Residences Building Jakarta). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 1(1), 1-10.

The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a central dome and crescent moon. The text 'UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA' is written around the shield, and the Indonesian name 'الجامعة الإسلامية الأندونيسية' is written in Arabic script at the bottom.

LAMPIRAN 1

Perbandingan hasil analisis pada perbedaan letak
titik acuan *displacement*

a. Titik Acuan di Tengah (Pusat Massa)

Tabel 1 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	0.000002413	0
1	0.010502	261541.971
2	0.059489	1377858.946

Tabel 2 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000007005	0
1	0.009114	265972.075
2	0.044731	1231638.978
3	0.044738	1230262.746
4	0.062761	1709188.614

b. Titik Acuan di Sudut Kiri Bawah

Tabel 3 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	0.000019	0
1	0.010685	261542.0
2	0.061882	1424019.1
3	0.061884	1423599.3
4	0.157565	3572809.4
5	0.28514	6430575.8
6	0.35804	8062208.8
7	0.43094	9695271.5
8	0.50384	11328441.5
9	0.57674	12963870.6
10	0.64964	14200757.5
11	0.72254	15039232.2
12	0.729019	15085065.1

Tabel 4 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000021	0
1	0.007763	265972.1
2	0.039084	1273896.1
3	0.039086	1273159.7
4	0.050848	1645108.7
5	0.050855	1644240.6
6	0.055605	1793520.6
7	0.055605	1791856.6
8	0.055605	1790124.0
9	0.174067	5521291.3
10	0.246967	7815858.5
11	0.319867	9813156.6
12	0.392767	11411610.3
13	0.457125	12636028.7

c. Titik Acuan di Sudut Kiri Atas

Tabel 5 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000014	0
1	0.010318	261541.976
2	0.057846	1349773.354

Tabel 6 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000021	0
1	0.007763	265972.1
2	0.039084	1273896.1
3	0.039086	1273159.7
4	0.050848	1645108.7
5	0.050855	1644240.6
6	0.055605	1793520.6
7	0.055605	1791856.6
8	0.055605	1790124.0
9	0.174067	5521291.3
10	0.246967	7815858.5
11	0.319867	9813156.6
12	0.392767	11411610.3
13	0.457125	12636028.7

d. Titik Acuan di Sudut Kanan Bawah

Tabel 7 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	0.000019	0
1	0.010685	261542.0
2	0.061882	1424019.1
3	0.061884	1423599.3
4	0.157565	3572809.4
5	0.28514	6430575.8
6	0.35804	8062208.8
7	0.43094	9695271.5
8	0.50384	11328441.5
9	0.57674	12963870.6
10	0.64964	14200757.5
11	0.72254	15039232.2
12	0.729019	15085065.1

Tabel 8 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000001378	0
1	0.009673	265972.07
2	0.066331	1696660.641

3	0.0663	1695433.486
4	0.066338	1696396.528
5	0.117756	2973022.987

e. Titik Acuan di Sudut Kanan Atas

Tabel 9 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000014	0
1	0.010318	261541.976
2	0.057846	1349773.354

Tabel 10 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000001378	0
1	0.009673	265972.07
2	0.066331	1696660.641
3	0.0663	1695433.486
4	0.066338	1696396.528
5	0.117756	2973022.987

f. Titik Acuan di Tengah Kiri

Tabel 11 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	0.000002413	0
1	0.010502	261541.971
2	0.059489	1377858.946

Tabel 12 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000021	0
1	0.007763	265972.1
2	0.039084	1273896.1
3	0.039086	1273159.7
4	0.050848	1645108.7
5	0.050855	1644240.6
6	0.055605	1793520.6
7	0.055605	1791856.6
8	0.055605	1790124.0
9	0.174067	5521291.3
10	0.246967	7815858.5
11	0.319867	9813156.6
12	0.392767	11411610.3
13	0.457125	12636028.7

g. Titik Acuan di Tengah Kanan

Tabel 13 Arah X

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	0.000002413	0
1	0.010502	261541.971
2	0.059489	1377858.946

Tabel 14 Arah Y

<i>Steps</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (kN)</i>
0	-0.000001378	0
1	0.009673	265972.07
2	0.066331	1696660.641
3	0.0663	1695433.486
4	0.066338	1696396.528
5	0.117756	2973022.987



LAMPIRAN 2

SHOP DRAWING GEDUNG *ADVANCED*
PHARMACEUTICAL SCIENCE LEARNING
CENTER (APSLC) UGM



**DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA**

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TOC = 0.500 ≠ FFL ± 0.000
5. CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION
fc' = 25 MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
6. REINFORCEMENT STEEL:
- fy = 420 MPa
- fu = 560 MPa
- fya = 525 MPa
- fua = 700 MPa
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND



PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

**APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)**

DRAWING TITLE

1ST FLOOR PLAN

CONSULTING SERVICES

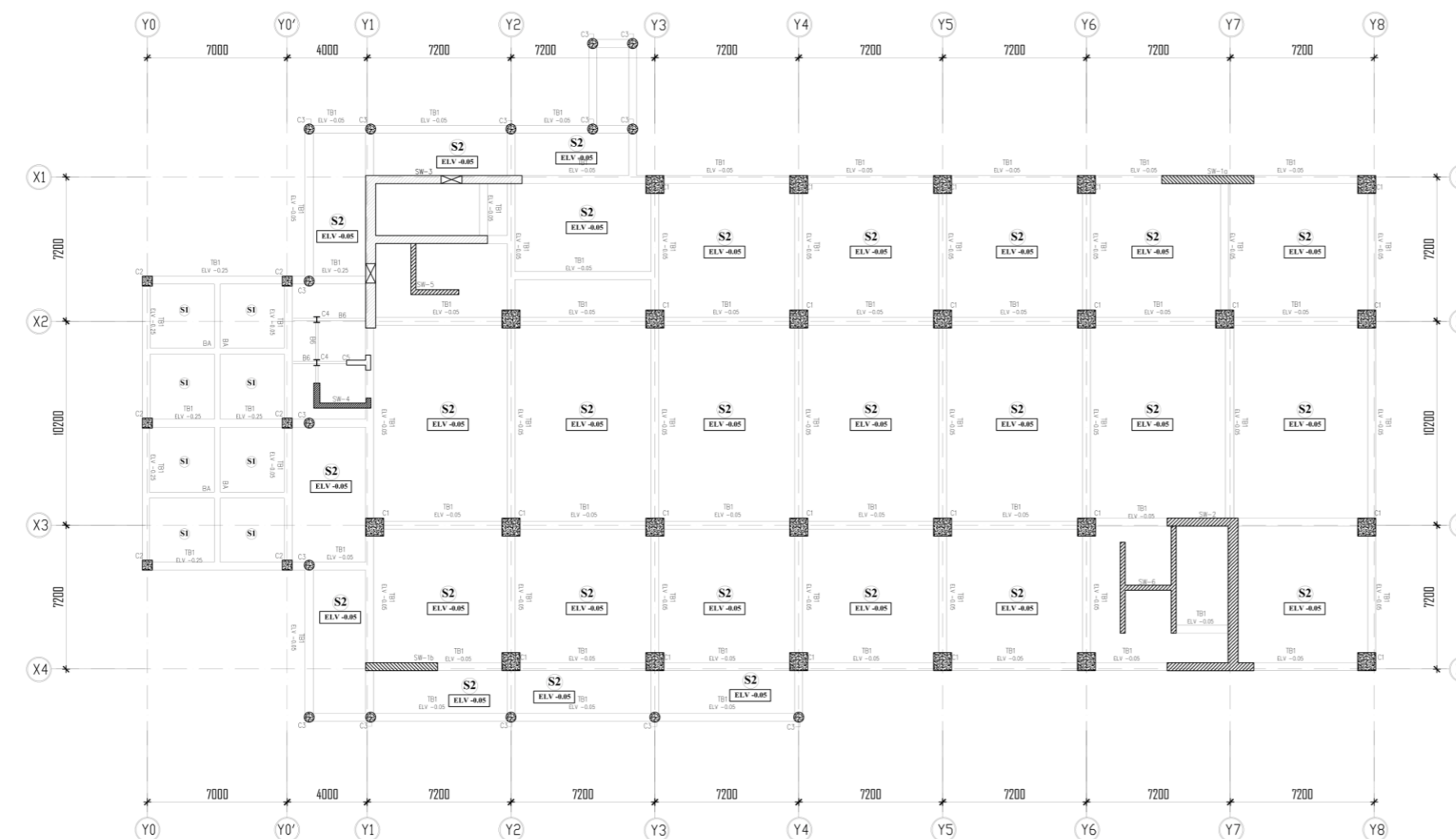
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 150	P4-B-S-14



CONCRETE SLAB, COLUMN, TIE BEAM PLAN & SHEAR WALL 1ST FLOOR (TOC. -0.050)
SCALE 1 : 150

MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	TB-1	400 x 800	CONCRETE TIE BEAM
2	S2	t = 100	CONCRETE SLAB
3	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN
4	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN
5	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN
6	C4	300 x 300	CONCRETE STEEL COLUMN
7	C5	750 X 1200	CONCRETE COLUMN
8	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
9	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
10	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
11	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
12	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
13	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
14	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL

KEYPLAN



**DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA**

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TOC = 0.500 ≠ FFL ± 0.000
5. CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION $f_c' = 25$ MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB $f_c' = 30$ MPa
6. REINFORCEMENT STEEL:
- $F_y = 420$ MPa
- $F_u = 560$ MPa
- $F_{y0} = 525$ MPa
- $F_{u0} = 700$ MPa
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

