

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KINERJA BANGUNAN MENGGUNAKAN METODE
ANALISIS *PUSHOVER* TERHADAP STRUKTUR BANGUNAN
BERTINGKAT BANYAK SESUAI STANDAR SNI-03-1726-2019 DAN
ATC-40**

(Studi Kasus: *TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER*)

***BUILDING PERFORMANCE ANALYSIS USING PUSHOVER ANALYSIS
METHOD OF MULTI-STORE BUILDING STRUCTURES ACCORDING TO
SNI-03-1726-2019 AND ATC-40 CODES***

(A Case Study: TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER)

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



**Fikri Abdillah
17511175**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA BANGUNAN MENGGUNAKAN METODE
ANALISIS *PUSHOVER* TERHADAP STRUKTUR BANGUNAN
BERTINGKAT BANYAK SESUAI STANDAR SNI-03-1726-2019 DAN
ATC-40

(Studi Kasus: *TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER*)

*BUILDING PERFORMANCE ANALYSIS USING PUSHOVER ANALYSIS
METHOD OF MULTI-STORE BUILDING STRUCTURES ACCORDING TO
SNI-03-1726-2019 AND ATC-40 CODES*

(A Case Study: *TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER*)

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

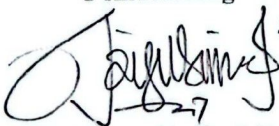


Disusun Oleh :

Fikri Abdillah
17511175


Diuji pada tanggal 22 Juli 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

 24/07/2024


Nggit Mas Arifudin S.T., M.T.
IK: 185111304

Penguji I

 25/7/2024

Prof. Ir. Mochammad Teguh, MSCE., Ph.D.
NIK: 855110201

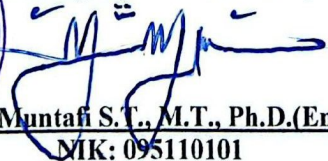
Penguji II

 24-07-24.

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

 8/8/2024

H. Yunalha Muntali S.T., M.T., Ph.D.(Eng.), IPM.
NIK: 095110101

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 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 dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan 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, 05 Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



METERAI
TEMPEL
E2ALX168915350

Fikri Abdillah

(17511175)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha penyayang, sehingga tugas akhir yang berjudul *Analisis Kinerja Bangunan Menggunakan Metode Analisis Pushover Terhadap Struktur Bangunan Bertingkat Banyak Sesuai Standar Sni-03-1726-2019 Dan Atc-40* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam Menyusun tugas akhir ini, berbagai tantangan telah dihadapi, namun berkat masukan, evaluasi, dan dukungan semangat dari berbagai pihak berhasil diatasi. Alhamdulillah setelah progres yang cukup lama akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Berkaitan dengan hal tersebut, ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia,
2. Prof. Ar. Dr.-Ing. Ir. Ilya Fadjar Maharika, M.A., IAI., selaku Dekan Fakultas TekNik Sipil dan Perencanaan UII Yogyakarta,
3. Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM. selaku Ketua Program Studi Sarjana TekNik Sipil FTSP UII Yogyakarta,
4. Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi, atas bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
5. Bapak Prof. Ir. Mochammad Teguh MSCE., Ph.D. Selaku Dosen Penguji I atas segala saran, kritik, serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
6. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. 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 Sumaji dan Ibu Insyah selaku orang tua saya yang selalu mendukung saya dalam hal apapun dan selalu memberikan saya motivasi dalam situasi apapun. Wahid Abdul Hafiz, Ainur Lutfi Abdul

Afif, Nur Anisa Utami, dan Mardatillah Auliyatul Husna selaku kakak dan adik saya yang selalu menasihati, mendukung dan memotivasi dalam situasi apapun dan kondisi yang terjadi. Terima kasih atas semua nasihat, dan kasih sayang yang telah diberikan kepada saya.

8. Keluarga besar saya yang selalu memberikan motivasi dan mendukung saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terima kasih untuk doa dan dukungannya
9. Teman-teman Teknik Sipil 2017, teman-teman kelompok belajar, dan teman-teman tongkrongan, yang selalu memberikan masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan seluruh teman saya yang lainnya, terima kasih atas bantuannya, saran, dan motivasi yang selalu kalian berikan.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan Tugas Akhir ini dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 05 Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



Fikri Abdillah

(17511175)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	II
KATA PENGANTAR	III
DAFTAR ISI	V
DAFTAR GAMBAR	VIII
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	XV
ABSTRACT	XVI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	9
2.4 Keaslian penelitian	13
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa Bumi	14
3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa	15
3.3 Analisis Struktur Bangunan Tahan Gempa	16
3.3.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	16
3.3.2 Wilayah Gempa dan Respons Spektrum	18

3.3.3	Parameter Percepatan Spektral Desain	21
3.3.4	Desain Respons Spektrum	21
3.3.5	Kategori Desain Seismik	23
3.4	Pembebanan Struktur	24
3.4.1	Beban Mati (Dead Load)	25
3.4.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	26
3.4.3	Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>)	26
3.5	Analisis Statik Non-Linier (<i>Pushover Analysis</i>)	29
3.6	Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)	30
3.6.1	Kurva Kapasitas (<i>Capacity Curve</i>)	30
3.6.2	Spektrum <i>Demand</i>	34
3.6.3	Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	35
3.7	Batasan Deformasi (<i>Drift</i>) Menurut ATC-40	36
3.8	Level Kinerja Struktur Metode ATC-40	37
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		41
4.1	Objek Penelitian	41
4.2	Data Bangunan	44
4.3	<i>Software</i> Yang Digunakan	46
4.4	Tahap Penelitian	47
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		51
5.1	Pendahuluan	51
5.1.1	Lokasi Objek Penelitian	51
5.1.2	Detail Gambar Denah Struktural Bangunan	51
5.1.3	Detail Struktur Bangunan	60
5.2	Desain Respons Spektrum	61
5.2.1	Menentukan kategori tipe bangunan (<i>Occupancy Category</i>)	61
5.2.2	Faktor Keutamaan (<i>Importance Factor</i>)	61
5.2.3	Klasifikasi situs	62
5.2.4	Kategori desain seismik	63
5.2.5	Nilai Koefisien Situs	67
5.3	Permodelan Struktur	68

5.3.1	Permodelan Baru (<i>New Model</i>)	68
5.3.2	Definisi Material	71
5.3.3	Definisi Struktur Bangunan	74
5.3.4	Definisi Pembebanan Bangunan	79
5.3.5	Permodelan Struktur Bangunan	82
5.4	Perhitungan pembebanan	86
5.4.1	Pembebanan Beban Mati	87
5.4.2	Pembebanan Beban Mati Tambahan	87
5.4.3	Pembebanan Beban Hidup	87
5.4.4	Pembebanan Beban Gempa	88
5.5	<i>Analisis Pushover</i>	90
5.5.1	Pendefinisian <i>Load Case Pushover</i>	90
5.5.2	Pendefinisian Sendi Plastis (<i>Hinge</i>)	101
5.6	Hasil Analisis <i>Pushover</i>	106
5.6.1	Hasil <i>Hinge</i> Balok dan Kolom	106
5.6.2	Kurva kapasitas	107
5.6.3	<i>Performance Point</i> ATC-40	111
5.6.4	Tingkat Kinerja Struktur	113
5.6.5	Mekanisme Sendi Plastis	115
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		120
6.1	Kesimpulan	120
6.2	Saran	121
DAFTAR PUSTAKA		123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Parameter Gerak Tanah S_s , (MCE_R) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 0,2 detik (redaman kritis 5%)	19
Gambar 3. 2 Parameter Gerak Tanah S_1 , (MCE_R) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 0,2 detik (redaman kritis 5%)	19
Gambar 3. 3 Desain Respons Spektrum	23
Gambar 3. 4 kapasitas Gaya Geser (V) – <i>Roof Displacement</i> Δ_{roof}	31
Gambar 3. 5 Kurva kapasitas	32
Gambar 3. 6 Faktor Partisipan Modal dan Modal Koefisien Massa	32
Gambar 3. 7 Modifikasi Kurva Kapasitas Menjadi Kapasitas Spektrum dengan Format ADRS	34
Gambar 3. 8 Modifikasi Format Respons Percepatan ke Format ADRS	35
Gambar 3. 9 Penentuan <i>Performance Point</i>	36
Gambar 3. 10 Ilustrasi Keruntuhan Gedung	38
Gambar 4. 1 Lokasi TILC (Teaching Industry Learning Center) (koordinat: - 7.82121, 110.37706)	41
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1	42
Gambar 4. 3 Denah Lantai 2	42
Gambar 5. 1 Lokasi TILC (Teaching Industry Learning Center) (koordinat: - 7.82121, 110.37706)	51
Gambar 5. 2 Gambar Tampak Depan Bangunan TILC	52
Gambar 5. 3 Gambar Tampak Samping Bangunan TILC	53
Gambar 5. 4 Denah Lantai 1	54
Gambar 5. 5 Denah Lantai 2	55
Gambar 5. 6 Denah Lantai 3	56
Gambar 5. 7 Denah Lantai 4	57
Gambar 5. 8 Denah Lantai 5 dan 6	58
Gambar 5. 9 Denah Lantai 7 Sampai 9	59

Gambar 5. 10 Parameter Gerak Tanah S_s , Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (redaman kritis 5 %)	64
Gambar 5. 11 Parameter Gerak Tanah S_1 , Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (redaman kritis 5 %)	64
Gambar 5. 12 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCE_G) Wilayah Indonesia	65
Gambar 5. 13 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik	65
Gambar 5. 14 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 1 Detik	66
Gambar 5. 15 Hail Desain Seismik	66
Gambar 5. 16 Pengaturan Standar Awal Model Bangunan	69
Gambar 5. 17 New Model Quick Templates	70
Gambar 5. 18 Permodelan Grid pada Bangunan Gedung	70
Gambar 5. 19 Permodelan Story pada Setiap Bangunan Gedung	71
Gambar 5. 20 Spesifikasi Material Beton Bertulang	72
Gambar 5. 21 Material Property Data Beton	72
Gambar 5. 22 Spesifikasi Material Baja Tulangan BJTD 420	73
Gambar 5. 23 Material Property Design Data Baja BJTD 420	73
Gambar 5. 24 Spesifikasi Material Baja Tulangan BJTP 240	74
Gambar 5. 25 Material Property Design Data Baja BJTP 240	74
Gambar 5. 26 Pendefinisian Frame Section B1-1	75
Gambar 5. 27 Pendefinisian Tulangan pada B1-1	76
Gambar 5. 28 Pendefinisian Frame Section C1	77
Gambar 5. 29 Pendefinisian Tulangan pada C1	77
Gambar 5. 30 Pendefinisian Slab Property Data PL1	78
Gambar 5. 31 Pendefinisian Wall Property Data Dinding Geser	79
Gambar 5. 32 Pembebanan Bangunan pada Load Patterns	80
Gambar 5. 33 Modify Lateral Load pada Pembebanan Gempa Arah X (E_x)	80
Gambar 5. 34 Modify Lateral Load pada Pembebanan Gempa Arah Y (E_y)	81
Gambar 5. 35 Penginputan Data Grafik Respons Spektrum	82
Gambar 5. 36 Cara Melakukan Permodelan Balok dan Kolom	83

Gambar 5. 37 Hasil dari Pemodelan Struktur Balok dan Kolom	83
Gambar 5. 38 Cara Melakukan Permodelan Pelat Lantai dan Pelat Atap	84
Gambar 5. 39 Hasil dari Pemodelan Pelat Lantai, Pelat Atap, dan Pelat Tangga	84
Gambar 5. 40 Hasil dari Permodelan Dinding Geser dan Dinding Lainnya	85
Gambar 5. 41 Cara Menentukan Joint Restraints	86
Gambar 5. 42 Pilihan dari Joint Restraints	86
Gambar 5. 43 Load Case Data Pembebanan Gravitasi	91
Gambar 5. 44 Load Application Control Pembebanan Gravitasi	92
Gambar 5. 45 Result Saved Pembebanan Gravitasi	93
Gambar 5. 46 Nonlinear Parameters Pembebanan Gravitasi	93
Gambar 5. 47 Load Case Data Pushover X	95
Gambar 5. 48 Load Application Control Pushover X	96
Gambar 5. 49 Result Saved Pushover X	97
Gambar 5. 50 Nonlinier Parameters Pushover X	97
Gambar 5. 51 Load Case Data Pushover Y	98
Gambar 5. 52 Load Application Control Pushover Y	99
Gambar 5. 53 Result Saved Pushover Y	100
Gambar 5. 54 Nonlinier Parameters Pushover Y	100
Gambar 5. 55 Select Frame Balok	101
Gambar 5. 56 Input frame Hinge Balok	102
Gambar 5. 57 Setting Hinge Balok	103
Gambar 5. 58 Select Frame Kolom	104
Gambar 5. 59 Input Frame Hinge Kolom	105
Gambar 5. 60 Setting Hinge Kolom	106
Gambar 5. 61 Hasil Respons Hinge Balok dan Kolom Pushover X	107
Gambar 5. 62 Hasil Respons Hinge Balok dan Kolom Pushover Y	107
Gambar 5. 63 Grafik Kurva Kapasitas Pushover Arah X	108
Gambar 5. 64 Grafik Kurva Kapasitas Pushover Arah Y	109
Gambar 5. 65 Spektrum Kapasitas Arah X	112
Gambar 5. 66 Spektrum Kapasitas Arah Y	112
Gambar 5. 67 Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah X	117

Gambar 5. 68 Detail Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah X	117
Gambar 5. 69 Detail Distribusi Sendi Plastis Step 119 Arah X	118
Gambar 5. 70 Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah Y	118
Gambar 5. 71 Detail Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah Y	119
Gambar 5. 72 Detail Distribusi Sendi Plastis Step 176 Arah Y	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
Tabel 3. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	17
Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa	18
Tabel 3. 3 Koefisien Situs, F_a	20
Tabel 3. 4 Koefisien Situs, F_v	21
Tabel 3. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	24
Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	24
Tabel 3. 7 Berat Sendiri Bahan Bangunan	25
Tabel 3. 8 Berat Sendiri Komponen Gedung	25
Tabel 3. 10 Deformasi Limit	37
Tabel 3. 11 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan Pada Tingkat Kinerja Struktur	39
Tabel 4. 1 Dimensi Struktur Kolom	45
Tabel 4. 2 Dimensi Struktur Balok	46
Tabel 4. 3 Dimensi Struktur Pelat Lantai	46
Tabel 5. 1 Detail Struktur Kolom	60
Tabel 5. 2 Detail Struktur Balok	60
Tabel 5. 3 Detail Struktur Pelat Lantai	60
Tabel 5. 4 Faktor Keutamaan Gempa	61
Tabel 5. 5 Klasifikasi Situs	62
Tabel 5. 6 kategori Desain Seismik berdasarkan parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	63
Tabel 5. 7 kategori Desain Seismik berdasarkan parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	63
Tabel 5. 8 Nilai Koefisien Situs, F_a	67

Tabel 5. 9 Nilai Koefisien Situs, Fv	68
Tabel 5. 10 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai	87
Tabel 5. 11 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Atap	87
Tabel 5. 12 Hasil Kurva Kapasitas Arah X	110
Tabel 5. 13 Hasil Kurva Kapasitas Arah Y	110
Tabel 5. 14 Performance Point Metode ATC-40	113
Tabel 5. 15 Batasan Ratio Drift ATC-40	114
Tabel 5. 16 Keterangan warna Pada Titik Sendi Plastis	116

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Gambar Rencana Proyek Lantai 1	126
LAMPIRAN 2: Gambar Rencana Proyek Lantai 2	127
LAMPIRAN 3: Gambar Rencana Proyek Lantai 3	128
LAMPIRAN 4: Gambar Rencana Proyek Lantai 4	129
LAMPIRAN 5: Gambar Rencana Proyek Lantai 5	130
LAMPIRAN 6: Gambar Rencana Proyek Lantai 6	131
LAMPIRAN 7: Gambar Rencana Proyek Lantai 7	132
LAMPIRAN 8: Gambar Rencana Proyek Lantai 8	133
LAMPIRAN 9: Gambar Rencana Proyek Lantai 9	134
LAMPIRAN 10: Gambar Rencana Proyek Lantai Atap	135
LAMPIRAN 11: Gambar Tampak Depan Bangunan TILC	136
LAMPIRAN 12: Gambar Tampak Samping Bangunan TILC	137

ABSTRAK

Analisis *pushover* merupakan sebuah sarana untuk memberikan solusi berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya mencari kapasitas struktur. Prosedur analisis *pushover* dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai keruntuhan. Perencanaan bangunan tahan gempa kini beralih dari desain berbasis kekuatan ke desain berbasis kinerja, dengan analisis *pushover* sebagai metode untuk menentukan kapasitas struktur. Penelitian ini mengevaluasi bangunan TILC di Yogyakarta menggunakan metode *pushover* sesuai SNI-03-1726: 2019 dan ATC-40 untuk mengukur kinerja struktur dan skema sendi plastis.

Hasil analisis menunjukkan kurva kapasitas arah x berhenti pada step ke-119 dengan *displacement* 192,418 mm dan *base shear* 195618,2225 kN, sedangkan arah y berhenti pada step ke-176 dengan *displacement* 278,617 mm dan *base shear* 211307,1955 kN. Tingkat kinerja struktur diukur berdasarkan parameter maksimum total *drift* dan maksimum *inelastik drift*. Pada arah x, total *drift* 0,005145 (kategori *Immediate Occupancy*) dan *inelastik drift* 0,005105 (kategori *Damage Control*). Pada arah y, total *drift* 0,00745 (kategori *Immediate Occupancy*) dan *inelastik drift* 0,00741 (kategori *Damage Control*).

Kata Kunci: Analisis *Pushover*, Gedung bertingkat, Gempa Bumi, Level Kinerja, Kurva Kapasitas Etabs.

ABSTRACT

Pushover analysis is a method to provide solutions based on Performance-Based Seismic Design, primarily aimed at determining the capacity of a structure. The Pushover analysis procedure involves applying static lateral loads incrementally until a target displacement or structural failure is reached. Building design for earthquake resistance has shifted from strength-based design to performance-based design, with Pushover analysis serving as a method to determine structural capacity. This study evaluates the TILC building in Yogyakarta using the pushover method according to SNI-03-1726:2019 and ATC-40 to measure structural performance and plastic hinge schemes.

The analysis results show that the capacity curve in the x direction stops at step 119 with a displacement of 192.418 mm and a base shear of 195,618.2225 KN, while in the y direction, it stops at step 176 with a displacement of 278.617 mm and a base shear of 211,307.1955 KN. The performance level of the structure is measured based on the maximum total drift and maximum inelastic drift parameters. In the x direction, the total drift is 0.005145 (Immediate Occupancy category) and the inelastic drift is 0.005105 (Damage Control category). In the y direction, the total drift is 0.00745 (Immediate Occupancy category) and the inelastic drift is 0.00741 (Damage Control category).

Keywords: *Pushover Analysis, Building Story, Earthquake, Performance Level, Capacity Curve, Etabs.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah sebuah negara dengan kondisi topografis yang sangat beragam dan juga negara yang memiliki banyak kepulauan. Indonesia juga merupakan negara yang berada di wilayah gempa Pasifik (*Circum Pacific Earthquake Belt*) dan juga wilayah gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*). Dengan adanya wilayah gempa Pasifik dan juga wilayah gempa Asia membuat negara Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat potensi terjadinya gempa yang tinggi.

Gempa bumi adalah getaran atau getaran-getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat terlepasnya energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa merupakan fenomena alam yang bersifat *probabilistik*, tidak dapat dipastikan secara akurat kapan akan terjadinya, seberapa besar kekuatannya, daerah pusat terjadinya, bahkan hingga dampak kerusakan yang akan ditimbulkannya. Dengan adanya kondisi gempa yang sering terjadi di Indonesia membuat kita haruslah teliti dalam merancang sebuah bangunan Gedung bertingkat, beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain berupa fungsi dari bangunan, keamanan bangunan, kekuatan, kekakuan, kestabilan, keindahan dan pertimbangan biaya konstruksi dan perawatannya.

Saat ini perencanaan bangunan tahan gempa telah beralih dari berdasarkan kekuatan (*force based design*) menjadi berdasarkan kinerja (*performance based design*). Dalam hal ini, perancangan tidak hanya berdasarkan gaya-gaya yang bekerja tetapi juga memperhatikan besarnya deformasi yang terjadi untuk mengurangi kerusakan pada komponen elemen non struktural. Pengurangan kerusakan non struktural dilakukan karena elemen non struktural lebih sensitif terhadap goyangan atau simpangan. Pada dasarnya perencanaan berbasis kinerja sangat penting karena sasaran kinerja lain 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 akan ditimbulkan akibat bencana gempa tersebut. Perlu dilakukannya evaluasi kinerja seismik pada bangunan yang sudah terbangun, hal ini merupakan langkah yang tepat dalam penanggulangan dampak bencana gempa. Meminimalisir kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh gempa dengan membuat suatu struktur bangunan tahan Gempa. Bangunan tahan gempa yang dimaksudkan adalah bangunan yang ketika terjadi gempa tidak mengalami kerusakan yang berat pada strukturnya maupun apabila strukturnya mengalami keruntuhan, mampu menunjukkan perilaku non linier pada kondisi *pasca-elastic*, sehingga lebih terjamin tingkat keamanannya serta dapat meminimalisasi adanya korban jiwa. Desain bangunan tahan gempa haruslah berdasarkan kriteria serta peraturan-peraturan yang berlaku. Struktur bangunan tahan gempa didesain menggunakan metode analisis *Pushover*.

Analisis *Pushover* merupakan sebuah sarana untuk memberikan solusi berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya mencari kapasitas struktur. Prosedur analisis *Pushover* dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai keruntuhan.

Pada penelitian ini, bangunan TILC yang berdiri di wilayah Jl.Pancasila, Catur Tunggal, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, akan dievaluasi menggunakan metode analisis *pushover* sesuai dengan peraturan pembebanan gempa yang telah diatur pada SNI-03-1726: 2019 dan prosedur pembebanan analisis *pushover* yang akan dilakukan mengacu pada metode ATC-40 (*Capacity Spectrum Method*) untuk mengetahui seberapa besar level kinerja struktur bangunan tersebut dan skema dari sendi plastis yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang di atas maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kurva kapasitas yang dihasilkan pada analisis *pushover* untuk gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*) tersebut?
2. Berapa titik kinerja (*performance point*) pada gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*)?
3. Bagaimana mekanisme sendi plastis yang terjadi setelah dianalisis menggunakan metode *pushover* menurut ATC-40?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diketahui, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan bentuk kurva kapasitas dari bangunan Gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*)
2. Mendapatkan titik kerja (*performance point*) dan mengetahui kinerja dari level seismik bangunan Gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*) sesuai dengan ATC-40.
3. Mengetahui kondisi sendi plastis setelah dilakukannya analisis *pushover* pada bangunan Gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*) .

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, diharapkan penelitian ini membuahkan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk pembaca, bertambahnya wawasan dan ilmu dalam bidang Teknik Sipil terutama pada pengetahuan dalam perencanaan bangunan tahan gempa dengan menggunakan metode analisis *Static Pushover*, dan dapat diperolehnya hal-hal yang akan menjadikan referensi dalam pembuatan penelitian selanjutnya terkait dengan kinerja bangunan tahan gempa dengan menggunakan metode analisis *Static Pushover*.

2. Untuk praktisi, hasil dari analisis *Pushover* yang telah dilakukan dalam pembuatan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam perencanaan, perbaikan, dan perkuatan yang akan dilakukan pada gedung tahan gempa.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Bangunan yang akan menjadi objek penelitian adalah Gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*).
2. Analisis gaya gempa yang digunakan berdasarkan SNI-03-1726:2019 dengan peta gempa terbaru.
3. Penentuan level kinerja struktur mengacu pada ATC-40.
4. Jenis tingkat perkerasan tanah yang digunakan adalah tanah tipe sedang (SD)
5. Metode yang digunakan dalam menganalisis kinerja struktur bangunan menggunakan analisis *pushover*.
6. Pembebanan gedung meliputi:
 - a. Beban mati
 - b. Beban hidup
 - c. Beban lateral (berupa beban gempa sesuai dengan SNI-03-1726-2019 dengan tidak memperhitungkan beban angin)
7. Perilaku struktur gedung dianalisis menggunakan dengan bantuan *software* ETABS

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Perencanaan bangunan gedung ataupun bangunan lainnya tentu haruslah ditinjau dari kekuatan bangunan tersebut dalam menahan beban gempa. Adanya potensi gempa yang terjadi di setiap wilayah Indonesia berbeda-beda dan waktu terjadinya gempa tidak dapat kita prediksi membuat kita harus meninjau lebih jauh potensi gempa pada wilayah yang akan kita adakan pembangunan Gedung ataupun bangunan lainnya.

Perencanaan pembangunan tahan gempa pada umumnya telah dirancang sebelumnya menggunakan prosedur yang telah ada dalam peraturan perencanaan bangunan. Awalnya analisis yang digunakan dalam perancangan bangunan tahan gempa menggunakan metode pendekatan berbasis kekuatan (*force based design*), akan tetapi pendekatan yang sekarang digunakan adalah pendekatan berbasis kinerja (*performance based design*), yang memanfaatkan analisis statik non linier yang dikenal dengan *Pushover Analysis* untuk mengetahui pola keruntuhan bangunan terhadap guncangan yang diakibatkan oleh gempa dan meninjau level dari bangunan tersebut.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada pembuatan penelitian ini, dicantumkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan topik pembahasan yang sama yaitu mengenai analisis statik non linier atau analisis *Pushover*. Penelitian terdahulu telah tercantum pada penulisan penelitian ini yang bisa dilihat sebagai berikut:

1. Analisis *Pushover* Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai (Studi kasus: Gedung 9 Lantai Universitas BAKRIE)

Penelitian ini bersumber dari tugas akhir yang dibuat oleh (Timur Laresi, Ihsan, and W. Alisjahbana 2019). Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* SAP 2000. Bangunan yang dianalisis adalah Gedung 9

lantai Universitas BAKRIE di Jakarta, yang mana bangunan tersebut merupakan bangunan struktur beton bertulang dengan jumlah 9 lantai.

Metode analisis yang dilakukan menggunakan metode analisis *Pushover*. Tujuan penulis melakukan penelitian ini adalah untuk menentukan kriteria kinerja seismik struktur Gedung universitas dari hasil nilai *performance point* menggunakan *code* ATC-40, memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil perhitungan *software*, mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui *joint-joint* yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran serta membandingkan hasil dari analisis respon spektrum dengan analisis *Pushover*.

Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh struktur bangunan mampu memberikan perilaku *non linier* yang di tunjukan fase dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kriteria *Immediate Occupancy* yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktur dan bangunan dapat segera digunakan kembali.

2. Pengaruh Penempatan Dinding Geser pada Struktur Gedung Bertingkat Simetri terhadap Kurva Kapasitas Dan Persimpangan Atap dengan Analisis *Pushover* (Studi Kasus: Gedung Hotel, D.I Yogyakarta)

Penelitian ini bersumber dari (D. F. Nugraha n.d.) (2017). Penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* SAP 2000. Bangunan yang menjadi fokus penelitian ini adalah Gedung Hotel yang berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta, yang mana Gedung tersebut memiliki jumlah 8 lantai dengan bentuk simetris. Terdapat 5 model gedung yaitu Gedung tanpa dinding geser dan 4 variasi penempatan dinding geser.

Metode analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode analisis *Pushover*. Analisis awal berupa analisis linier untuk mengecek apakah bangunan aman sesuai dengan persyaratan dari SNI 1726:2012 yang selanjutnya didesain tulangan yang dibutuhkan untuk analisis non linier. Property sendi plastis berdasarkan FEMA 356, sedangkan analisis *Pushover* berdasarkan ATC-40.

Dari hasil analisis berupa kurva kapasitas menunjukkan bahwa penggunaan dinding geser meningkatkan kapasitas Gedung dalam menahan gaya lateral akibat

gempa karena Gedung mampu menahan gaya geser dasar lebih besar tetapi dengan simpangan atap yang kecil. Kurva kapasitas terbesar terjadi pada Gedung model 1 kemudian diikuti model 2, model 3, model 4, dan Gedung tanpa dinding geser baik dari arah x maupun arah y. Hasil analisis berupa simpangan atap saat titik kinerja tercapai menunjukkan penurunan simpangan pada Gedung yang menggunakan struktur dinding geser. Simpangan atap yang terjadi pada gedung tanpa dinding geser, model 1, model 2, model 3, model 4 untuk arah x berturut-turut adalah 319,48 mm; 153,27 mm; 157,52 mm; 158,56 mm dan 190,77 mm. Sedangkan untuk arah y berturut-turut adalah 228,96 mm; 56,53 mm; 92,78 mm; 137,85 mm; dan 140,07 mm.

3. Evaluasi Kinerja Gedung Terhadap Gaya Gempa Dengan Metode *Pushover* Analisis (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Hotel Dan Apartemen Gunawangsa Tower A, Gresik, Jawa Timur)

Penelitian ini bersumber dari (Warsono and Budianto 2019). Bangunan yang dianalisis berupa bangunan gedung hotel dan apartemen Gunawangsa tower A, Gresik, Jawa Timur. Bangunan yang dianalisis ini memiliki total 15 lantai, dimana konstruksi gedung yang dilakukan menggunakan beton bertulang dengan *shear wall*. Penelitian ini dilakukan dengan bantuan aplikasi SAP 2000 versi 19.0.0 dengan mengacu pada SNI 03-1726:2012, SNI 1727:2013 dan ATC-40.

Penelitian ini dilakukan dengan maksud dan tujuan untuk memperlihatkan hubungan antara kurva kapasitas, *base shear* dengan *displacement*, pada kurva *pushover* sebagai representasi terhadap perilaku struktur bangunan yang ditinjau saat dikenai gaya geser dasar pada tingkat tertentu serta *performance point*. Dengan melakukan penelitian ini pun akan didapatkan hasil yang berupa nilai *performance point* sesuai dengan penggunaan *code* ATC-40, dan dapat menghasilkan skema kelelahan struktur distribusi sendi plastis yang terjadi pada saat permodelan bangunan,

Berdasarkan hasil *output running software* SAP2000, untuk arah X memiliki nilai *maximum total drift* 0,00325 meter dan *maximum inelastic drift* 0,0022 meter. Untuk arah Y memiliki nilai *maximum total drift* 0,00351 meter dan *maximum inelastic drift* 0,0028 meter. Maka dengan hasil tersebut, berdasarkan batasan

performance level dari ATC-40, gedung tower A dari Gunawangsa Gresik *Superblock* tergolong dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Dengan level kinerja tersebut, maka gedung tersebut hanya sedikit mengalami kerusakan struktur dan non struktur, bangunan dianggap aman dan dapat difungsikan kembali.

4. Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APLC UGM Dengan Metode Analisis *Pushover* Sesuai Peraturan SNI-03-1726-2019

Penelitian ini bersumber dari tugas akhir yang dibuat oleh (H. Nugraha 2021). Bangunan yang dianalisis pada penelitian ini adalah Gedung *Advanced Pharmaceutical Science Learning Center* (ASPCL) UGM, yang mana gedung tersebut mempunyai 9 lantai. Pemodelan gedung dilakukan dengan bantuan *software* SAP 2000 V.22 dalam bentuk 3D sesuai dengan *shop drawing*.

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

Hasil yang ditunjukkan pada penelitian ini bahwa tingkat kinerja dari gedung setelah dilakukannya *pushover* arah x dan arah y dengan berdasarkan *performance point* yang dihitung dengan parameter *Maximum Total Drift Ratio* dan *Maximum Inelastic Drift Ratio* yaitu *Occupancy* (IO) dengan sendi plastis yang terjadi merata diawali dari balok. Berdasarkan dari kurva kapasitas yang didapatkan, kurva kapasitas arah y memiliki bentuk lebih tegak dari kurva kapasitas arah x, hal ini menunjukkan bahwa arah y lebih kaku dibanding dengan arah x. dengan nilai gaya lateral arah x sebesar 15085065,1 kN lebih besar dibanding arah y sebesar 1236028,7 kN, sedangkan untuk nilai *displacement* arah x sebesar 0,729019 m dan arah y sebesar 0,457125 m. Nilai *performance point* yang didapat untuk arah x sebesar 328467,728 kN dan untuk arah y sebesar 328642,432 KN.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Berikut ini adalah perbedaan antara penelitian penulis dengan penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Peneliti				
	Yulinda Timur Laresi (2017)	Dima Fitra Nugraha (2017)	Warsono, dkk (2019)	Haristio Nugraha (2021)	Peneliti (2024)
Judul	Analisis <i>Pushover</i> Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai.	Pengaruh Penempatan Dinding Geser pada Struktur Gedung Bertingkat Simetri terhadap Kurva Kapasitas Dan Simpangan Atap dengan Analisis <i>Pushover</i>	Evaluasi Kinerja Gedung Terhadap Gaya Gempa Dengan Metode <i>Pushover</i> Analisis	Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APLC UGM Dengan Metode Analisis <i>Pushover</i> Sesuai Peraturan SNI-03-1726-2019	Analisis Kinerja Bangunan Menggunakan Metode Analisis <i>Pushover</i> Terhadap Struktur Bangunan Bertingkat Banyak Sesuai Standar SNI-03-1726-2019 Dan ATC-40
Tujuan Penelitian	Menentukan kriteria kinerja seismik struktur Gedung universitas dari hasil nilai <i>performance point</i> menggunakan <i>code</i> ATC-40, memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil perhitungan <i>software</i> , mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui <i>joint-joint</i> yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran serta membandingkan hasil dari analisis respon spektrum dengan analisis <i>pushover</i> .	Mengetahui pengaruh penempatan dinding geser pada struktur gedung bertingkat simetris terhadap kurva kapasitas dengan analisis <i>Pushover</i> . Mengetahui pengaruh penempatan dinding geser dan penempatan dinding geser yang optimal pada bangunan simetris.	Penelitian ini dilakukan dengan maksud bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur dari objek penelitian ini yaitu gedung <i>Advanced Pharmaceutical Science Learning Center (ASPCL) UGM</i> . Evaluasi kinerja struktur menggunakan metode analisis <i>pushover</i> dengan <i>capacity spectrum</i> menurut ATC-40, dengan hasil berupa kurva kapasitas, titik kinerja, dan skema sendi plastis yang terjadi pada gedung tersebut.	Mengevaluasi kinerja struktur dari objek penelitian ini yaitu gedung <i>Advanced Pharmaceutical Science Learning Center (ASPCL) UGM</i> . Evaluasi kinerja struktur menggunakan metode analisis <i>pushover</i> dengan <i>capacity spectrum</i> menurut ATC-40, dan mengetahui skema sendi plastis yang terjadi pada bangunan.	Melakukan evaluasi kinerja struktur menggunakan metode analisis <i>pushover</i> untuk mengetahui kurva kapasitas guna menggambarkan tahapan perilaku struktur saat dikenai gaya dasar pada tingkat atau level tertentu, menentukan kriteria kinerja seismik struktur bangunan dari nilai <i>performance point</i> menggunakan kode ATC-40, dan mengetahui skema kelelahan yang terjadi dari perhitungan ETABS
Bentuk dan Tingkat Bangunan Gedung	Bangunan gedung Universitas dengan 9 dengan fungsi bangunan sebagai fasilitas Pendidikan.	Bangunan gedung simetris dengan 8 lantai dengan 5 model gedung yaitu gedung tanpa dinding geser dan 4 variasi penempatan dinding geser.	Bangunan yang dianalisis berupa bangunan gedung hotel dan apartement memiliki total 15 lantai dengan konstruksi bangunan menggunakan beton bertulang dan <i>shear wall</i> .	Gedung perkuliahan dengan 9 lantai dan memiliki ketinggian 36,45 m.	Bangunan TILC (<i>Teaching Industry Learning Center</i>) dengan banyak lantai 9 lantai.

