

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA SEISMIC GEDUNG KAMPUS 2 UNIVERSITAS PANCASAKTI MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER* BERDASARKAN ATC-40 (*SEISMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF CAMPUS 2 BUILDING UNIVERSITAS PANCASAKTI USING PUSHOVER METHOD BASED ON ATC-40*)

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



**Jundi Nur Faiz
22511017**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026**

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA SEISMIK GEDUNG KAMPUS 2 UNIVERSITAS PANCASAKTI MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER* BERDASARKAN ATC-40 (*SEISMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF CAMPUS 2 BUILDING UNIVERSITAS PANCASAKTI USING PUSHOVER METHOD BASED ON ATC-40*)

Disusun Oleh

Jundi Nur Faiz
22511017

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

Diuji pada tanggal 06 Juli 2026
Oleh Dewan Penguji

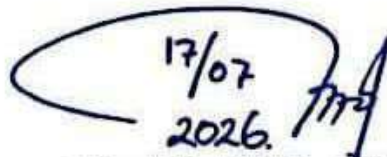
Pembimbing

 17/7/26

Astriaana Nardawati, S.T., M.Eng.

NIK : 165111301

Penguji I

 17/07
2026

Jafar S.T., MURP., MT.

NIK : 185111305

Penguji II

 21/07 2026

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.

NIK : 185111304

Mengesahkan,



Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil

 22/7-26
Dina Anggraheni S.T., M.Eng.

NIK : 165110105

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 20 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Jundi Nur Faiz

(22511017)

KATA PENGANTAR

Asssalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan kemudahan yang dilimpahkan, sehingga penulis dapat menuntaskan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Kinerja Seismik Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Menggunakan Metode *Pushover* Berdasarkan ATC-40”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademis untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang tulus atas bimbingan, dukungan, serta bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak, khususnya kepada:

1. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng., selaku Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Jafar S.T., MURP., MT., selaku Dosen Penguji I atas segala saran, kritik, serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II atas segala saran, kritik, serta masukan yang diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ir. Tri Nugroho Sulistyantoro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik untuk motivasi, saran, dan bimbingan selama masa kuliah.
6. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil

dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, atas ilmu, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan selama penulis menempuh studi.

7. Kedua orang tua saya Bapak Edy Masduqi dan Ibu Ida Sri Rudi Idayati atas segala do'a, nasehat, dan dukungan materil kepada saya. Serta kedua kakak saya Fauzia Nurul Rachmawati dan Fitriana Nisa Firdausi yang sudah memberi do'a dan dukungannya selama ini.
8. Keluarga besar dan sahabat-sahabat Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang senantiasa memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan hingga tugas akhir ini terselesaikan.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun penyajian. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini.

Akhirnya, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, khususnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian sejenis di masa mendatang.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 06 Juli 2026

Jundi Nur Faiz

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Analisis <i>Pushover</i> Terdahulu	6
2.2 Perbandingan Penelitian Analisis <i>Pushover</i> Terdahulu	9
2.3 Keaslian Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Gempa Bumi	15
3.2 Analisis Struktur Bangunan	16
3.3 Pembebanan Pada Struktur Bangunan	17
3.3.1 Beban Mati	17
3.3.2 Beban hidup	17
3.3.3 Beban gempa	17

3.4	Ketentuan Desain Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019	18
3.4.1	Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	18
3.4.2	Menentukan Klasifikasi Situs	21
3.4.3	Parameter Respons Spektral dan Koefisien Situs	22
3.4.4	Koefisien Risiko Terpetakan (C_{RS} dan C_{RI})	25
3.4.5	Kategori Desain Seismik	26
3.4.6	Definisi Persyaratan Kategori Desain Seismik	27
3.4.7	Spektrum Respon Desain	29
3.4.8	Parameter dan Pemilihan Sistem Struktur	30
3.4.9	Penentuan Periode Fundamental Struktur	32
3.4.10	Gaya geser dasar seismik	33
3.4.11	Distribusi vertikal gaya seismik	34
3.5	Analisis Statik Nonlinier (<i>Pushover</i>)	34
3.5.1	Kurva Kapasitas Struktur	35
3.5.2	Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	39
3.6	Perilaku Sendi Plastis Pada Struktur Gedung	40
3.7	Metode ATC-40	43
3.6.1	Batasan Simpangan (<i>Drift Limit</i>)	43
3.6.2	Level Kinerja	44
3.6.3	Mekanisme Keruntuhan Struktur	47
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		49
4.1	Objek Penelitian	49
4.2	Data Bangunan	51
4.3	<i>Software</i> Yang Digunakan	54
4.4	Tahapan Penelitian	54
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		59
5.1	Pemodelan Struktur	59
5.1.1	Pendefinisian Material Struktur	59
5.1.2	Pendefinisian Elemen Kolom	60
5.1.3	Pendefinisian Elemen Balok	62