REV	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

LEGEND

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

**APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)**

DRAWING TITLE

2ND FLOOR PLAN

CONSULTING SERVICES

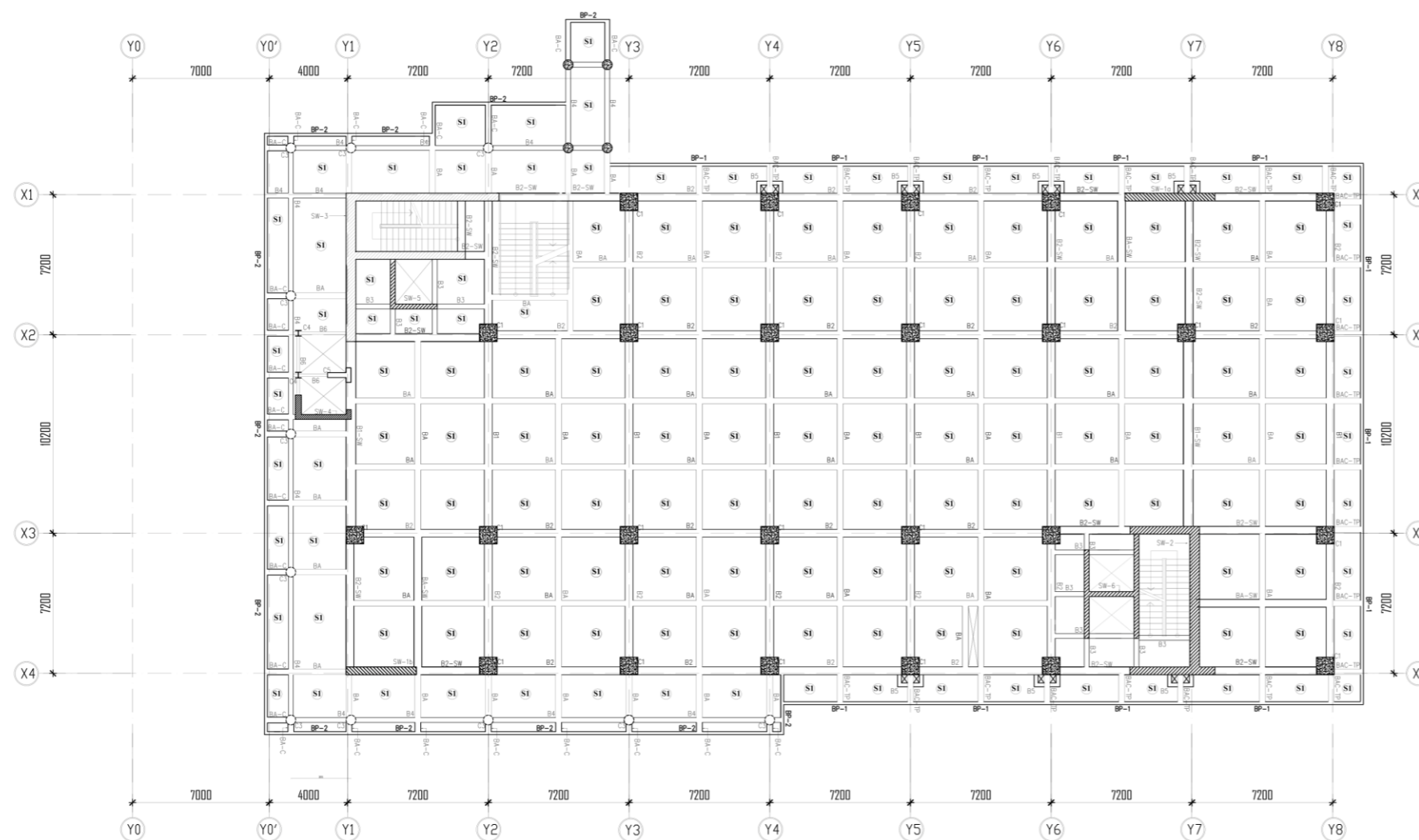
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

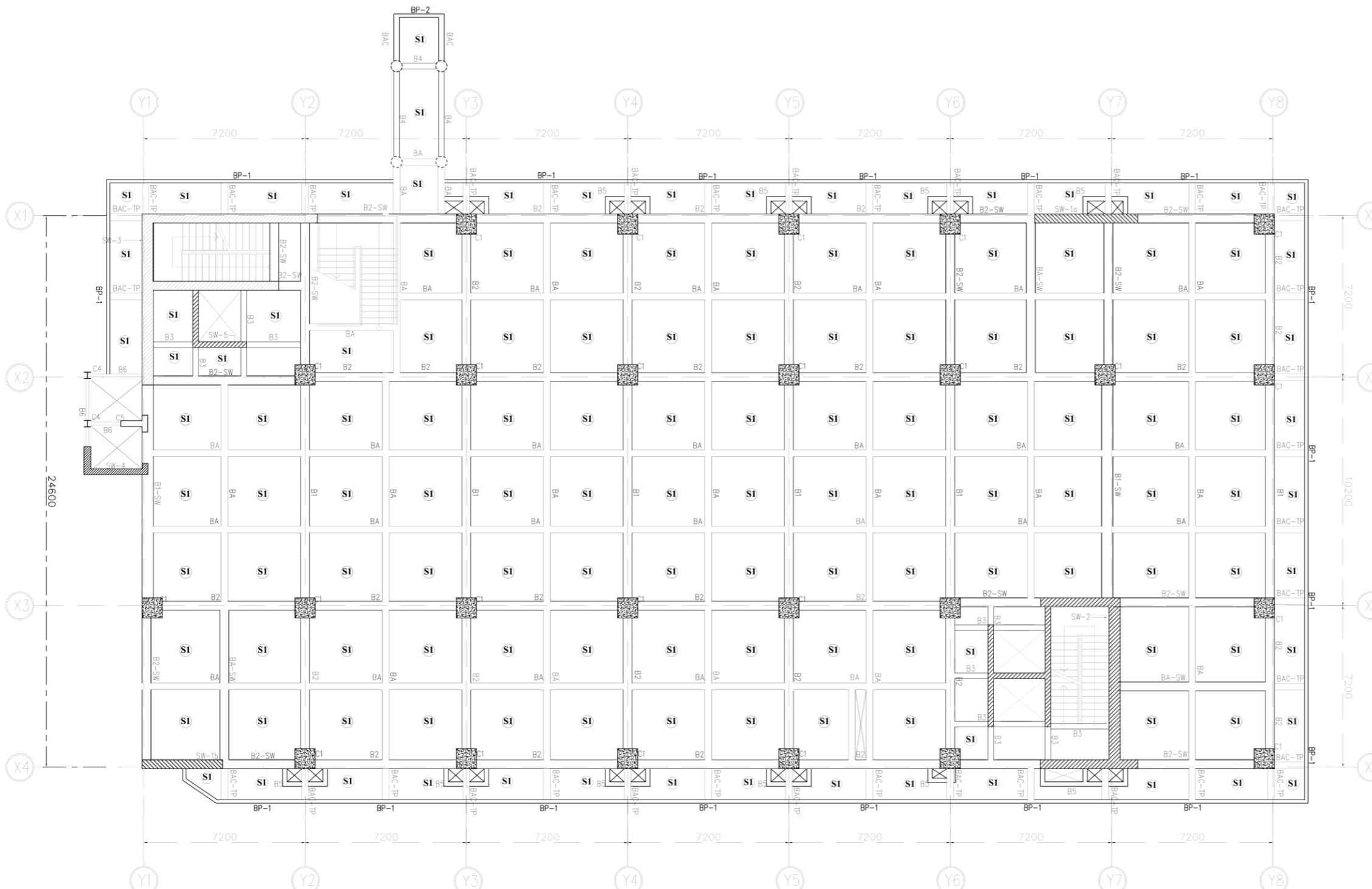
SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 150	P4-B-S-16



CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 2ND FLOOR (TOC.+4.950)
SCALE 1 : 150

MEMBER SCHEDULE:							
NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	SI	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 700	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	BI-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	26	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM
				27	BP-2	150 x 500	CONCRETE BEAM

KEYPLAN



AREA KEYPLAN



NOTES

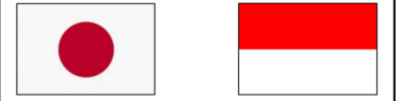
1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
3. TOC = 0.500 ± FFL ± 0.000
4. CONCRETE QUALITY:
 - FOR BORED PILE & FOUNDATION
 - fc' = 25 MPa
 - COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
6. REINFORCEMENT STEEL:
 - Fy = 420 MPa
 - Fu = 560 MPa
 - Fyk = 525 MPa
 - Fuk = 700 MPa
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	S1	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	B1-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	25	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM

CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 3RD FLOOR (TOC.+9.450)
SCALE 1 : 100



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING
APSLC (Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE
3RD FLOOR PLAN

CONSULTING SERVICES

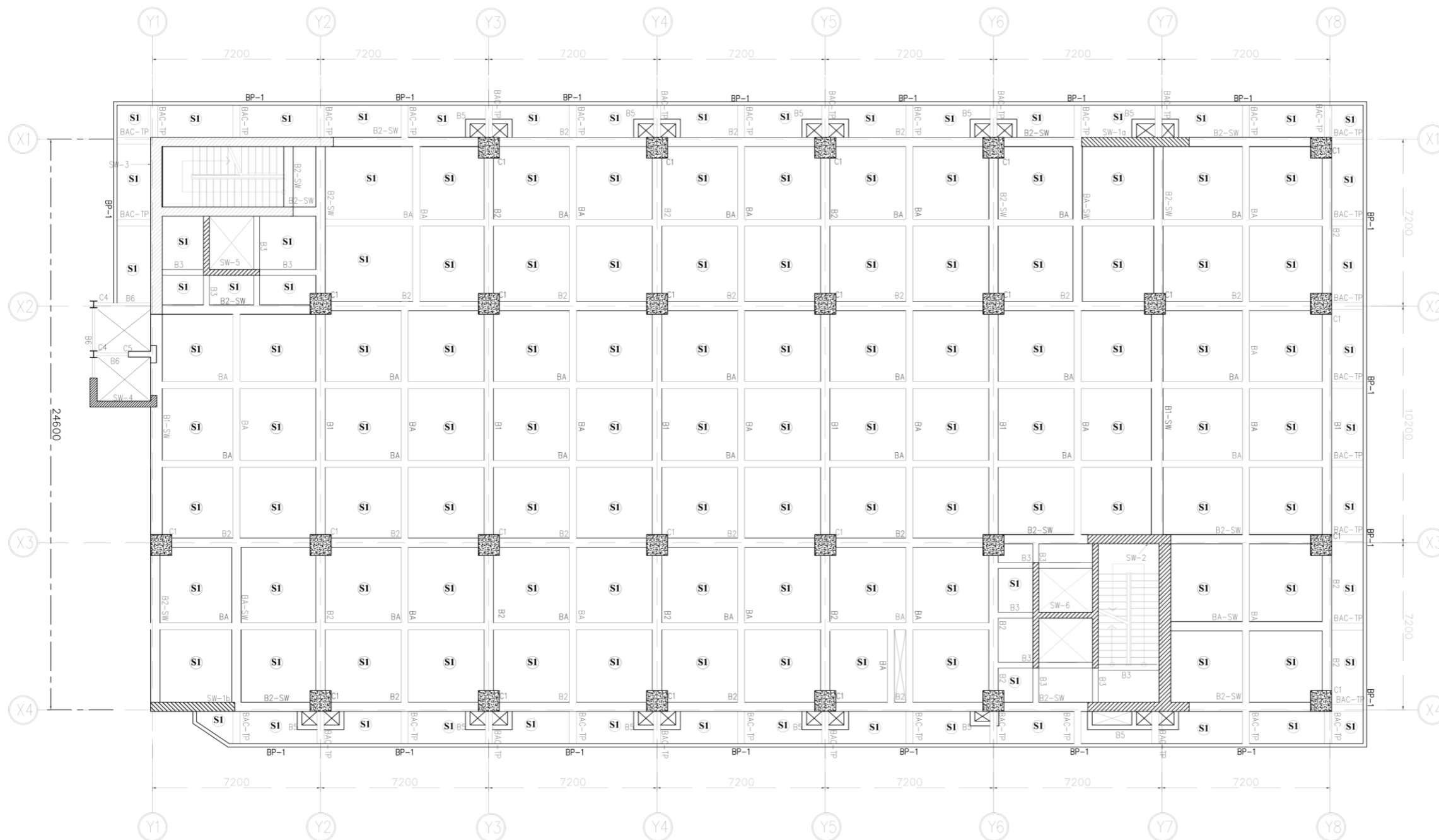
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT
STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-017