<p style="text-align: center;">Metode Penelitian</p>	<p>Pengumpulan studi literatur yang akan digunakan. Pengumpulan data. Memodelkan 3D bangunan yang ditinjau. melakukan perhitungan pembebanan terhadap beban gempa dan beban bangunan lainnya. Penelitian dilakukan dengan metode analisis <i>nonlinier pushover</i>.</p>	<p>Pengumpulan data bangunan yang ditinjau, memodelkan struktur bangunan sesuai dengan perencanaan bangunan berbasis kekuatan, terhadap beban gempa, sendi plastis, dan pembebanan terhadap dinding geser. Kemudian dianalisis dengan metode analisis <i>pushover</i>. Mengevaluasi kinerja struktur dan membandingkan dengan setiap model yang dimodelkan.</p>	<p>Pengumpulan data data atau literatur terkait dengan topik penelitian, dan mencari data bangunan yang akan dijadikan acuan penelitian. Memodelkan struktur bangunan 3D sesuai dengan <i>shop drawing</i> dengan memasukkan data beton bertulang dan <i>shear wall</i> pada aplikasi SAP 2000 versi 19.0.0. Melakukan perhitungan beban gempa dan beban lainnya sesuai dengan acuan SNI 03-1726:2012, SNI 1727:2013 dan ATC-40.</p>	<p>Pengumpulan data bangunan, memodelkan struktur dengan SAP2000, elemen struktur yang dimodelkan kolom, balok dan pelat. Kemudian dianalisis menggunakan metode analisis statik <i>pushover</i>. Lalu mengevaluasi kinerja struktur.</p>	<p>Pengumpulan Data bangunan dan melakukan studi literatur, melakukan pemodelan bangunan dalam bentuk 3D sesuai dengan <i>Shop Drawing</i> bangunan menggunakan bantuan <i>software</i> ETABS, melakukan perhitungan pembebanan, melakukan analisis static <i>pushover</i> dengan bantuan <i>software</i> ETABS, membuat kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.</p>
<p style="text-align: center;">Hasil Penelitian</p>	<p>Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh struktur bangunan mampu memberikan perilaku <i>non linier</i> yang ditujukan fase dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kriteria <i>Immediate Occupancy</i> yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktur dan bangunan dapat segera digunakan kembali.</p>	<p>Dari hasil analisis berupa kurva kapasitas menunjukkan bahwa penggunaan dinding geser meningkatkan kapasitas Gedung dalam menahan gaya lateral akibat gempa karena Gedung mampu menahan gaya geser dasar lebih besar tetapi dengan simpangan atap yang kecil. Kurva kapasitas terbesar terjadi pada Gedung model 1 kemudian diikuti model 2, model 3, model 4, dan Gedung tanpa dinding geser baik dari arah x maupun arah y. hasil analisis berupa simpangan atap saat titik kinerja tercapai menunjukkan penurunan simpangan pada Gedung yang menggunakan struktur dinding geser. Simpangan</p>	<p>Hasil yang ditunjukkan pada penelitian ini bahwa tingkat kinerja dari gedung setelah dilakukannya <i>pushover</i> arah x dan arah y dengan berdasarkan <i>performance point</i> yang dihitung dengan parameter <i>Maximum Total Drift Ratio</i> dan <i>Maximum Inelastic Drift Ratio</i> yaitu <i>Occupancy</i> (IO) dengan sendi plastis yang terjadi merata diawali dari balok. Berdasarkan dari kurva kapasitas yang didapatkan, kurva kapasitas arah y memiliki bentuk lebih tegak dari kurva kapasitas arah x, hal ini menunjukkan bahwa arah y lebih kaku dibanding dengan</p>	<p>Hasil yang ditunjukkan pada penelitian ini bahwa tingkat kinerja dari gedung setelah dilakukannya <i>pushover</i> arah x dan arah y dengan berdasarkan <i>performance point</i> yang dihitung dengan parameter <i>Maximum Total Drift Ratio</i> dan <i>Maximum Inelastic Drift Ratio</i> yaitu <i>Occupancy</i> (IO) dengan sendi plastis yang terjadi merata diawali dari balok. Berdasarkan dari kurva kapasitas yang didapatkan, kurva kapasitas arah y memiliki bentuk lebih tegak dari kurva kapasitas arah x, hal ini menunjukkan bahwa arah y lebih kaku dibanding dengan</p>	

		<p>atap yang terjadi pada gedung tanpa dinding geser, model 1, model 2, model 3, model 4 untuk arah x berturut-turut adalah 319,48 mm; 153,27 mm; 157,52 mm; 158,56 mm dan 190,77 mm. sedangkan untuk arah y berturut-turut adalah 228,96 mm; 56,53 mm; 92,78 mm; 137,85 mm; dan 140,07 mm.</p>	<p>arah x. dengan nilai gaya lateral arah x sebesar 15085065,1 KN lebih besar dibanding arah y sebesar 1236028,7 KN, sedangkan untuk nilai <i>displacement</i> arah x sebesar 0,729019 m dan arah y sebesar 0,457125 m. Nilai <i>performance point</i> yang didapat untuk arah x sebesar 328467,728 KN dan untuk arah y sebesar 328642,432 KN.</p>	<p>arah x. dengan nilai gaya lateral arah x sebesar 15085065,1 KN lebih besar dibanding arah y sebesar 1236028,7 KN, sedangkan untuk nilai <i>displacement</i> arah x sebesar 0,729019 m dan arah y sebesar 0,457125 m. Nilai <i>performance point</i> yang didapat untuk arah x sebesar 328467,728 KN dan untuk arah y sebesar 328642,432 KN.</p>	
--	--	---	--	--	--

2.4 Keaslian penelitian

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

1. Analisis yang dilakukan menggunakan *Shop Drawing* dari Gedung TILC yang berada di lokasi Jl.Pancasila, Catur Tunggal, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Proses pemodelan bangunan secara 3D menggunakan bantuan *software* ETABS dengan ukuran serta mutu mengikuti data dari *Shop Drawing* Gedung TILC.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bencana alam yang menghasilkan getaran atau guncangan disebabkan oleh pelepasan energi di bawah permukaan bumi secara tiba-tiba yang menghasilkan gelombang seismik. Terjadinya gempa bumi disebabkan oleh benturan atau gesekan antara pelat tektonik (lempeng bumi) atau runtuhnya jurang di laut. Adanya benturan antara lempeng Samudra yang massanya lebih rendah dengan lempeng benua di zona tumbukan akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi dan zona patahan, yang menyebabkan zona-zona itu terjadi tekanan, Tarik dan geseran. Pada batas elastisitas lempeng terlampaui maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi yang disebut dengan gelombang gempa bumi.

Pawirodikromo (2012) dalam H. Nugraha (2021) menyatakan gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya masa batuan di lapisan kerak bumi. gempa bumi secara pasti belum dapat diprediksi tempat dan waktu kejadian, magnitudo gempa maupun kedalaman fokus. Walaupun belum dapat diprediksi secara akurat, tetapi perkiraan tempat-tempat potensi kejadian gempa pada masa mendatang sudah dapat diprediksi secara baik.

Hingga sekarang jenis-jenis penyebab terjadinya gempa bumi yang diketahui adalah sebagai berikut:

1. Pergeseran lempengan bumi, gempa yang disebabkan akibat bergesernya lempengan bumi disebut juga dengan gempa tektonik. Lempengan bumi yang kita ketahui teruslah melakukan pergerakan, pergerakan dari lempengan ini ada yang saling mendekat dan ada pula yang saling menjauh, Adapun yang saling bergesekan. Kondisi gesekan antar lempeng bumi ini yang

menghasilkan getaran dan guncangan yang besar yang kita sebut dengan gempa bumi tektonik.

2. Aktivitas dari gunung berapi atau gempa vulkanik, gempa yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi ini terjadi karena pergerakan dari magma dan tekanan gas dari dalam bumi yang menyebabkan terjadinya getaran secara tiba-tiba. Peristiwa pergerakan magma inilah yang disebut dengan gempa vulkanik karena melibatkan aktivitas vulkanik dari gunung berapi.
3. Gempa runtuh, merupakan gempa yang terjadi akibat runtuhnya suatu gua di daerah pertambangan runtuh ataupun longsornya daerah tebing yang curam yang mana membawa batuan dengan massa yang cukup besar. gempa bumi ini biasanya terjadi di daerah tertentu atau daerah tambang, dengan skala gempa yang ditimbulkan sehingga gempa bumi tersebut tergolong tidak bahaya.
4. Gempa karena aktivitas manusia, gempa bumi ini terjadi karena aktivitas manusia yang memicu terjadinya gempa bumi. Gempa bumi jenis ini sering disebut dengan gempa bumi buatan. Gempa bumi buatan ini terjadi karena aktivitas manusia, antara lain peledakan dinamit, nuklir, dan ledakan bom berskala besar.

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah bangunan dengan struktur yang jika terjadi gempa bangunan tersebut tidak langsung hancur. Dengan adanya bencana gempa bumi yang sering terjadi di wilayah Indonesia menuntut untuk membangun sebuah bangunan dengan menggunakan konsep pengendalian pola keruntuhan melalui pemanfaatan detail dari struktur secara maksimal.

Pawirodikromo (2012) dalam H. Nugraha (2021) 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 jika keruntuhan bangunan terjadi.

Menurut Pawirodikromo (2012) dalam H. Nugraha (2021) prinsip-prinsip 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 relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak atau retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non-struktural dapat saja rusak tetapi masih dapat digantikan dengan yang baru
3. Pada gempa yang kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*).

3.3 Analisis Struktur Bangunan Tahan Gempa

3.3.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Untuk mengetahui dan menentukan gempa rencana haruslah meninjau perencanaan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan Tabel 3.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 3.2. kasus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan dengan kategori risiko, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko struktur IV.

Tabel 3. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

No	Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
1	Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
2	Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung Apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
3	Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk 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, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko bangunan Gedung dan Non Gedung
Untuk Beban Gempa**

No	Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
4	<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas 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 - 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 saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah dan struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>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)

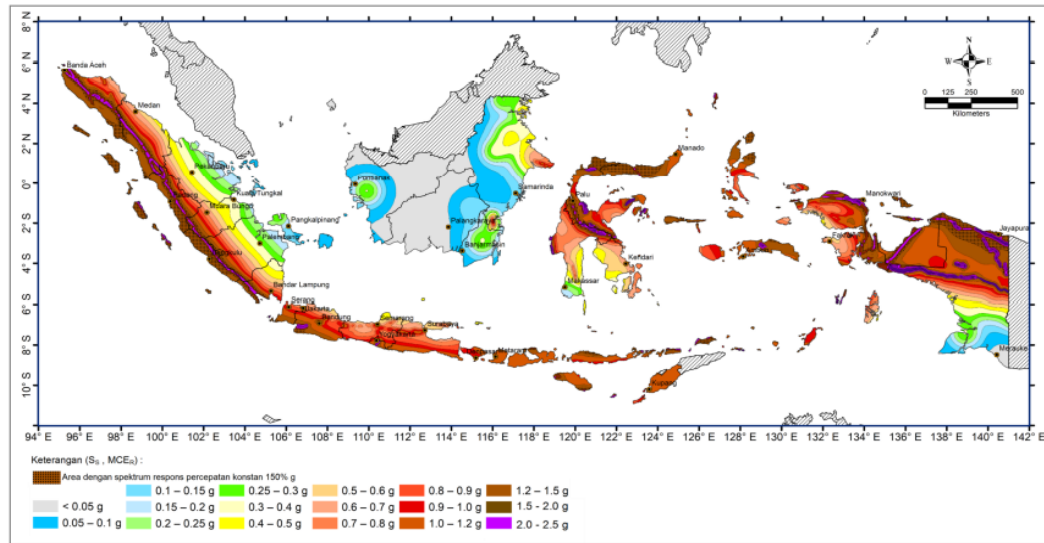
Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

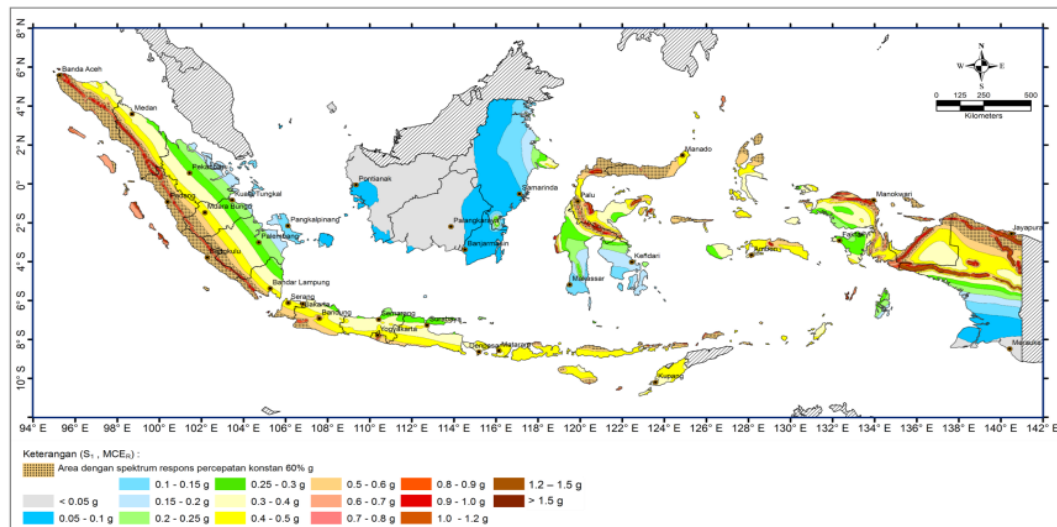
3.3.2 Wilayah Gempa dan Respons Spektrum

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_l (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 0 dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_l \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A.



Gambar 3. 1Parameter Gerak Tanah S_s , (MCE_r) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 0,2 detik (redaman kritis 5%)

(Sumber: SNI-03-1726-2019)



Gambar 3. 2Parameter Gerak Tanah S_1 , (MCE_r) Wilayah Indonesia Untuk Respons Spektrum 0,2 detik (redaman kritis 5%)

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_r di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode

pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

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

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (3.2)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan Gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_I = Parameter respons spektral percepatan Gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dengan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti yang mana dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3. 3 Koefisien Situs, F_a

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

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Catatan:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3. 4 Koefisien Situs, F_v

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

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Catatan:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik

3.3.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

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

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

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.4)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai dengan nilai S_{DI} tidak ditentukan.

3.3.4 Desain Respons Spektrum

Desain respons spektrum bila diperlukan dalam pengerjaan pada tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifikasi-situs tidak digunakan, maka desain respons spektrum harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 3.3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

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

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

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , respons spektrum percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. 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:

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

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

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

Keterangan:

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

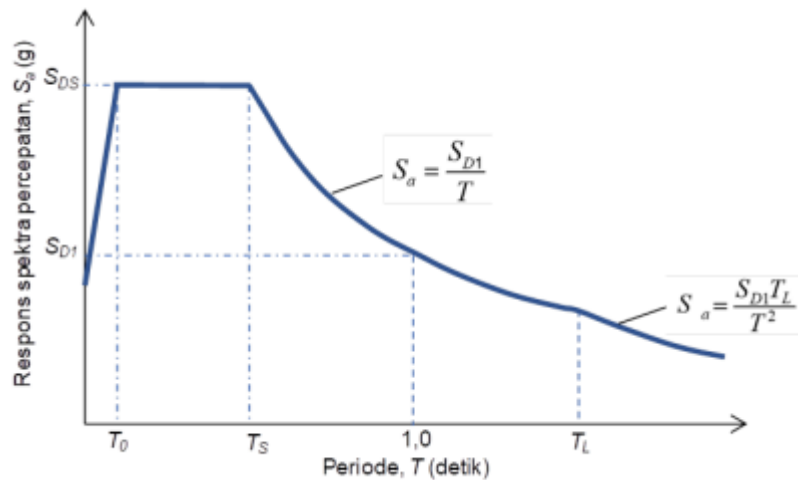
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = Periode getar fundamental struktur.

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

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

T_L = Peta transisi periode Panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Desain Respons Spektrum

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

3.3.5 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada 1 detik, S_1 lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainya. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai dengan Tabel 3.5, dimana berlaku ketentuan di bawah ini:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 0 kurang dari $0,8T_s$, dimana T_s ditentukan sesuai dengan 0;

2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s ;
3. Pada persamaan $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$ digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s ;
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 0 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Tabel 3. 5 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
$0,167 \leq S_{DS} \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

3.4 Pembebanan Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur bangunan, perlu adanya gambaran jelas mengenai perilaku dari bangunan yang didesain, tentunya haruslah mengetahui juga beban yang bekerja pada strukturnya. Pada penelitian ini beban-beban yang akan digunakan dalam perancangan adalah kombinasi dari 3 beban

yaitu beban mati (*Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), dan beban Gempa (*Earthquake Load*).

3.4.1 Beban Mati (Dead Load)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Jenis-jenis beban mati yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3. 7 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Beban	Satuan
Baja	7850	kg/m ³
Batu alam	2600	kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat bertumpuk)	1500	kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700	kg/m ³
Batu pecah	1450	kg/m ³
Besi tuang	7250	kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2200	kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2400	kg/m ³
Kayu (kelas 1) ⁽³⁾	1000	kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembap, tanpa diayak)	1650	kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	kg/m ³
Pasangan batu cetak	2200	kg/m ³
Pasangan batu karang	1450	kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembap)	1600	kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800	kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembap)	1850	kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembap)	1700	kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	kg/m ³
Timah hitam (timbangan)	1140	kg/m ³

(Sumber: *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*)

Tabel 3. 8 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Beban	Satuan
Adukan per cm tebal:		
- Dari semen	21	kg/m ³
- Dari kapur, semen merah atau tras	17	
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m ³
Dinding pasangan bata merah:		
- Satu batu	450	kg/m ³
- Setengah batu	250	

(Sumber: *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*)

Lanjutan Tabel 3. 9 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Beban	Satuan
Dinding pasangan batako:		
- Berlubang:		
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	kg/m ³
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	
- Tanpa lubang:		
• Tebal dinding 15 cm	300	
• Tebal dinding 10 cm	200	
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau paku), terpadu dari:		
- Semen asbes (<i>eternity</i> dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm.	11	kg/m ³
- Kaca, dengan tebal 3-4 mm.	10	
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m.	40	kg/m ³
Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	50	kg/m ³
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	40	kg/m ³
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	kg/m ³
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	21	kg/m ³
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m ³
Ducting AC dan penerangan	30,6	kg/m ³

(Sumber: *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*)

3.4.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, serta peralatan yang tidak termasuk dalam bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup bangunan tersebut. Beban hidup yang terjadi di atap dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat jatuhnya air hujan. Pada beban hidup tidaklah termasuk beban angin.

3.4.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menentukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu Analisa dinamik, maka yang diartikan dengan gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh Gerakan tanah akibat gempa.

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas merupakan struktur yang terletak di atas muka tanah. Struktur atas terdiri dari balok, kolom, dan *shear wall*. Sedangkan struktur bawah merupakan struktur yang terletak di bawah tanah yang merupakan bagian gedung yaitu *basement* atau fondasi.

Menurut SNI-031726-2019 komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban ter faktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan.

Kombinasi-kombinasi pembebanan untuk pembebanan dasar metode ultimit dapat dilihat sebagai berikut:

$$1. \quad 1,4D \quad (3.8)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6D + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (3.9)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.10)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (3.11)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (3.12)$$

Menurut SNI 1726:2019 apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan Bersama dengan kombinasi beban dasar diatas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin. Berikut adalah beban seismik yang harus digunakan:

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_h + L \quad (3.13)$$

$$7. \quad 0,9D + E_v + E_h \quad (3.14)$$

Kombinasi-kombinasi pembebanan untuk pembebanan dasar metode tegangan ijin dapat dilihat sebagai berikut:

$$1. \quad D \quad (3.15)$$

$$2. \quad D + L \quad (3.16)$$

$$3. \quad D + (L_r \text{ Atau } R) \quad (3.17)$$

$$4. \quad D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ Atau } R) \quad (3.18)$$

$$5. \quad D + 0,6W \quad (3.19)$$

$$6. \quad D + 0,75(0,6W) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ Atau } R) \quad (3.20)$$

$$7. \quad 0,6D + 0,6W \quad (3.21)$$

Kombinasi-kombinasi pembebanan untuk pembebanan seismik metode tegangan ijin dapat dilihat sebagai berikut:

$$8. \quad 1,0D + 0,7E_v + 0,7E_h \quad (3.22)$$

$$9. \quad 1,0D + 0,525E_v + 0,525E_h + 0,75L \quad (3.23)$$

$$10. \quad 0,6D - 0,7E_v + 0,7E_h \quad (3.24)$$

Penguraian kombinasi pembebanan di atas tidak semua akan dicantumkan dalam permodelan dikarenakan beban angin dan beban hujan tidak termasuk dalam tinjauan perhitungan. Beban yang bekerja pada struktur gedung atau standar dari beton yang berlaku telah diatur sedemikian rupa untuk memperoleh beban yang paling ekstrem. Dari kombinasi-kombinasi yang telah diuraikan di atas, menurut SNI-03-1726-2019 maka, kombinasi pembebanan yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

$$a. \quad U = 1,4D \quad (3.25)$$

$$b. \quad U = 1,2D + 1,6L \quad (3.26)$$

$$c. \quad U = 1,2D + 1,0L + 1,0E_h + 0,3E_v \quad (3.27)$$

$$d. \quad U = 1,2D + 1,0L + 1,0E_h - 0,3E_v \quad (3.28)$$

$$e. \quad U = 1,2D + 1,0L - 1,0E_h + 0,3E_v \quad (3.29)$$

$$f. \quad U = 1,2D + 1,0L - 1,0E_h - 0,3E_v \quad (3.30)$$

$$g. \quad U = 1,2D + 1,0L + 0,3E_h + 1,0E_v \quad (3.31)$$

$$h. \quad U = 1,2D + 1,0L + 0,3E_h - 1,0E_v \quad (3.32)$$

$$\text{i. } U = 1,2D + 1,0L - 0,3E_h + 1,0E_v \quad (3.33)$$

$$\text{j. } U = 1,2D + 1,0L - 0,3E_h - 1,0E_v \quad (3.34)$$

$$\text{k. } U = 1,0D + 0,5L \quad (3.35)$$

Dimana:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E_v = Beban Gempa Vertikal

E_h = Beban Gempa Horizontal

L_r = Beban hidup di atap

R = Beban air hujan

W = Beban angin

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

Analisis statik non-linier atau bisa disebut dengan *pushover analysis* merupakan salah satu sebuah sarana untuk memberikan solusi berdasarkan *performance based design* yang pada intinya bertujuan untuk mencari kapasitas struktur bangunan. Prosedur kerja dari *pushover analysis* ini dengan memberikan sebuah beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai keruntuhan. Hasil dari *pushover analysis* yang telah dilakukan dapat diketahui nilai-nilai dari gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu, sehingga nilai tersebut dapat digunakan untuk memetakan menjadi kurva kapasitas dari struktur. Selain dari mendapatkan nilai-nilai tersebut, *pushover analysis* juga dapat menunjukkan secara visual perilaku struktur saat dalam kondisi elastis, plastis dan hingga mencapai keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Pushover analysis menghasilkan kurva spektrum yang mana dapat menggambarkan hubungan antara gaya geser dengan perpindahan titik acuan pada atap. Proses analisis, struktur didorong sampai mengalami sendi plastis di satu atau lebih pada lokasi struktur tersebut.

Menurut Wiryanto (2006) pada Nugraha (2017), analisis *pushover* dapat digunakan alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu:

1. Hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah *statik monotonik*.
2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisis adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisis non-linier akan lebih rumit dibanding model analisis linier. Model tersebut harus memperhitungkan karakteristik *inelastic* beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting.

Analisis *pushover* dilakukan dalam 2 tahapan yaitu pembebanan gravitasi kemudian dilanjutkan dengan pembebanan lateral. Pembebanan gravitasi diberikan secara bertahap yang besarnya ditingkatkan hingga sampai pada beban yang didefinisikan. Setelah pembebanan gravitasi dilakukan kemudian dilanjutkan dengan memberikan beban lateral pada struktur yang besarnya meningkat secara bertahap hingga tercapai salah satu kondisi, yang mana kondisi tersebut adalah:

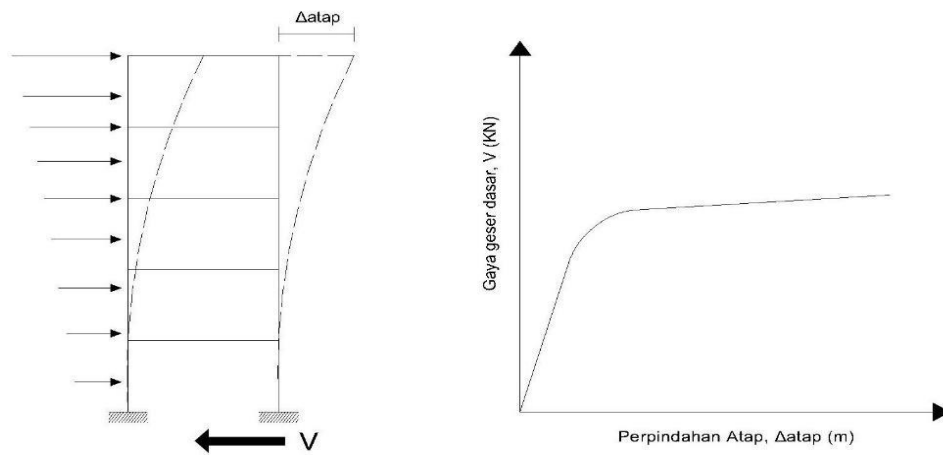
1. *Displacement* titik kontrol mencapai *displacement* target yaitu 2% dari total tinggi bangunan (SNI 1726:2019)
2. Bangunan tidak dapat mengalami *displacement* lebih lanjut akibat ketidakstabilan yang ditimbulkan sendi plastis.

3.6 Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

3.6.1 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

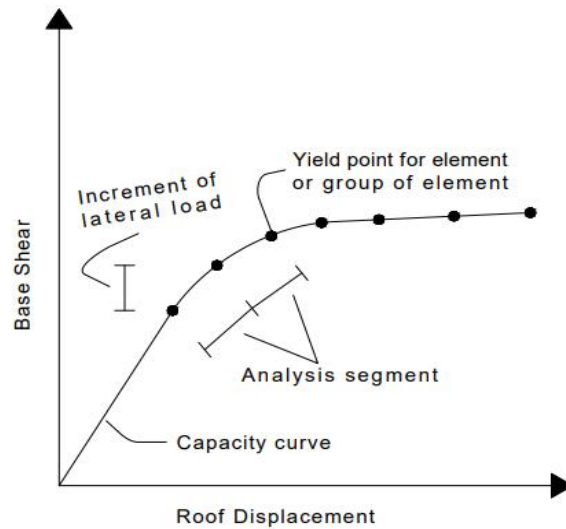
Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Cara termudah dalam membuat kurva ini adalah dengan cara mendorong struktur secara bertahap dengan mencatat hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan dengan pola pembebanan tertentu.

Menurut Nugraha (2017) kurva kapasitas terdiri dari tiga titik yakni titik awal, titik leleh dan titik ultimit. Pada analisis *Pushover*, titik leleh diartikan sebagai gaya geser yang dibutuhkan untuk mencapai kapasitas komponen pada struktur bangunan. Sedangkan titik ultimit diartikan sebagai gaya geser yang terjadi pada komponen struktur setelah terjadi titik ultimit lebih rendah daripada kapasitas pada titik leleh. Namun kapasitas gaya geser ultimit mewakili struktur yang lebih *flexible* yang memiliki *fundamental period* yang Panjang dan dapat terjadi pada beberapa posisi yang diinginkan respons spektrum. Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3. 4 kapasitas Gaya Geser (V) – Roof Displacement Δ_{roof}

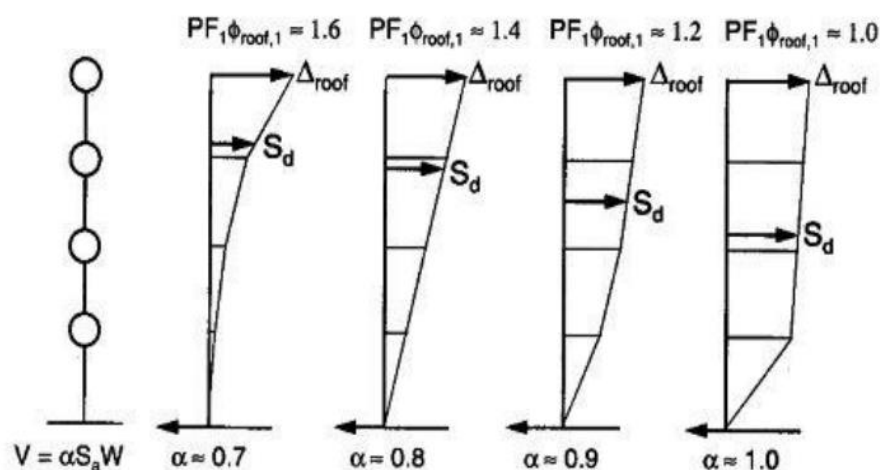
(Sumber: ATC-40, 1996)



Gambar 3. 5 Kurva kapasitas

(Sumber: ATC-40, 1996)

Konversi kurva kapasitas dalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS), untuk merubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS atau menjadi kapasitas spektrum maka terdahulu dipahami tentang hubungan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3. 6 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa

(Sumber: ATC-40, 1996)

Pada gambar di atas terlihat bahwa hubungan antara kurva partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk nilai simpangan antara lantai yang berbeda di setiap bangunan. Untuk melakukan perubahan atau konversi kurva kapasitas ke dalam format ADRS digunakan suatu persamaan berubah. Persamaan pengubah yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g} \right] \quad (3.35)$$

$$\alpha = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g]^2}{[\sum_{i=1}^N (w_i/g)][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g]} \quad (3.36)$$

$$S_a = \frac{V/w}{\alpha_1} \quad (3.37)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (3.38)$$

Keterangan:

PF_1 = faktor partisipasi modal pada mode lama

α_1 = modal koefisien massa pada mode lama

w_i/g = massa pada tingkat ke-i

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

V = gaya geser dasar

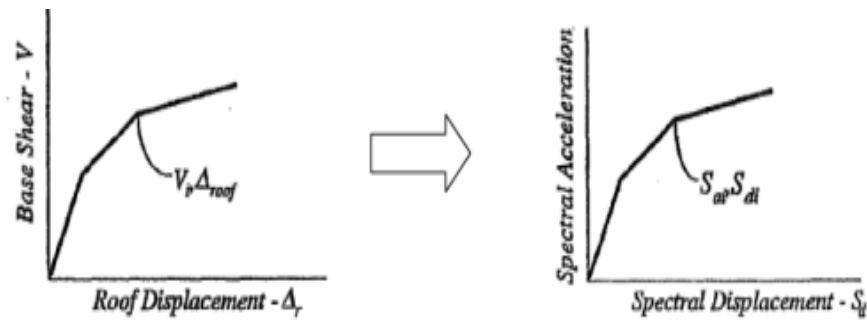
W = berat mati bangunan ditambah beban hidup

Δ_{roof} = *roof displacement*

S_a = *spectral acceleration*

S_d = *spectral displacement*

Pada proses merubah kurva kapasitas ke format ADRS perhitungan pertama yang dilakukan adalah mencari nilai faktor partisipasi modal (PF_1) dan modal koefisien massa (α_1) menggunakan persamaan 3.25 dan 3.26, kemudian setiap poin pada kurva kapasitas, V , Δ_{roof} , digunakan untuk dikonversikan ke poin *spectral acceleration* (S_a) dan *spectral displacement* (S_d) menggunakan persamaan 3.27 dan 3.28. berikut adalah modifikasi kurva kapasitas menjadi kurva kapasitas spektrum dengan format ADRS, dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini:



- a. *Capacity Curve* (Format standar) b. *Capacity Spectrum* (format ADRS)

Gambar 3. 7 Modifikasi Kurva Kapasitas Menjadi Kapasitas Spektrum dengan Format ADRS

(Sumber: ATC-40, 1996)

3.6.2 Spektrum Demand

Spektrum *demand* didapatkan dengan mengubah respons spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektral, kecepatan, S_a , dan spektral perpindahan S_d . Kurva kapasitas yang merupakan produk dari *pushover* dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m), sedangkan *demand spectrum* memiliki satuan percepatan (m/detik^2) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama.

Respons spektrum (*demand spectrum*) perlu diubah ke format ADRS agar dapat digunakan dengan kurva kapasitas, sehingga diperlukan persamaan untuk melakukan perubahan. Berikut adalah persamaan perubahan yang digunakan:

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a(g) \quad (3.39)$$

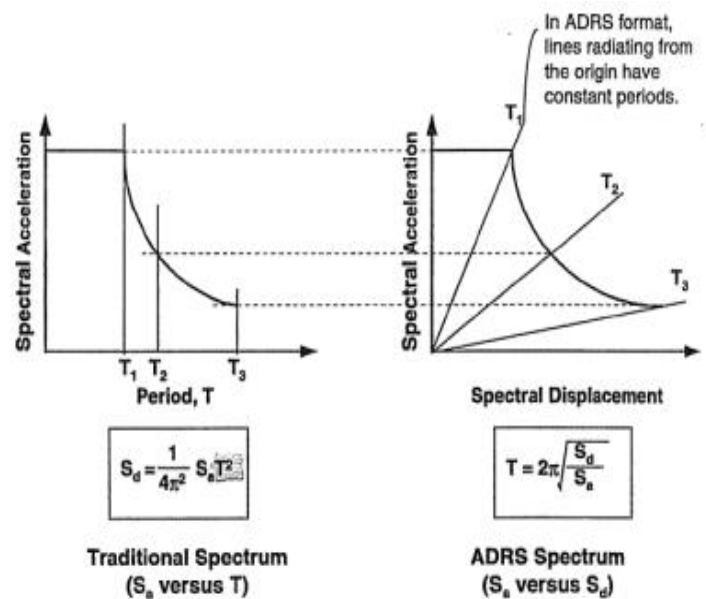
Atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (3.40)$$

Keterangan:

- S_a = spektra percepatan (m),
 S_d = spektra perpindahan (g),
 g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$),
 T = periode getar fundamental (dt).

Berikut adalah perubahan format dari respons spektrum ke format ADRS, yang dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini:



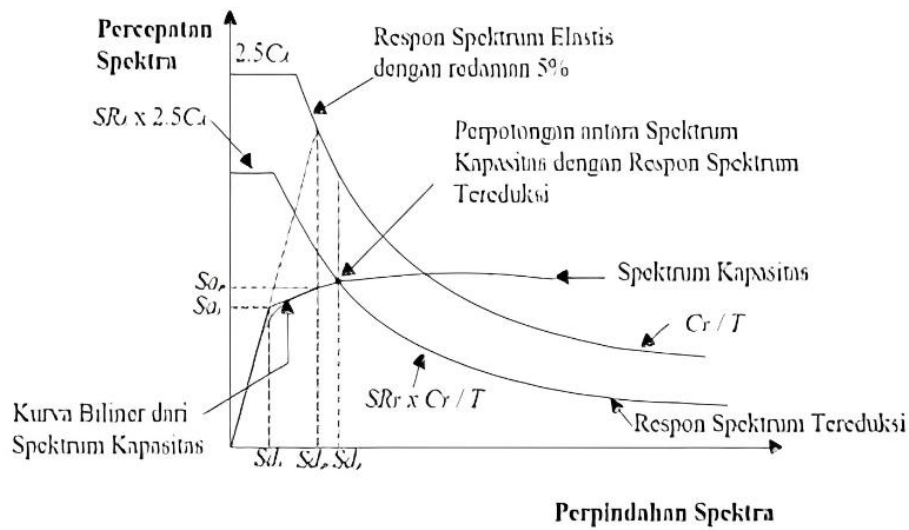
- a. *Response Spectrum* (Format standar) b. *Response Spectrum* (format ADRS)

Gambar 3. 8 Modifikasi Format Respons Percepatan ke Format ADRS

(Sumber: ATC-40, 1996)

3.6.3 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Menurut ATC-40 (1996) Titik kinerja (*performance point*) merupakan titik dimana kurva kapasitas berpotongan dengan kurva respons spektrum (*demand spectrum*). *Performance point* dapat mengetahui nilai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekuatan struktur setelah terjadi sendi plastis. Penentuan nilai titik kinerja (*performance point*) membutuhkan iterasi yang akan dilakukan secara otomatis menggunakan program ETABS. Penjelasan lebih lanjut mengenai *performance point* dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3. 9 Penentuan *Performance Point*

(Sumber: ATC-40, 1996)

Menurut Nugraha (2021) 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.

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

Batasan deformasi (*Drift*) telah diatur dalam metode ATC-40, yang mana metode tersebut digunakan untuk melakukan pengecekan terhadap *deformasi limit* berdasarkan tingkat kinerja pada metode ATC-40 (1996). *Deformasi limit* pada berbagai tingkat dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut ini:

Tabel 3. 10 Deformasi Limit

<i>Inter Story Drift limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift Ratio</i>	0,01	0,01 – 0,002	0,002	0,033 V_i/P_i
<i>Maximum Inelastic Drift Ratio</i>	0,005	0,005 – 0,0015	No Limit	No Limit

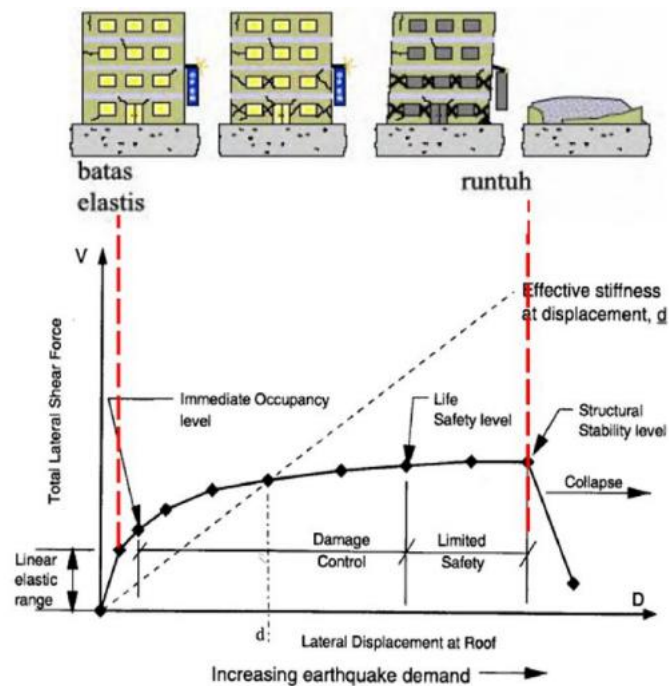
(Sumber: ATC-40, 1996)

Pada Tabel 3.9 di atas dijelaskan bahwasanya nilai yang akan didapatkan pada kondisi maksimum *Drift* atau pada kondisi maksimum *in-elastic drift* dapat menjadi acuan kondisi bangunan.