KEYPLAN



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TOC=0.500 ≠ FFL±0.000
5. CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION
fc' = 25 MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
6. REINFORCEMENT STEEL:
-fy = 420 MPa
-fu = 560 MPa
-fyd = 525 MPa
-fud = 700 MPa
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



**DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA**

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : **IP-576**

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PIU PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE
PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING
**APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)**

DRAWING TITLE
4TH FLOOR PLAN

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

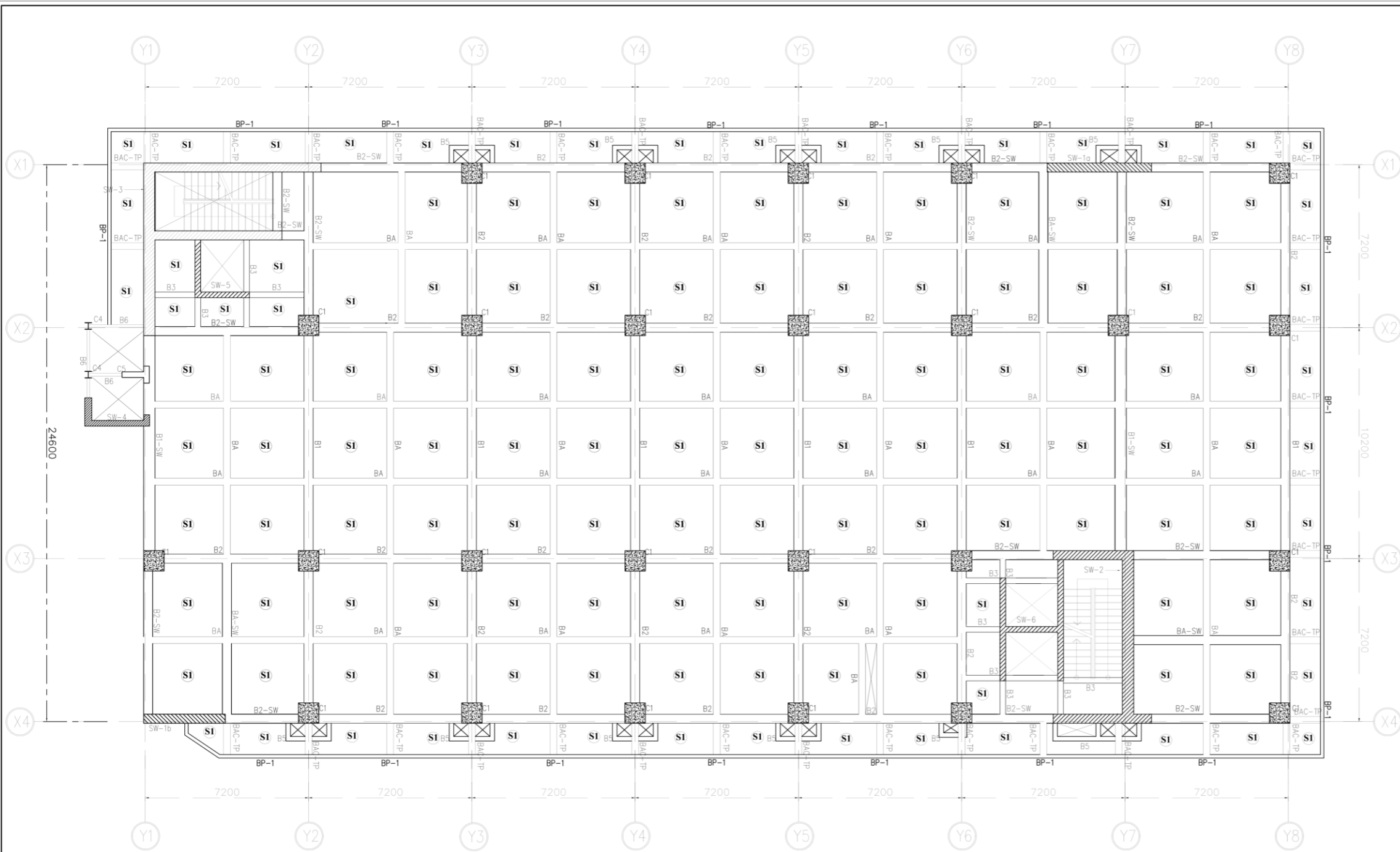
GROUP OF DOCUMENT
STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-018

MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	SI	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	BI-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	25	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM

CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 4TH FLOOR (TOC.+13.950)
SCALE 1 : 100



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
3. TOC-0.500 ≠ FFL±0.000
4. CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION $f_c = 25 \text{ MPa}$
- COLUMN, BEAM & SLAB $f_c = 30 \text{ MPa}$
6. REINFORCEMENT STEEL:
- $F_y = 420 \text{ MPa}$
- $F_u = 560 \text{ MPa}$
- $F_{yk} = 525 \text{ MPa}$
- $F_{uk} = 700 \text{ MPa}$
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : **IP-576**
UNIVERSITAS GADJAH MADA



DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE
PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING
APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE
5TH FLOOR PLAN

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

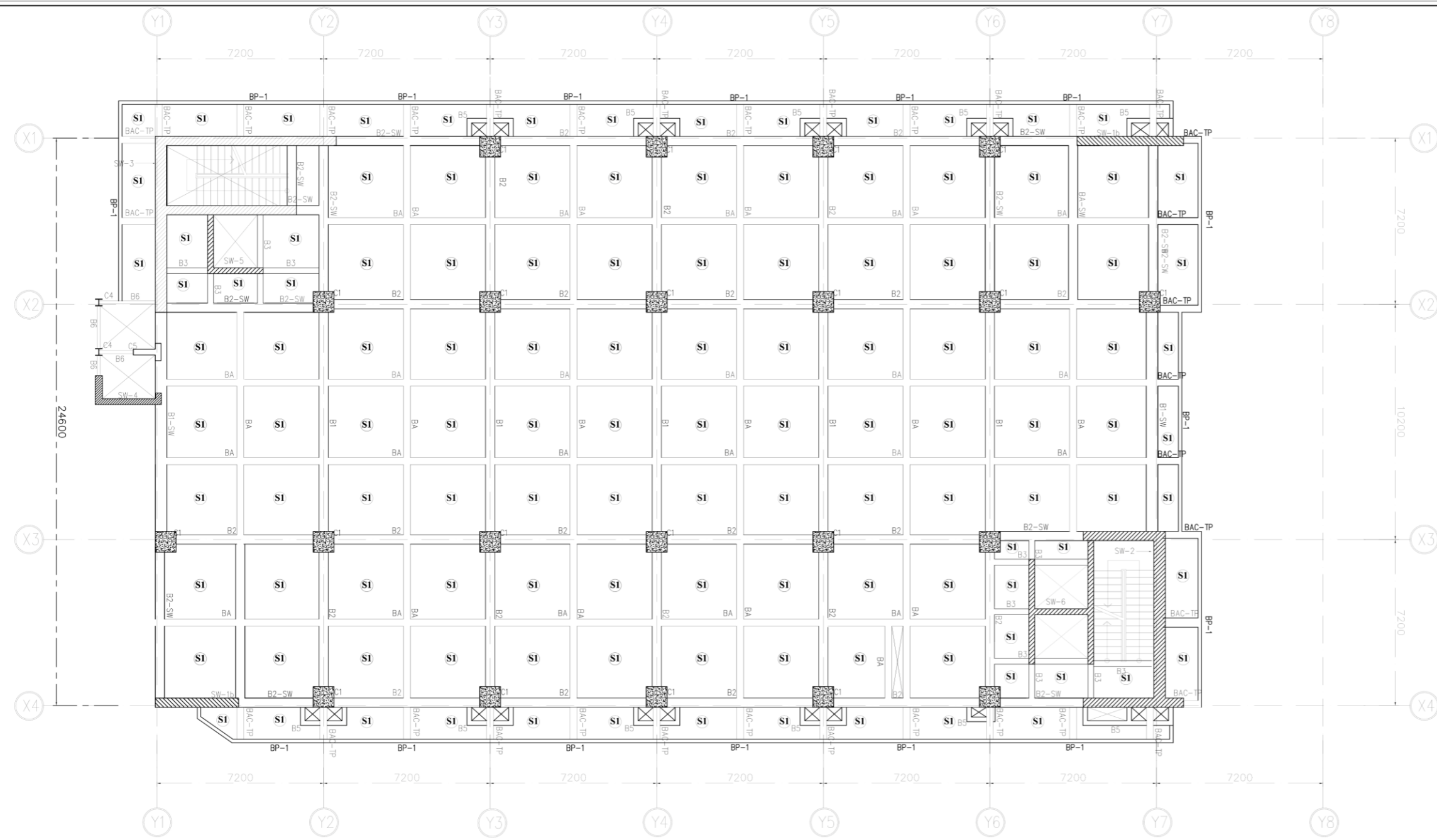
DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT
STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-019

MEMBER SCHEDULE:							
NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	S1	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	B1-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	25	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM

CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 5TH FLOOR (TOC.+18.450)
SCALE 1 : 100



CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 6TH FLOOR (TOC.+22.950)
SCALE 1 : 100

MEMBER SCHEDULE:							
NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	SI	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	B1-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	25	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM

AREA KEYPLAN



NOTES

- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
- UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
- TOC-0.500 ± FFL±0.000
- CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION
fc' = 25 MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
- REINFORCEMENT STEEL:
- Fy = 420 MPa
- Fu = 560 MPa
- Fys = 525 MPa
- Fud = 700 MPa
- BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
- ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS
LOAN # : IP-576		