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.

3.8 Level Kinerja Struktur Metode ATC-40

Sesuai dengan metode ATC-40 bahwasanya ada beberapa tingkatan kinerja struktur. Tingkat kinerja yang disebutkan menggambarkan akan kondisi dimana batas-batas kerusakan yang diperbolehkan pada bangunan ketika terjadi gempa. Batas-batas kondisi bangunan yang dimaksud menggambarkan kerusakan fisik dari bangunan, ancaman keselamatan yang dapat terjadi pada penghuni bangunan, dan penanganan terhadap bangunan pada kondisi pasca terjadi gempa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini:



Gambar 3. 10 Ilustrasi Keruntuhan Gedung

(Sumber: ATC-40, 1996)

Pada gambar ilustrasi keruntuhan bangunan di atas, terlihat pada garis kurva terdapat simbol (\blacklozenge) yang merupakan titik-titik dari level kinerja struktur. Kinerja yang ditunjukkan pada titik-titik tersebut seperti titik dimana terjadi pelelehan pertama pada salah satu elemen struktur atau kerusakan tertentu yang terjadi pada struktur contohnya seperti pecah atau terkelupasnya selimut beton pada kolom, atau terjadinya geser pada sendel hingga kerusakan total pada sistem.

Penentuan *performance point* telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban yang terjadi di dalamnya. Level kinerja yang terjadi dapat dideskripsikan lagi sesuai dengan bagaimana kondisi bangunan setelah terjadi gempa. Lebih jelasnya dapat dilihat Tabel 3.11 berikut ini:

Tabel 3. 11 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan Pada Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<p style="text-align: center;">SP-1</p> <p style="text-align: center;"><i>Immediate Occupancy (IO)</i></p>	<p>Bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan</p>	<p>Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan ekonomi nasional. Contohnya rumah sakit, gedung bahan bakar atau bahan berbahaya.</p>
<p style="text-align: center;">SP-2</p> <p style="text-align: center;"><i>Damage Control (DC)</i></p>	<p>Merupakan transisi antara SP-1 dan SP-3. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, risiko korban jiwa manusia sangat sedikit.</p>	<p>Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.</p>
<p style="text-align: center;">SP-3</p> <p style="text-align: center;"><i>Life Safety (LS)</i></p>	<p>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 struktur maupun non-struktural.</p>	<p>Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gedung dan lain sebagainya.</p>

Lanjutan Tabel 3.10 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<p>SP-4</p> <p><i>Limited Safety</i></p>	<p>Merupakan transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkat serta tidak memperhitungkan aspek ekonomi dalam melakukan perbaikan pasca gempa.</p>	-
<p>SP-5</p> <p><i>Structural Stability (SS)</i></p>	<p>Struktur pasca gempa mengalami kerusakan sehingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keruntuhan.</p>	-
<p>SP-6</p> <p><i>Not Considered</i></p>	<p>Bukan merupakan tingkat kinerja struktur, tetapi karya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktur atau <i>retrofit</i>.</p>	-

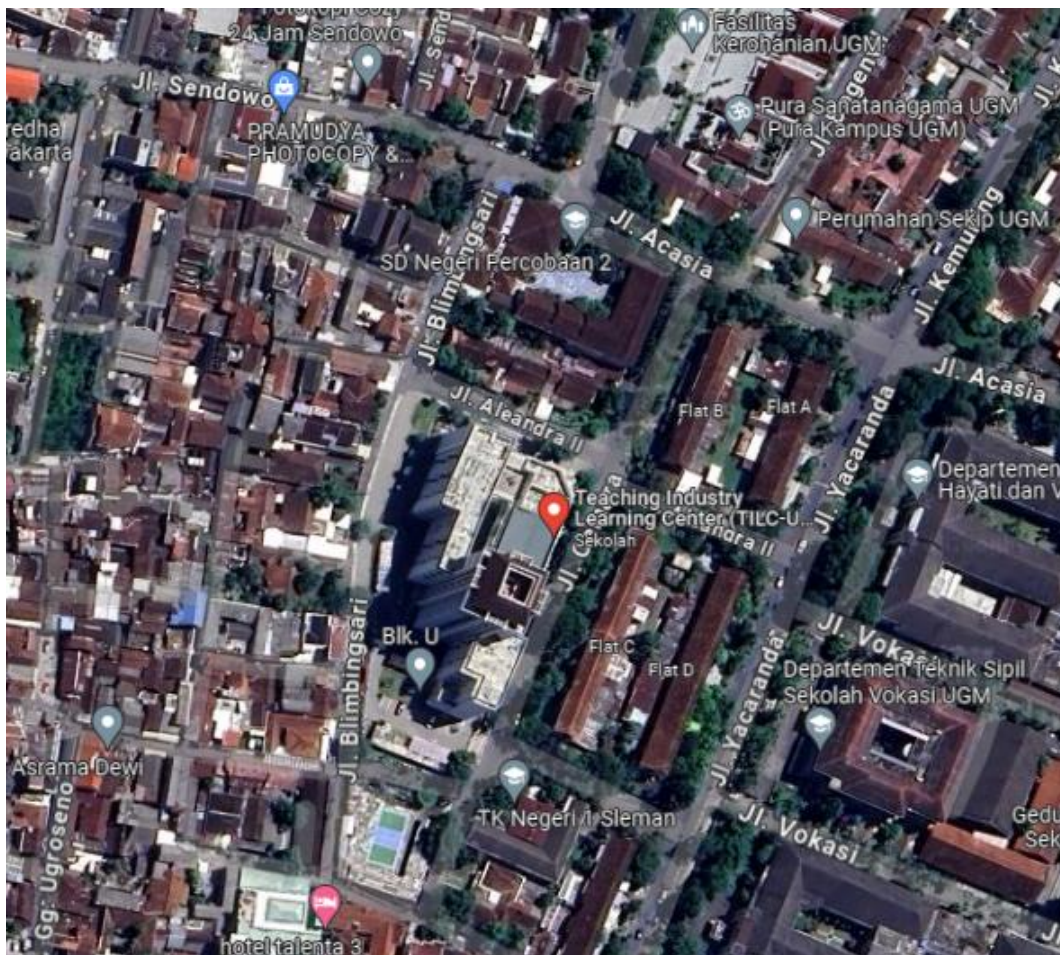
(Sumber: ATC-40, 1996)

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

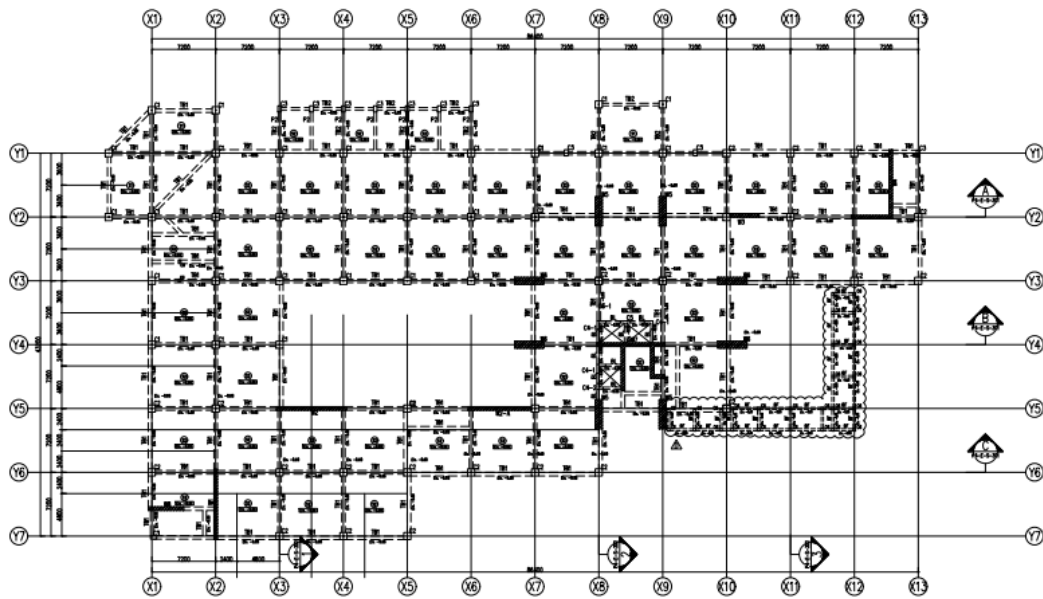
4.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini, objek yang akan dianalisis adalah gedung TILC (*Teaching Industry Learning Center*) yang berlokasi di Jl. Pancasila, Catur Tunggal, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung TILC tersebut memiliki jumlah lantai sebanyak 9 tingkat. Denah dan lokasi gedung dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan Gambar 4.3 berikut ini:

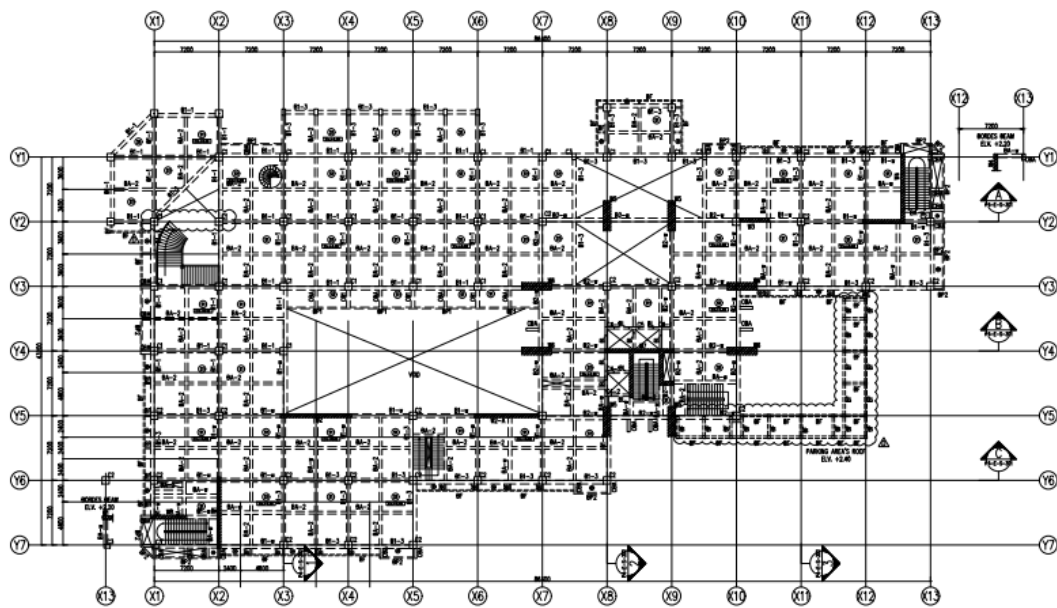


**Gambar 4. 1 Lokasi TILC (*Teaching Industry Learning Center*)
(koordinat: -7.82121, 110.37706)**

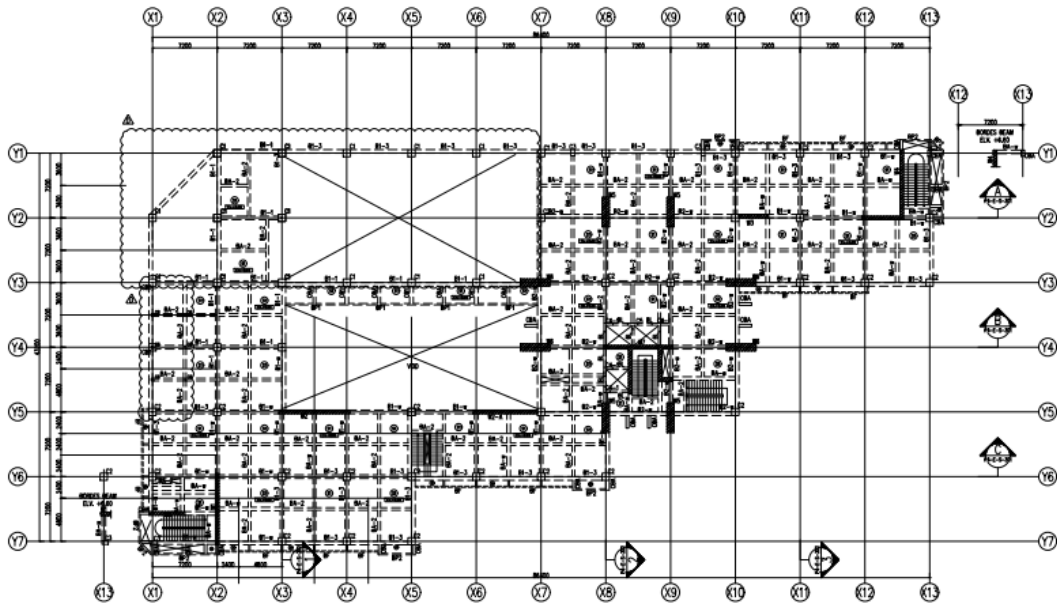
(Sumber: Google map)



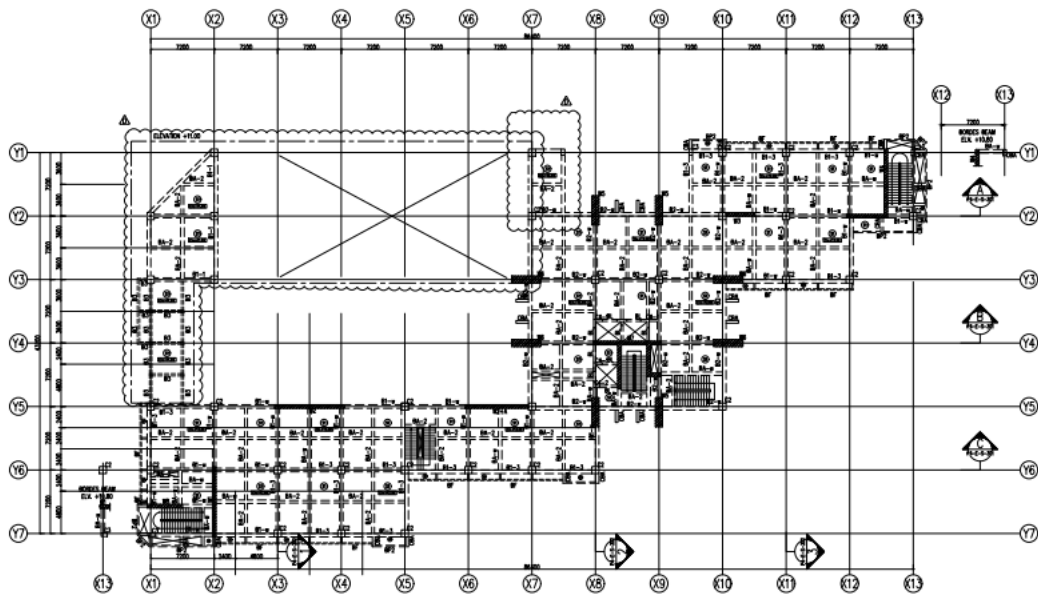
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1
(Sumber: *Data Shop Drawing*)



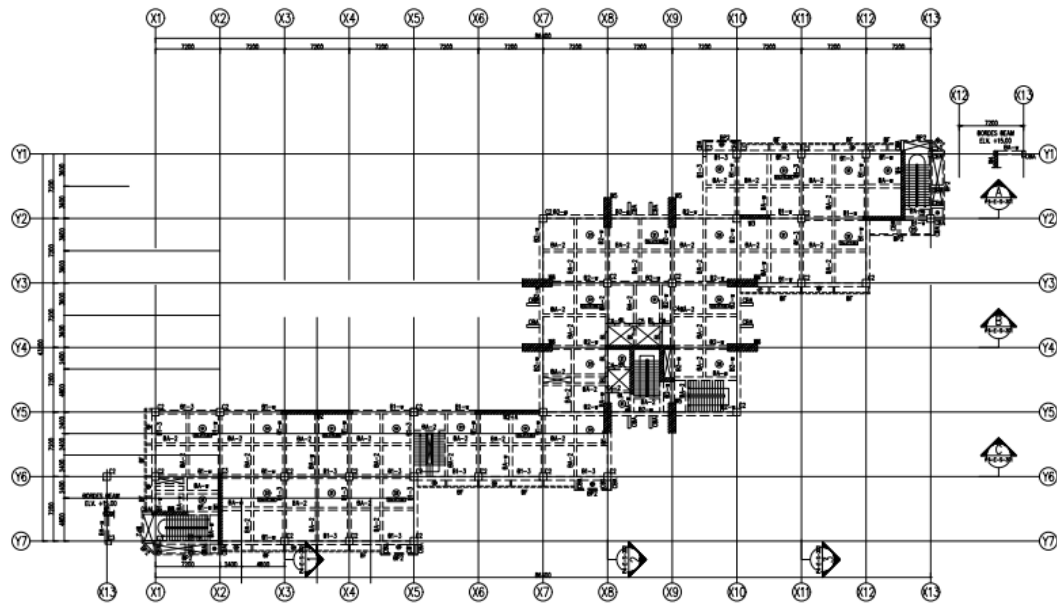
Gambar 4. 3 Denah Lantai 2
(Sumber: *Data Shop Drawing*)



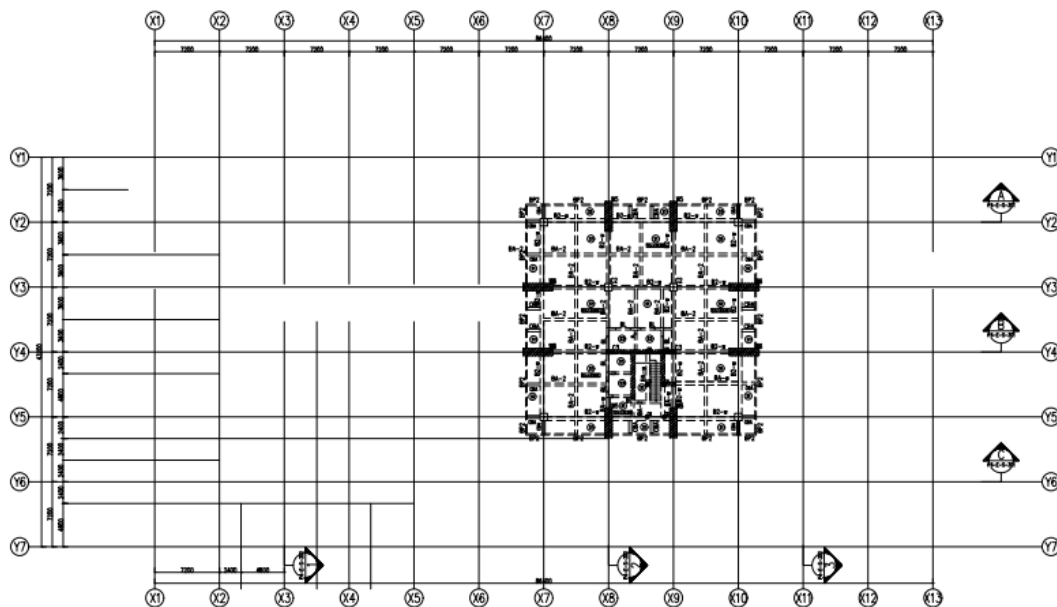
Gambar 4. 4 Denah Lantai 3
(Sumber: *Data Shop Drawing*)



Gambar 4. 5 Denah Lantai 4
(Sumber: *Data Shop Drawing*)



Gambar 4. 6 Denah Lantai 5 dan 6
(Sumber: *Data Shop Drawing*)



Gambar 4. 7 Denah Lantai 7 Sampai 9
(Sumber: *Data Shop Drawing*)

4.2 Data Bangunan

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data dari *shop drawing*. Data bangunan yang tertera pada *shop drawing* adalah sebagai berikut:

1. Mutu Beton

a. Mutu

- Kolom = 30 MPa
- Balok = 30 MPa
- Slab = 30 MPa
- Pile Cap = 30 MPa
- Shearwall = 30 MPa
- Beam – Column Join = 30 MPa
- Maximum agregat size = 15 mm

b. Selimut beton

- Kolom dan balok = 40 mm
- Plat dan dinding = 20 mm (tidak terkena cuaca)
- Plat dan dinding = 30 mm (terkena cuaca)

2. Mutu Baja

- a. Tulangan Polos BJTP 24 (kode \emptyset), $F_y = 240$ MPa
- b. Tulangan Ulir BJTD 420, $F_y = 420$ MPa, $F_u = 560$ MPa
- c. Baja Profil BJ 37, $F_y = 240$ MPa, $F_u = 370$ MPa

3. Dimensi Elemen struktur

a. Kolom

Dimensi setiap kolom sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4. 1 Dimensi Struktur Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	C1	800 x 800
2	C2	800 x 800
3	C3	400 x 700
4	C4-1	(1000 x 250) + (750 x 250)
5	C4-2	(700 x 250) + (450 x 250)
6	C5	(1150 x 250) + (450 x 250)
7	C6	300 x 300

b. Balok

Dimensi setiap balok sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4. 2 Dimensi Struktur Balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1-1	700 x 400
2	B1-w	700 x 400
3	B1-3	700 x 400
4	B2-w	800 x 400
5	BA-w	500 x 400
6	BA-2	500 x 300
7	BP1	700 x 150
8	BP2	500 x 150
9	BL	700 x 250
10	TB1	800 x 400
11	TB2	500 x 300
12	CB1	700 x 400
13	CB2	500 x 300
14	BF	300 x 150

(Sumber: Data *Shop Drawing*)

c. Plat

Tebal dari setiap plat sesuai dengan tipenya dapat dilihat 4.3 berikut ini:

Tabel 4. 3 Dimensi Struktur Pelat Lantai

No	Tipe plat Lantai	Tebal (mm)
1	S1	130
2	S2	100
3	S3	150

(Sumber: Data *Shop Drawing*)

4.3 Software Yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan sebuah *software* untuk membantu dalam proses pelaksanaan penelitian yang tujuannya mempermudah menyelesaikan tinjauan masalah dari penelitian ini. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. ETABS, *software* ini digunakan sebagai alat pemodelan struktur bangunan dan sebagai alat untuk menganalisis dari struktur bangunan yang di tinjau.
2. Microsoft Excel 2021, *software* ini digunakan sebagai alat menghitung dan menganalisis data dari hasil *output software* ETABS.
3. Autocad 2019, *software* ini digunakan untuk menggambar denah, potongan, dan detail dari bangunan.

4.4 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan selama proses pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada tahapan studi literatur ini dilakukan dengan cara mencari informasi terkait penelitian dari berbagai sumber. Sumber-sumber iterasi yang digunakan pada penelitian ini diambil dari jurnal penelitian, buku-buku yang berkaitan dengan analisis *pushover*. Buku peraturan yang digunakan dalam pembuatan penelitian Tugas Akhir ini adalah SNI-03-1726-2019 untuk perencanaan bangunan tahan gempa, SNI-2727-2020 untuk pembebanan yang digunakan, dan SNI-2847-2019 untuk persyaratan beton struktural bangunan bertingkat.

2. Pengumpulan data

Pada tahap pengumpulan data ini dilakukan untuk mencari model struktur bangunan yang akan menjadi objek penelitian Tugas Akhir ini. Objek penelitian yang didapatkan berupa gedung TILC yang berlokasi di Jl. Pancasila, Catur Tunggal, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Data gedung yang didapat akan digunakan untuk pemodelan bangunan dalam bentuk 3D yang selanjutnya akan dianalisis menggunakan bantuan *software* ETABS

3. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D pada bangunan dilakukan menggunakan bantuan *software* ETABS. Pemodelan yang akan dibuat merupakan pemodelan dengan portal *open frame*, dimana hanya struktur bangunan yang dimodelkan dalam pemodelan 3D. Struktur yang dimodelkan 3D berupa struktur kolom dan balok, pelat lantai, *shear wall*, dan juga rangka atap yang mana dimodelkan secara terpisah.

4. Perhitungan pembebanan

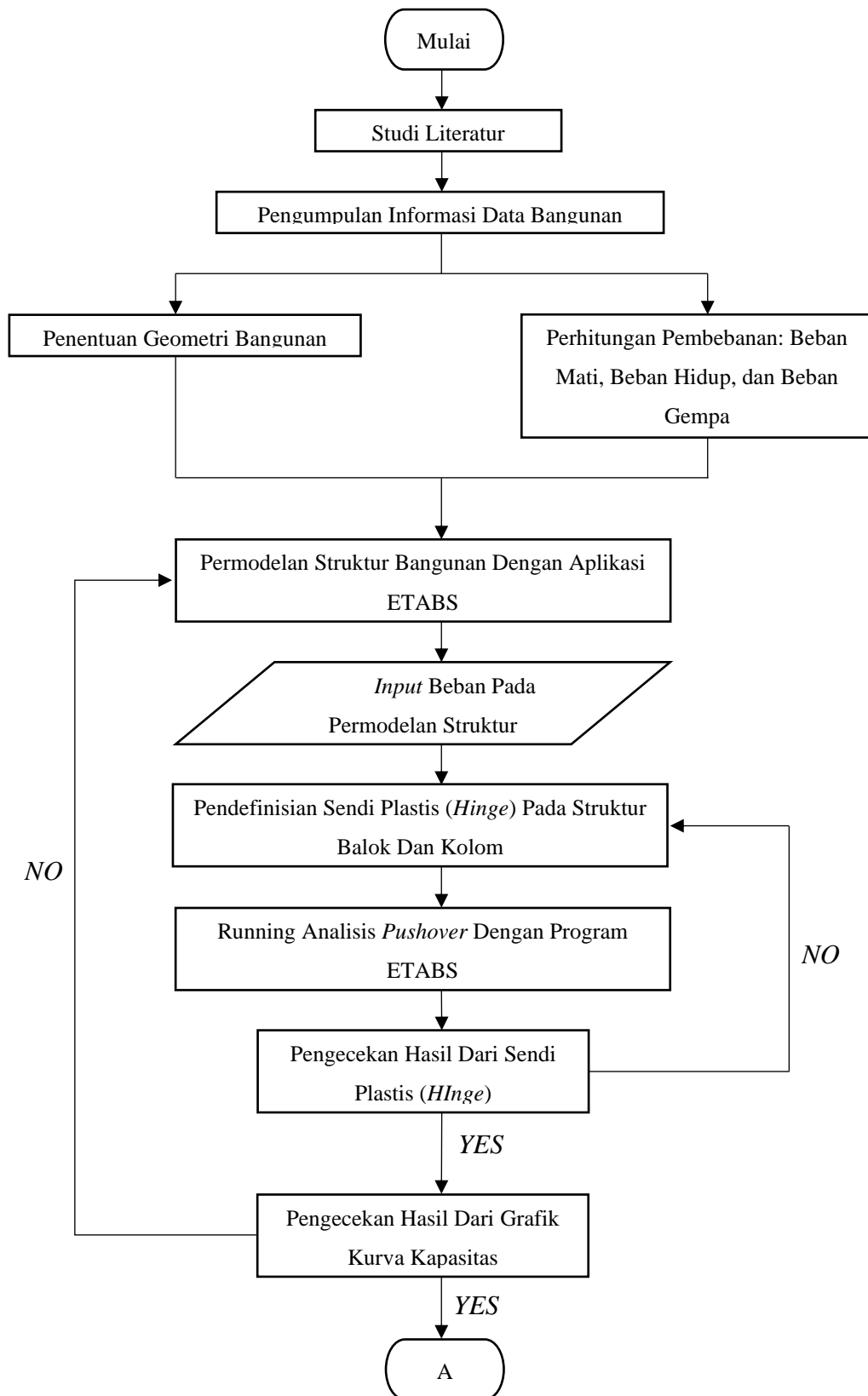
Perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan dari hasil pemodelan dibantu dengan *software* ETABS. Beban-beban yang diperhitungkan berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang telah di *input* ke dalam *software* ETABS secara satu persatu.

5. Analisis Statik Pushover

Pada tahapan analisis *static pushover* ini dilakukan dengan Langkah-langkah pengerjaan yang berpedoman sesuai ATC-40 *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*. Pada tahap analisis ini dibantu dengan menggunakan *software* ETABS. Hasil yang didapatkan saat melakukan analisis *static pushover* yaitu nilai *drift*, *displacement*, dan kurva kapasitas yang nantinya digunakan untuk menentukan *performance point* dan level kinerja dari bangunan yang akan ditinjau.

6. Membuat kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan

Tahapan penelitian yang telah dijelaskan di atas dapat dilihat pada diagram alir yang ada di Gambar 4.8 berikut ini:



Gambar 4. 8 Bagan Alir Tahapan Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 8 Bagan Alir Tahapan Penelitian

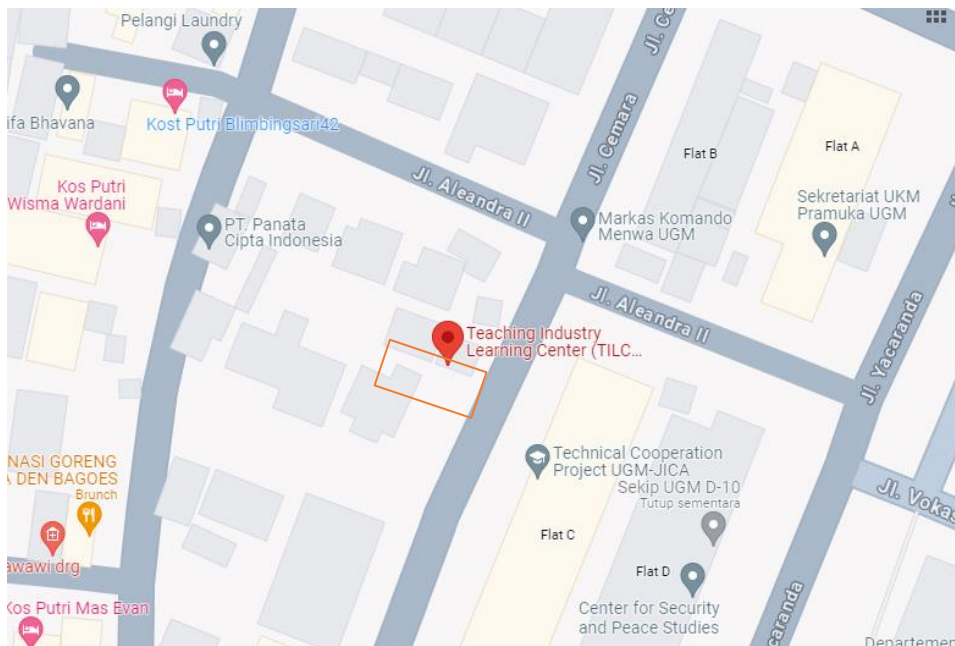
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

5.1.1 Lokasi Objek Penelitian

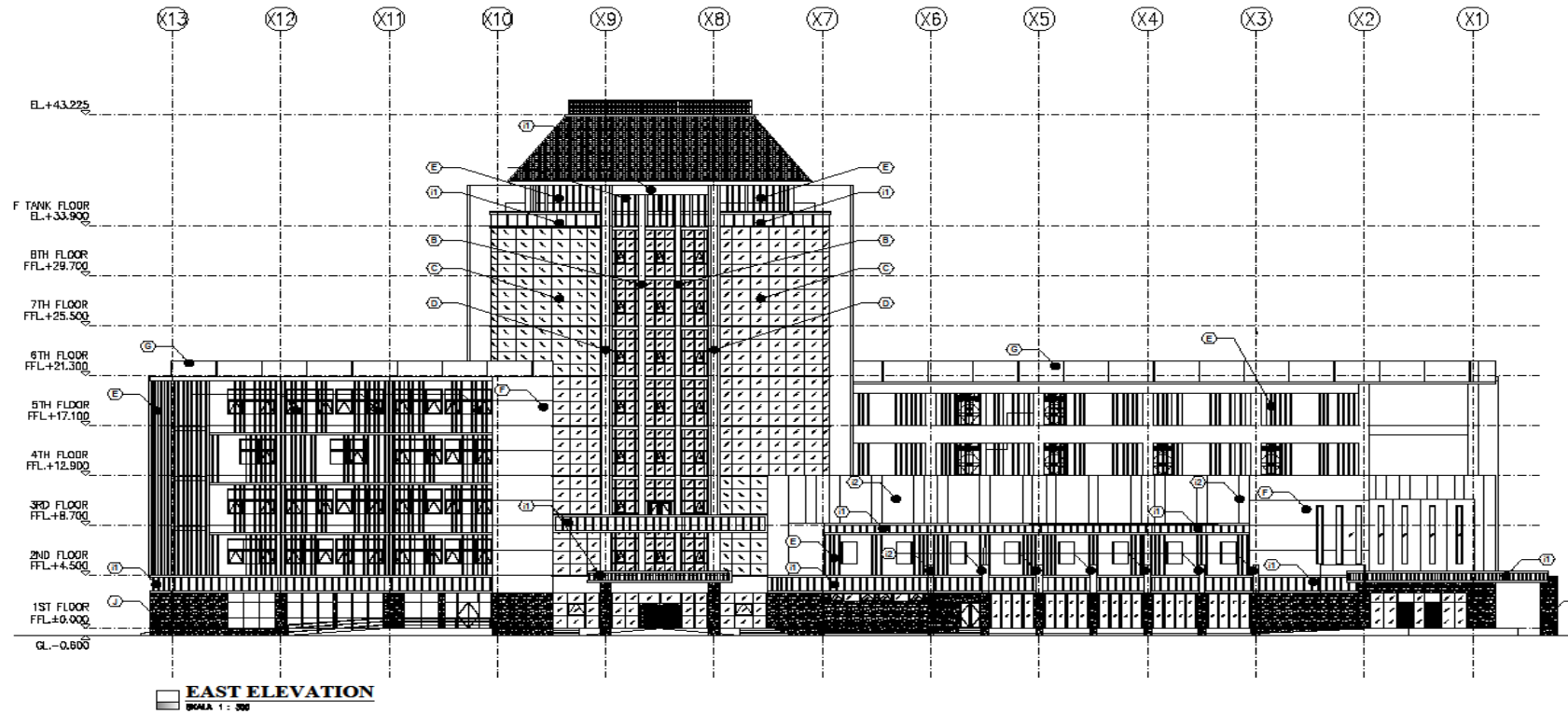
Pada penelitian ini, objek yang dianalisis adalah gedung TILC yang berlokasi di Jl. Pancasila, Catur Tunggal, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung TILC tersebut memiliki jumlah lantai sebanyak 9 tingkat. Lokasi gedung dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5. 1 Lokasi TILC (*Teaching Industry Learning Center*)
(koordinat: -7.82121, 110.37706)
(Sumber: *google map*)

5.1.2 Detail Gambar Denah Struktural Bangunan

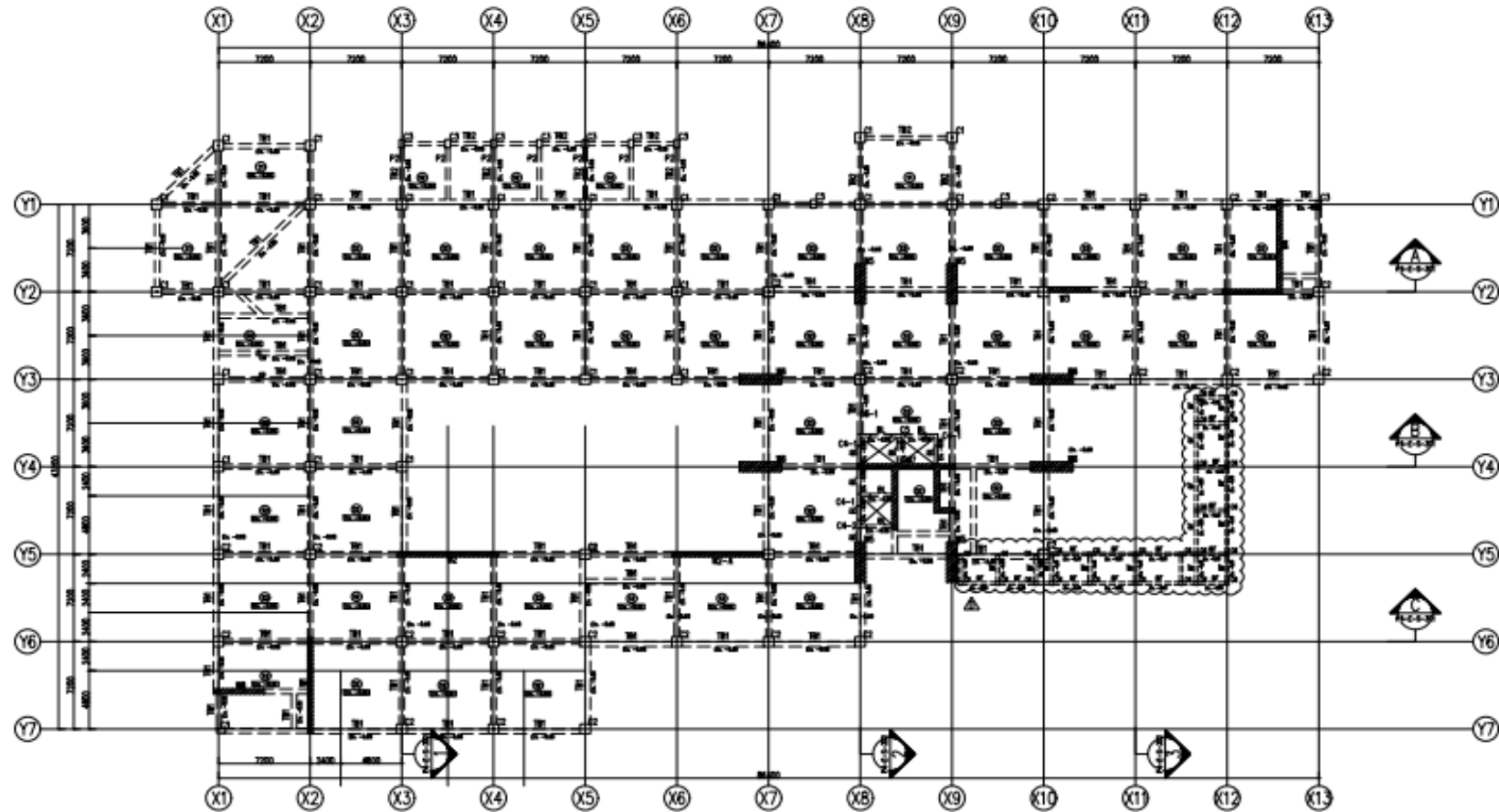
Penelitian yang dilakukan mengambil sebuah objek penelitian berupa Gedung TILC. Bangunan yang menjadi objek penelitian ini memiliki jumlah keseluruhan 9 lantai. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 5. 2 Gambar Tampak Depan Bangunan TILC
(Sumber: *Data Shop Drawing*)