UNIVERSITAS GADJAH MADA



DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE 4

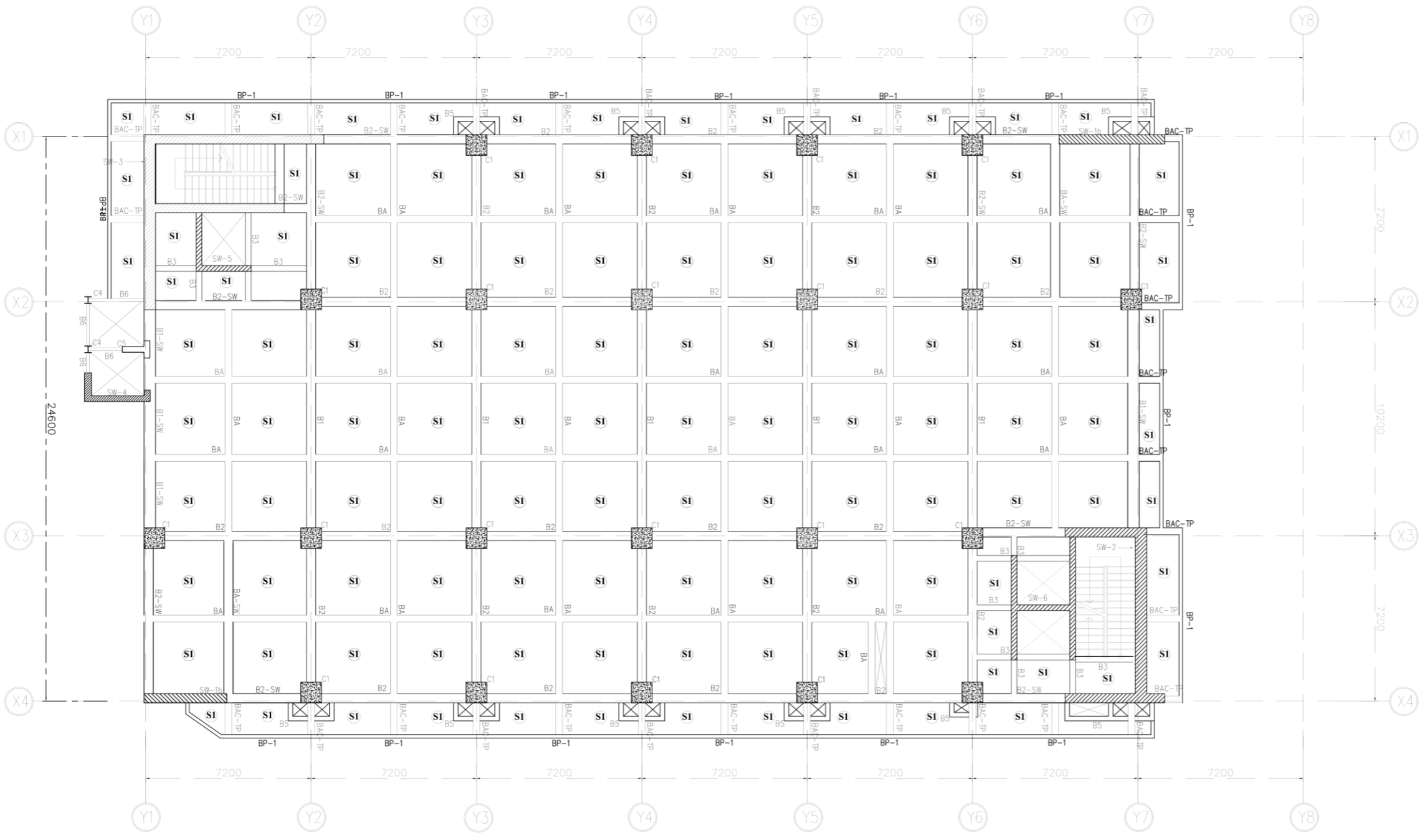
NAME OF THE BUILDING
APSLC (Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE
6TH FLOOR PLAN

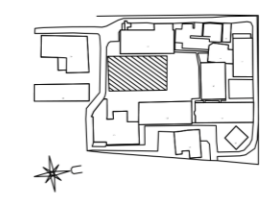
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT	
STRUCTURE	
SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-020



AREA KEYPLAN



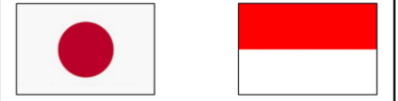
NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
3. TOC = 0.500 ± FFL ± 0.000
4. CONCRETE QUALITY: - FOR BORED PILE & FOUNDATION
5. $f'_c = 25 \text{ MPa}$
- COLUMN, BEAM & SLAB $f'_c = 30 \text{ MPa}$
6. REINFORCEMENT STEEL:
- $F_y = 420 \text{ MPa}$
- $F_u = 560 \text{ MPa}$
- $F_y = 525 \text{ MPa}$
- $F_u = 700 \text{ MPa}$
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS
LOAN # : IP-576		

UNIVERSITAS GADJAH MADA



DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING
APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE
7TH FLOOR PLAN

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

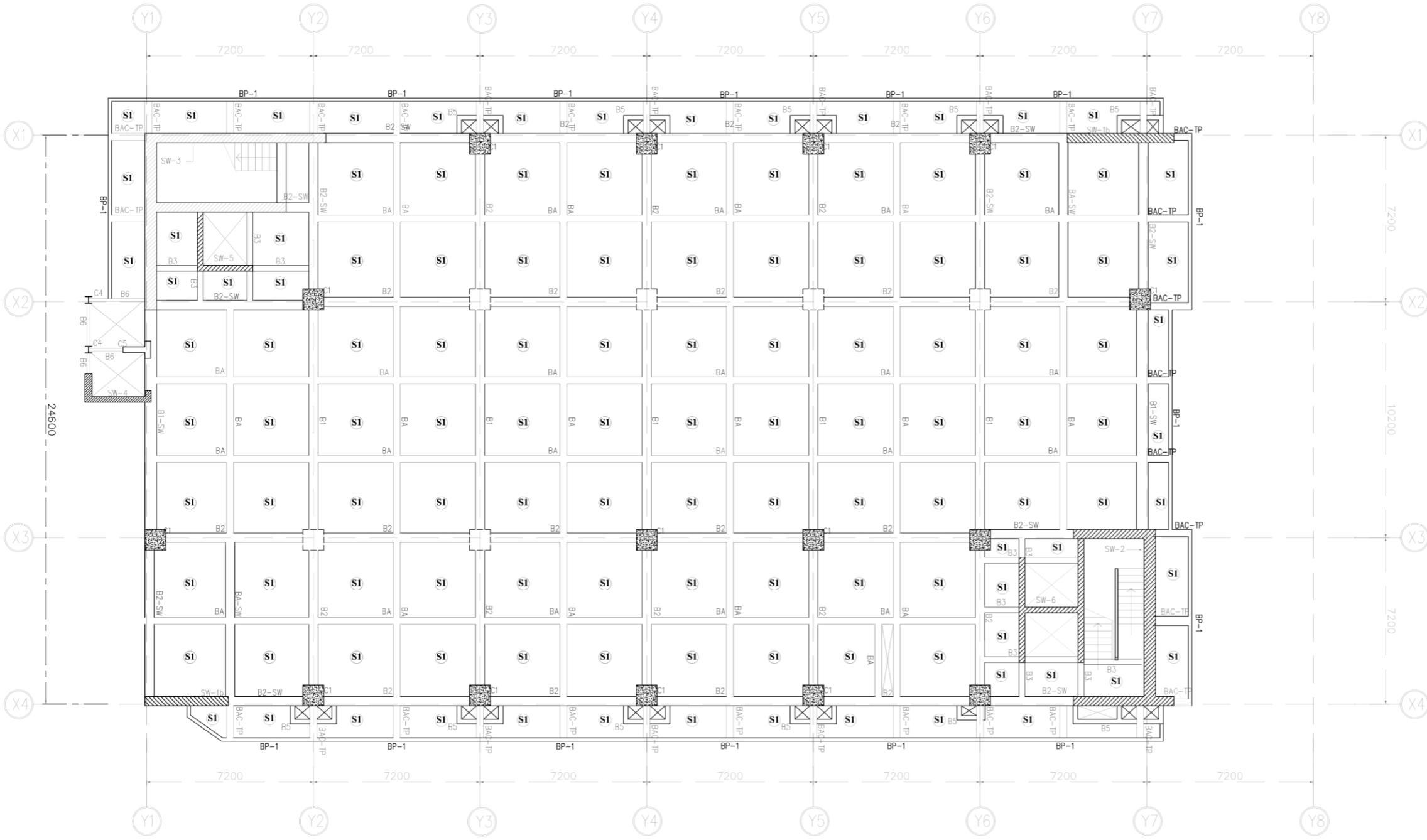
GROUP OF DOCUMENT
STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-021

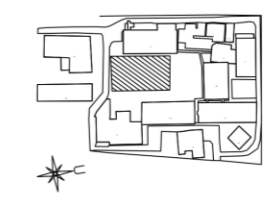
MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	S1	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	B1-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	25	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM

CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 7TH FLOOR (TOC.+27.450)
SCALE 1 : 100



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
3. TOC = 0.500 ± FFL ± 0.000
4. CONCRETE QUALITY:
 - FOR BORED PILE & FOUNDATION
 - fc' = 25 MPa
 - COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
5. REINFORCEMENT STEEL:
 - Fy = 420 MPa
 - Fu = 560 MPa
 - Fyk = 525 MPa
 - Fuk = 700 MPa
6. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
7. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
8. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

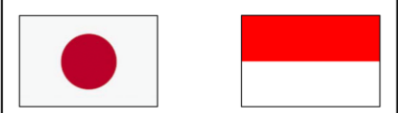
REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN

MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	S1	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	B1-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	25	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM

CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 8TH FLOOR (TOC.+31.950)
SCALE 1 : 100



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC (Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

8TH FLOOR PLAN

CONSULTING SERVICES

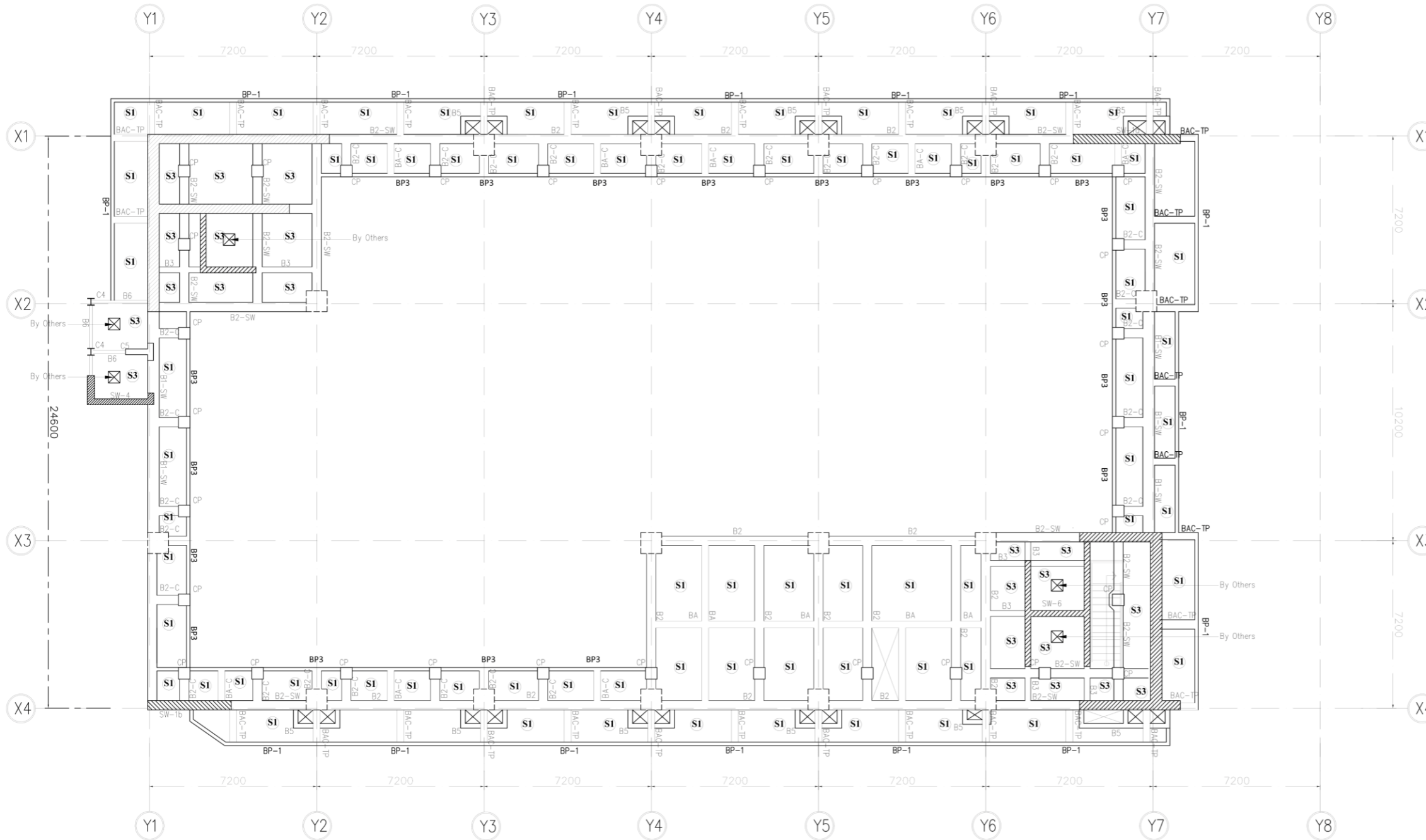
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-022



MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK	NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	C1	900 x 900	CONCRETE COLUMN	14	BP-1	150 x 300	CONCRETE BEAM
2	C2	500 x 500	CONCRETE COLUMN	15	S1	t = 130	CONCRETE SLAB
3	C3	Ø 500	CONCRETE COLUMN	16	SW-1A	t = 400	CONCRETE WALL
4	C4	300 x 300	CONCRETE COLUMN	17	SW-1B	t = 400	CONCRETE WALL
5	C5	750 x 1200	CONCRETE COLUMN	18	SW-2	t = 400	CONCRETE WALL
6	B1	400 x 800	CONCRETE BEAM	19	SW-3	t = 400	CONCRETE WALL
7	B2	400 x 700	CONCRETE BEAM	20	SW-4	t = 250	CONCRETE WALL
8	B3	250 x 800	CONCRETE BEAM	21	SW-5	t = 250	CONCRETE WALL
9	B4	250 x 600	CONCRETE BEAM	22	SW-6	t = 250	CONCRETE WALL
10	B5	200 x 300	CONCRETE BEAM	23	B1-SW	500 x 800	CONCRETE BEAM
11	BA	300 x 500	CONCRETE BEAM	24	B2-SW	400 x 700	CONCRETE BEAM
12	BAC-TP	250 x 500	CONCRETE BEAM	25	BA-SW	400 x 500	CONCRETE BEAM
13	BAC	300 x 500	CONCRETE BEAM	26	B6	IWF 250 x 125	CONCRETE BEAM
				27	BP-3	150 x 700	CONCRETE BEAM
				27	CP	500 x 500	CONCRETE COLUMN

CONCRETE SLAB, SHEAR WALL, COLUMN & BEAM PLAN 9TH FLOOR (TOC.+36.45)
SCALE 1 : 100

AREA KEYPLAN



NOTES

- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
- UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
- TOC=0.500 ≠ FFL±0.000
- CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION
fc = 25 MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB fc = 30 MPa
- REINFORCEMENT STEEL:
- Fy = 420 MPa
- Fu = 560 MPa
- Fya = 525 MPa
- Fua = 700 MPa
- BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
- ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
- REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL	DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



PROJECT IMPLEMENTATION
UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

9TH FLOOR PLAN

CONSULTING SERVICES

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-S-023

AREA KEYPLAN



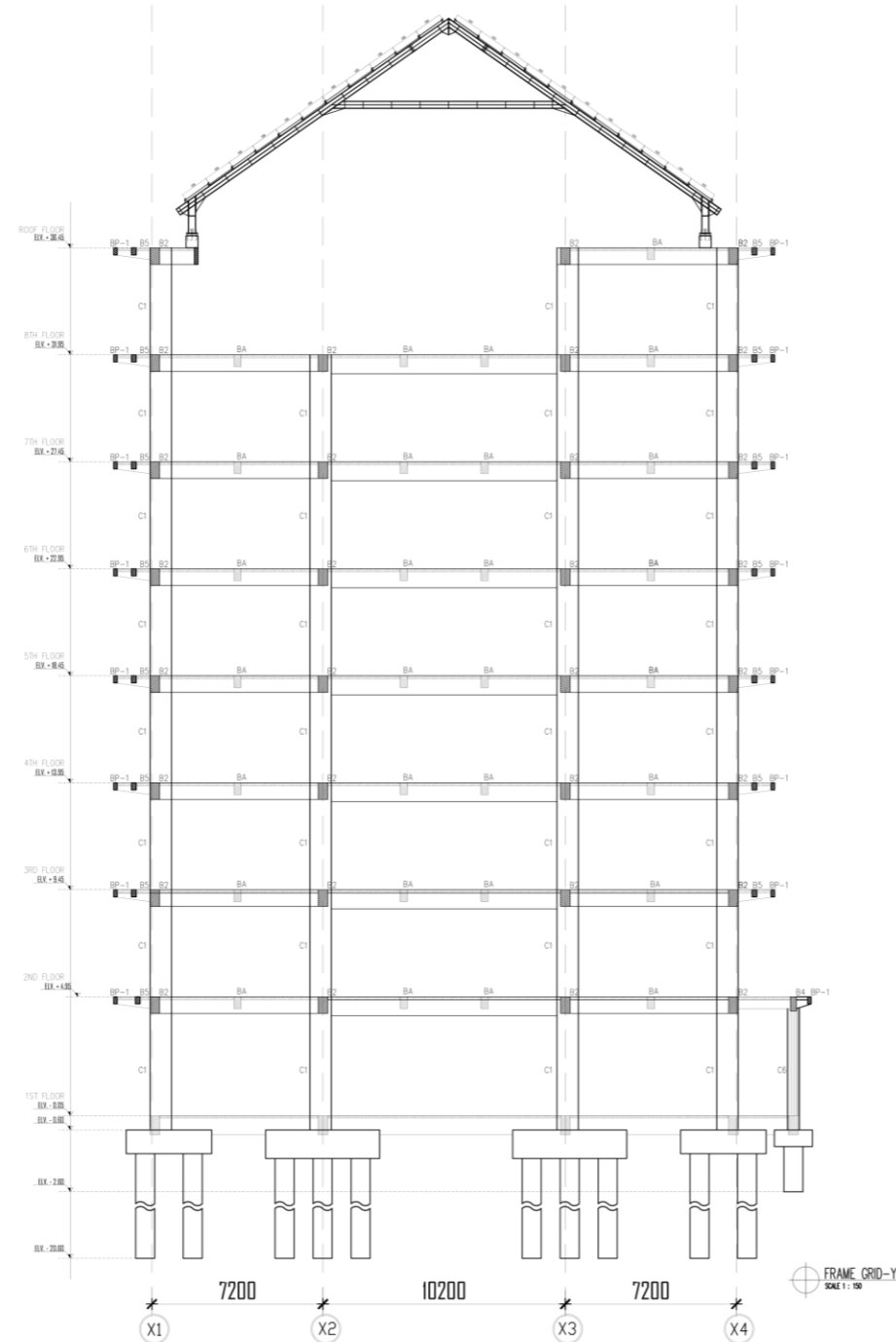
NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TOC = -0.500 ≠ FFL ± 0.000
5. CONCRETE QUALITY:
 - FOR BORED PILE & FOUNDATION
 - $f'_c = 25 \text{ MPa}$
 - COLUMN, BEAM & SLAB $f'_c = 30 \text{ MPa}$
6. REINFORCEMENT STEEL:
 - $F_y = 420 \text{ MPa}$
 - $F_u = 560 \text{ MPa}$
 - $F_{y0} = 525 \text{ MPa}$
 - $F_{u0} = 700 \text{ MPa}$
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : **IP-576**

UNIVERSITAS GADJAH MADA



DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC (Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

FRAME GRID Y-4

CONSULTING SERVICES

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 150	P4-B-S-29

Schedule Concrete Column

TYPE COLUMN	C1-900 x 900 mm		C2-500 x 500 mm	
	Support	Middle	Support	Middle
Main Bar	24 D25	24 D25	12 D22	12 D22
Stirrup	5 D13-100	5 D13-150	3 D10-100	3 D10-150

TYPE COLUMN	C5-750 x 1200	
	Support	Middle
Main Bar	28 D22	28 D22
Stirrup	D10 - 100	D10 - 150