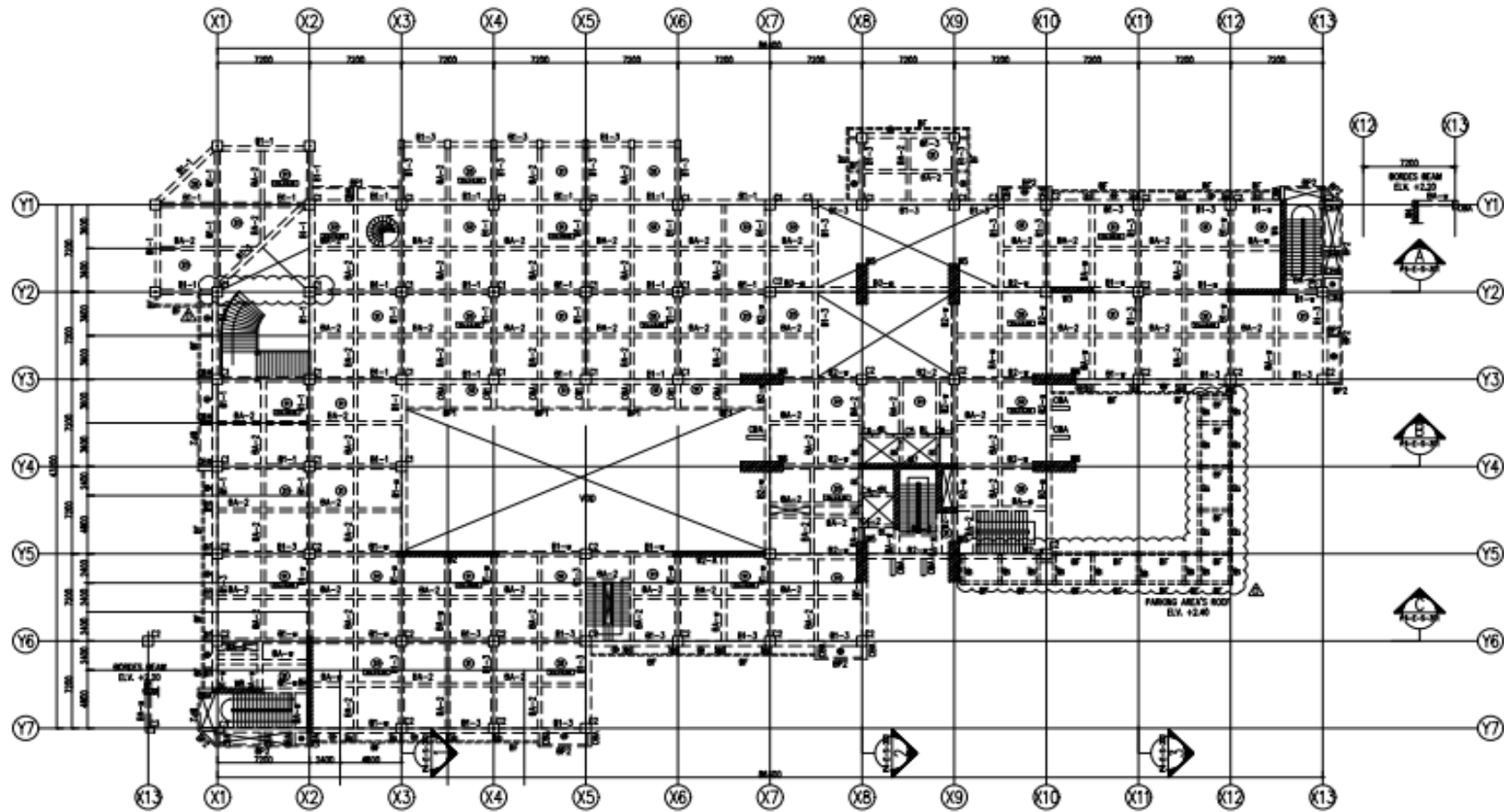


Gambar 5. 3 Gambar Tampak Samping Bangunan TILC
(Sumber: *Data Shop Drawing*)



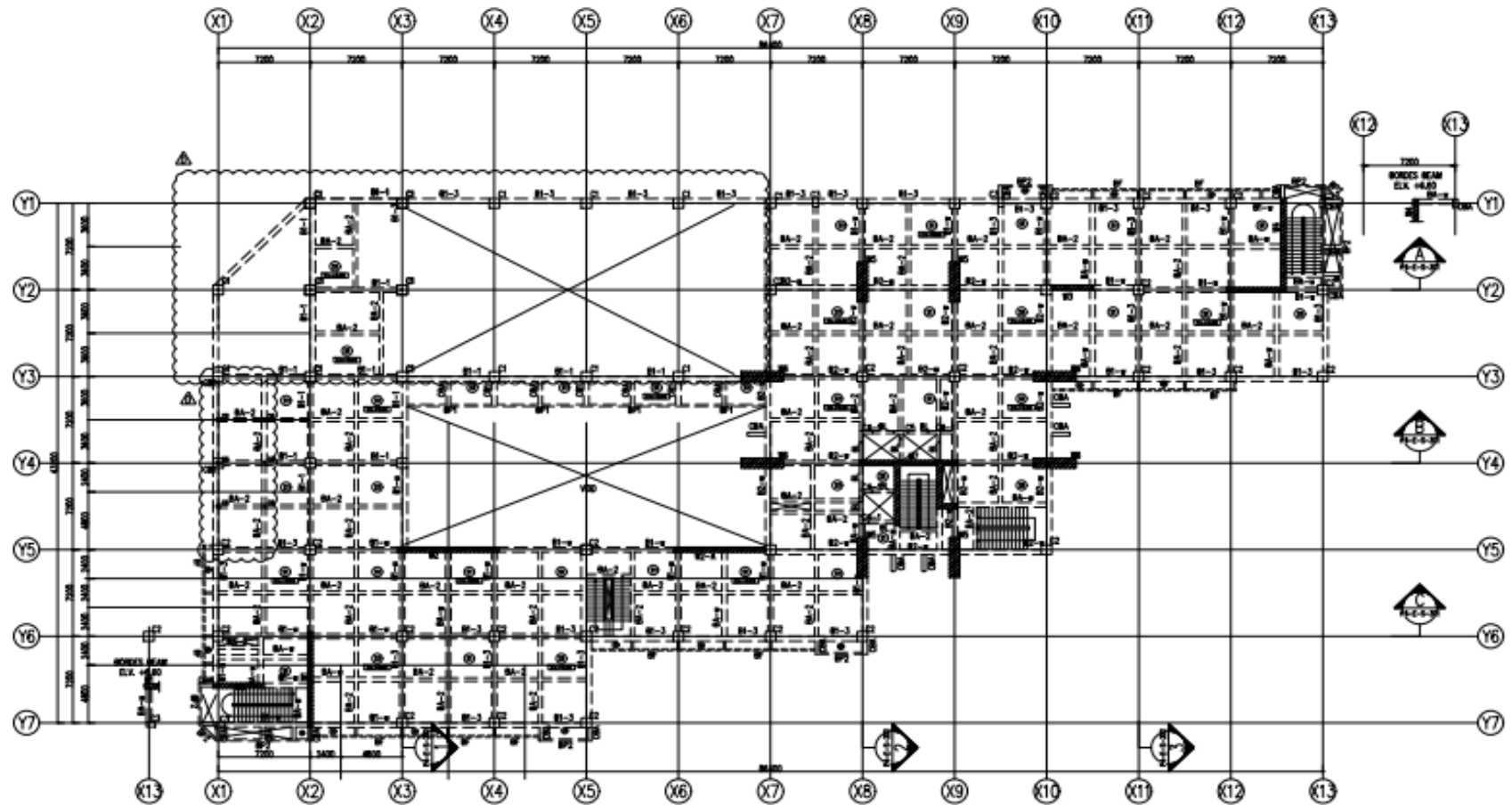
Gambar 5. 4 Denah Lantai 1

(Sumber: *Data Shop Drawing*)



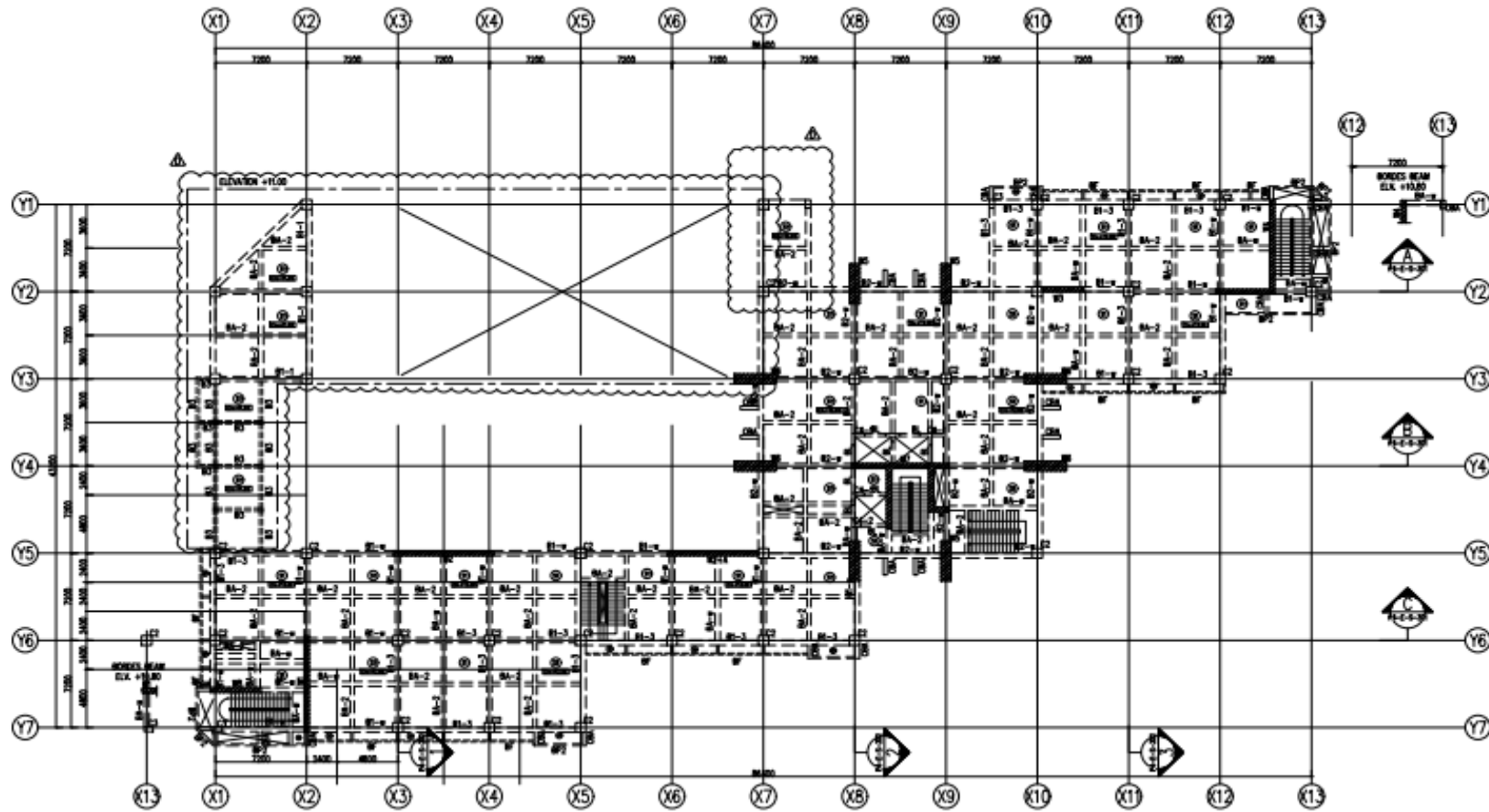
Gambar 5. 5 Denah Lantai 2

(Sumber: *Data Shop Drawing*)



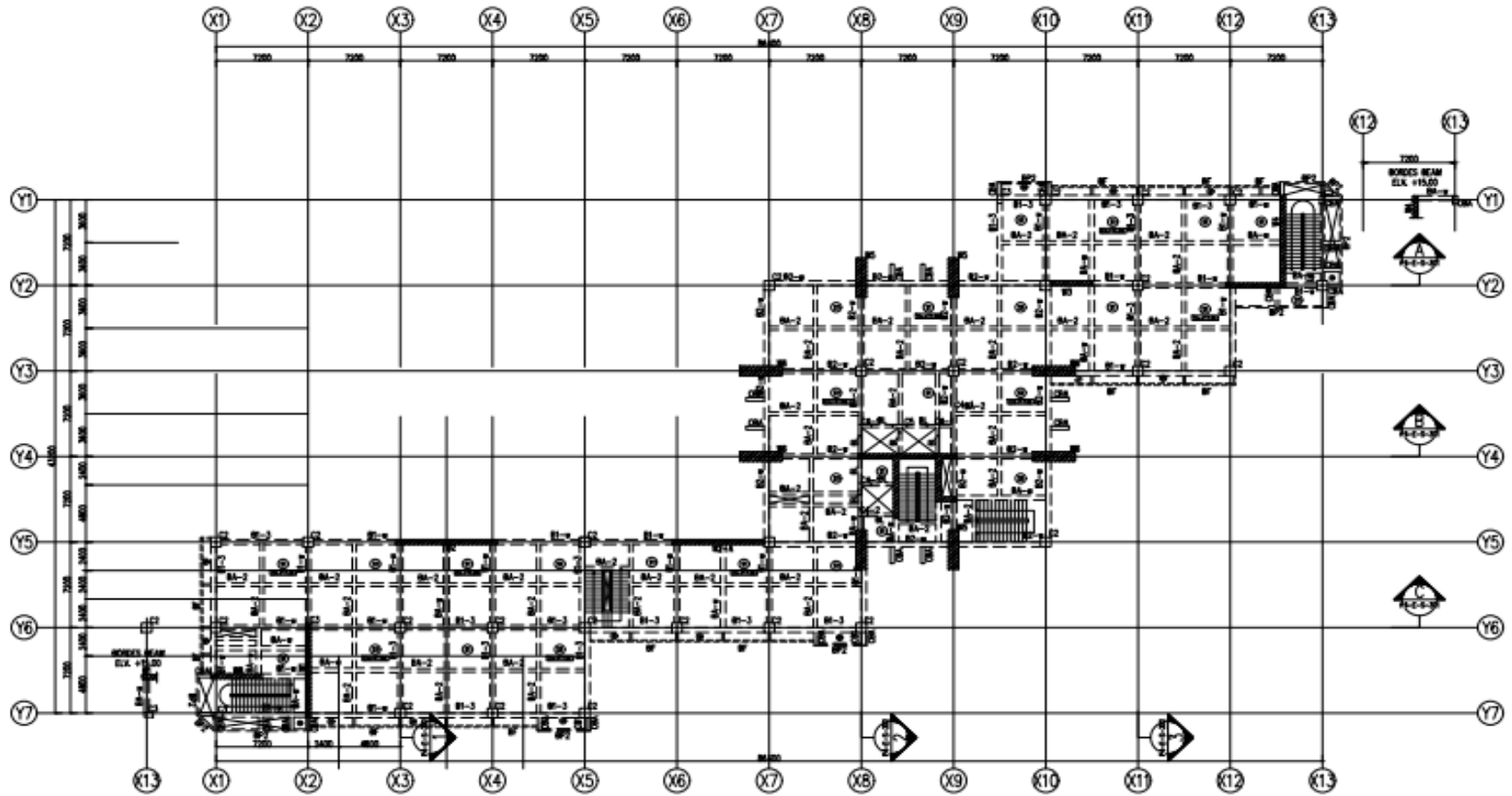
Gambar 5. 6 Denah Lantai 3

(Sumber: *Data Shop Drawing*)



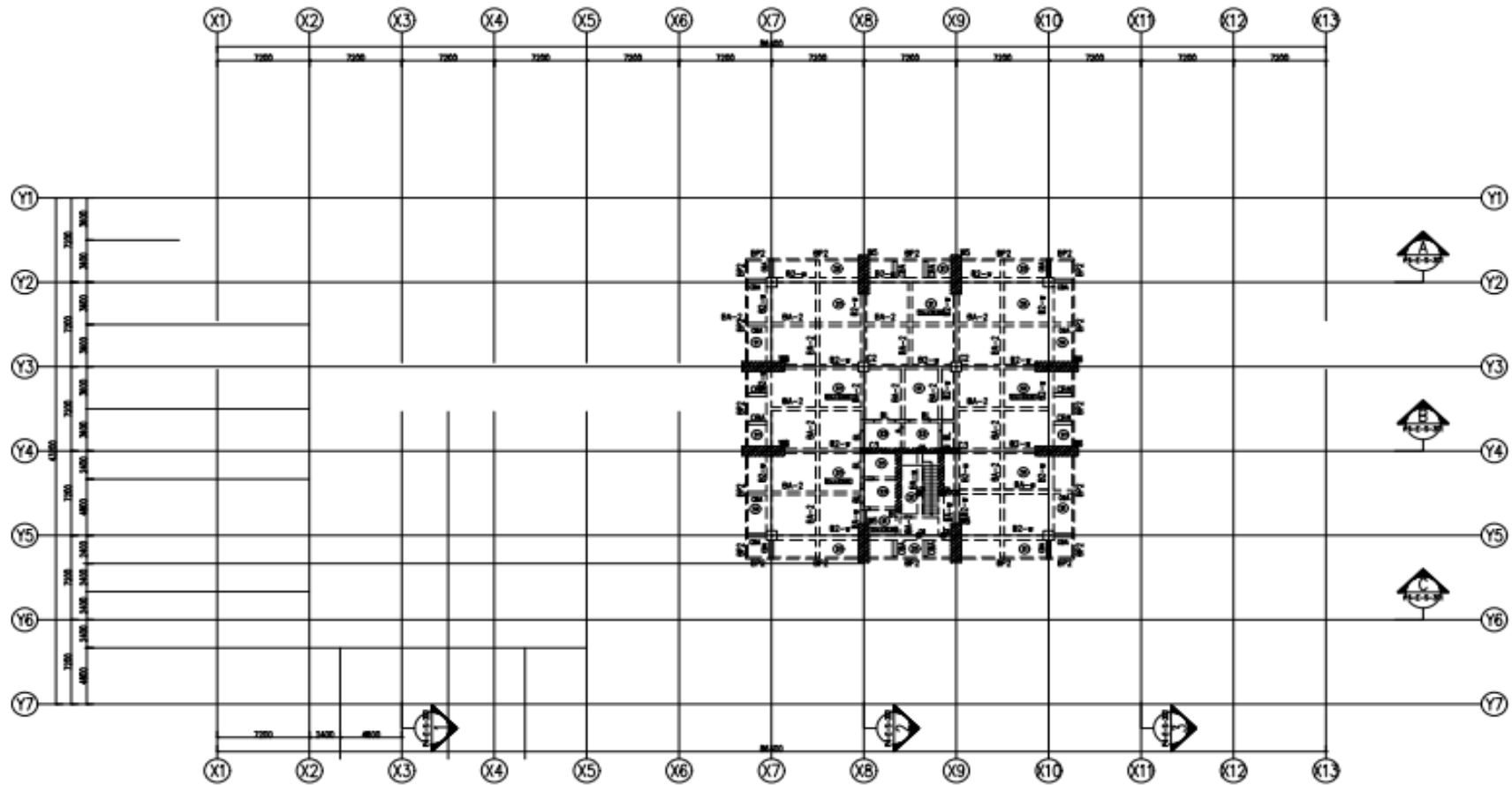
Gambar 5. 7 Denah Lantai 4

(Sumber: Data Shop Drawing)



Gambar 5. 8 Denah Lantai 5 dan 6

(Sumber: *Data Shop Drawing*)



Gambar 5. 9 Denah Lantai 7 Sampai 9

(Sumber: *Data Shop Drawing*)

5.1.3 Detail Struktur Bangunan

Penelitian ini mengambil data struktur bangunan melalui *Shop Drawing* yang telah ada. Detail dari struktur bangunan yaitu detail balok, detail kolom, detail pelat lantai dan detail dinding geser. Untuk dapat mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 5. 1 Detail Struktur Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	C1	800 x 800
2	C2	800 x 800
3	C3	400 x 700
4	C4-1	(1000 x 250) + (750 x 250)
5	C4-2	(700 x 250) + (450 x 250)
6	C5	(1150 x 250) + (450 x 250)
7	C6	300 x 300

Tabel 5. 2 Detail Struktur Balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1-1	700 x 400
2	B1-w	700 x 400
3	B1-3	700 x 400
4	B2-w	800 x 400
5	BA-w	500 x 400
6	BA-2	500 x 300
7	BP1	700 x 150
8	BP2	500 x 150
9	BL	700 x 250
10	TB1	800 x 400
11	TB2	500 x 300
12	CB1	700 x 400
13	CB2	500 x 300
14	BF	300 x 150

Tabel 5. 3 Detail Struktur Pelat Lantai

No	Tipe plat Lantai	Tebal (mm)
1	S1	130
2	S2	100
3	S3	150

5.2 Desain Respons Spektrum

Pada proses perencanaan respons gempa rencana terlebih dahulu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang telah ditunjukkan di SNI-03-1726-2019, adapun peraturan terkait lainnya seperti ATC-40 yang menjadi pedoman dari perencanaan bangunan yang diteliti menggunakan metode *Pushover Analysis*.

5.2.1 Menentukan kategori tipe bangunan (*Occupancy Category*)

Bangunan yang digunakan terlebih dahulu harus ditentukan kategori tipe bangunan tersebut. Maksud dari kategori tipe bangunan ini yaitu masuk dalam manfaat penggunaan yang didirikan, misalnya bangunan dengan pemanfaatan rumah sakit atau bangunan dengan pemanfaatan rumah tinggal.

Menentukan kategori dari tipe pemanfaatan bangunan dapat dilihat pada SNI 1726-2019 Tabel 3-Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa. Berdasarkan peraturan tersebut bangunan yang kami teliti masuk pada kategori risiko II dengan jenis pemanfaatan gedung apartemen / rumah susun. Tabel 3-Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa dapat dilihat pada penjabaran di BAB III: 3.3 Penjabaran Struktur Bangunan Tahan Gempa.

5.2.2 Faktor Keutamaan (*Importance Factor*)

Setelah melakukan penentuan kategori dari risiko bangunan gempa atau jenis bangunan yang digunakan maka dengan kategori risiko tersebut penulis menentukan nilai dari faktor keutamaan bangunan yang telah diteliti. Nilai faktor keutamaan dapat dilihat pada SNI-03-1726-2019: Tabel 5.4 Faktor keutamaan Gempa.

Tabel 5. 4 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Dari Tabel di atas dapat di tentukan bahwasanya bangunan yang diteliti memiliki faktor keutamaan gempa, I_e sebesar 1,0 dengan kategori risiko II.

5.2.3 Klasifikasi situs

Klasifikasi situs ini telah di atur dalam SNI-1726 sebagaimana telah dijelaskan didalam-Nya penetapan kelas klasifikasi situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dengan minimal pengukuran secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\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 nilair, $\bar{S}_u < 25 \%$		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti peraturan SNI-03-1726-pasal 6.10.1.1)	Setiap profil tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuefaksi, 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 plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Catatan:

N/A = tidak dapat dipakai

Berdasarkan penyebaran kepadatan tanah di Yogyakarta, jenis tanah pada tempat berdirinya bangunan yang kami teliti adalah jenis kepadatan tanah sedang.

Klasifikasi yang diberikan pada kondisi bangunan 9 lantai dengan tanah sedang termasuk kelas situs SD (tanah sedang).

5.2.4 Kategori desain seismik

Penentuan kategori desain seismik ini dilakukan dengan mengacu pada peta gempa Indonesia. Dalam peta gempa Indonesia penentuan kategori desain Seismik ini dilakukan berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}) dan berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (S_{DI}). SNI-1726 mengatur penentuan kategori desain seismik ini pada Tabel 8 dan juga pada Tabel 9. Tabel-tabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 6 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	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

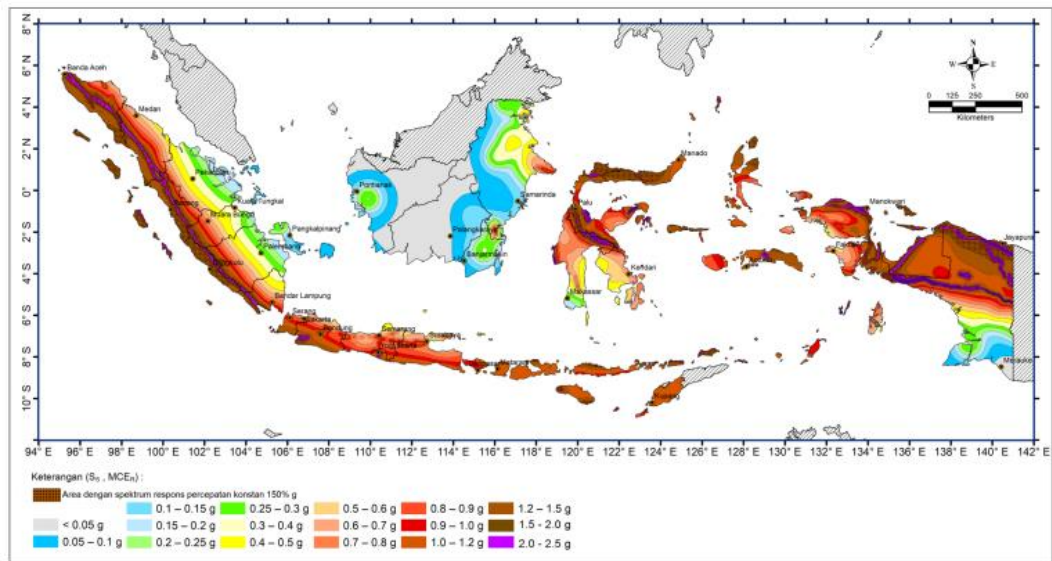
(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Tabel 5. 7 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
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

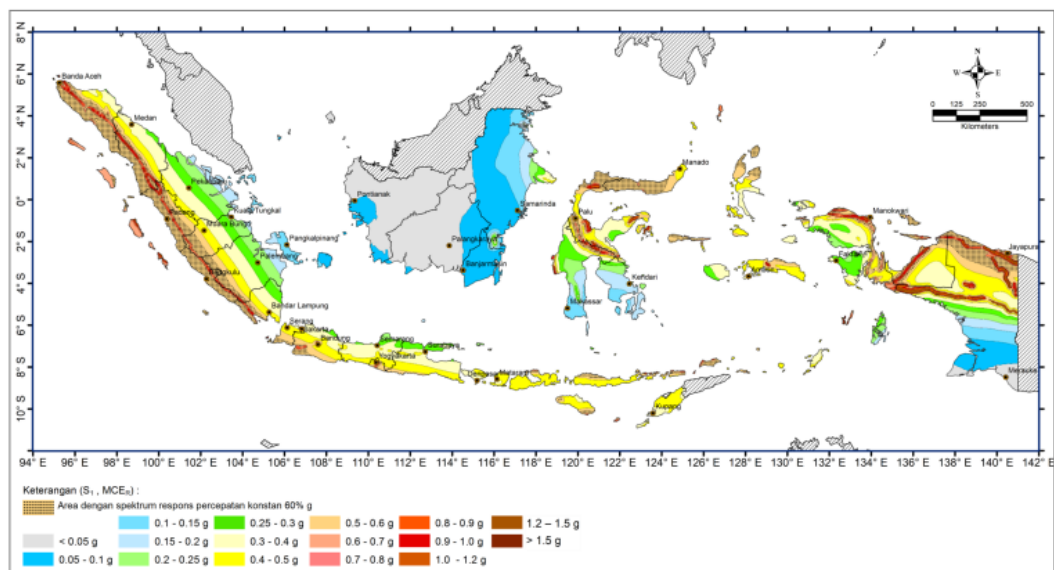
(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Kategori desain seismik ini tergantung dengan lokasi dimana bangunan itu berdiri. Pada penelitian yang kami lakukan bangunan berlokasi di Kota Yogyakarta. Bangunan yang kami teliti sendiri khususnya berlokasi di koordinat: -7.773629, 110.372510, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



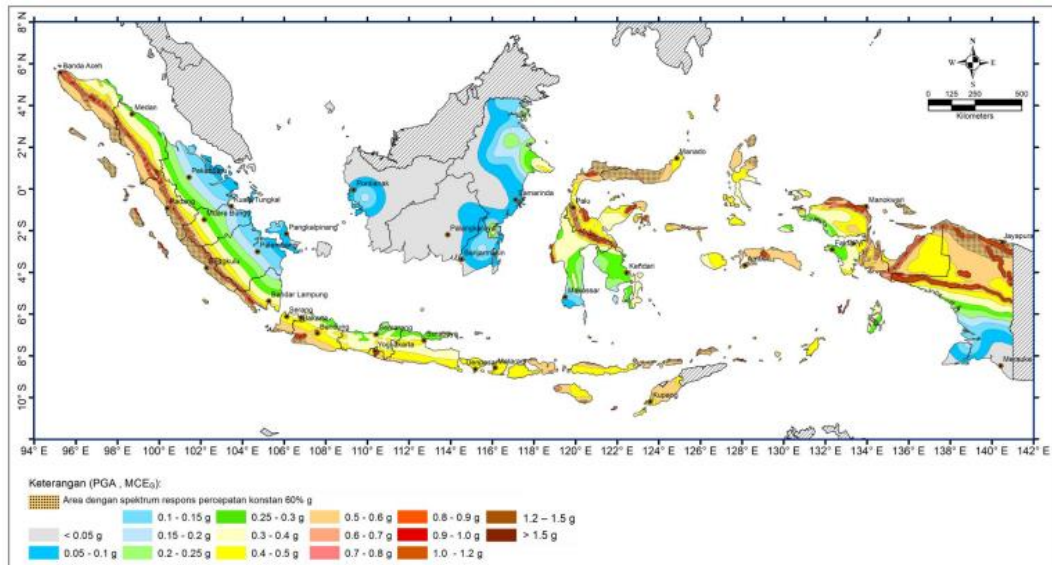
Gambar 5. 10 Parameter Gerak Tanah S_s , Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (redaman kritis 5 %)

(Sumber: SNI-03-1726-2019)



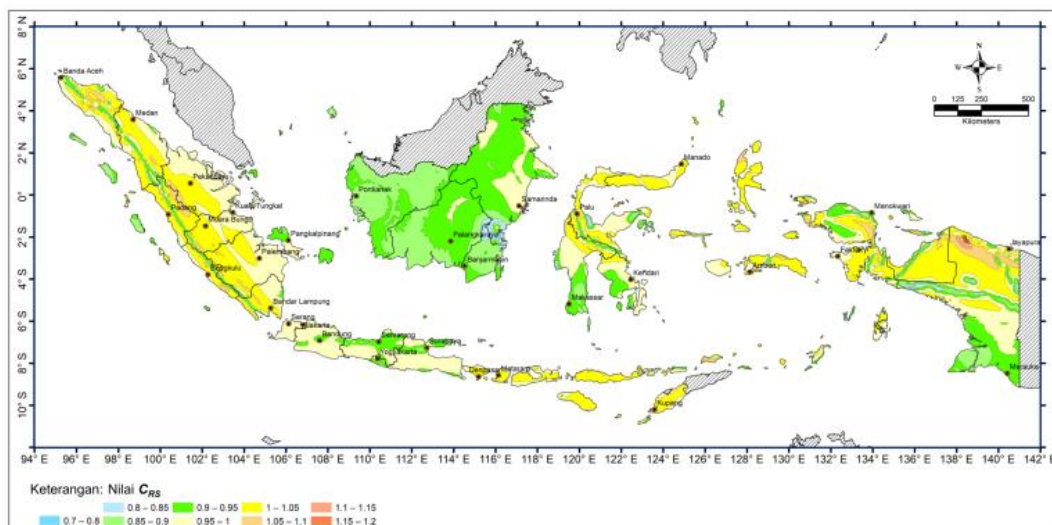
Gambar 5. 11 Parameter Gerak Tanah S_1 , Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (redaman kritis 5 %)

(Sumber: SNI-03-1726-2019)



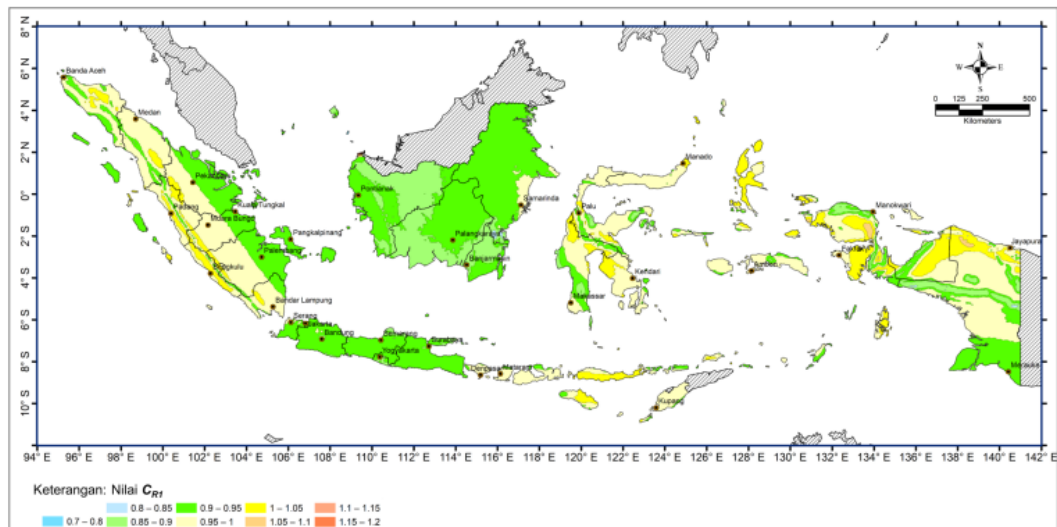
Gambar 5. 12 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCE_G) Wilayah Indonesia

(Sumber: SNI-03-1726-2019)



Gambar 5. 13 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik

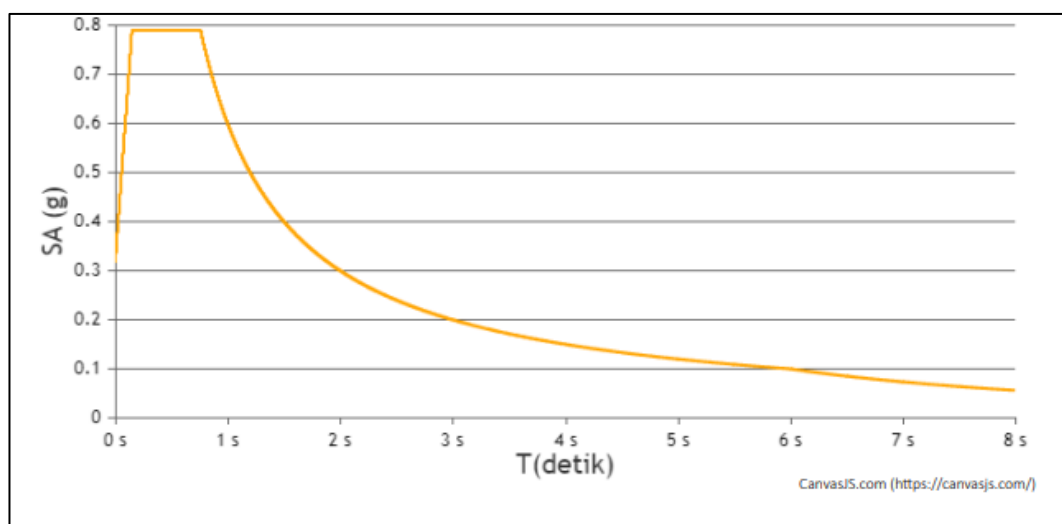
(Sumber: SNI-03-1726-2019)



Gambar 5. 14 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 1 Detik

(Sumber: SNI-03-1726-2019)

Sebagaimana yang telah ditunjukkan pada Gambar 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, dan 5.14 di atas dapat ditarik hasil sesuai dengan lokasi tempat bangunan berdiri. Hasil dari setiap gambar di atas dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Hail Desain Seismik

(Sumber: ESRC-PUSGEN-PUSKIMPUPR 2019-2020)

5.2.5 Nilai Koefisien Situs

1. Nilai Koefisien Situs Fa

Berdasarkan apa yang telah ditunjukkan di dalam SNI-03-1726-2019 Tabel 6, bahwa nilai Fa untuk bangunan kami dengan kondisi tanah sedang (SD) dan nilai $S_s = 1,1147$ adalah, $F_a = 1,0541$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5. 8 Nilai Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter Respons Spektrum percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCE_R) Ter-petakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

(Sumber: SNI-1976-2019)

Catatan:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pada peraturan SNI-03-1726-2019 (Pasal 6.10. Prosedur gerak tanah spesifik situs untuk desain seismik).

2. Nilai Koefisien Situs Fv

Berdasarkan apa yang telah ditunjukkan di dalam SNI-03-1726-2019 Tabel 6, bahwa nilai Fa untuk bangunan kami dengan kondisi tanah sedang (SD) dan nilai $S_1 = 0,504$ adalah, $F_v = 1,7965$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5. 9 Nilai Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter Respons Spektrum percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCE _R) Ter-petakan pada Periode T = 1 detik					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,5$
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-1976-2019)

Catatan:

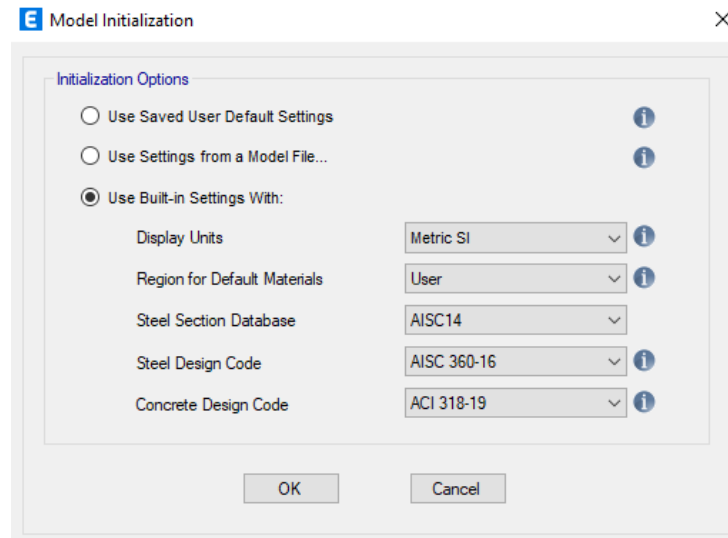
SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pada peraturan SNI-1976-2019 (Pasal 6.10. Prosedur gerak tanah spesifik situs untuk desain seismik).

5.3 Permodelan Struktur

5.3.1 Permodelan Baru (*New Model*)

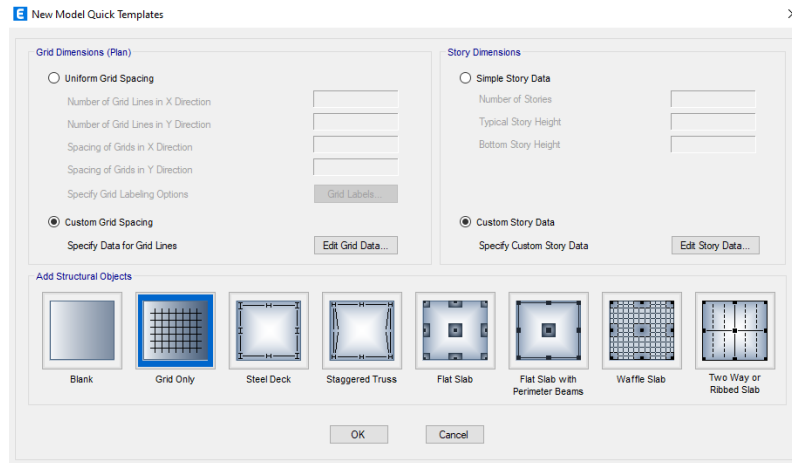
Pada awal pembuatan desain bangunan yang dibuat, maka yang pertama yang harus dilakukan adalah memodelkan bentuk bangunan terlebih dahulu. Pada tahap awal permodelan ini di lakukan saat awal pembukaan aplikasi atau juga dapat dilakukan dengan menekan perintah *New Model* atau dengan menekan perintah di *keyboard* yaitu *Control-N*.

Setelah melakukan perintah *new model* akan muncul *Model Intialization*, pada *windows* tersebut pilih *Use-Built-in settings with* untuk mengatur ketentuan sesuai dengan peraturan yang kita jadikan acuan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5. 16, di bawah ini.

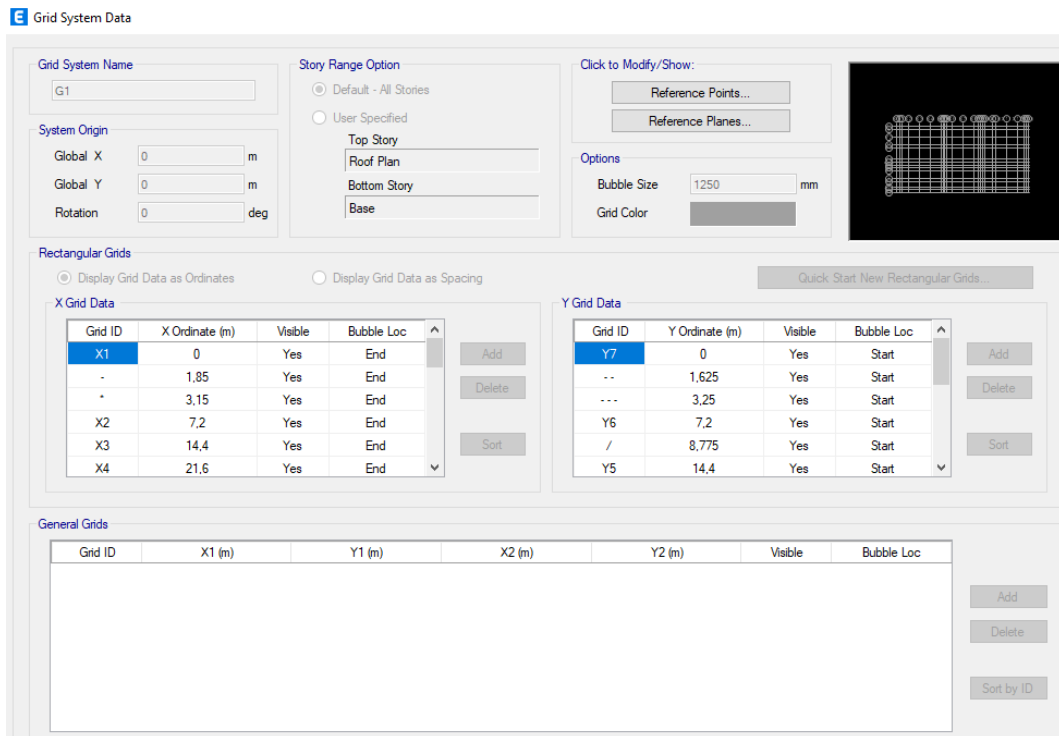


Gambar 5. 16 Pengaturan Standar Awal Model Bangunan

Setelah dilakukan pengaturan seperti gambar di atas lalu tekan OK, kemudian akan beralih ke pengaturan selanjutnya yaitu *New Model Quick Templates*. Pada pengaturan ini akan membuat *grid* pada bangunan yang akan kita bangun, dengan menentukan jarak pada setiap *grid line x* dan juga jarak setiap *grid line y* pada bagian *Grid Dimentions* begitu pun dengan pengaturan jumlah tinggi tiap lantai bangunan pada bagian *Story Dimantions*. Bangunan yang digunakan dalam penelitian ini bukanlah bangunan yang simetris, oleh karena itu cara menentukan jarak sesuai dengan bangunan yang diteliti dengan memilih *Custom Grid Spacing* dan klik *Edit Grid Data* untuk menentukan ukuran *grid* bangunan arah x dan y, begitupun dengan jumlah tingkat yaitu dengan memilih *Custom Story Data* dan klik *Edit Story Data* untuk menentukan ukuran tinggi dari setiap lantai. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 5. 17 New Model Quick Templates



Gambar 5. 18 Permodelan Grid pada Bangunan Gedung

Story Data

	Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
▶	Roof Plan	1,9	37,4	Yes	None	No	0	
	Stair Roof	1,6	35,5	No	None	No	0	
	9th Floor	2,125	33,9	Yes	None	No	0	
	----	2,125	31,775	No	None	No	0	
	8th Floor	2,1	29,65	Yes	None	No	0	
	---	2,1	27,55	No	None	No	0	
	7th Floor	2,1	25,45	Yes	None	No	0	
	--	2,1	23,35	No	None	No	0	
	6th Floor	2,1	21,25	Yes	None	No	0	
	-	2,1	19,15	No	None	No	0	
	5th Floor	2,1	17,05	Yes	None	No	0	
	++++	2,1	14,95	No	None	No	0	
	4th Floor	0,85	12,85	Yes	None	No	0	
	Roof for Control Room	1	12	No	None	No	0	

Note: Right Click on Grid for Options

Refresh View

OK Cancel

Gambar 5. 19 Permodelan Story pada Setiap Bangunan Gedung

5.3.2 Definisi Material

Pada tahap pendefinisian material ini dimaksudkan untuk menentukan jenis material yang digunakan dalam pembangunan bangunan pada penelitian ini. Bangunan yang kita teliti ini berupa bangunan dengan material struktur beton bertulang.

1. Beton

Klik menu *Define > Materials Properties > Add New Materials*. Isi spesifikasi material beton yang akan digunakan sesuai dengan apa yang telah ditentukan seperti pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 berikut.

E Material Property Data

General Data

Material Name: FC 30 MPa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 23,5631 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2402.77 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 24855,58 MPa

Poisson's Ratio, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0,0000099 1/C

Shear Modulus, G: 10356,49 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code) User Specified

OK Cancel

Gambar 5. 20 Spesifikasi Material Beton Bertulang

E Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: FC 30 MPa

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade: FC 30 MPa

Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 30 MPa

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

OK Cancel

Gambar 5. 21 Material Property Data Beton

2. Baja

Klik menu *Define > Materials properties > Add New Materials*. Isi spesifikasi material beton yang digunakan sesuai dengan apa yang telah di tentukan seperti pada Gambar 5.22, 5.23, 5.24, dan 5.25 berikut.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

- General Data:**
 - Material Name: Fy 420 MPa
 - Material Type: Rebar
 - Directional Symmetry Type: Uniaxial
 - Material Display Color: Yellow
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass:**
 - Specify Weight Density (selected):
 - Weight per Unit Volume: 76,9729 kN/m³
 - Mass per Unit Volume: 7849,047 kg/m³
 - Specify Mass Density (unselected):
- Mechanical Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 199947,98 MPa
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0,0000117 1/C
- Design Property Data:**
 - Modify/Show Material Property Design Data...
- Advanced Material Property Data:**
 - Nonlinear Material Data...
 - Material Damping Properties...
 - Time Dependent Properties...

Buttons: OK, Cancel

Gambar 5. 22 Spesifikasi Material Baja Tulangan BJTD 420

The screenshot shows the 'Material Property Design Data' dialog box with the following fields and values:

- Material Name and Type:**
 - Material Name: Fy 420 MPa
 - Material Type: Rebar, Uniaxial
 - Grade:
- Design Properties for Rebar Materials:**
 - Minimum Yield Strength, Fy: 420 MPa
 - Minimum Tensile Strength, Fu: 560 MPa
 - Expected Yield Strength, Fye: 525 MPa
 - Expected Tensile Strength, Fue: 700 MPa

Buttons: OK, Cancel

Gambar 5. 23 Material Property Design Data Baja BJTD 420

Gambar 5. 24 Spesifikasi Material Baja Tulangan BJTP 240

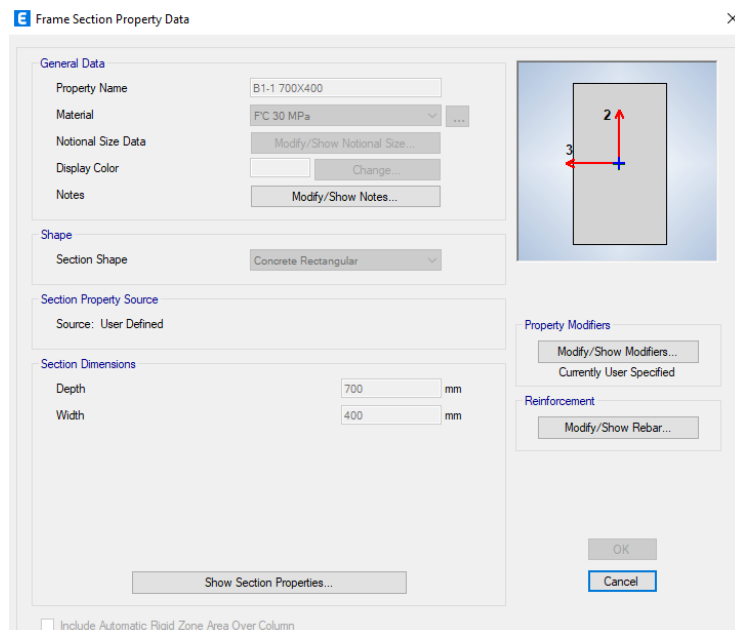
Gambar 5. 25 Material Property Design Data Baja BJTP 240

5.3.3 Definisi Struktur Bangunan

Pendefinisian struktur bangunan ini dilakukan dengan memasukkan data dimensi dari struktur balok, kolom, pelat lantai, dan dinding geser ke dalam ETABS sesuai dengan data dimensi struktur bangunan yang telah dimiliki.

1. Definisi Struktur Balok

Pendefinisian struktur balok dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Frame Section* setelah muncul tampilan *frame Section* kemudian pilih *Add New Property*. Setelah memilih *Add New Property* akan muncul tampilan dari *Frame Property Shape Type*, kemudian pada tampilan itu pada pilihan *Concrete* pilih *Rectangular Concrete*. Pada layer *Rectangular Concrete* masukkan data dimensi dan material yang digunakan. Untuk pendefinisian balok rubah penggunaan tipe frame dari *Column* menjadi *Beam* dengan cara klik *Modify / Show Rebar*, setelah muncul tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada bagian *Design Type* pilih *M3 Design Only (Beam)*, dan isi data tulangan sesuai dengan yang telah di tentukan sebelumnya. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 5.26 dan gambar 5.27 berikut.



Gambar 5. 26 Pendefinisian *Frame Section B1-1*

The image shows a software dialog box titled "Frame Section Property Reinforcement Data". It contains several sections for configuring reinforcement properties:

- Design Type:** Two radio buttons are present. "P-M2-M3 Design (Column)" is unselected, and "M3 Design Only (Beam)" is selected.
- Rebar Material:** Two dropdown menus. "Longitudinal Bars" is set to "Fy 420 MPa" and "Confinement Bars (Ties)" is set to "Fy 240 MPa".
- Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid:** Two input fields. "Top Bars" is set to "40 mm" and "Bottom Bars" is set to "40 mm".
- Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams:** Four input fields. "Top Bars at I-End", "Top Bars at J-End", "Bottom Bars at I-End", and "Bottom Bars at J-End" are all set to "0 mm²".

At the bottom of the dialog, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Gambar 5. 27 Pendefinisian Tulangan pada B1-1

Lakukan cara yang sama untuk membuat semua dari struktur balok yang diperlukan untuk permodelan bangunan yang akan diteliti.

2. Definisi Struktur Kolom

Pendefinisian struktur balok dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Frame Section* setelah muncul tampilan *frame Section* kemudian pilih *Add New Property*. Setelah memilih *Add New Property* akan muncul tampilan dari *Frame Property Shape Type*, kemudian pada tampilan itu pada pilihan *Concrete* pilih *Rectangular Concrete*. Pada layer *Rectangular Concrete* masukkan data dimensi dan material yang digunakan. Untuk pendefinisian kolom rubah penggunaan tipe *frame* dari *Beam* menjadi *Coloumn* dengan cara klik *Modify / Show Rebar*, setelah muncul tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada bagian *Design Type* pilih *M3 Design Only (Beam)*, dan isi data tulangan sesuai dengan yang telah di tentukan sebelumnya, untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 5.28 dan gambar 5.29 berikut.

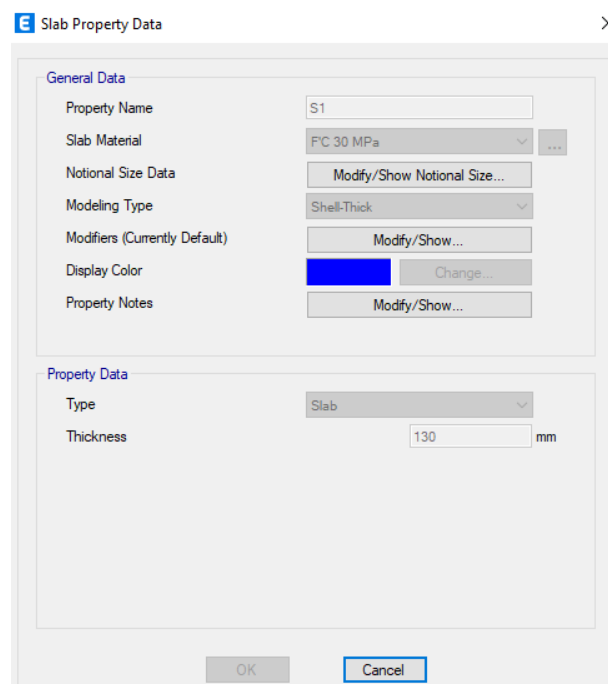
Gambar 5. 28 Pendefinisian *Frame Section C1*

Gambar 5. 29 Pendefinisian Tulangan pada C1

Lakukan cara yang sama untuk membuat semua dari struktur kolom yang diperlukan untuk permodelan bangunan yang akan diteliti.

3. Definisi Pelat Lantai

Pendefinisian pelat lantai dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Slab Section* setelah muncul tampilan *Slab Section* kemudian pilih *Add New Property*. Pada tampilan *Slab Property Data* isi data pelat lantai sesuai dengan yang telah ditentukan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.

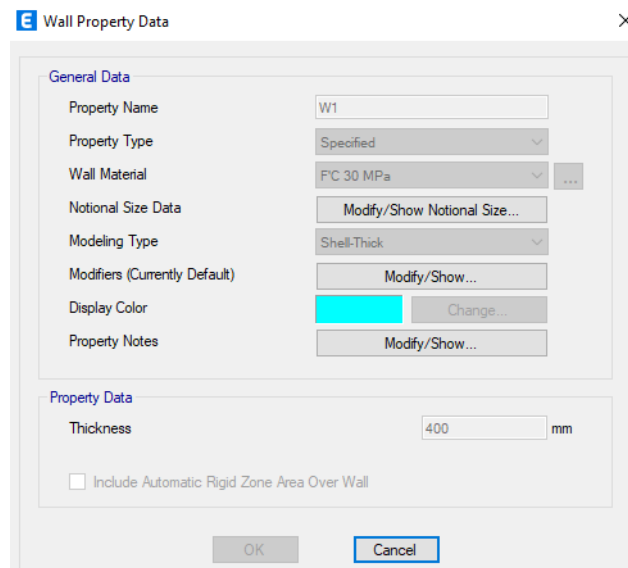


Gambar 5. 30 Pendefinisian *Slab Property Data* PL1

Lakukan cara yang sama untuk membuat semua pelat lantai yang diperlukan untuk permodelan bangunan yang akan diteliti.

4. Definisi Dinding Geser

Pendefinisian pelat lantai dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Wall Section* setelah muncul tampilan *Wall Section* kemudian pilih *Add New Property*. Pada tampilan *Wall Property Data* isi data pelat lantai sesuai dengan yang telah ditentukan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



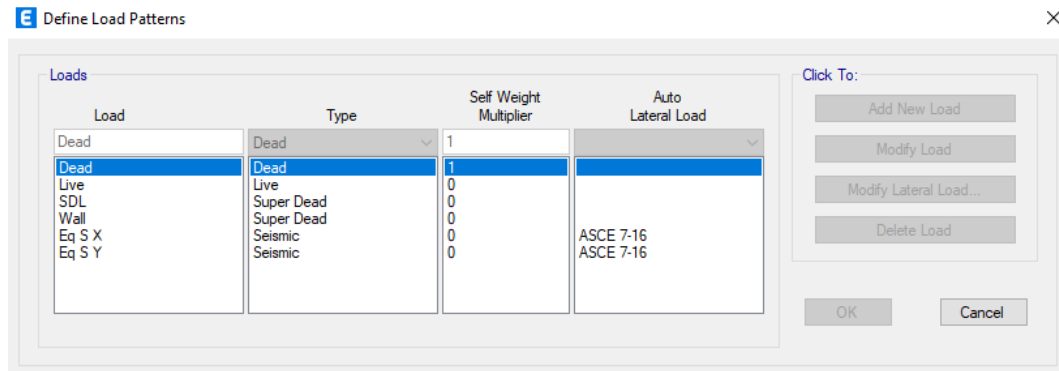
Gambar 5. 31 Pendefinisian *Wall Property Data* Dinding Geser

5.3.4 Definisi Pembebanan Bangunan

Pembebanan pada bangunan dilakukan untuk pengaplikasian beban pada struktur bangunan secara nyata untuk di analisis. Pembebanan yang akan diberikan pada bangunan yang akan di teliti berupa beban mati (*Dead Load*), beban mati tambahan (*Super Imposed Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), dan beban lateral atau beban gempa. Pendefinisian pembebanan dapat dilihat sebagai berikut.

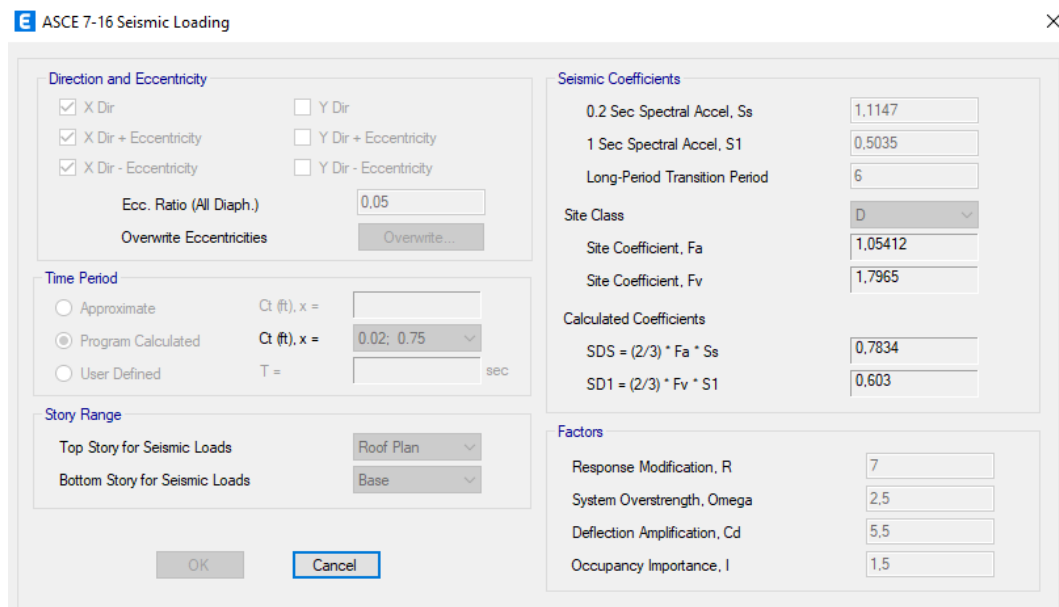
1. Pendefinisian beban pada *Load Patterns*

Pendefinisian pembebanan bangunan di *Load Patterns* dilakukan dengan cara klik *Define - Load patterns*. Setelah muncul tampilan *Define Load Patterns* kemudian isi data-data pembebanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.32 berikut.



Gambar 5. 32 Pembebanan Bangunan pada *Load Patterns*

Jika diperhatikan pada Gambar 5.30 di atas terdapat beban gempa arah x (Ex) dan beban arah y (Ey) memiliki *Auto Lateral Load* sendiri. Pada *Auto Lateral Load* gempa arah x dan gempa arah y digunakan ASCE 7-10 karena mengikuti peraturan terbaru yang telah disediakan oleh ETABS. Pembebanan gempa ini harus dimodifikasi sesuai dengan data yang telah didapatkan. Untuk lebih jelas data yang dimasukkan pada pembebanan gempa arah x dan beban gempa arah y dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan gambar 5.34 berikut.



Gambar 5. 33 *Modify Lateral Load* pada Pembebanan Gempa Arah X (Ex)

ASCE 7-16 Seismic Loading

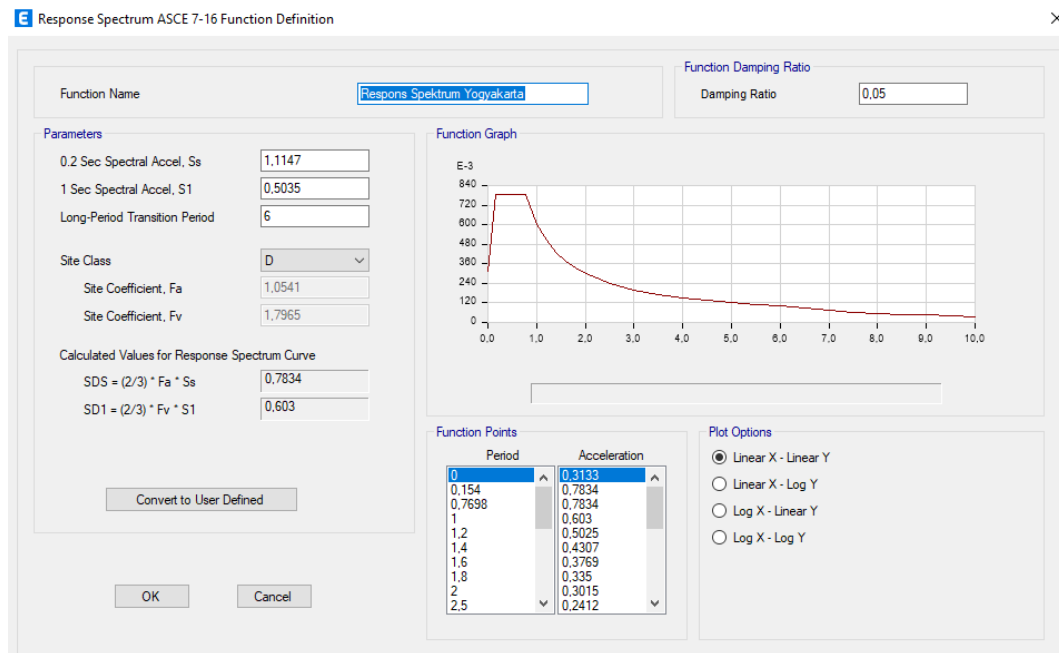
ASCE 7-16 Seismic Loading
✕

Direction and Eccentricity		Seismic Coefficients	
<input type="checkbox"/> X Dir	<input checked="" type="checkbox"/> Y Dir	0.2 Sec Spectral Accel, S _s	1.1147
<input type="checkbox"/> X Dir + Eccentricity	<input checked="" type="checkbox"/> Y Dir + Eccentricity	1 Sec Spectral Accel, S ₁	0.5035
<input type="checkbox"/> X Dir - Eccentricity	<input checked="" type="checkbox"/> Y Dir - Eccentricity	Long-Period Transition Period	6
Ecc. Ratio (All Diaph.)	0.05	Site Class	D
Overwrite Eccentricities	Overwrite...	Site Coefficient, F _a	1.05412
Time Period		Site Coefficient, F _v	1.7965
<input type="radio"/> Approximate	C _t (ft), x =	Calculated Coefficients	
<input checked="" type="radio"/> Program Calculated	C _t (ft), x = 0.02: 0.75	SDS = (2/3) * F _a * S _s	0.7834
<input type="radio"/> User Defined	T =	SD1 = (2/3) * F _v * S ₁	0.603
Story Range		Factors	
Top Story for Seismic Loads	Roof Plan	Response Modification, R	7
Bottom Story for Seismic Loads	Base	System Overstrength, Omega	2.5
OK Cancel		Deflection Amplification, Cd	5.5
		Occupancy Importance, I	1.5

Gambar 5. 34 Modify Lateral Load pada Pembebanan Gempa Arah Y (E_y)

2. Pendefinisian *Respon Spectrum*

Pendefinisian pembebanan bangunan pada *Respon Spectrum* dilakukan dengan cara klik *Define > Function > Response Spectrum*. Setelah muncul tampilan dari *Define Response Spectrum Function* pada pilihan *Choose Function Tipe to Add* pilih ASCE 7-10 lalu Klik *Add New Function*. Setelah memilih *Add New Function* kemudian masukkan nilai S_s dan S₁ sesuai dengan data yang telah didapatkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



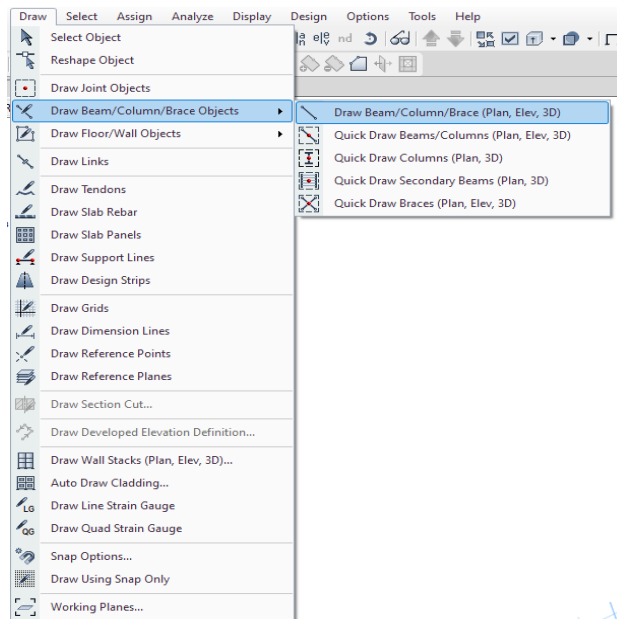
Gambar 5. 35 Penginputan Data Grafik Respons Spektrum

5.3.5 Permodelan Struktur Bangunan

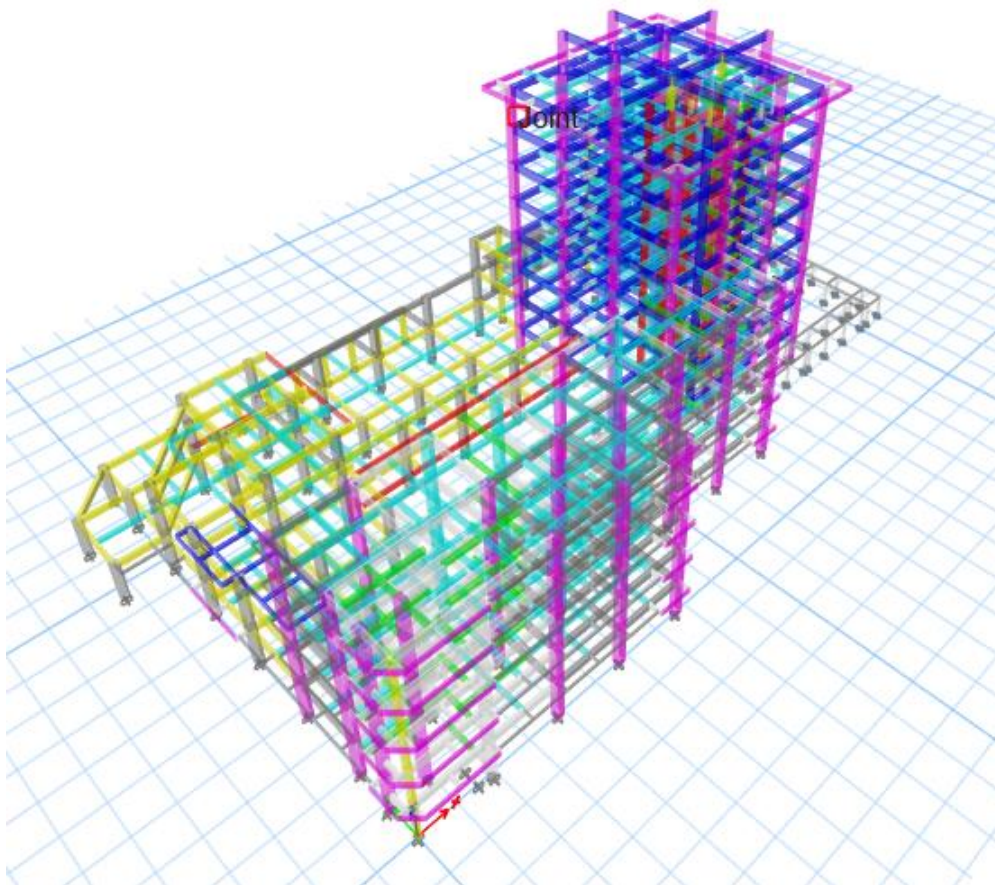
Pembuatan model struktur bangunan yang dianalisis dilakukan setelah selesainya pendefinisian dari struktur balok, kolom, plat lantai dan juga dinding geser. Permodelan struktur bangunan dilakukan sesuai dengan gambar acuan pemodelan bangunan.

1. Permodelan balok dan kolom

Permodelan balok dan kolom dapat dilakukan dengan cara klik *Draw > Draw Beam/Column/Brace Objects* > kemudian pilih *tools* yang sesuai dengan keperluan permodelan yang akan dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan gambar 5.37 berikut.



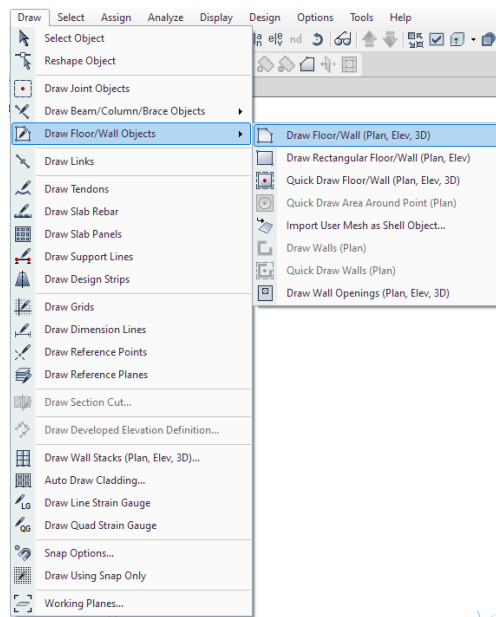
Gambar 5. 36 Cara Melakukan Permodelan Balok dan Kolom



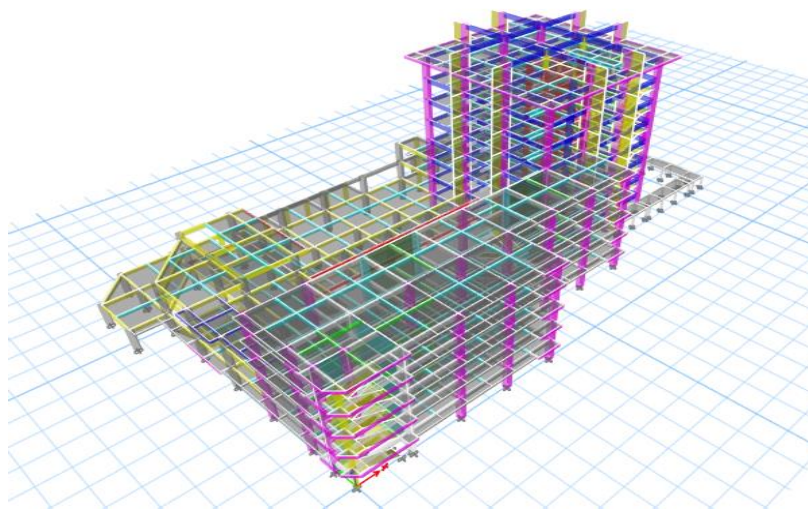
Gambar 5. 37 Hasil dari Pemodelan Struktur Balok dan Kolom

2. Permodelan pelat lantai dan pelat atap

Permodelan pelat lantai dan plat atap dapat dilakukan dengan cara klik *Draw* > *Draw Floor/Wall Objects* > kemudian pilih *tools* yang sesuai dengan keperluan permodelan yang akan dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan Gambar 5.39 berikut.