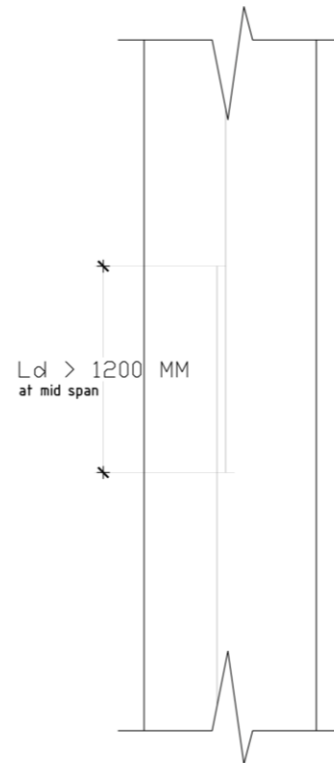
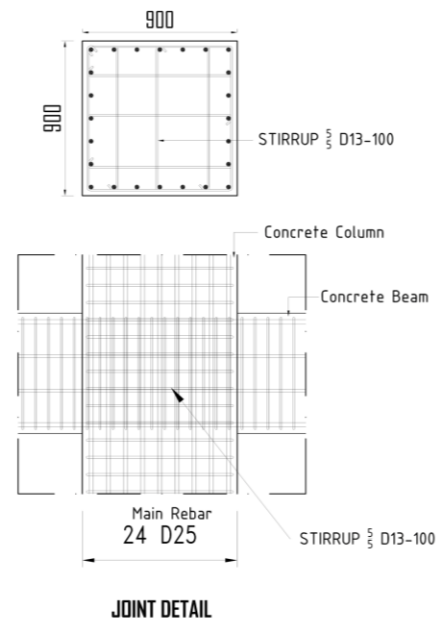
TYPE COLUMN	C3-D500 mm	
	Support	Middle
Main Bar	6 D22	6 D22
Spiral	D10 - 100	D10 - 100

Schedule Concrete Column

TYPE COLUMN	C6-150 x 300 mm	
	Support	Middle
Main Bar	6 D13	6 D13
Stirrup	D8-100	D8-150

Schedule Concrete Steel Column

TYPE COLUMN	C4-300 x 300 mm	
	Support	
HxB	300 x 300	
t1	10	
t2	15	



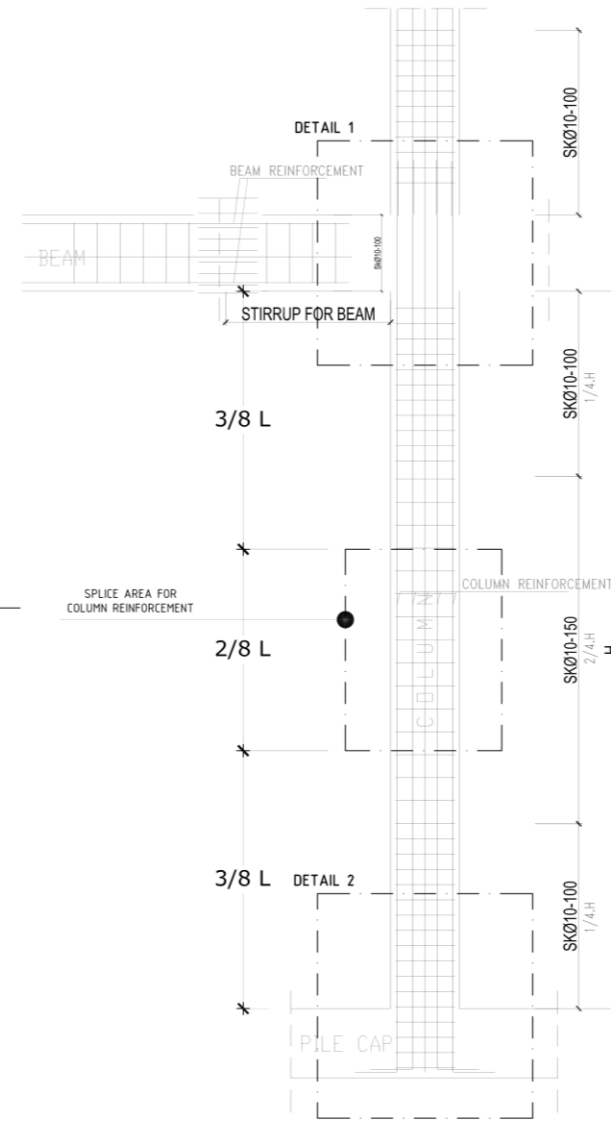
SHEAR WALL SCHEDULE NOTATION



DETAIL 1



DETAIL 2



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TOC = 0.500 ≠ FFL ± 0.000
5. CONCRETE QUALITY:
 - FOR BORED PILE & FOUNDATION
 - fc' = 25 MPa
 - COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
6. REINFORCEMENT STEEL:
 - Fy = 420 MPa
 - Fu = 560 MPa
 - Fyk = 525 MPa
 - Fuk = 700 MPa
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

DETAIL CONCRETE COLUMN

CONSULTING SERVICES

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE DRAWING NUMBER

NTS P4-B-S-30

Schedule Concrete Tie Beam

TYPE Beam	TB-400 x 800 mm	
	Support	Middle
B x H	400 x 800	400 x 800
Top Bar	8 D22	8 D22
Side Bar	-	-
Bottom Bar	8 D22	8 D22
Stirrup	3 D10-100	3 D10-150

Schedule Concrete Beam

TYPE	B1-SW 500 x 800 mm		B2-SW 400 x 700 mm		BA-SW 400 x 500 mm		BAC	B2-C	BAC-TP	
	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	End	End	Edge
B x H	500 x 800	500 x 800	400 x 700	400 x 700	400 x 600	400 x 600	300 x 500	400 x 700	300 x 500	300 x 500
Top Bar	12 D25	6 D22	10 D25	6 D25	6 D25	4 D25	4 D22	6 D25	4 D22	4 D22
Side Bar	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16	-	-	-	4 D16	-	-
Bottom Bar	6 D22	10 D22	6 D25	8 D25	4 D25	4 D25	2 D22	3 D25	2 D22	2 D22
Stirrup	4 D10-100	2 D10-150	4 D10-75	2 D10-150	4 D10-100	2 D10-150	2 D10-100	3 D10-75	2 D10-100	2 D10-100

Schedule Concrete Beam

TYPE	BP1 - 150 x 300 mm		BP2 - 150 x 500 mm		BP3 - 150 x 700 mm		B1 - 400 x 800 mm		B2 - 400 x 700 mm		B3 - 250 x 700 mm	
	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	Middle
B x H	150 x 300	150 x 300	150 x 500	150 x 500	150 x 700	150 x 700	400 x 800	400 x 800	400 x 700	400 x 600	400 x 700	400 x 700
Top Bar	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	8 D25	4 D25	6 D25	3 D25	6 D25	2 D25
Side Bar	-	-	-	-	-	-	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16	4 D16
Bottom Bar	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	4 D25	6 D25	3 D25	6 D25	3 D25	3 D25
Stirrup	08-100	08-100	08-100	08-100	08-100	08-100	3 D10-100	2 D10-150	3 D10-75	2 D10-150	3 D10-75	2 D10-150

Schedule Concrete Beam

TYPE	B4 - 250 x 600 mm		BA - 300 x 500 mm	
	End	Middle	End	Middle
B x H	250 x 600	250 x 600	400 x 600	400 x 600
Top Bar	5 D22	3 D22	4 D25	2 D25
Side Bar	-	-	-	-
Bottom Bar	3 D22	4 D22	2 D25	3 D25
Stirrup	2 D10-100	2 D10-150	2 D10-100	2 D10-150

AREA KEYPLAN



NOTES

- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
- UNLESS NOTED OTHERWISE ALL ELEVATIONS ARE IN METRE TOC-0.500 ± FFL±0.000
- CONCRETE QUALITY:
 - FOR BORED PILE & FOUNDATION $f'_c = 25 \text{ MPa}$
 - COLUMN, BEAM & SLAB $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- REINFORCEMENT STEEL:
 - $F_y = 420 \text{ MPa}$
 - $F_u = 560 \text{ MPa}$
 - $F_{yA} = 525 \text{ MPa}$
 - $F_{uA} = 700 \text{ MPa}$
- BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
- ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019



REV. APPROVAL DATE ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC (Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

DETAIL CONCRETE BEAM

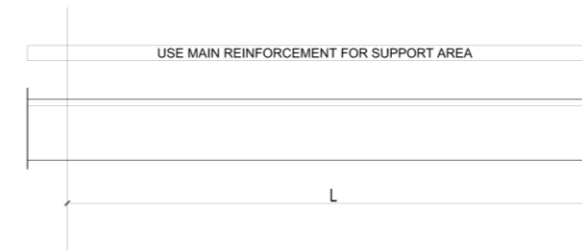
CONSULTING SERVICES

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE
DATE	CHECKED BY	POSITION	

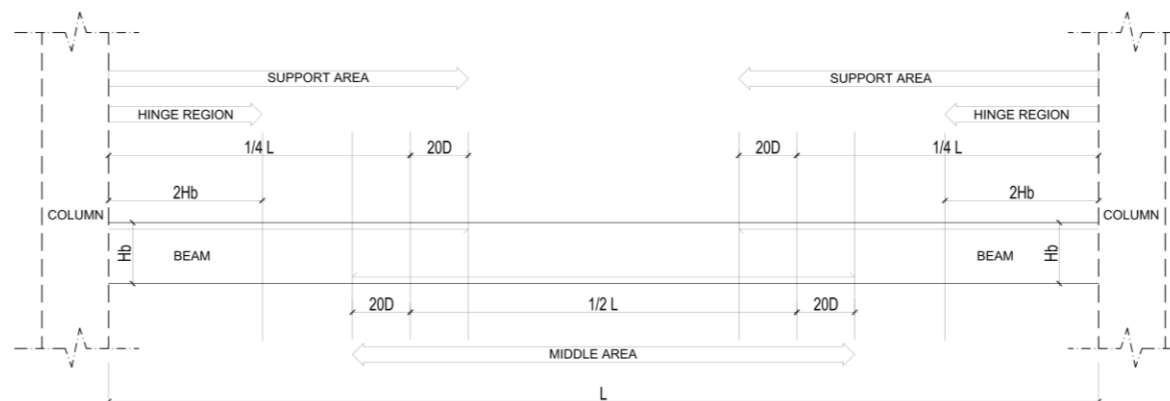
GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
NTS	P4-B-S-32

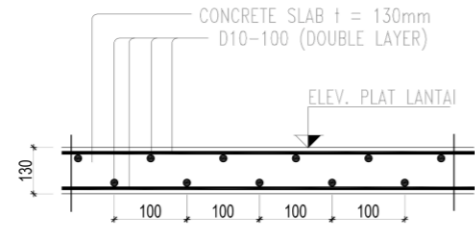
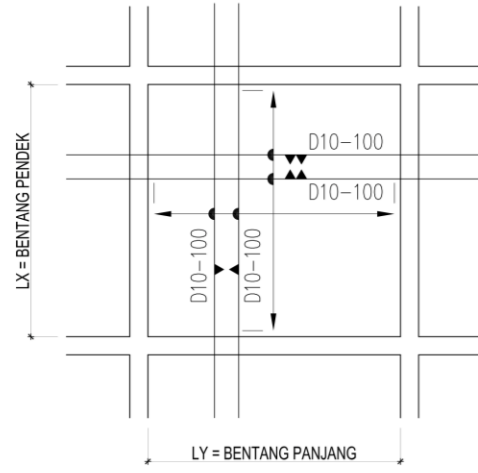