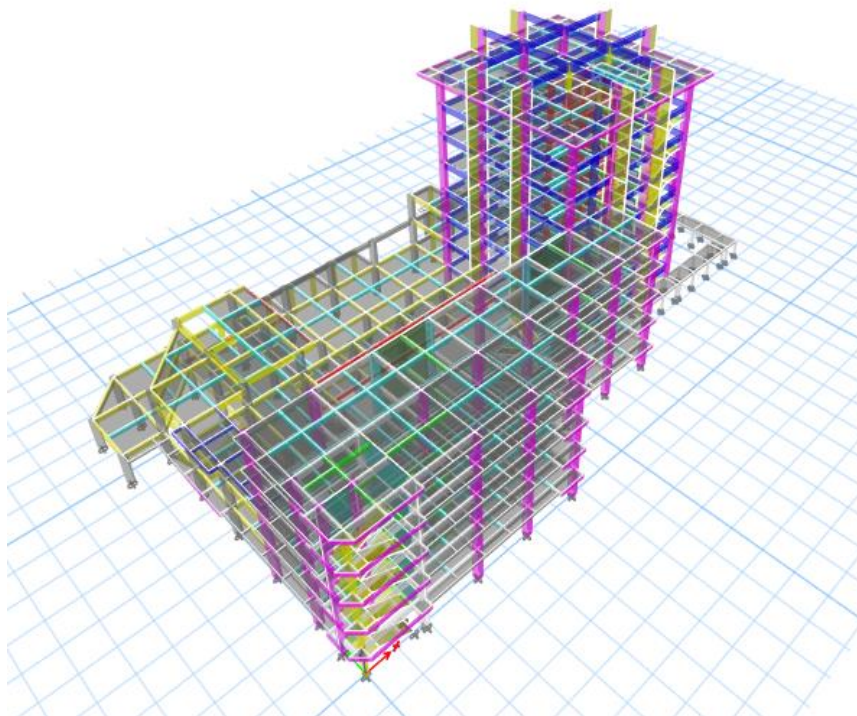
Gambar 5. 38 Cara Melakukan Permodelan Pelat Lantai dan Pelat Atap



Gambar 5. 39 Hasil dari Pemodelan Pelat Lantai, Pelat Atap, dan Pelat Tangga

3. Permodelan dinding geser

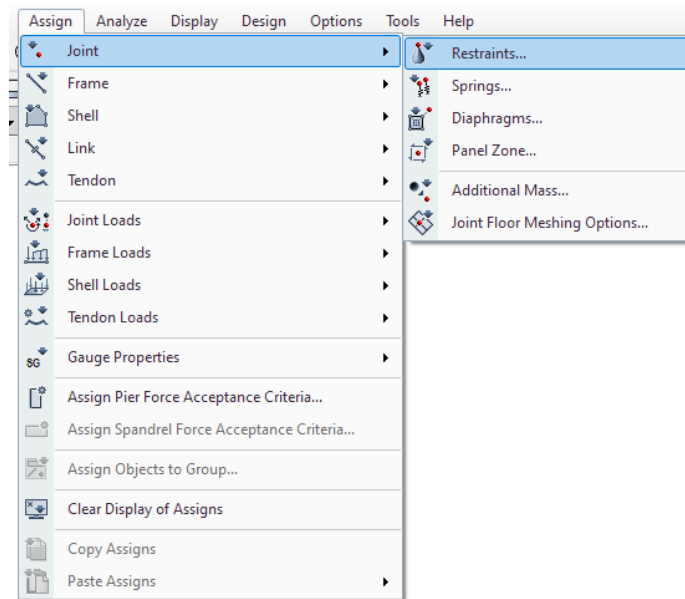
Permodelan pada dinding geser sama halnya dengan permodelan dari permodelan pelat. Permodelan dinding geser dapat dilakukan dengan cara klik *Draw – Draw Floor/Wall Objects* – kemudian pilih *tools* yang sesuai dengan keperluan permodelan yang akan dilakukan. Hasil dari permodelan dinding geser dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut.



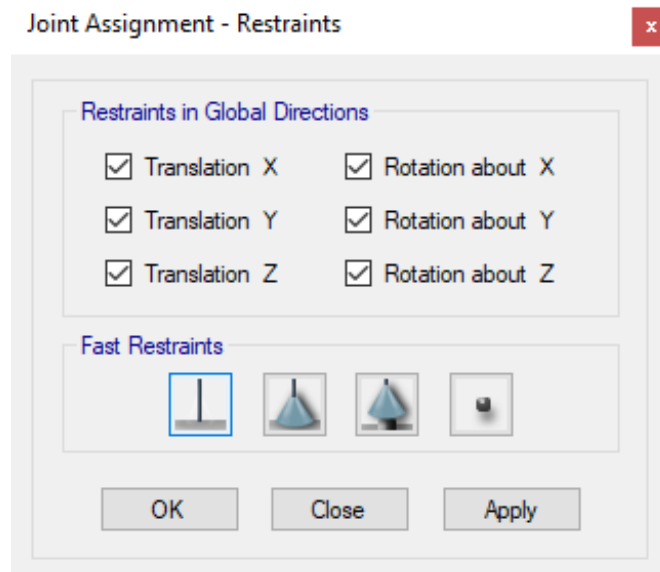
Gambar 5. 40 Hasil dari Permodelan Dinding Geser dan Dinding Lainnya

4. Menentukan *Join Restraint*

Setelah semua permodelan struktur telah dilakukan maka selanjutnya adalah menentukan jenis dari *Join Restraint* yang digunakan pada bangunan yang akan diteliti. Menentukan *joint Restrain* dilakukan dengan cara *Select* semua *joint* pada bagian paling bawah permodelan struktur kemudian klik *Assign – Joint – Restraints*. Setelah muncul tampilan *Joint Assigmnet-Restraint* kemudian pilih perlekatan jepit. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 berikut.



Gambar 5. 41 Cara Menentukan *Joint Restraints*



Gambar 5. 42 Pilihan dari *Joint Restraints*

5.4 Perhitungan pembebanan

Pembahasan mengenai pembebanan terhadap bangunan atau gedung yang diteliti mengacu pada peraturan SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain sebagai revisi dari SNI

1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

5.4.1 Pembebanan Beban Mati

Pembebanan pada beban mati sendiri yang ditimbulkan dari beban mati kolom, balok, dan pelat lantai telah di secara otomatis dihitung oleh program ETABS.

5.4.2 Pembebanan Beban Mati Tambahan

Perhitungan beban mati sendiri pada kolom, balok, dan pelat lantai adalah pembebanan beban mati tambahan yang akan ditambahkan pada beban struktur tersebut. Penambahan beban mati tambahan pada struktur dapat dilihat pada Tabel 5.43 dan Tabel 5.44 berikut ini.

Tabel 5. 10 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai

Keterangan	Komponen Gedung	Luasan	Satuan	Berat (kN/m ³)
Beban Mati Tambahan Pada Lantai	Tegel	15	Kg/m ²	0,147
	Lapis Spasi	40	mm	0,824
	Lapis Pasir	50	mm	0,785
	Pelat Lantai	125	mm	2,943
Total				4,699

Tabel 5. 11 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Atap

Keterangan	Komponen Gedung	Luasan	Satuan	Berat (kN/m ³)
Beban Mati Tambahan Pada Atap	Lapis <i>Waterproof</i>	5	Kg/m ²	0,049
	Lapis Spasi	40	mm	0,824
	Lapis Pasir	50	mm	0,785
	Pelat Lantai	175	mm	4,120
Total				5,778

5.4.3 Pembebanan Beban Hidup

Pembebanan beban hidup pada struktur gedung yang memiliki sifat tidak tetap, oleh karena itu pada SNI-1727-1989 tentang Pedoman perencanaan

Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung telah di tentukan beban hidup sesuai dengan kegunaan dari bangunan tersebut. Bangunan yang di teliti adalah berupa bangunan gedung TILC yang berarti nilai beban hidup lantai sebesar 200 kg/m^2 , dan beban hidup pada atap sebesar 100 kg/m^2 bidang datar.

5.4.4 Pembebanan Beban Gempa

Bangunan gedung TILC yang menjadi objek penelitian berlokasi di Kota Yogyakarta dengan jenis tanah di lokasi adalah tanah sedang (SD). Bangunan yang diteliti memiliki jumlah lantai sebanyak 9 lantai dengan total ketinggian 30,5 m. Analisis pada bangunan TILC ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Spektrum Percepatan Periode Pendek (S_s)

Untuk menentukan nilai dari periode pendek (S_s) dapat dilihat pada peta spektra (Gambar 5.1 Parameter Gempa). Pada peta tersebut telah tertera nilai percepatan periode pendek di setiap lokasi, untuk lokasi penelitian ini nilai percepatan periode pendek diperoleh pada rentang 1,0 – 1,2 g. Nilai percepatan periode pendek (S_s) untuk lokasi penelitian diambil sebesar 1,115 g.

2. Spektrum Percepatan periode 1 Detik (S_1)

Untuk menentukan nilai dari percepatan periode 1 detik (S_1) dapat dilihat pada peta spektra (Gambar 5.2 Parameter Gempa S_1). Pada peta spektra telah tertera nilai percepatan periode 1 detik pada setiap lokasi, untuk lokasi penelitian ini nilai percepatan periode 1 detik (S_1) diperoleh pada rentang 0,4 – 0,5 g. Nilai percepatan periode 1 detik (S_1) untuk lokasi penelitian diambil sebesar 0,504 g.

3. Koefisien Situs

Koefisien situs F_a dan F_v mengacu pada Tabel 5.5 koefisien Situs F_a dan Tabel 5.6 Koefisien Situs F_v .

a. Koefisien situs F_a

Parameter percepatan gempa spektra pada periode pendek (F_a), ditentukan dengan mengacu pada nilai dari Percepatan Periode Pendek (S_s) dan jenis tanah yang ada pada lokasi. Nilai S_s diperoleh 1,115 g yang mana pada Tabel 5.5 Koefisien Situs F_a berada di antara 1 -1,25 dan jenis tanah sedang (SD), sehingga nilai F_a yang diperoleh sebesar 1,0541.

b. Koefisien Situs Fv

Parameter percepatan spektra pada periode 1 detik (Fv), karena nilai dari percepatan periode 1 detik (S1) sebesar 0,504 g, dan berada pada tanah sedang (SD) nilai koefisien situs Fy diperoleh sebesar 1,7965.

4. Percepatan Desain Periode Pendek (S_{DS})

Nilai percepatan desain periode pendek (S_{DS}) dapat ditemukan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \\ &= \frac{2}{3} \times 1,0541 \times 1,115 \\ &= 0,7834 \text{ g} \end{aligned}$$

5. Percepatan Desain Periode 1 Detik (S_{D1})

Nilai percepatan desain periode 1 detik (S_{D1}) dapat ditemukan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,7965 \times 0,504 \\ &= 0,6030 \text{ g} \end{aligned}$$

6. Desain Respons Spektrum

Nilai desain respons spektrum dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,6030}{0,7834} \\ &= 0,1540 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,6030}{0,7834} \\
 &= 0,7698 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

5.5 Analisis Pushover

5.5.1 Pendefinisian Load Case Pushover

Analisis *Pushover* dilakukan setelah permodelan gedung telah selesai. Pembebanan pada analisis *Pushover* ini dilakukan dengan dua metode yaitu yang pertama, dilakukan dengan memberikan beban non-linier yaitu beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup yang terinput pada beban gravitasi, kemudian yang kedua yaitu pemberian beban lateral pada bangunan yang mana akan terjadi peningkatan secara bertahap pada sendi-sendi plastis hingga kondisi bangunan mengalami keruntuhan.

1 Pendefinisian Pembebanan Gravitasi

Pendefinisian pembebanan gravitasi dilakukan dengan cara klik menu *Define - Load case - Add New case*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.43 di bawah ini.

- a. *Load case name* = *Gravity*
- b. *Load case type* = *Nonlinier Static*
- c. *Initial condition* = *Zero initial condition – Start from Unstressed State*
- d. *Load applied* = *- Load Pattern – Dead – 1*
- Load Pattern – Add Dead – 1
- Load Pattern – Live – 0,25

Load Case Data

General

Load Case Name: Gravity [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	SDL	1
Load Pattern	Live	0.25
Load Pattern	Wall	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load [Modify/Show...]

Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

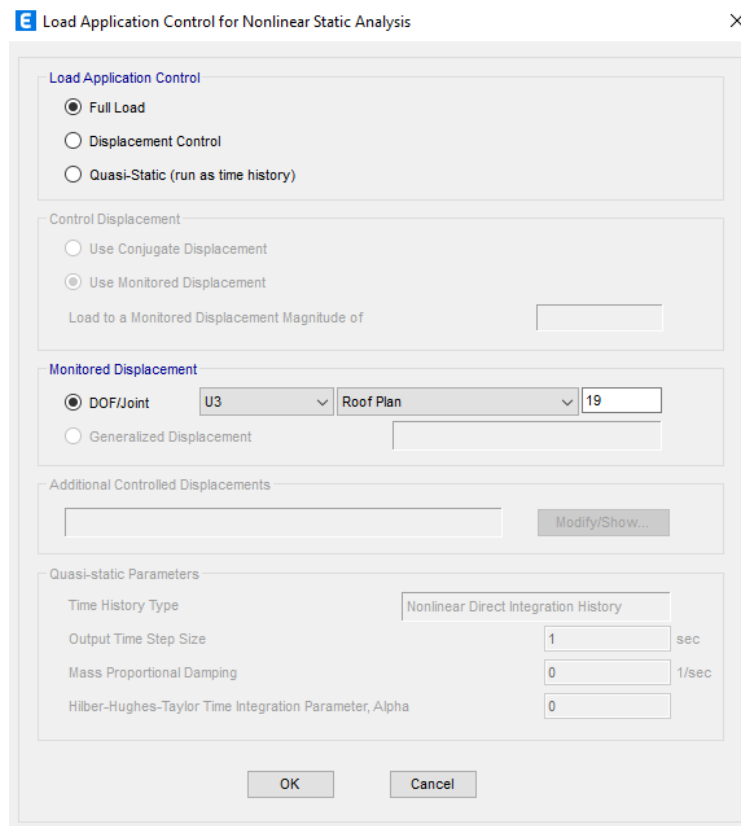
Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 5. 43 Load Case Data Pembebanan Gravitasi

e. *Load Application*

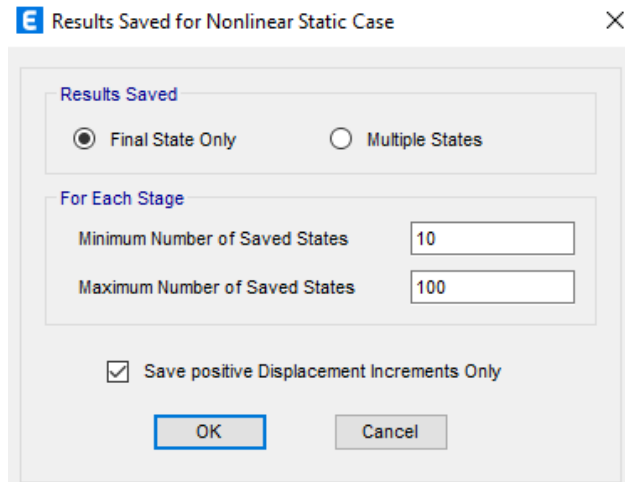
Setelah mengisi *Load Applied* kemudian klik *Load Application* untuk mengatur titik tumpuan gravitasi pada bangunan. Setelah muncul tampilan *Load Application Control for Non-Linear Static Analysis* kemudian pilih *Full Load* pada *Load Application Control*, dan pada *Monitored Displacement* diambil arah U3 dan titik *joint* berada di atap dengan nilai *joint* 198 yang berada di pusat bangunan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut ini.



Gambar 5. 44 Load Application Control Pembebanan Gravitasi

f. *Result Saved*

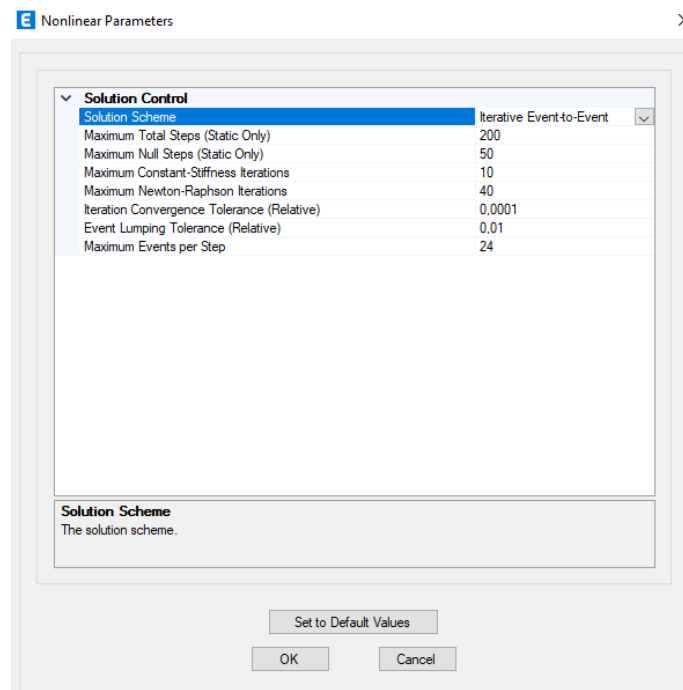
Pada bagian *Result Saved* klik *Modify/Show* – pilih *Final Sate Only* pada *Results Saved* – ok, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut ini.



Gambar 5. 45 Result Saved Pembebanan Gravitasi

g. *Nonlinier Parameters*

Pada bagian *Nonlinier Parameters* dapat diisi sesuai dengan kebutuhan analisis bangunan dengan cara klik *Modify/Show*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut ini.



Gambar 5. 46 Nonlinear Parameters Pembebanan Gravitasi

2 Pendefinisian Pembebanan Lateral

Pembebanan lateral adalah pembebanan yang terdiri dari pembebanan *Pushover x* dan *Pushover y*. Pembebanan ini dilakukan dengan cara yang sama dengan pembuatan pembebanan pada gravitasi hanya saja yang membedakannya ada pada *Initial Condition*, pengisian *Load Applied* dan pengisian pada *Load Application*. Setelah menu *Load Case Data* muncul berilah nama *Load Case Name* dengan nama *Pushover x* atau *Pushover y* lalu pada *Initial Condition* pilih *Continue from State at End of Nonlinier Case* dan pilih gravitasi pada *Nonlinier Case*, pada pilihan *Load Applied* pilih *Ux* jika yang dibuat adalah *pushover x* dan pilih *Uy* jika yang dibuat adalah *Pushover y*, lalu masukkan nilai -1 pada *Scale Factor*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tahapan berikut ini.

- a. *Load case name* = *Pushover X*
- b. *Load case type* = *Nonlinier Static*
- c. *Initial condition* = *Continue State at End of Nonlinier Case - Gravity*
- d. *Load applied* = *Load Pattern – UX – (-1)*

Load Case Data

General

Load Case Name: Pushover x [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: Gravity

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UX	-1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

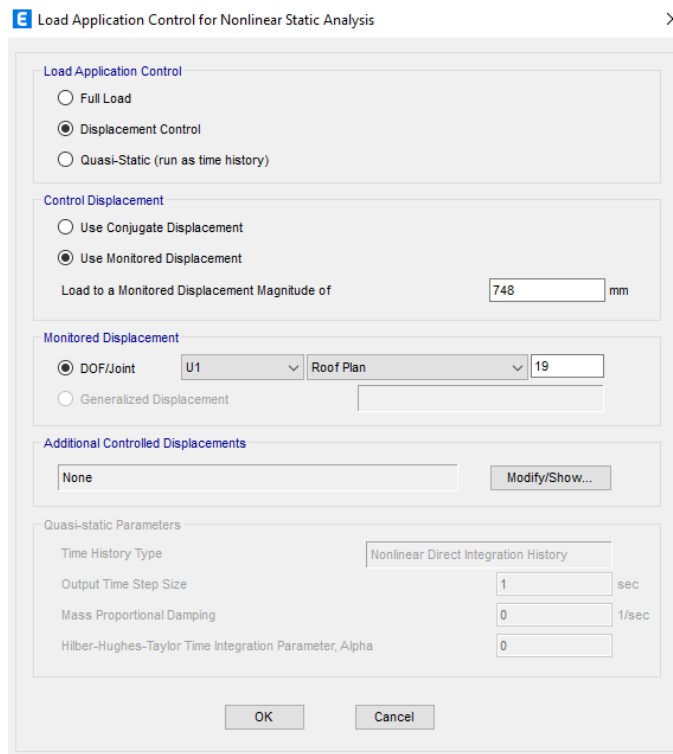
Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 5. 47 Load Case Data Pushover X

e. *Load Application*

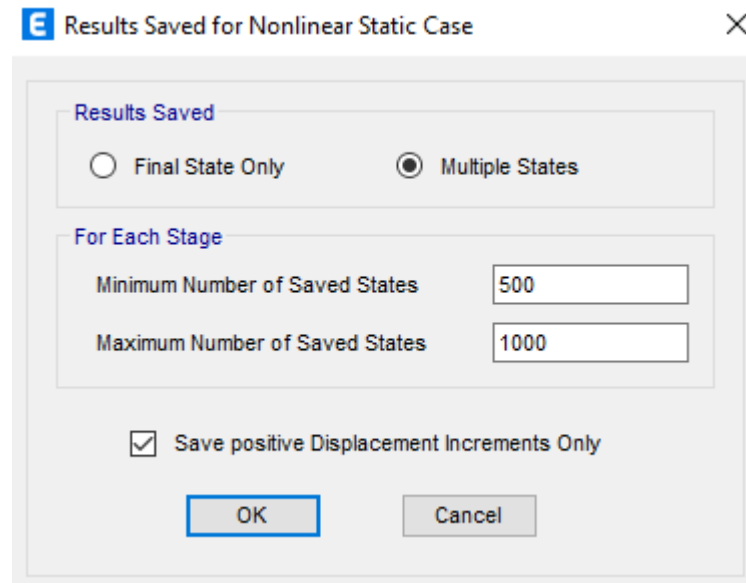
Setelah selesai mengisi *Load Applied* kemudian klik *Load Application*, setelah muncul tampilan *Load Application Control for Non-Linear Static Analysis* kemudian pilih *Displacement Control* pada *Load Application Control*, kemudian pada *Control Displacement* masukkan angka 710 mm (nilai di peroleh 2% dari total tinggi bangunan) pada *load to a Monitored Displacement magnitude of*, pada pilihan *Monitored Displacement* pilih U1 (untuk *Pushover x*) dan isi titik *joint* pada atap dengan nilai 199 sesuai dengan titik pusat bangunan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.48 berikut ini.



Gambar 5. 48 Load Application Control Pushover X

f. *Result Saved*

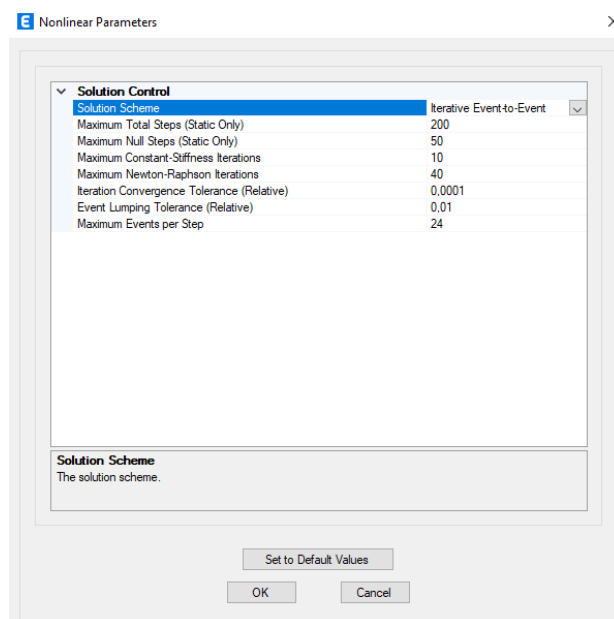
Pada bagian *Result Saved* klik *Modify/Show* – pilih *Final Sate Only* pada *Results Saved* – ok, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut ini.



Gambar 5. 49 Result Saved Pushover X

g. *Nonlinier Parameters*

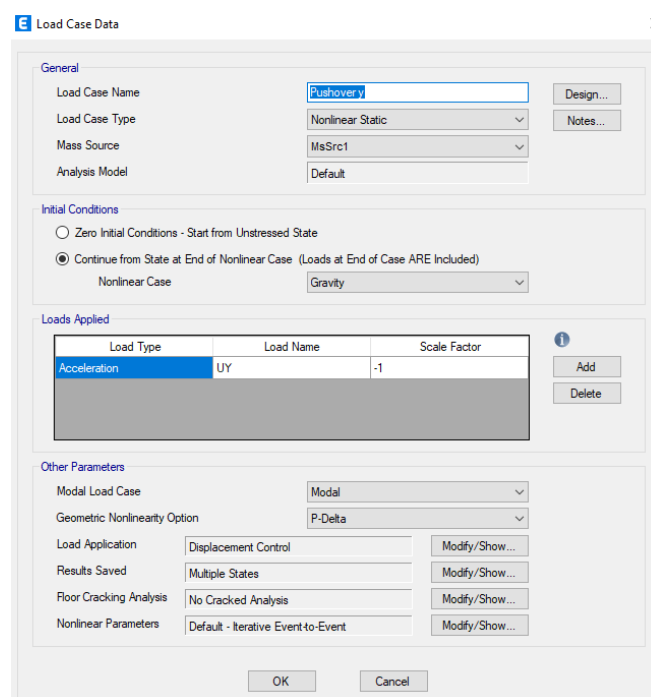
Pada bagian *Nonlinier Parameters* dapat diisi sesuai dengan kebutuhan analisis bangunan dengan cara klik *Modify/Show*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut ini.



Gambar 5. 50 Nonlinier Parameters Pushover X

Selanjutnya untuk pengisian data *Load Case* dan modifikasi nilai *Pushover Y* dapat dilihat pada tahapan berikut ini.

- a. *Load case name* = *Pushover Y*
- b. *Load case type* = *Nonlinier Static*
- c. *Initial condition* = *Continue State at End of Nonlinier Case - Gravity*
- d. *Load applied* = *Load Pattern – UY – (-1)*

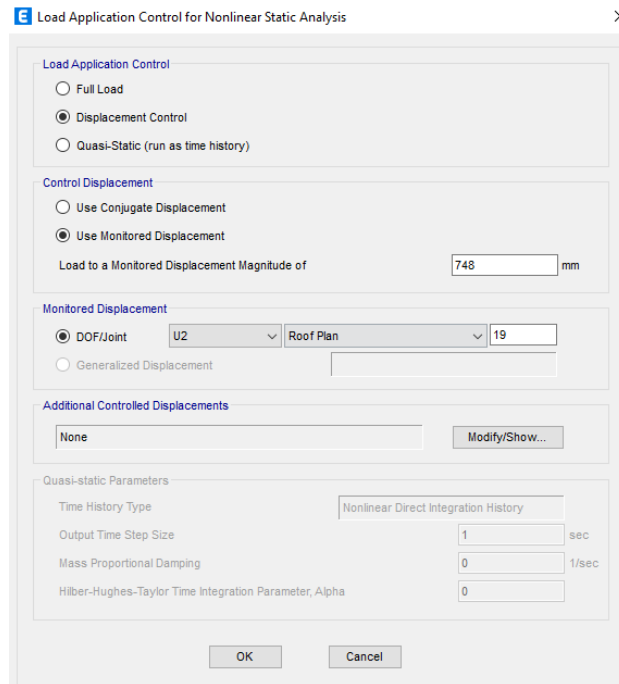


Gambar 5. 51 *Load Case Data Pushover Y*

- e. *Load Application*

Setelah selesai mengisi *Load Applied* kemudian klik *Load Application*, setelah muncul tampilan *Load Application Control for Non-Linear Static Analysis* kemudian pilih *Displacement Control* pada *Load Application Control*, kemudian pada *Control Displacement* masukkan angka 710 mm (nilai di peroleh 2% dari total tinggi bangunan) pada *load to a Monitored Displacement magnitude of*, pada pilihan *Monitored Displacement* pilih U2 (untuk *Pushover y*) dan isi titik *joint* pada atap dengan nilai 199 sesuai dengan

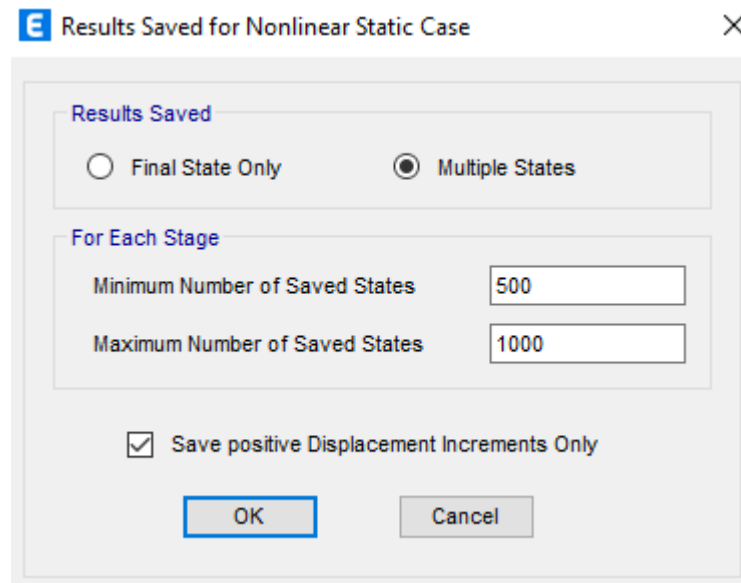
titik pusat bangunan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.52 berikut ini.



Gambar 5. 52 Load Application Control Pushover Y

f. *Result Saved*

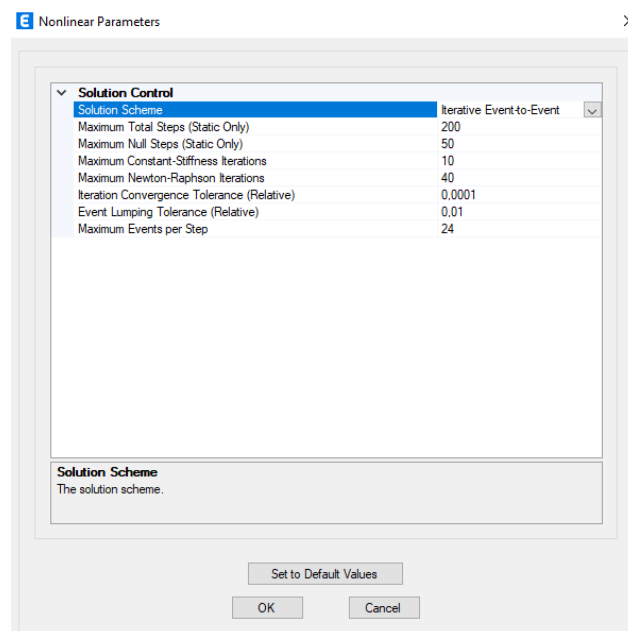
Pada bagian *Result Saved* klik *Modify/Show* – pilih *Final Sate Only* pada *Results Saved* – ok, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.53 berikut ini.



Gambar 5. 53 Result Saved Pushover Y

g. *Nonlinier Parameters*

Pada bagian *Nonlinier Parameters* dapat diisi sesuai dengan kebutuhan analisis bangunan dengan cara klik *Modify/Show*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.54 berikut ini.



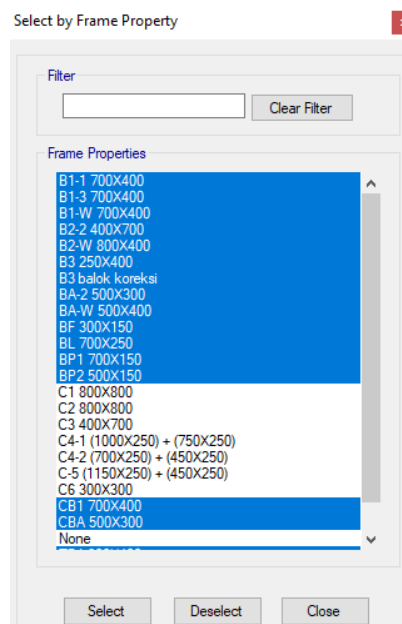
Gambar 5. 54 Nonlinier Parameters Pushover Y

5.5.2 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinge*)

1. Pendefinisian sendi plastis pada balok

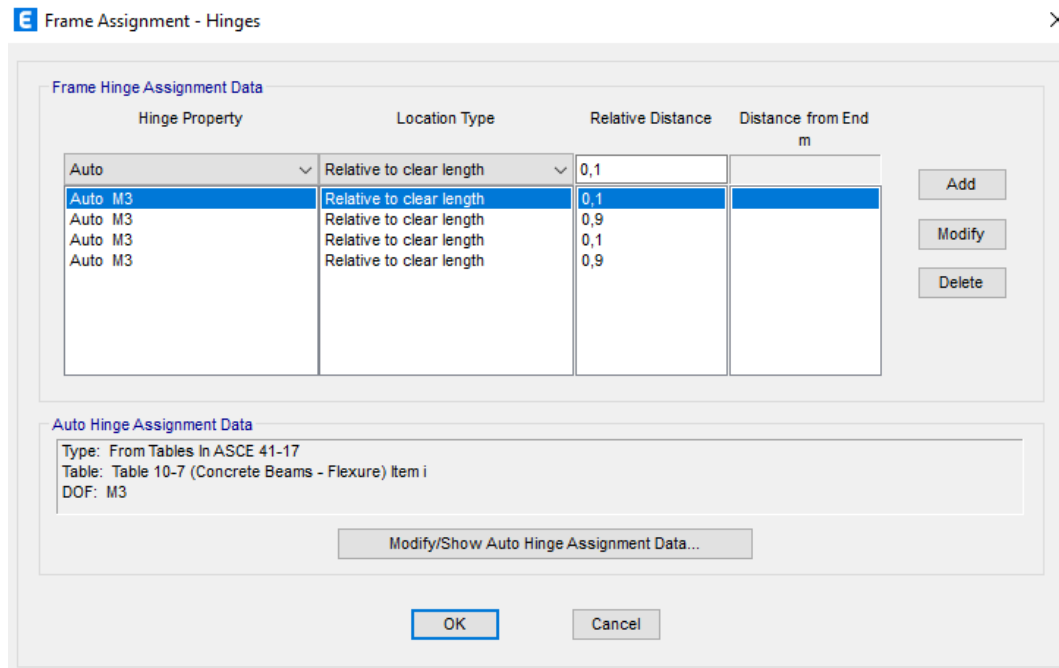
Berikut adalah tahapan dalam melakukan pendefinisian sendi plastis pada ETABS.

- a. Pilih balok yang akan diberi sendi plastis (*Hinge*) dengan tahapan klik *Select – Properties – Frame Section –* pilih balok yang dimodelkan – *Select*.



Gambar 5. 55 Select Frame Balok

- b. Berikutnya klik *Assign – Frame – Hinge –* pada bagian *Local Type* pilih *Relative to Clear length –* isikan *Relative distance*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5,56 berikut ini.



Gambar 5. 56 Input frame Hinge Balok

Penginputan sendi plastis pada *Relative Distance* 0,1 dan 0,9 dengan *Type Location* menggunakan *Relative to Clear Length* menunjukkan bahwa sendi plastis pada balok diletakkan di ujung tepi bersih balok.

- c. Berikutnya pada kolom *Auto Hinge* pilih *From Table* in ASCE 41-17 - pada kolom *Select a Hinge* pilih Table 10-7 (*Concrete Beams - Flexure*) *item I* – pada kolom *Degree of Freedom* pilih M3 – klik *Case/combo* pada *V Value From* pilih *Pushover x* atau *Pushover y*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.57 berikut.

E Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-17

Select a Hinge Table
Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom
 M2
 M3

V Value From
 Case/Combo Pushover x
 User Value V2 kN

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio $(p - p')$ / $p_{balanced}$
 From Current Design
 User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

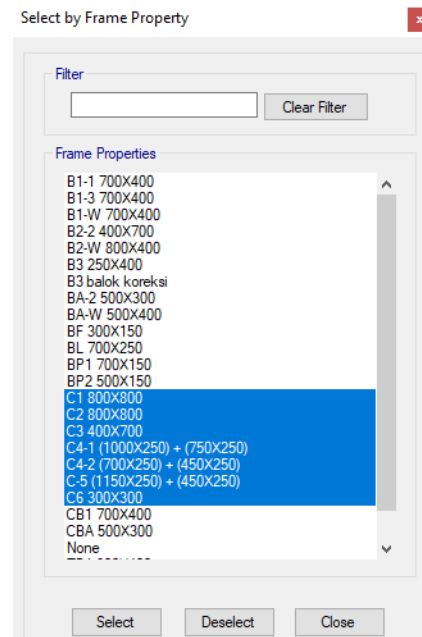
OK Cancel

Gambar 5. 57 Setting Hinge Balok

2. Pendefinisian sendi plastis pada kolom

Berikut adalah tahapan dalam melakukan pendefinisian sendi plastis pada ETABS.

- a. Pilih kolom yang akan diberi sendi plastis (*Hinge*) dengan tahapan klik *Select – Properties – Frame Section* – pilih kolom yang telah dimodelkan – *Select*.



Gambar 5. 58 Select Frame Kolom

- b. Berikutnya klik *Assign – Frame – hinge* – pada bagian *Local Type* pilih *Relative to Clear length* – isikan *relative Distance*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut ini.

E Frame Assignment - Hinges ×

Existing Assignments

Warning: Assignments may already exist on some selected line objects.

Add Specified Assigns To Existing Assigns

Replace Existing Assigns With Specified Assigns

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0,1	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0,1	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0,9	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0,1	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0,9	

Add
Modify
Delete

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In ASCE 41-17
 Table: Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)
 DOF: P-M2-M3

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

OK Cancel

Gambar 5. 59 Input Frame Hinge Kolom

Penginputan sendi plastis pada *Relative Distance* 0,1 dan 0,9 dengan *Type Location* menggunakan *Relative to Clear length* menunjukkan bahwa sendi plastis pada balok diletakkan di ujung tepi bersih kolom.

- c. Berikutnya pada kolom *Auto Hinge* pilih *From Table in ASCE 41-17* pada kolom *Select a Hinge* pilih *Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)* – pada kolom *Degree of Freedom* pilih P-M2-M3 – klik *Case/Combo* pada *V Value From* untuk *Gravity* pilih beban Gravitasi, dan untuk *Gravity + Lateral* pilih beban *Pushover x* atau *Pushover y*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut ini.

E Auto Hinge Assignment Data ×

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-17

Select a Hinge Table
Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)

Degree of Freedom
 M2 P-M2 Parametric P-M2-M3
 M3 P-M3
 M2-M3 P-M2-M3

P Values From
 Case/Combo User Value
Gravity: Gravity
Gravity + Lateral: Pushover x

Concrete Column Behavior
 Not Controlled by Inadequate Development or Splicing
 Controlled by Inadequate Development or Splicing

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w \cdot s)$
 From Current Design
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

Shear Demand at Flexural Yielding / Shear Capacity (V_yE / V_{col0E})
 Program Calculated
 User-specified Shear Demand, V_yE
V2: V3:

User-specified Ratio, V_yE / V_{col0E}
V2: V3:

Shear Reinforcement Spacing Ratio (s/d)
 From Current Design
 User Value

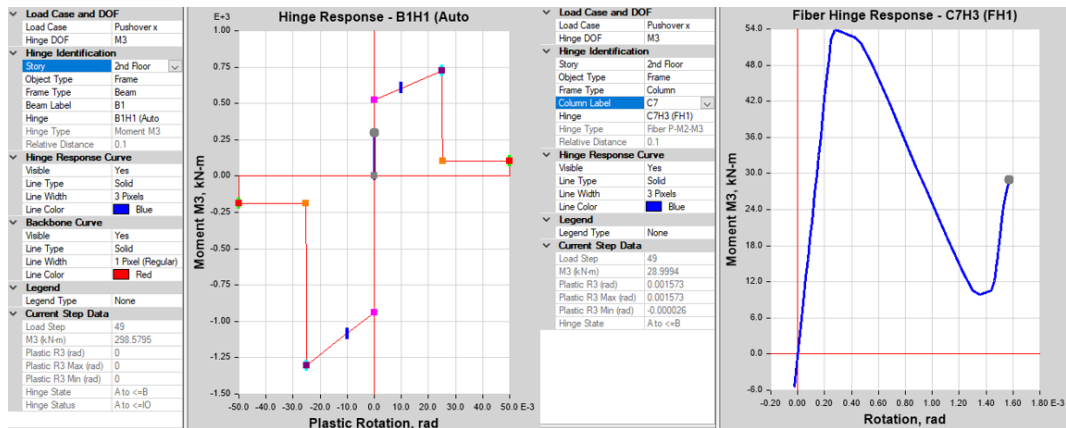
OK Cancel

Gambar 5. 60 *Setting Hinge Kolom*

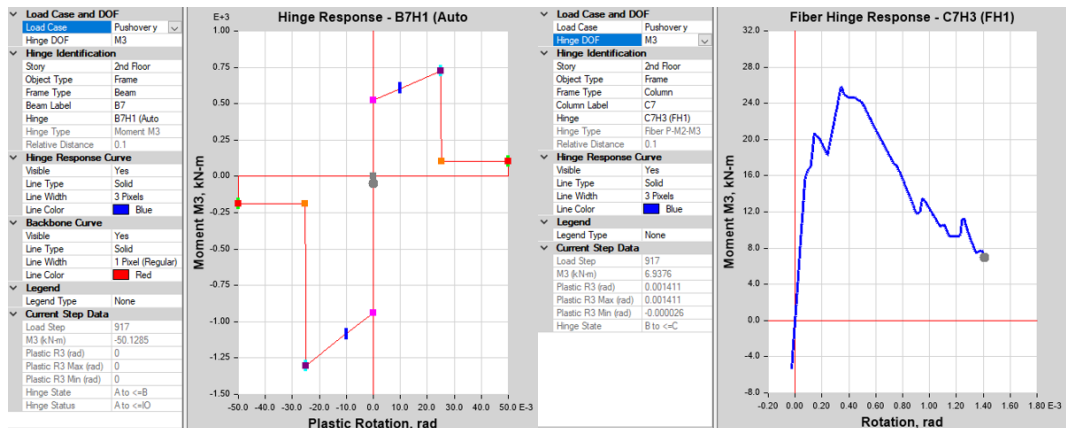
5.6 Hasil Analisis *Pushover*

5.6.1 Hasil *Hinge* Balok dan Kolom

Pendefinisian sendi plastis atau *hinge* dilakukan pada pertemuan antara balok dan kolom yang mana sendi pada pertemuan tersebut akan mengalami momen yang bekerja hingga mengalami plastis. Sendi plastis akan terjadi pada suatu penampang bila beban pada sendi telah mencapai titik leleh. Hasil dari interaksi beban kepada penampang pada balok dan kolom dapat di lihat pada Gambar 561 dan Gambar 5.62 berikut ini.



Gambar 5. 61 Hasil Respons *Hinge* Balok dan Kolom *Pushover X*



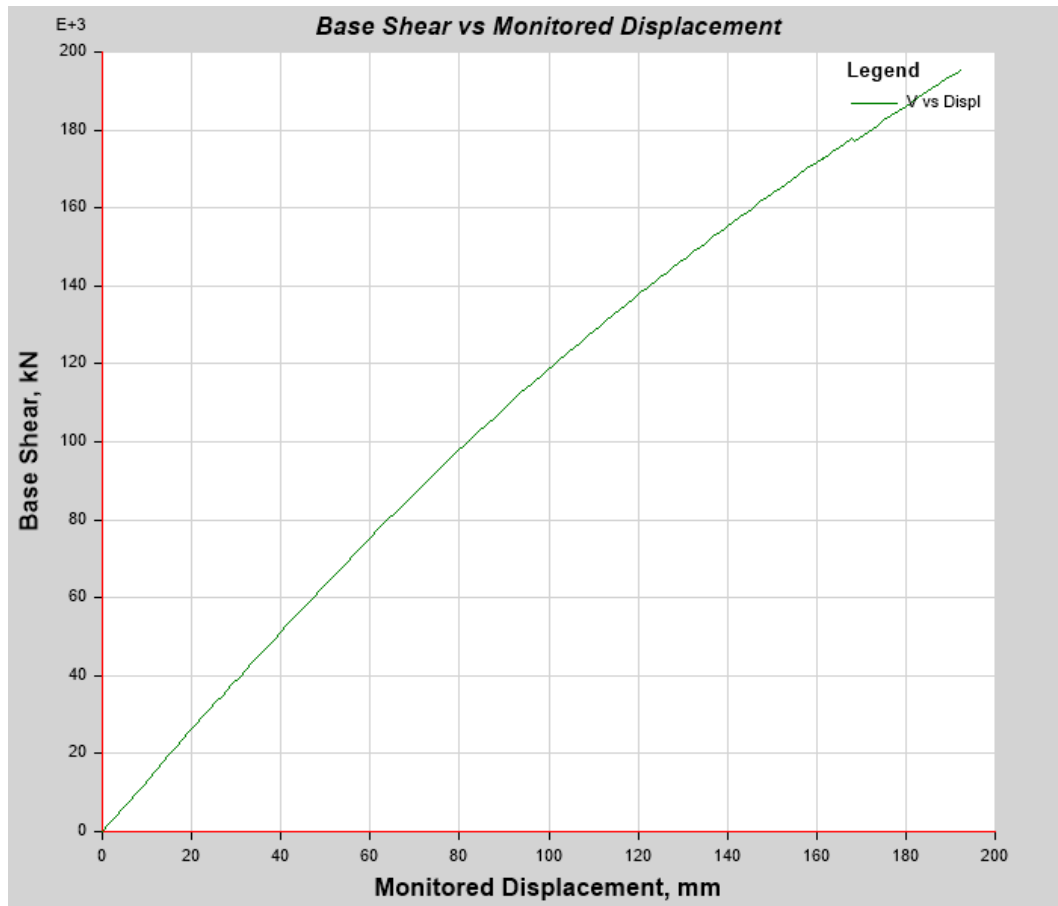
Gambar 5. 62 Hasil Respons *Hinge* Balok dan Kolom *Pushover Y*

5.6.2 Kurva kapasitas

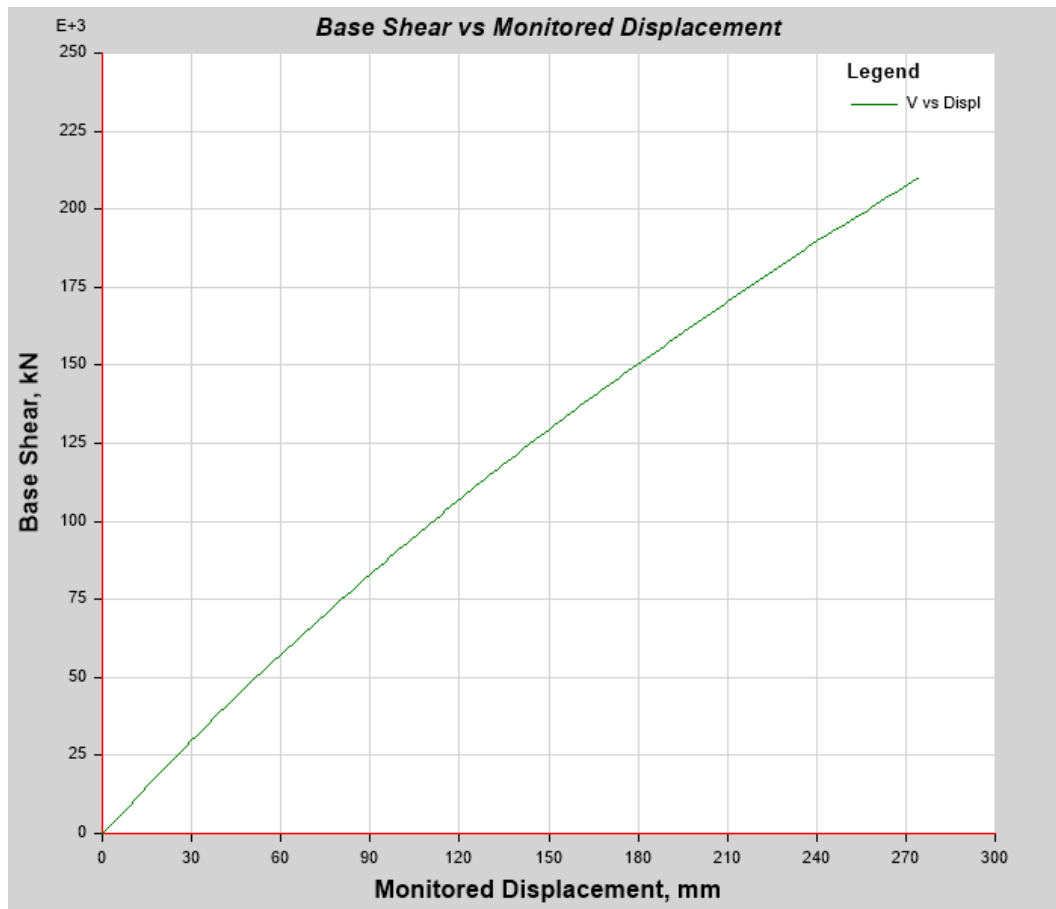
Kurva kapasitas adalah salah satu hal yang terpenting dalam pembuatan analisis *Pushover*. Kurva kapasitas sendiri adalah hasil yang menunjukkan nilai dari gaya geser dasar dengan perpindahan lateral setiap lantai hingga didapatkan nilai maksimum kekuatan yang dapat di tampung oleh bangunan tersebut, yang artinya bahwa nilai dari kurva kapasitas diperoleh tergantung dengan kekuatan momen deformasi pada struktur.

Hasil dari kurva kapasitas dapat dilihat dengan pada setelah selesai melakukan *running Pushover*. Kurva kapasitas dapat dibuka dengan klik menu *Display* kemudian pilih *Show Static Pushover Curve*, setelah itu akan muncul tampilan dimana dapat terlihat grafik kurva kapasitas pada arah x dan kurva

kapasitas dari arah y. Hasil kurva kapasitas pada arah x dan kurva kapasitas pada arah y dapat dilihat pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64 berikut ini.



Gambar 5. 63 Grafik Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X



Gambar 5. 64 Grafik Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y

Dari hasil grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64 di dapatkan bahwa kurva kapasitas *Pushover* pada arah x memiliki nilai *base shear* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *Base Shear* pada grafik kurva kapasitas *Pushover* pada arah y, dengan nilai *base shear* maksimum untuk arah x sebesar 195618.2225 KN yang berada pada *step* ke 119, dan untuk arah y sebesar 211307.1955 KN pada *step* ke 176. Hal ini menunjukkan bahwasanya bangunan untuk arah y merupakan sumbu kuat bangunan dan sumbu lemah bangunan terdapat pada arah x.

Pada kurva kapasitas adapun *output* lain berupa *table output* kurva kapasitas. *Table Output* kurva kapasitas ini berisi data setiap *step* dan besarnya nilai *Base Shear* yang dihasilkan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Hasil Kurva Kapasitas Arah X

Step	Monitored Displacement	Base Shear	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	KN					
0	0	0	5562	0	0	0	5666
1	1,496	1960,596	5562	0	0	0	5666
2	2,992	3921,191	5562	0	0	0	5666
3	4,488	5881,784	5562	0	0	0	5666
4	5,984	7842,376	5562	0	0	0	5666
5	7,481	9803,024	5562	0	0	0	5666
88	157,117	169660,322	5664	2	0	0	5666
89	158,745	170926,254	5664	2	0	0	5666
90	160,241	172100,353	5664	1	1	0	5666
91	161,192	172824,195	5664	1	1	0	5666
92	161,197	172818,340	5664	1	1	0	5666
115	191,655	195148,700	5652	10	0	4	5666
116	191,663	195052,074	5652	9	1	4	5666
117	192,332	195550,867	5651	10	1	4	5666
118	192,334	195553,290	5651	10	1	4	5666
119	192,418	195618,223	5651	10	1	4	5666

Tabel 5. 13 Hasil Kurva Kapasitas Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Shear	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	KN					
0	0	0	5562	0	0	0	5666
1	1,496	1490,446	5562	0	0	0	5666
2	2,992	2980,895	5562	0	0	0	5666
3	4,488	4471,346	5562	0	0	0	5666
4	5,984	5961,823	5562	0	0	0	5666
5	7,481	7452,256	5562	0	0	0	5666
45	80,124	74830,739	5666	0	0	0	5666
46	82,397	76729,914	5665	1	0	0	5666
47	83,893	77970,469	5665	1	0	0	5666
48	85,389	79207,824	5665	1	0	0	5666
49	88,286	81586,317	5665	1	0	0	5666

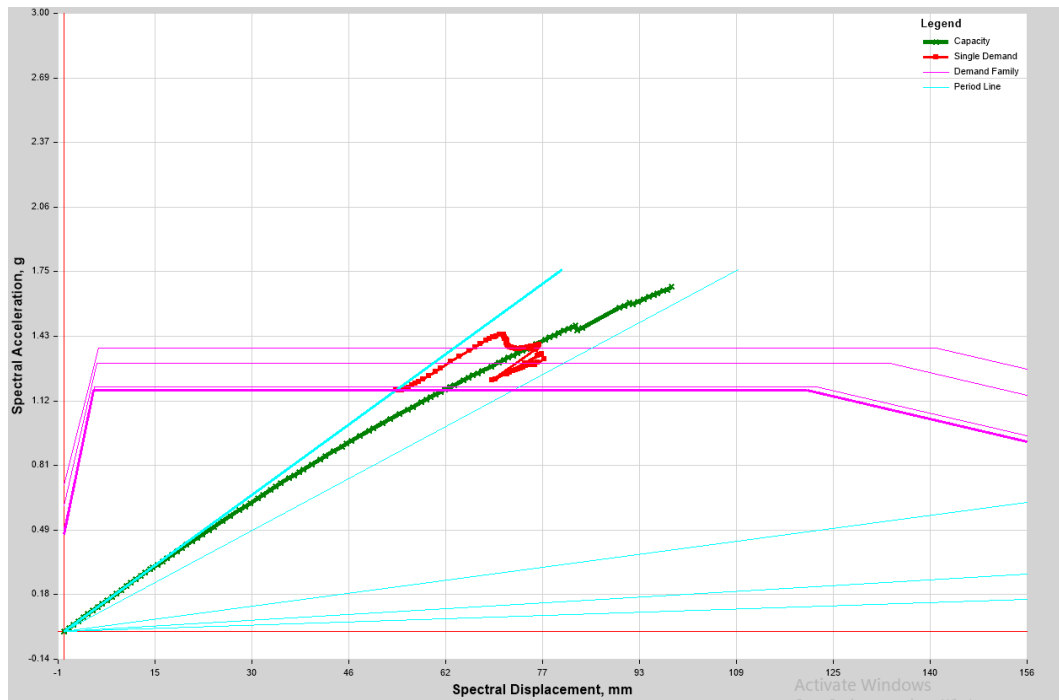
Lanjutan Tabel 5. 13 Hasil Kurva Kapasitas Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Shear	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	KN					
172	274,642	208917,161	5642	17	4	3	5666
173	277,254	210510,926	5642	16	5	3	5666
174	278,563	211285,656	5642	16	5	3	5666
175	278,571	211277,186	5642	16	5	3	5666
176	278,617	211307,196	5642	16	5	3	5666

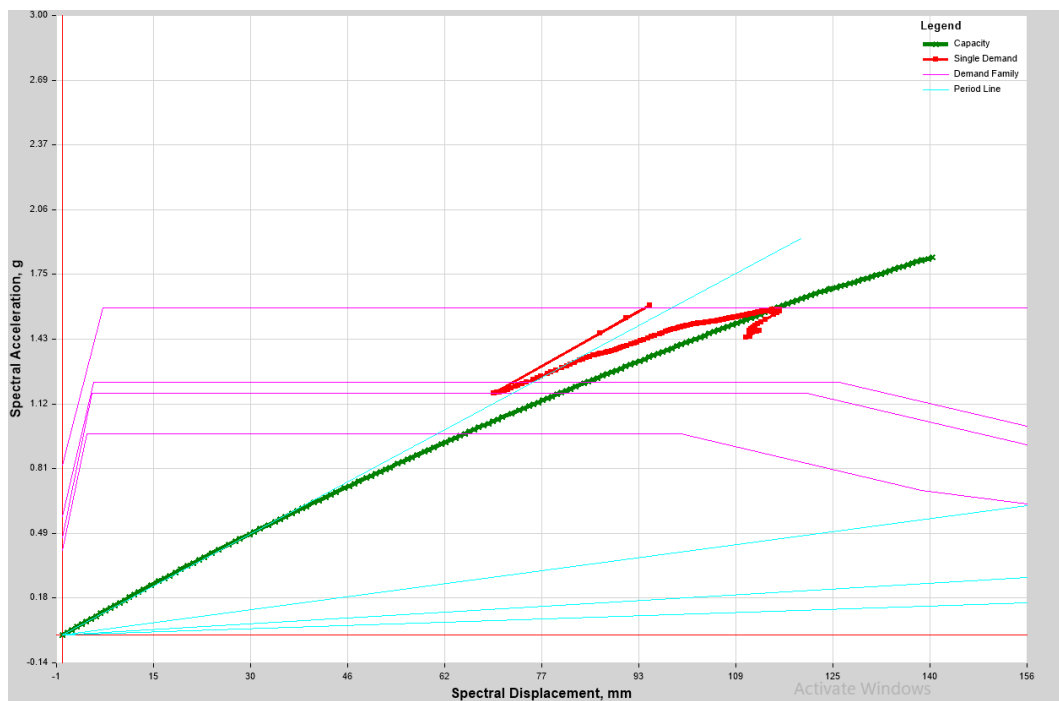
Hasil kurva kapasitas telah ditunjukkan pada Tabel 5.13 di atas yang mana jika dilihat kurva kapasitas pada arah x berhenti pada step ke 119 dengan nilai *displacement* 192,418 mm dan nilai dari *Base Shear* 195618,223 kN, kurva kapasitas pada arah y berhenti pada step ke 176 dengan diperolehnya nilai *displacement* 278,617 mm dan *Base Shear* 211307,196 kN.

5.6.3 Performance Point ATC-40

Performance point merupakan sebuah nilai estimasi dimana kapasitas struktur dapat menahan beban (*demand*) yang diberikan. Menentukan nilai *Performance point* dilakukan dengan cara menggunakan kurva kapasitas yang telah dihasilkan dari analisis *Pushover*, kurva kapasitas sendiri didapatkan dari konversi dengan bantuan program ETABS menjadi bentuk spektrum kapasitas dengan format ADRS yaitu hubungan antara nilai S_a dengan nilai S_d agar mempermudah penjelasan dapat dilihat pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 berikut ini.



Gambar 5. 65 Spektrum Kapasitas Arah X



Gambar 5. 66 Spektrum Kapasitas Arah Y

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 di atas menunjukkan besarnya kapasitas struktur dalam memenuhi beban yang diberikan gempa rencana sesuai dengan acuan SNI-1726-03-2019, untuk lebih jelasnya dalam melihat nilai yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 14 Performance Point Metode ATC-40

Beban	Base Shear (KN)	Performance Point					
		Vt (KN)	Dt (mm)	Sa (g)	Sd (mm)	T eff	B eff
Pushover X	13652,30	160566.4641	146,142	1.380282	75.374	0,584	0,1309
Pushover Y	13652,30	179256.2519	224.765	1.573992	114.549	0.749	0.1642

Dari hasil yang di tampilkan pada Tabel 5.14 bahwa gaya geser dasar (*base shear*) untuk arah x $V_t = 160566,4641$ KN lebih besar dari $V_x = 13652,30$ KN, dan untuk arah y $V_t = 179256,2519$ KN lebih besar dari $V_y = 13652,30$ KN, maka berdasarkan metode spektrum kapasitas ATC-40 perilaku struktur pada arah x dan y pada gempa rencana telah memenuhi kondisi in-elastis yang terjadi akibat pelelehan pada sendi plastisnya. Hasil target *displacement* (Dt) yang didapatkan dari analisis *pushover* untuk arah x sebesar 146,142 mm dan untuk arah y sebesar 224,765 mm, nilai target *displacement* baik untuk arah x maupun arah y masih di bawah nilai batas maksimum *displacement* sebesar $0,02 \times$ tinggi bangunan = $0,02 \times 37,4 \text{ m} = 0,748 \text{ m}$ atau 748 mm, sehingga telah memenuhi syarat.

5.6.4 Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur dapat ditentukan dengan cara menggunakan rasio *drift* atap yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang digunakan adalah maksimum total *drift* dan maksimum in-elastik *drift*, berikut adalah batasan *ratio drift* dan cara perhitungan nilai-nilai parameter untuk mendapatkan tingkat kinerja struktur.

Tabel 5. 15 Batasan Ratio Drift ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maximum total drift	0,01	0,01 - 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum inelastic drift	0,005	0,005 – 0,015	No limit	No limit

Persamaan yang digunakan:

$$\text{Maksimal Drift} = \frac{D_t}{H_{\text{total}}}$$

$$\text{Maksimal In-Elastic Drift} = \frac{D_t - D_1}{H_{\text{total}}}$$

Keterangan:

D_t : displacement atap (paling atas)

D_1 : displacement lantai 1 (lantai di atas penjepit lateral)

1. Evaluasi Kinerja Struktur Arah X

Batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi analisis ragam respons spektrum pada gedung, dengan parameter maksimum toatal *drift* dan maksimum in-elastik *drift*, maka:

$$\text{Maksimal Drift} = \frac{D_t}{H_{\text{total}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimum Drift} &= \frac{192,418 \text{ mm}}{37400 \text{ mm}} \\ &= 0,005145 \end{aligned}$$

$$\text{Maksimal In-Elastic Drift} = \frac{D_t - D_1}{H_{\text{total}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimum In-Elastic Drift} &= \frac{192,418 \text{ mm} - 1,496 \text{ mm}}{37400 \text{ mm}} \\ &= 0,005105 \end{aligned}$$

Untuk nilai parameter maksimum total *drift* hasil dari perhitungan *pushover* arah x sebesar $0,005145 < 0,01$, berdasarkan Tabel 5.15 masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate occupancy* artinya bangunan aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

Kemudian untuk nilai parameter maksimum *inelastik drift* hasil perhitungan *pushover* arah x sebesar $0,005105 > 0,005$, nilai tersebut berdasarkan Tabel 5.15 kategori tersebut termasuk *Damage Control* (DC) yang artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan risiko korban jiwa sangat rendah.

2. Evaluasi kinerja Struktur Arah Y

Batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi analisis ragam respons spektrum pada gedung, dengan parameter maksimum total *drift* dan maksimum in-elastik *drift*, maka:

$$\begin{aligned} \text{Maksimal Drift} &= \frac{D_t}{H_{\text{total}}} \\ \text{Maksimum Drift} &= \frac{278,617 \text{ mm}}{37400 \text{ mm}} \\ &= 0,00745 \\ \text{Maksimal In-Elastic Drift} &= \frac{D_t - D_1}{H_{\text{total}}} \\ \text{Maksimum In-Elastic Drift} &= \frac{278,617 \text{ mm} - 1,496 \text{ mm}}{37400 \text{ mm}} \\ &= 0,00741 \end{aligned}$$

Untuk nilai parameter maksimum total *drift* hasil dari perhitungan *pushover* arah y sebesar $0,00745 < 0,01$, berdasarkan Tabel 5.15 masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate occupancy* artinya bangunan aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali. Kemudian untuk nilai parameter maksimum *inelastik drift* hasil perhitungan *pushover* arah y sebesar $0,00741 > 0,005$, nilai tersebut berdasarkan Tabel 5.15 *Damage Control* (DC) yang artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan risiko korban jiwa sangat rendah.

5.6.5 Mekanisme Sendi Plastis

Struktur akan mengalami sendi plastis ketika dilakukannya analisis *pushover*, sendi plastis ini pun diakibatkan oleh momen yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan momen kapasitas elemen yang bekerja. Suatu penampang akan mengalami

kondisi plastis apabila pada penampang tersebut mengalami peningkatan beban yang bertahap hingga mencapai titik leleh pada penampang tersebut, pada awalnya jika penampang tersebut tidak diberi peningkatan atau beban yang diberikan relatif kecil akan tetap pada kondisi elastis.

Kondisi sendi plastis ditunjukkan pada *Software* dengan warna yang berbeda. Warna pada setiap kondisi sendi plastis memiliki beberapa warna dan arti yang berbeda-beda. Keterangan pada setiap kondisi sendi plastis dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

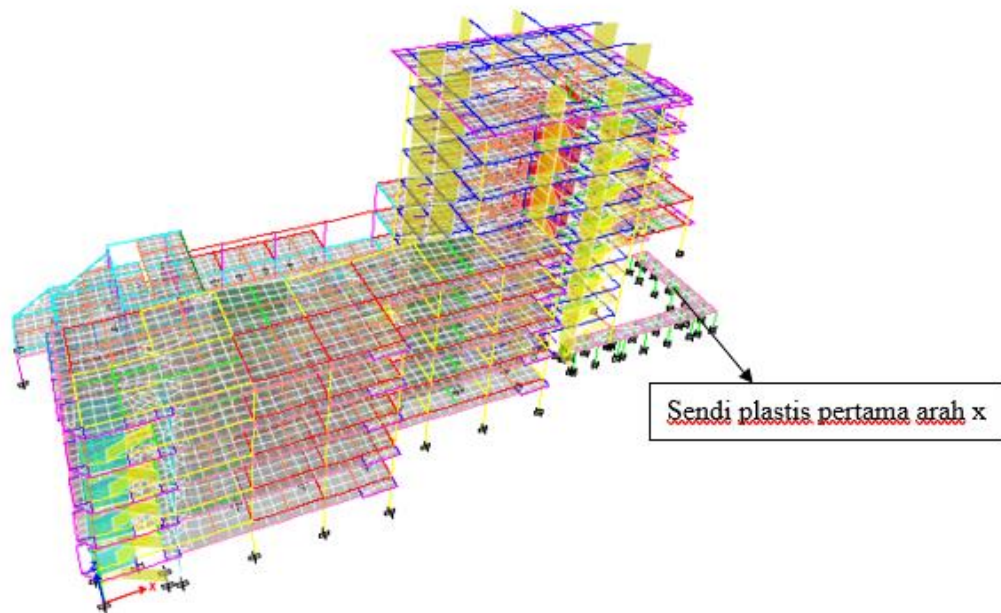
Tabel 5. 16 Keterangan warna Pada Titik Sendi Plastis

Keterangan	Penjelasan
B	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya perolehan pertama pada struktur
IO	Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat sebelum terjadi gempa
LS	Terjadi kerusakan mulai hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur hingga 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

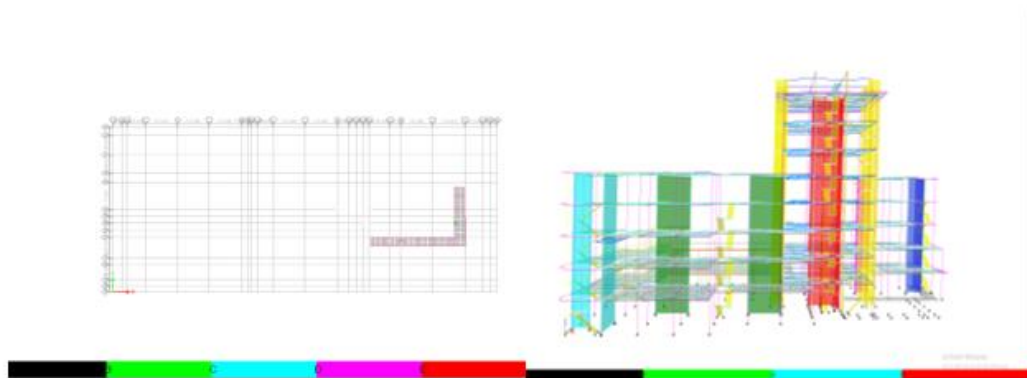
Hasil pendistribusian sendi plastis dapat diketahui pada skema yang ditunjukkan pada aplikasi yang digunakan dalam permodelan gedung. Gambar yang akan ditunjukkan yaitu pada kondisi level kinerja pada arah X dan pada arah Y,

1. Mekanisme sendi plastis arah x

Sendi plastis untuk arah x dengan beban gempa rencana terjadi pada balok dan kolom pada step ke-88, yang mana ditandai dengan muncul titik-titik sendi plastis berwarna hijau yang berarti pada level kinerja B. level kinerja B artinya sendi plastis mulai terjadi. Berikut adalah gambar terjadinya sendi plastis pada step-88, dapat dilihat pada Gambar 5.67 dan Gambar 5.68

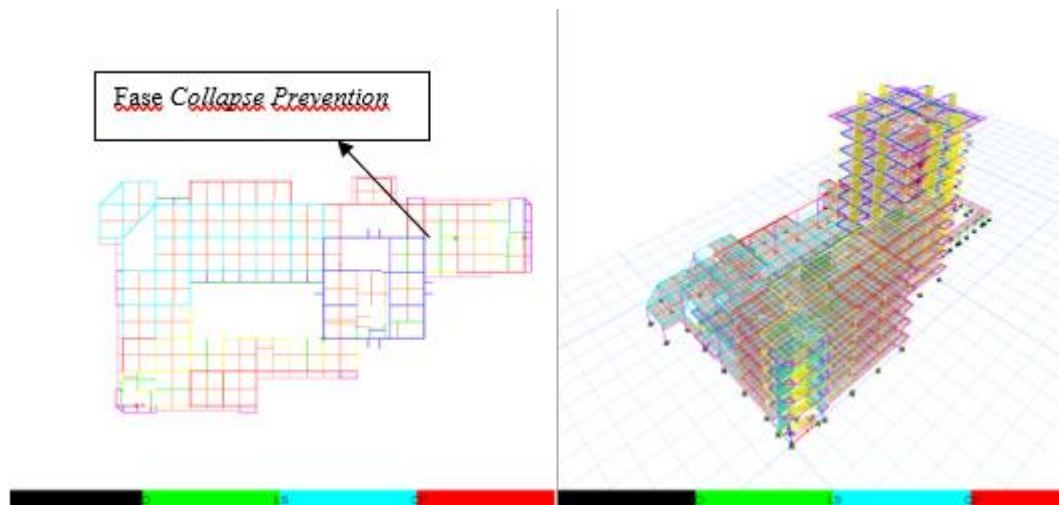


Gambar 5. 67 Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah X



Gambar 5. 68 Detail Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah X

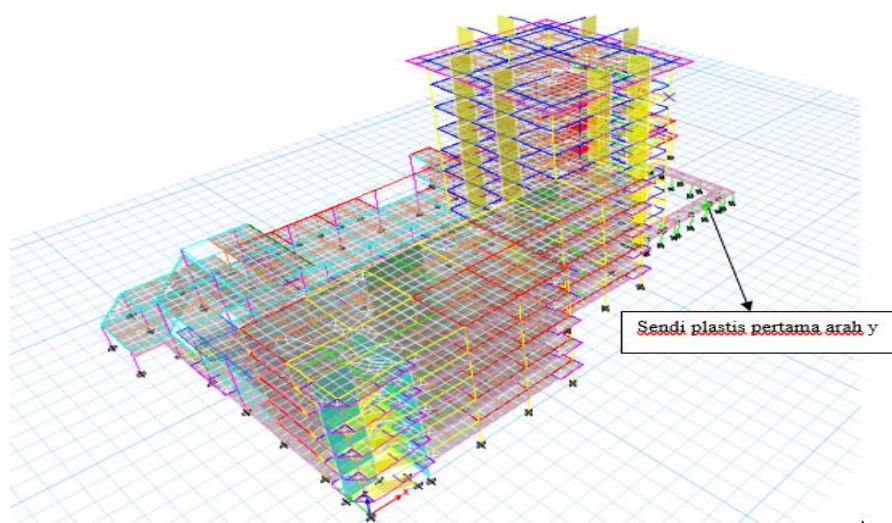
Mekanisme sendi plastis pada arah x berakhir pada step ke-119, yang mana terlihat sendi plastis sudah terjadi hampir di seluruh bangunan, kemudian terjadi sendi plastis pada kolom yang sudah masuk ke dalam fase *Collapse Prevention*. *Collapse Prevention* artinya terjadi kerusakan parah pada elemen struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.67 berikut ini.



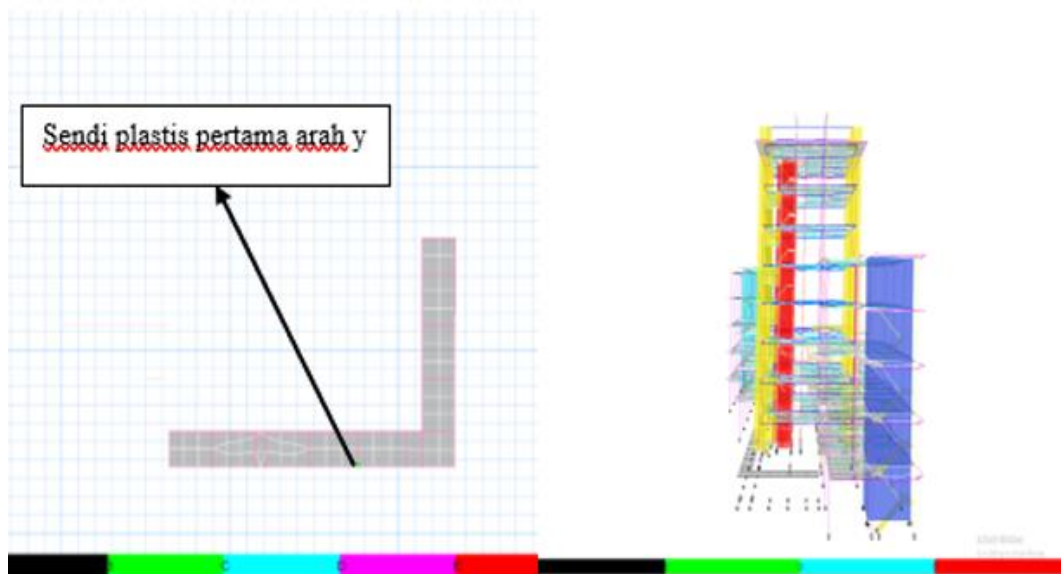
Gambar 5. 69 Detail Distribusi Sendi Plastis Step 119 Arah X

2. Mekanisme sendi plastis arah y

Sendi plastis untuk arah y dengan beban gempa rencana terjadi pada balok pada step ke-46 dimana ditandai dengan muncul titik-titik sendi plastis berwarna hijau yang berarti pada level kinerja B. Level kinerja B artinya sendi plastis mulai terjadi. Berikut adalah gambar terjadinya sendi plastis pada bangunan gedung, dapat dilihat pada Gambar 5.70 dan Gambar 5.71 Berikut.