PRINCIPLE OF MAIN REINFORCEMENT FOR CANTILEVER BEAM

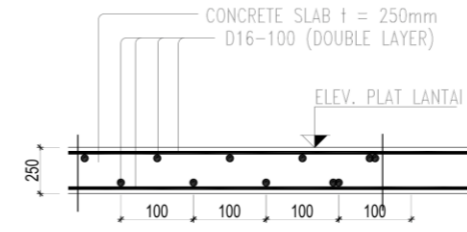
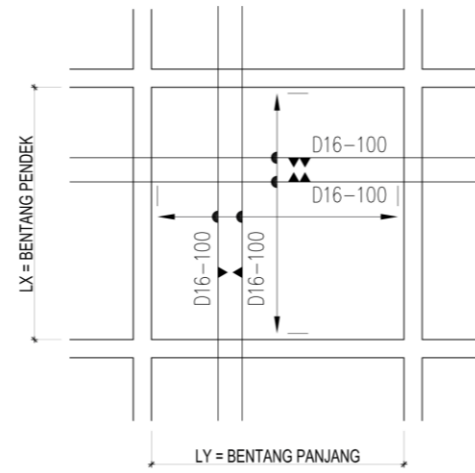


PRINCIPLE OF MAIN REINFORCEMENT FOR BEAM

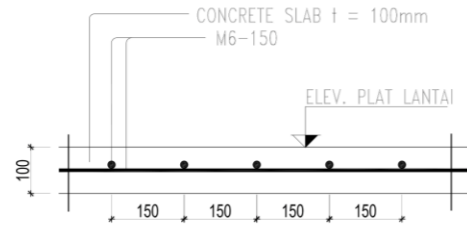
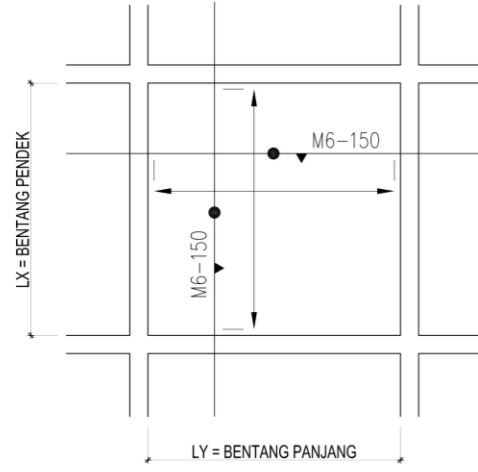
KEYPLAN



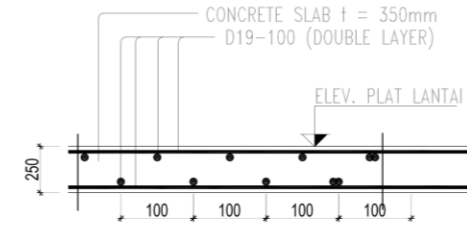
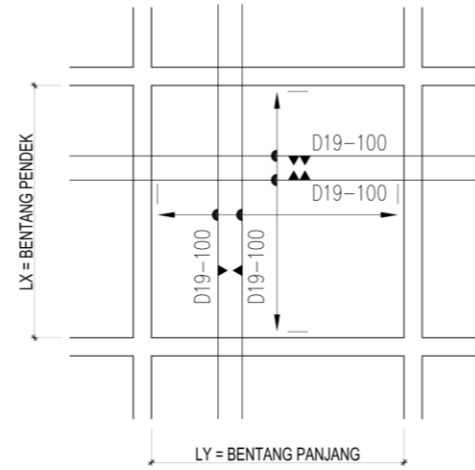
SLAB DETAIL S1 (t=130mm)
SKALA : NTS



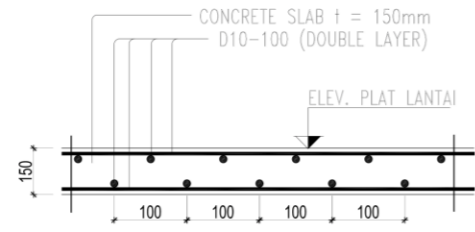
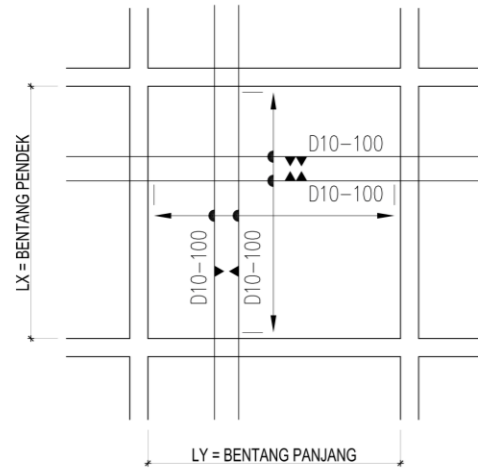
SLAB DETAIL S4 (t=300mm)
SKALA : NTS



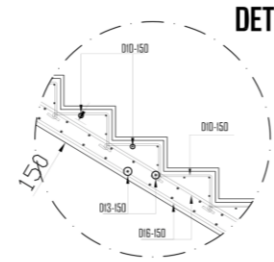
SLAB DETAIL S2 (t=100mm)
SKALA : NTS



SLAB DETAIL S5 (t=350mm)
SKALA : NTS



SLAB DETAIL S3 (t=150mm)
SKALA : NTS



DETAIL A

STAIRS DETAIL

AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TOC-0.500 ≠ FFL±0.000
5. CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION
fc' = 25 MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB fc' = 30 MPa
6. REINFORCEMENT STEEL:
-fy = 420 MPa
-fu = 560 MPa
-fyd = 525 MPa
-fud = 700 MPa
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019



REV.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

DETAIL CONCRETE SLAB

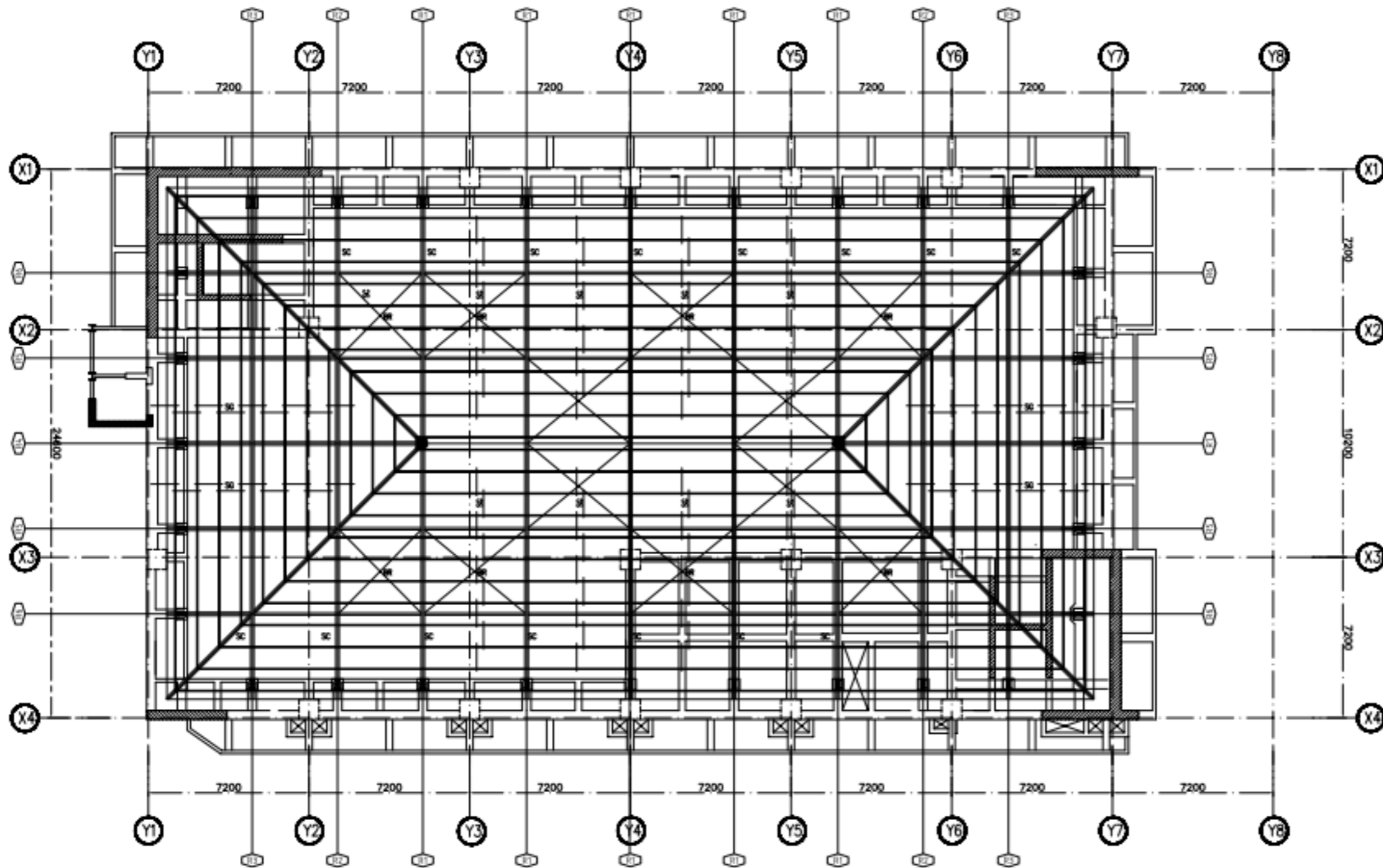
CONSULTING SERVICES

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE
DATE	CHECKED BY	POSITION	

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
NTS	P4-B-S-31



ROOF PLAN
SCALE 1 : 100

MEMBER SCHEDULE:

NO.	MARK	DIMENSION	REMARK
1	SC	INT 300x450x6.5x9	STEEL COLUMN & STEEL PLAT
2	RI-R6	INT 300x450x6.5x9	PRINCIPAL RAFTER
3	P	CHP 150x65x20x2.3	PURLIN
4	SB	Ø12	SAGROD
4	SB	Ø16	BRANG