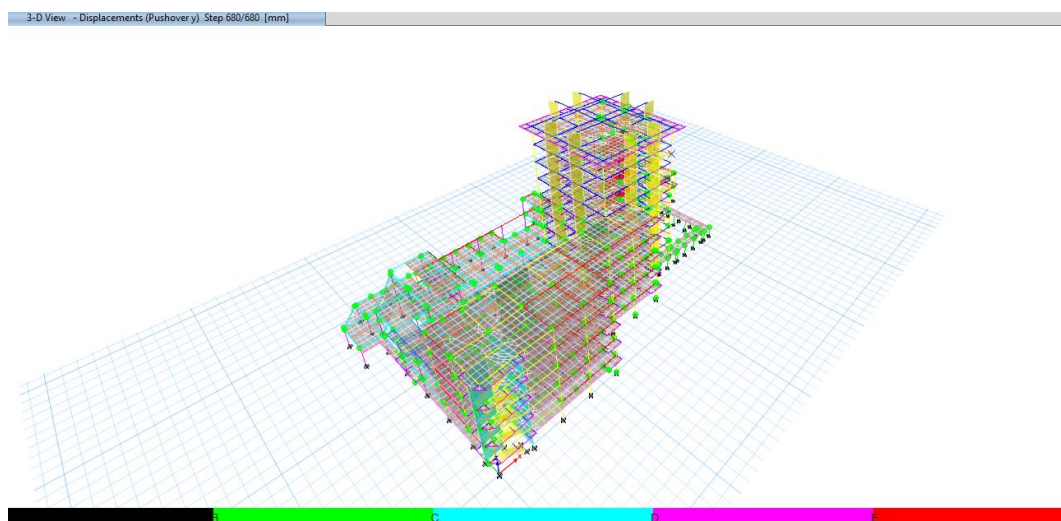


Gambar 5. 70 Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah Y



Gambar 5. 71 Detail Terjadinya Sendi Plastis Pertama Arah Y

Mekanisme sendi plastis pada arah y berakhir pada step ke-176, yang mana sendi plastis sudah terjadi hampir di seluruh bangunan. Mekanisme sendi plastis pada arah y ini mengalami fase *Collapse Prevention*. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.72 berikut.



Gambar 5. 72 Detail Distribusi Sendi Plastis Step 176 Arah Y

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari apa yang bisa ditarik dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan yaitu:

1. Hasil analisis *pushover* pada gedung TILC dengan melalui permodelan menggunakan aplikasi ETABS didapatkan nilai dari *base shear* pada arah y lebih besar dibandingkan dengan *Base Shear* pada arah x. Kurva kapasitas pada arah x berhenti pada step ke 119 dengan nilai *displacement* 192,418 mm dan nilai dari *Base Shear* 195618.2225 KN, kurva kapasitas pada arah y berhenti pada step ke 176 dengan diperolehnya nilai *displacement* 278.617 dan *Base Shear* 211307.1955 KN. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk arah y merupakan sumbu kuat bangunan sedangkan arah x merupakan sumbu lemah bangunan, hal tersebut dikarenakan pada sumbu kuat bangunan memiliki jumlah kolom dan balok yang lebih banyak.
2. Tingkat kinerja struktur diukur berdasarkan perhitungan parameter maksimum total *drift* dan parameter maksimum *inelastik drift*. Untuk nilai parameter maksimum total *drift* hasil dari perhitungan *pushover* arah x sebesar $0,005145 < 0,01$, dengan hasil itu termasuk kedalam kategori *Immediate Occupancy (IO)*. *Immediate occupancy* artinya bangunan aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali. Kemudian untuk nilai parameter maksimum *inelastik drift* hasil perhitungan *pushover* arah x sebesar $0,005105 > 0,005$, nilai tersebut termasuk *Damage Control (DC)* yang artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan risiko korban jiwa sangat rendah. Untuk nilai parameter maksimum total *drift* hasil dari perhitungan *pushover* arah y sebesar $0,00745 < 0,01$, berdasarkan hasil tersebut termasuk kedalam

kategori *Immediate Occupancy* (IO). Kemudian untuk nilai parameter maksimum *inelastik drift* hasil perhitungan *Pushover* arah y sebesar 0,00741 > 0,005, nilai tersebut termasuk dalam kategori *Damage Control* (DC).

3. Sendi plastis untuk arah x dengan beban gempa rencana terjadi pada balok dan kolom pada step ke-88, yang mana ditandai dengan muncul titik-titik sendi plastis berwarna hijau yang berarti pada level kinerja B. level kinerja B artinya sendi plastis mulai terjadi. Mekanisme sendi plastis pada arah x berakhir pada step ke-119, yang mana terlihat sendi plastis sudah terjadi hampir di seluruh bangunan, kemudian terjadi sendi plastis pada kolom yang sudah masuk ke dalam fase *Collapse Prevention*. *Collapse Prevention* artinya terjadi kerusakan parah pada elemen struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang. Sendi plastis untuk arah y dengan beban gempa rencana terjadi pada balok pada step ke-46 dimana ditandai dengan muncul titik-titik sendi plastis berwarna hijau yang berarti pada level kinerja B. Mekanisme sendi plastis pada arah y berakhir pada step ke-176, yang mana sendi plastis sudah terjadi hampir di seluruh bangunan. Mekanisme sendi plastis pada arah y ini mengalami fase *Collapse Prevention*

6.2 Saran

Adapun saran untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut mengenai analisis *pushover* yang mana merupakan salah satu cara mengevaluasi kinerja struktur bangunan, maka ada beberapa saran sebagai berikut.

1. Penggunaan metode lain seperti metode FEMA 356 dan FEMA 440 dapat dilakukan untuk penelitian kedepannya sebagai pembanding hasil analisis dari metode ATC-40.
2. Metode analisis dinamik riwayat waktu (*Time History*) dapat dilakukan pada penelitian kedepannya sebagai pembanding hasil analisis metode statik non-linear *pushover*.
3. Penggunaan komputer dalam *running* analisis disarankan menggunakan komputer dengan spesifikasi tinggi agar mempercepat proses *running* analisis

dan mengurangi kemungkinan terjadi kegagalan dalam proses *running* analisis.

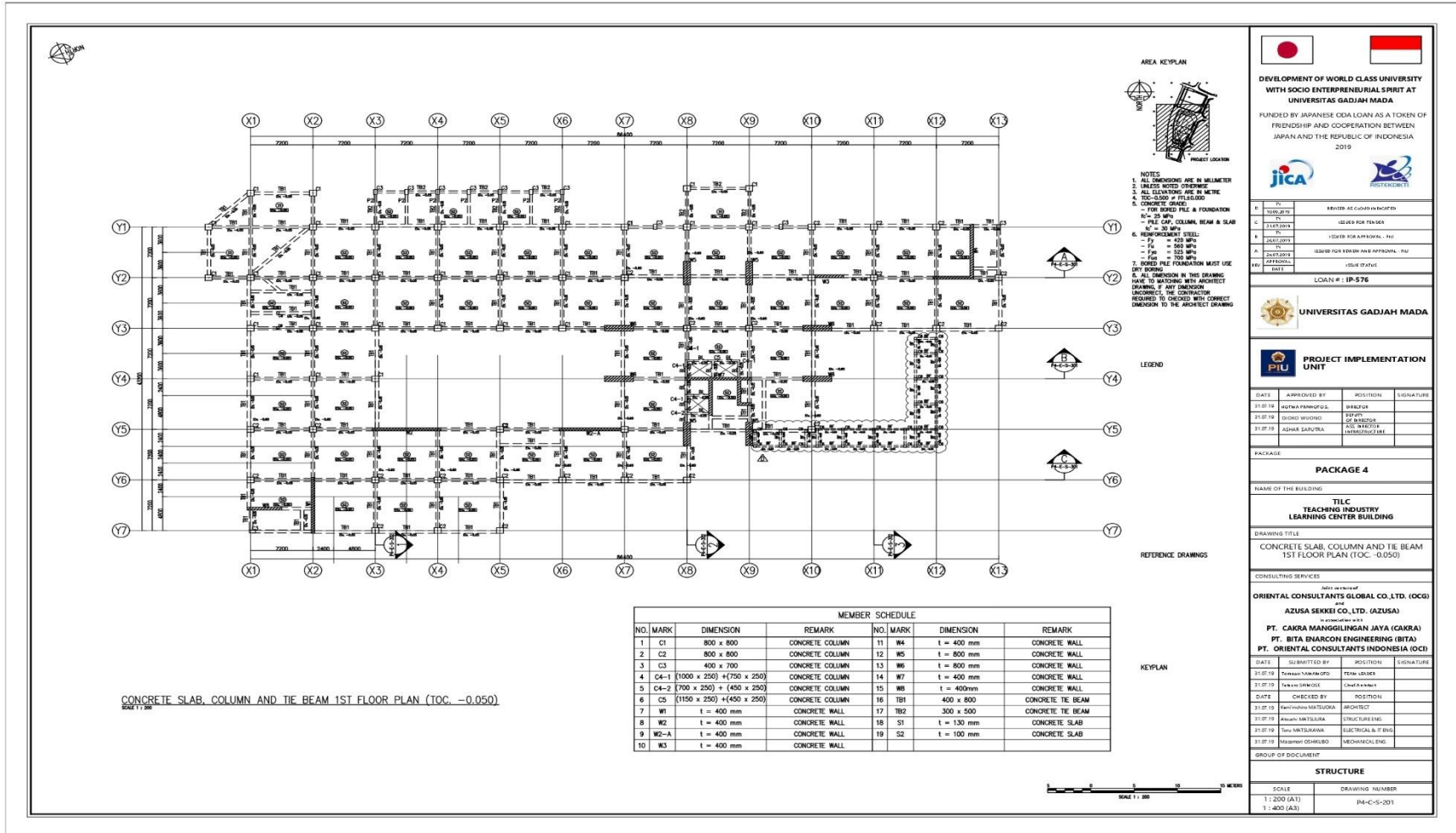
DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40. 1996. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Redwood City, CA: Applied Technology Council." *Seismic safety commissionsion* 1(November 1996): .
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. "SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung." *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional: .*
- BSN. 2020. "Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain." *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020* (8): .
- Mahlisani, Novia. 2017. "Analisis Pushover Pada Struktur Bangunan Eksisting Dengan Simulasi Concrete Jacketing Pada Beberapa Elemen Kolom Struktur."
- Nugraha, Dimas Fitrah. *PENGARUH PENEMPATAN DINDING GESER PADA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT SIMETRI TERHADAP KURVA KAPASITAS DAN SIMPANGAN ATAP DENGAN ANALISIS PUSHOVER (EFFECT OF LAYOUT SHEARWALL ON MULTI-STOREY BUILDING SIMMETRY ON CAPACITY CURVE AND ROOF DRIFT WITH PUSHOVER ANA.*
- Nugraha, Haristio. 2021. "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) Ugm Dengan Metode Analisis Pushover Sesuai Peraturan Sni-."
- Prasetya, Mahega Adi. 2019. "Analisis Level Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover Berdasarkan Sni 1726 : 2019." 2019. Sni 1726:2019. 2019. "Sni 1726:2019." *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.*
- SNI 2052:2017. 2017. "Baja Tulangan Beton SNI 2052:2017." *Badan Standarisasi Nasional: www.bsn.go.id.*
- SNI 2847. 2019. "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung." *Standar Nasional Indonesia.*

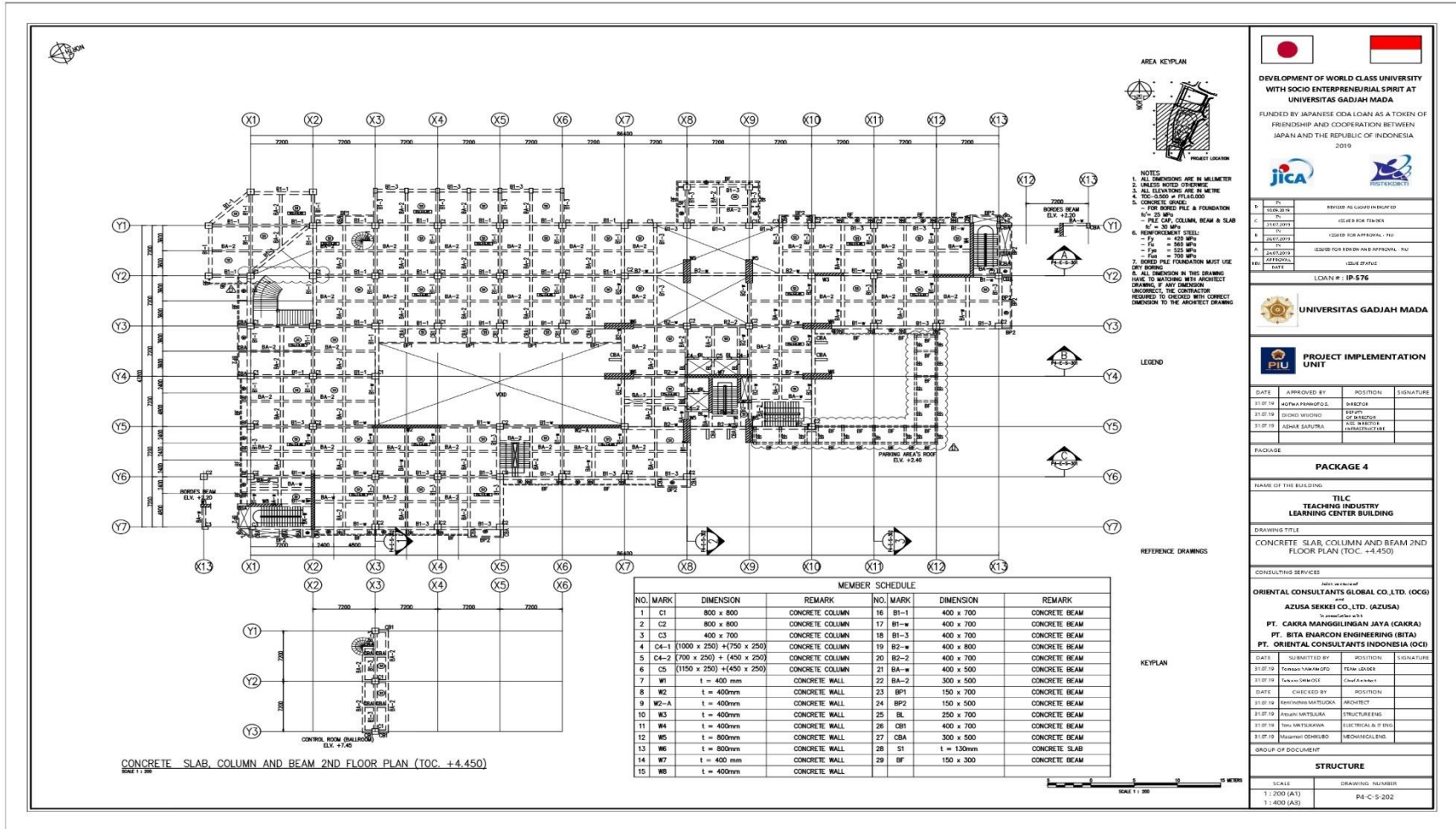
- Timur Laresi, Yulinda, Mohammad Ihsan, and Sofia W. Alisjahbana. 2019. “Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai.” *Jurnal Infrastruktur*.
- Utomo, Cipto, Rokhmad Irfan Susanto Ir Sri Tujono, Hardi Wibowo, and M Eng. *EVALUASI STRUKTUR DENGAN PUSHOVER ANALYSIS PADA GEDUNG KALIBATA RESIDENCES JAKARTA (The Evaluation Of The Structure by Using Pushover Analysis of Kalibata Residences Building Jakarta)*.
- Warsono, W, and J Budianto. 2019. “EVALUASI KINERJA GEDUNG TERHADAP GAYA GEMPA DENGAN METODE PUSHOVER ANALYSIS Studi Kasus: Pembangunan Gedung Hotel Dan Apartement”.

LAMPIRAN

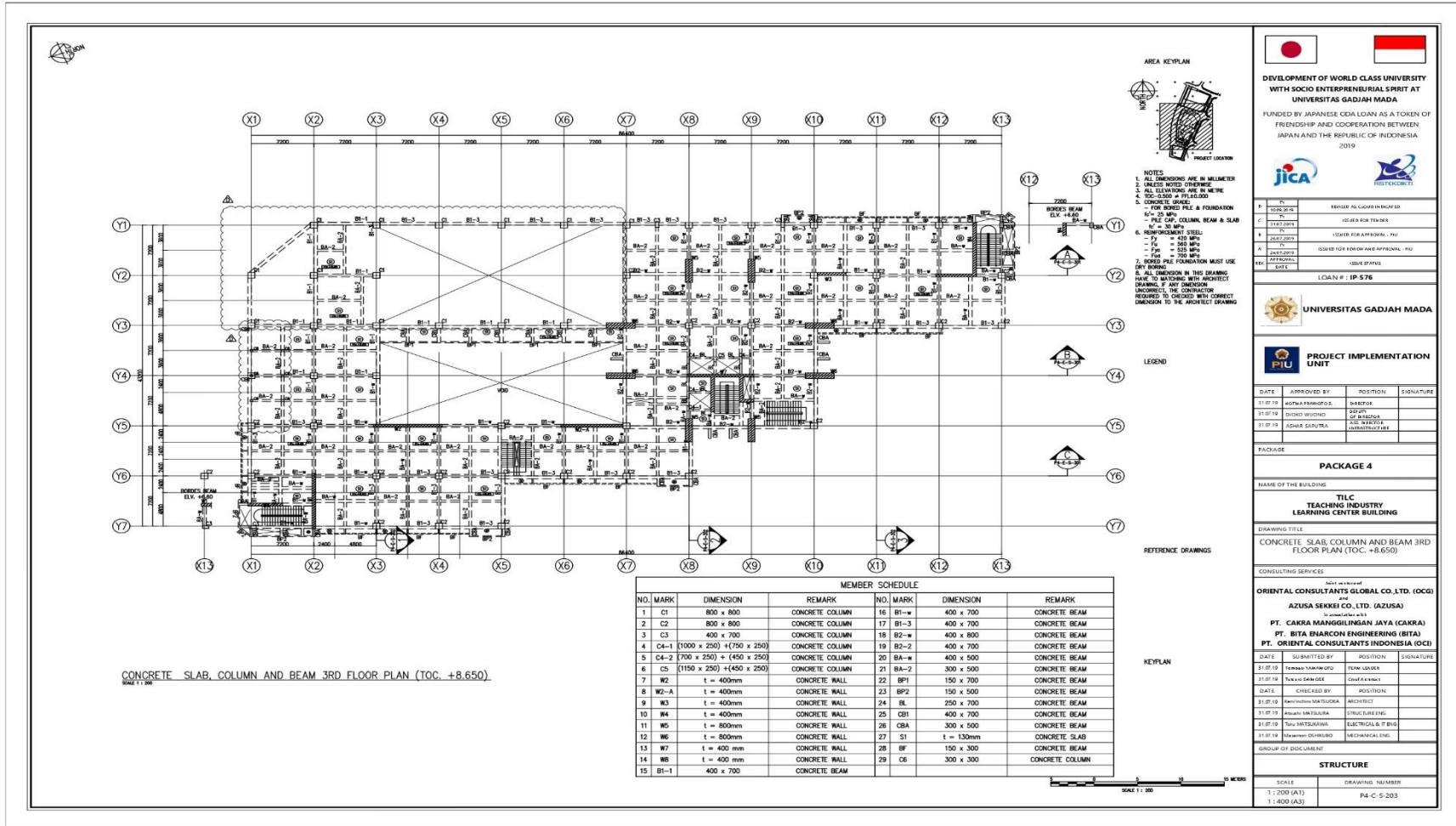
LAMPIRAN 1: Gambar Rencana Proyek Lantai 1



LAMPIRAN 2: Gambar Rencana Proyek Lantai 2



LAMPIRAN 3: Gambar Rencana Proyek Lantai 3



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.	REVISI	REVISI	REVISI
1.	1.	REVISI	REVISI
2.	2.	REVISI	REVISI
3.	3.	REVISI	REVISI
4.	4.	REVISI	REVISI
5.	5.	REVISI	REVISI
6.	6.	REVISI	REVISI
7.	7.	REVISI	REVISI
8.	8.	REVISI	REVISI
9.	9.	REVISI	REVISI
10.	10.	REVISI	REVISI
11.	11.	REVISI	REVISI
12.	12.	REVISI	REVISI
13.	13.	REVISI	REVISI
14.	14.	REVISI	REVISI
15.	15.	REVISI	REVISI

LOAN #: IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE
31.07.19	ALPHA PRANOPUS	MANAGER	
31.07.19	ERIKO WIDONO	DEPUTY MANAGER	
31.07.19	ADHER SURUBA	ASST. MANAGER	

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING: **TILE TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER BUILDING**

DRAWING TITLE: **CONCRETE SLAB, COLUMN AND BEAM 3RD FLOOR PLAN (T.O.C. +8.650)**

CONSULTING SERVICES: **ORIENTAL CONSULTANTS GLOBAL CO., LTD. (OCG) AND AZUSA SEKKEI CO., LTD. (AZUSA)**

PT. CAKRA MANGGILINGSAN JAYA (CAKRA)

PT. BITA ENARCON ENGINEERING (BITA)

PT. ORIENTAL CONSULTANTS INDONESIA (OCI)

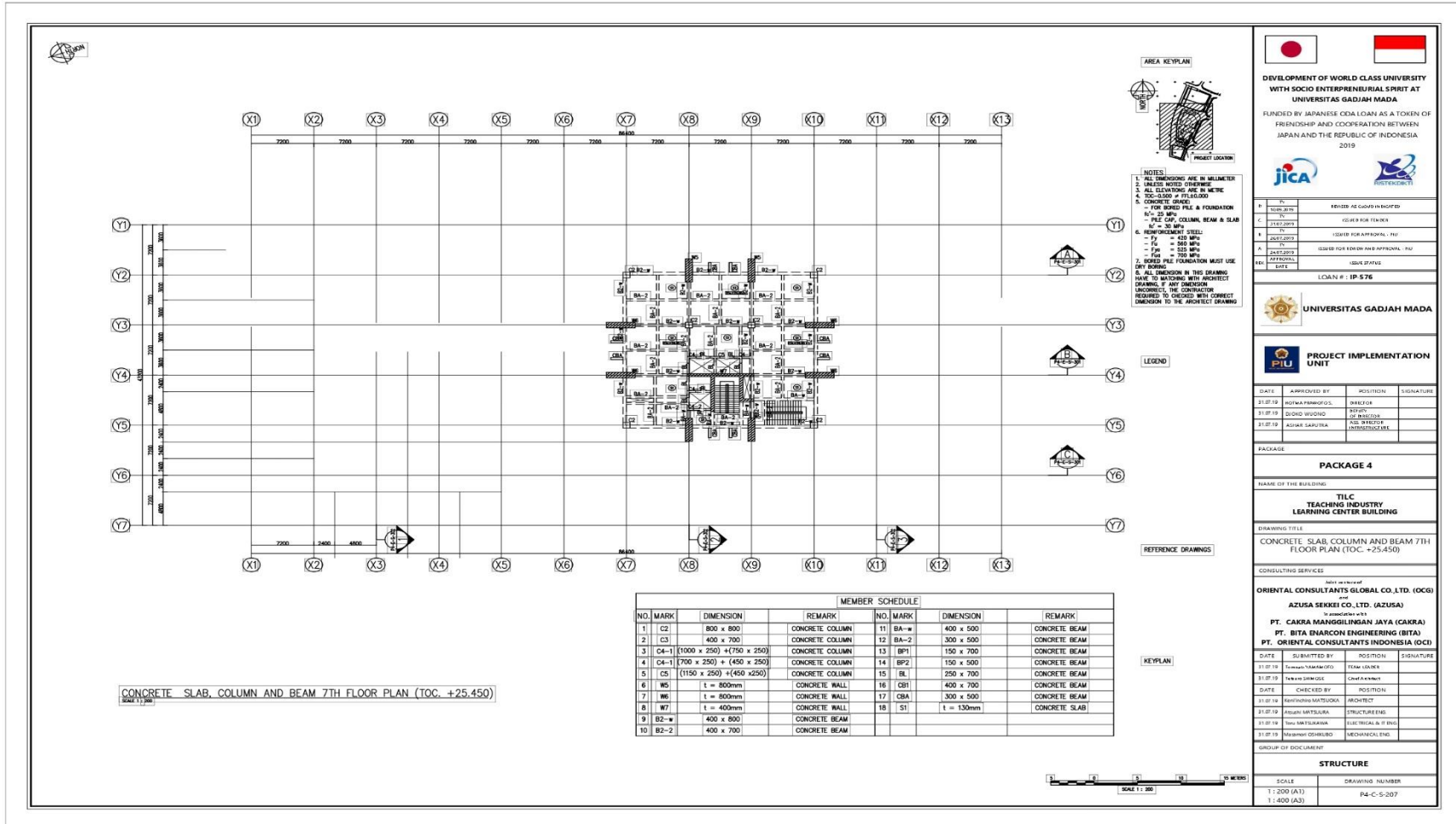
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE
31.07.19	YERMA YANMOROTO	TEAM LEADER	
31.07.19	YERMA YANMOROTO	CHIEF ENGINEER	

DATE	CHECKED BY	POSITION
31.07.19	YERMA YANMOROTO	ARCHITECT
31.07.19	YERMA YANMOROTO	STRUCTURE ENG.
31.07.19	YERMA YANMOROTO	ELECTRICAL & P.E. ENG.
31.07.19	YERMA YANMOROTO	MECHANICAL ENG.

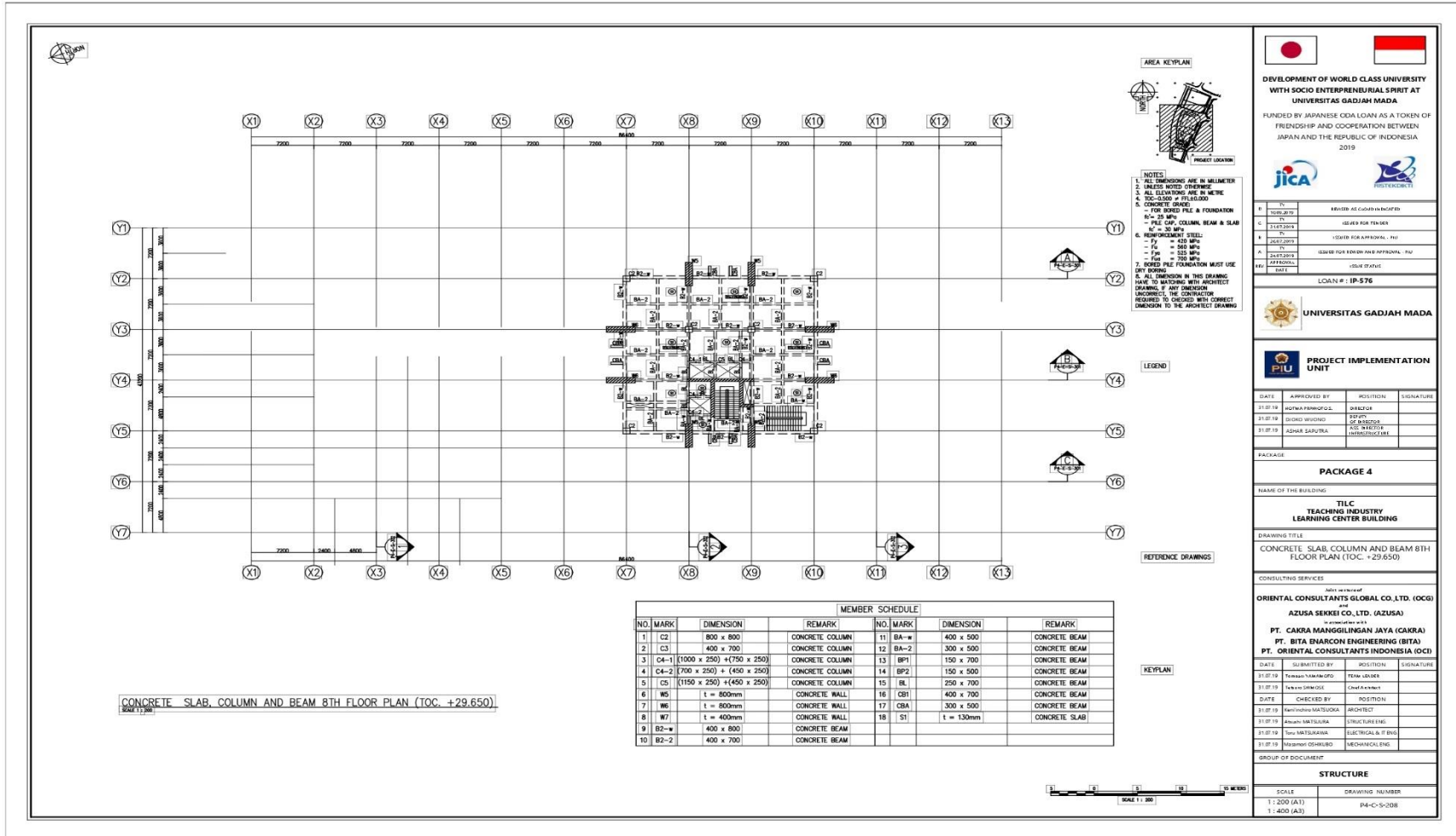
GROUP OF DOCUMENT: **STRUCTURE**

SCALE	DRAWING NUMBER
1:200 (A1)	P4-C-203
1:400 (A3)	

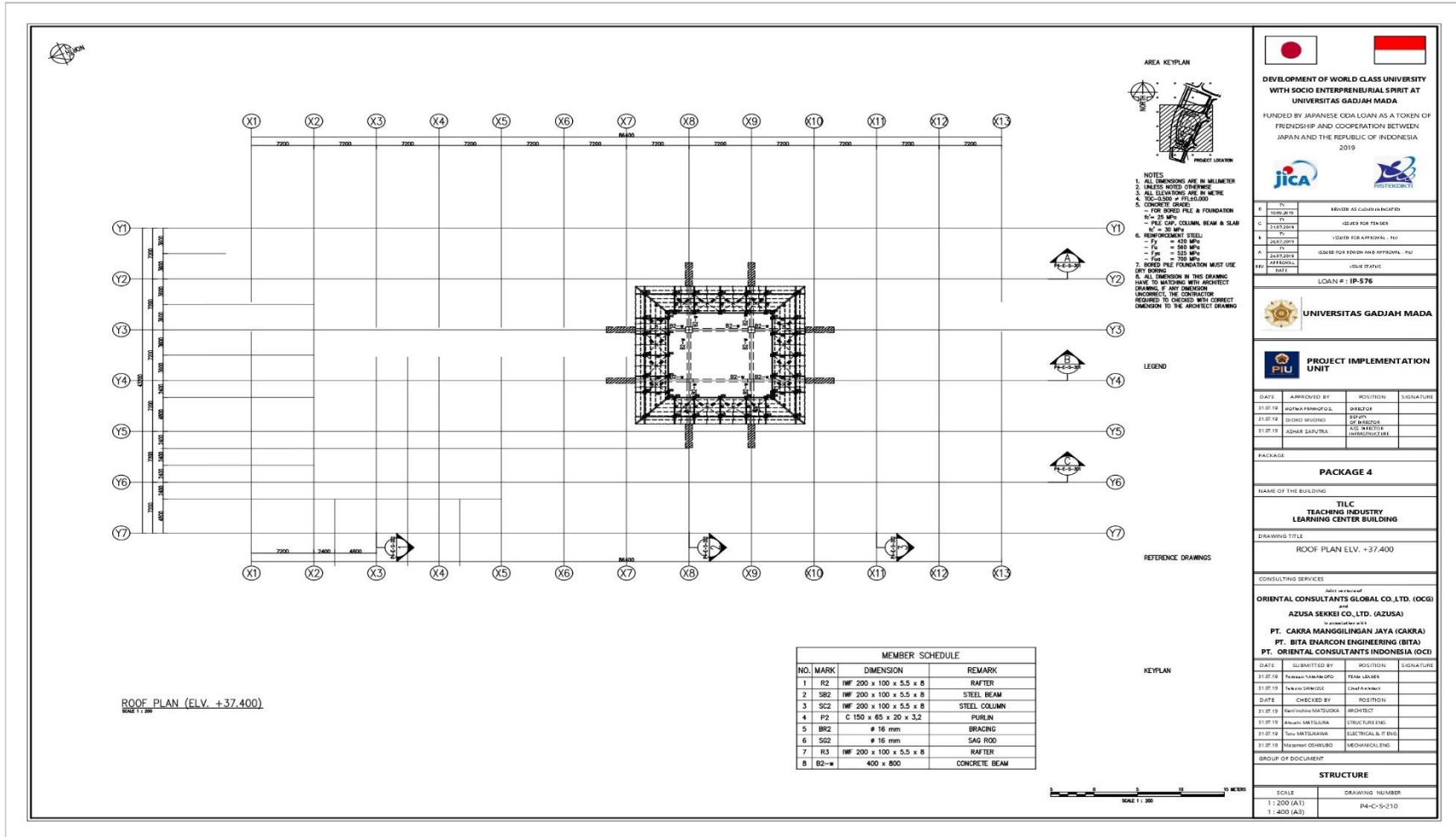
LAMPIRAN 7: Gambar Rencana Proyek Lantai 7



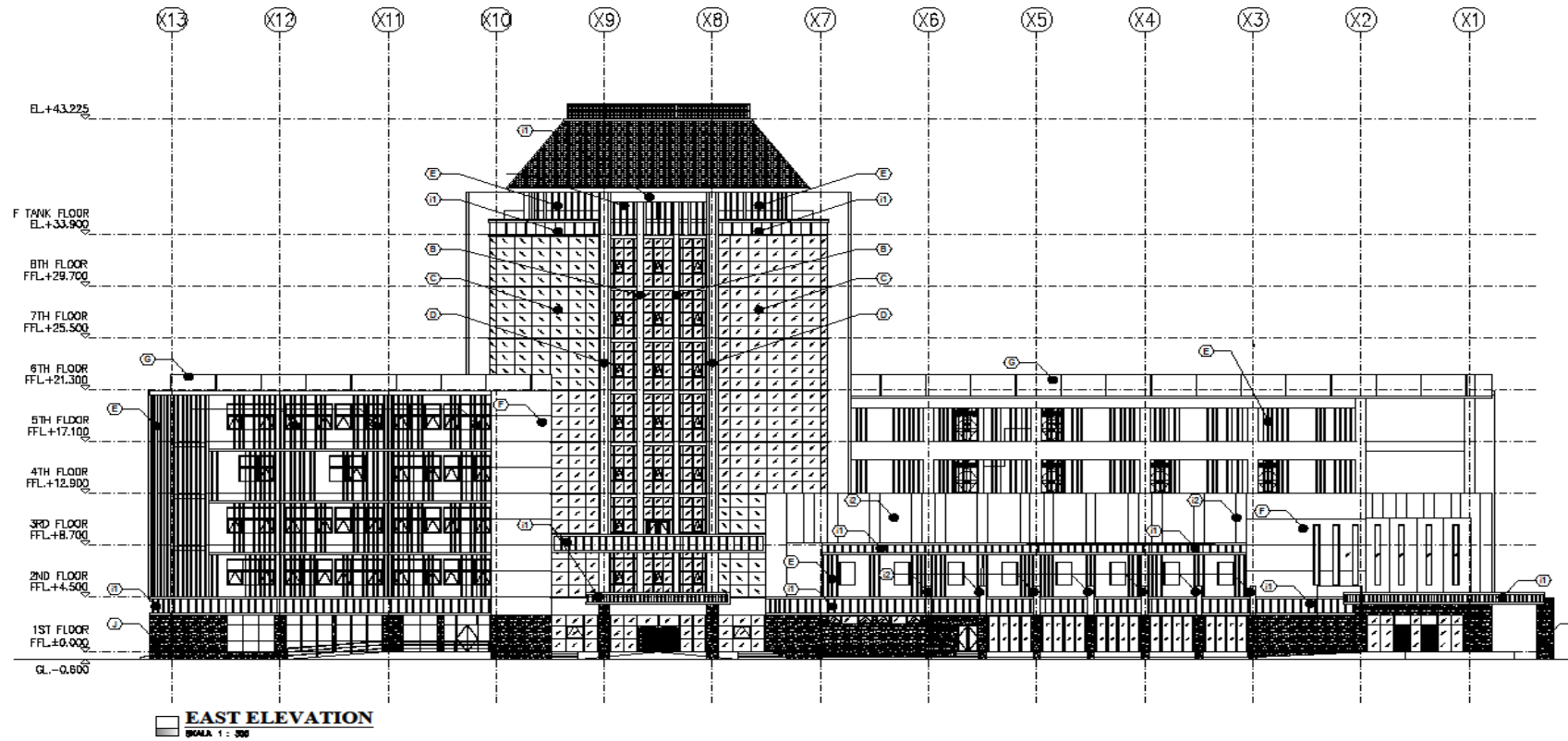
LAMPIRAN 8: Gambar Rencana Proyek Lantai 8



LAMPIRAN 10: Gambar Rencana Proyek Lantai Atap



LAMPIRAN 11: Gambar Tampak Depan Bangunan TILC



LAMPIRAN 12: Gambar Tampak Samping Bangunan TILC