AREA KEYPLAN



- NOTES
1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
 2. UNLESS NOTED OTHERWISE
 3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
 4. TOC-0.500 ± FRL±0.000
 5. CONCRETE QUALITY:
- FOR BORED PILE & FOUNDATION
C₂₅ = 25 MPa
- COLUMN, BEAM & SLAB C₃₀ = 30 MPa
 6. REINFORCEMENT STEEL:
- F_y = 420 MPa
- F_c = 560 MPa
- F_y = 525 MPa
- F_c = 700 MPa
 7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
 8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
 9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN




DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY
WITH SOCIO ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT
UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF
FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN
JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019




NO.	APPROVAL DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

ROOF PLAN

CONSULTING SERVICES

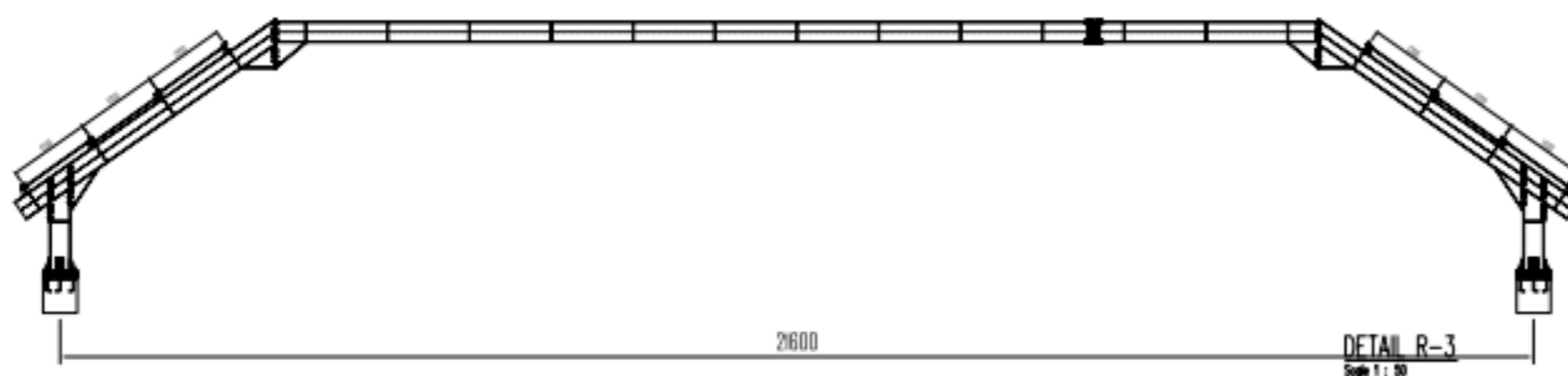
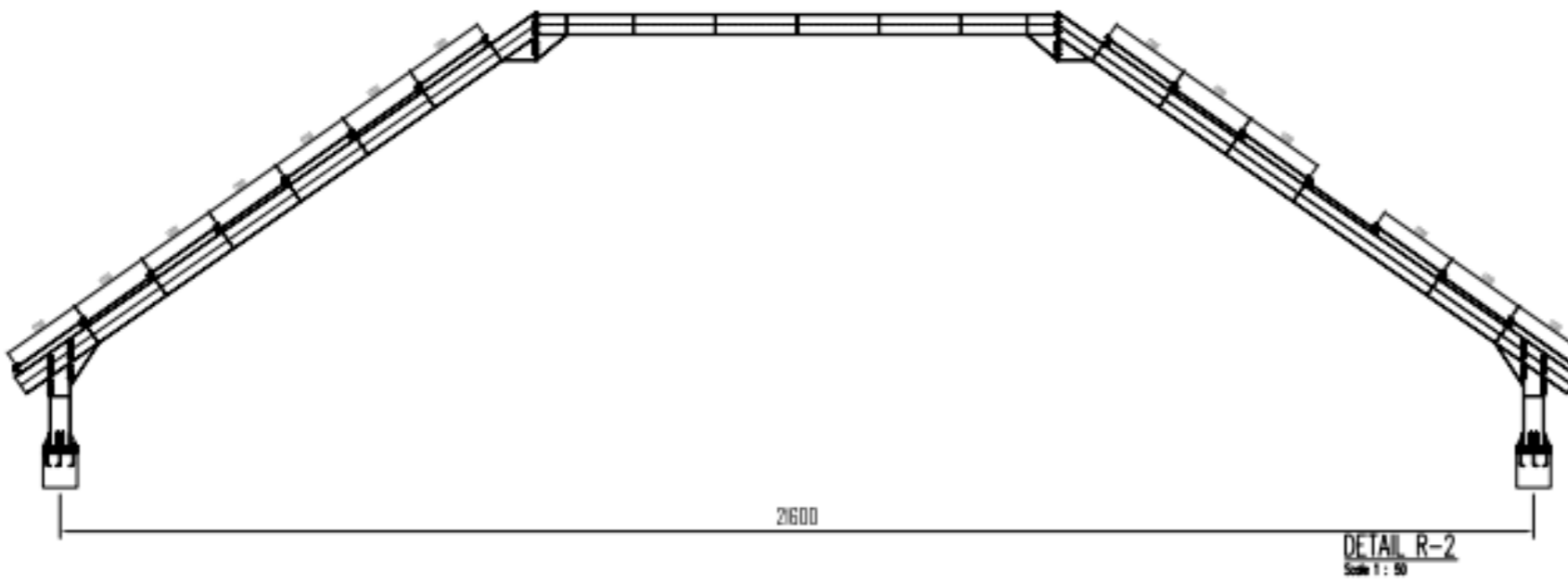
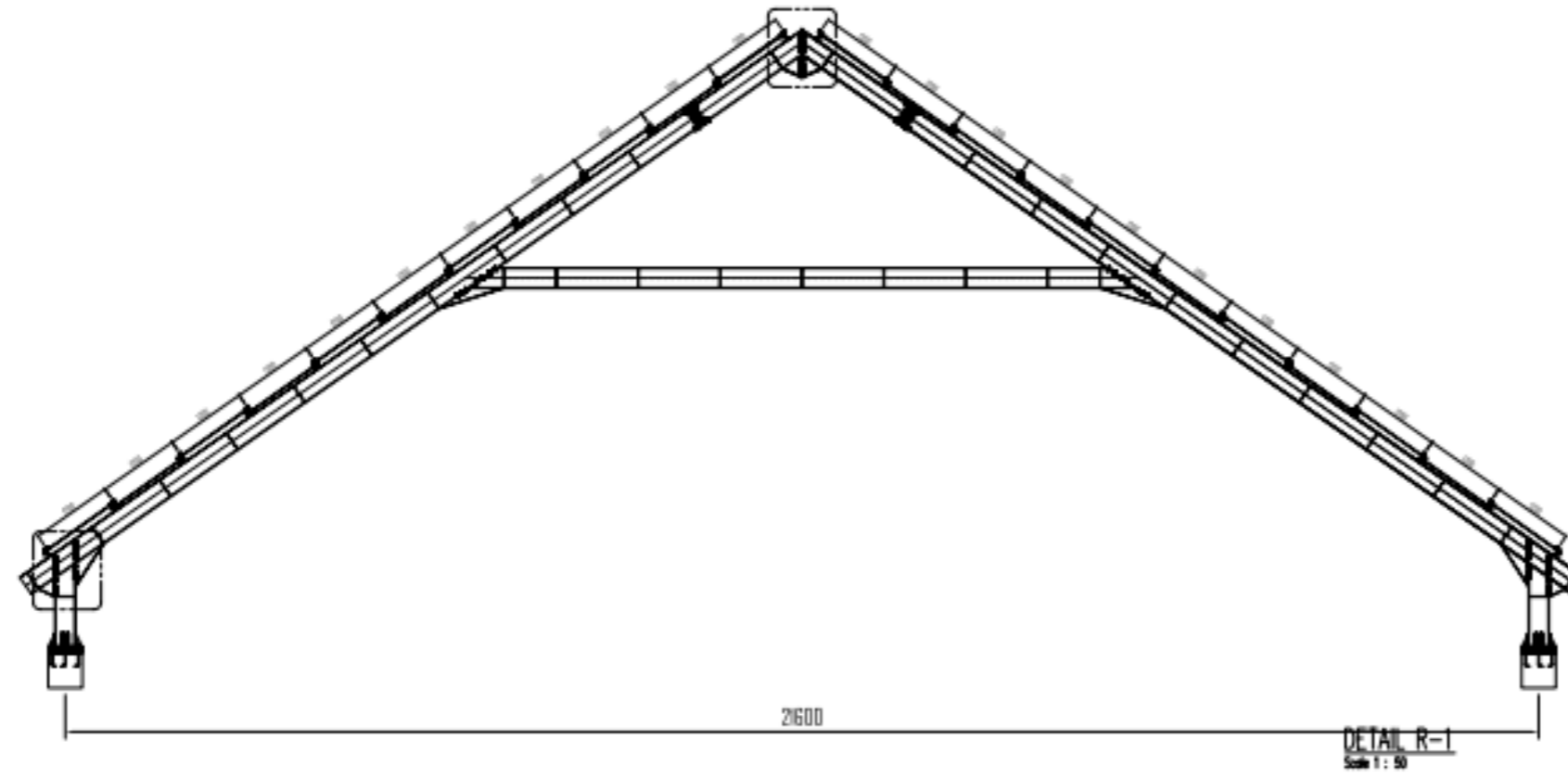
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 100	P4-B-004



AREA KEYPLAN



NOTES

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER
2. UNLESS NOTED OTHERWISE
3. ALL ELEVATIONS ARE IN METRE
4. TUC-0.500 # F10.000
5. CONCRETE QUALITY:
 - FOR BORED PILE & FOUNDATION
 - $f_c = 25 \text{ MPa}$
 - COLUMN, BEAM & SLAB $f_c = 30 \text{ MPa}$
6. REINFORCEMENT STEEL:
 - $f_y = 420 \text{ MPa}$
 - $f_u = 560 \text{ MPa}$
 - $f_y = 320 \text{ MPa}$
 - $f_u = 700 \text{ MPa}$
7. BORED PILE FOUNDATION SHALL MUST DRY BORING NOT WASH BORING
8. ALL DIMENSION IN THIS DRAWING HAVE TO MATCHING WITH ARCHITECT DRAWING, IF ANY DIMENSION UNCORRECT, THE CONTRACTOR
9. REQUIRED TO CHECKED WITH CORRECT DIMENSION TO THE ARCHITECT DRAWING

LEGEND

REFERENCE DRAWINGS

KEYPLAN



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTERPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019



NOV	APPROVAL	DATE	ISSUE STATUS

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA



DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

APSLC
(Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center)

DRAWING TITLE

DETAIL RAFTER

CONSULTING SERVICES

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

GROUP OF DOCUMENT	
STRUCTURE	
SCALE	DRAWING NUMBER
1:50	PA-0-05