5.1.4	Pendefinisian Elemen Pelat	63
5.1.5	Penggambaran Struktur 3D	64
5.1.6	Pendefinisian Diafragma	65
5.2	Perhitungan Pembebanan Struktur	67
5.2.1	Beban Mati	67
5.2.2	Beban Mati Tambahan	67
5.2.3	Beban Hidup	68
5.2.4	Input Pembebanan Pada Model Struktur	68
5.2.5	Beban Gempa	72
5.3	Analisis Beban Gempa	79
5.3.1	Memasukkan Data Respon Spektrum Gempa	79
5.3.2	Pendefinisian <i>Load Case</i> Gempa	80
5.3.3	Analisis Gaya Geser Dasar Statik	81
5.3.4	Analisis Gaya Geser Dasar Dinamik	81
5.3.5	Pengecekan Gaya Gasar Dasar	82
5.4	Analisis Nonlinier <i>Pushover</i>	84
5.4.1	Pendefinisian <i>Load Case Pushover</i>	84
5.4.2	Pendefinisian Sendi Plastis (<i>Hinges</i>)	87
5.4.3	Running Analisis <i>Pushover</i>	90
5.5	Hasil Analisis <i>Pushover</i>	91
5.5.1	Kurva Kapasitas (<i>Capacity Curve</i>)	91
5.5.2	Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	95
5.5.3	Tingkat Kinerja (<i>Performance Level</i>)	97
5.5.4	Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis	99
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		106
6.1	Kesimpulan	106
6.2	Saran	107
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN		111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa	18
Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa	21
Tabel 3.3 Klasifikasi Situs	21
Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a	24
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v	24
Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	27
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	27
Tabel 3.8 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik	28
Tabel 3.9 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	31
Tabel 3.10 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	32
Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	32
Tabel 3.12 Batasan Simpangan	44
Tabel 3.13 Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40	46
Tabel 3.14 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa	46
Tabel 4.1 Tipe Kolom	52
Tabel 4.2 Tipe Balok	52
Tabel 4.3 Tipe Plat	53
Tabel 5.1 Klasifikasi Beban Hidup	68
Tabel 5.2 Perbandingan Massa Bangunan	71
Tabel 5.3 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Vertikal Arah X	79
Tabel 5.4 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Vertikal Arah Y	79
Tabel 5.5 <i>Output</i> Nilai Gaya Geser Dasar	83
Tabel 5.6 <i>Output</i> Nilai Gaya Geser Dasar Setelah <i>Scale Factor</i>	84

Tabel 5.7 Kurva Kapasitas Arah X	94
Tabel 5.8 Kurva Kapasitas Arah Y	94
Tabel 5.9 <i>Performance Point</i> Berdasarkan ATC-40	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Peta Respon Spektral Percepatan Periode 0,2 Detik (S_s)	23
Gambar 3.2 Peta Respon Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_I)	23
Gambar 3.3 Peta Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik (C_{RSI})	26
Gambar 3.4 Peta Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 1 Detik (C_{RI})	26
Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain	30
Gambar 3.6 Peta Transisi Periode Panjang (T_L)	30
Gambar 3.7 Kurva Kapasitas	36
Gambar 3.8 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa	36
Gambar 3.9 Perubahan Format Kurva Kapasitas Format Standar	37
Gambar 3.10 Perubahan Format Kurva Kapasitas Format ADRS	38
Gambar 3.11 Perubahan Respon Spektra. (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS	39
Gambar 3.12 Kurva Penentuan <i>Performance Point</i>	40
Gambar 3.13 Titik Sumbu Lokal Balok Struktur	41
Gambar 3.14 Titik Sumbu Lokal Kolom Struktur	42
Gambar 3.15 Sendi plastis pada balok dan pada kolom	43
Gambar 3.16 Simpangan Pada Atap dan Rasio Simpangan Pada Atap	44
Gambar 3.17 Ilustrasi Level Kinerja Struktur Bangunan	45
Gambar 3.18 Mekanisme Keruntuhan <i>Beam Sway Mechanism</i>	48
Gambar 3.19 Mekanisme Keruntuhan <i>Column Sway Mechanism</i>	48
Gambar 4.1 Lokasi Gedung Penelitian	49
Gambar 4.2 Denah Lantai 1 Gedung Kuliah Pancasila	50
Gambar 4.3 Potongan D-D Gedung Kuliah Pancasila	50
Gambar 4.4 Potongan 2-2 Gedung Kuliah Pancasila	51
Gambar 4.5 Detail Pembesian K1 dan K2	52

Gambar 4.6 Detail Pembesian B1 dan B2	53
Gambar 4.7 Detail Pembesian PL	53
Gambar 4.8 Peta Vs30 Wilayah Provinsi Jawa Tengah	54
Gambar 4.9 Bagan Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian	58
Gambar 5.1 <i>Define Materials</i> Beton	59
Gambar 5.2 <i>Define Materials</i> Baja	60
Gambar 5.3 <i>Define Frame</i> Kolom	61
Gambar 5.4 Konfigurasi Tulangan Kolom	61
Gambar 5.5 <i>Define Frame</i> Balok	62
Gambar 5.6 Gambar Penampang Balok	63
Gambar 5.7 Konfigurasi Tulangan Balok	63
Gambar 5.8 <i>Slab Property Layer Definition Data</i>	64
Gambar 5.9 <i>Quick Layer Definition Data</i>	64
Gambar 5.10 Penggambaran Elemen Gedung	65
Gambar 5.11 Model 3D Gedung	65
Gambar 5.12 <i>Define</i> Diafragma	66
Gambar 5.13 <i>Assign</i> Diafragma	66
Gambar 5.14 <i>Define Load Pattern</i>	69
Gambar 5.15 <i>Shell Uniform Load Sets</i>	69
Gambar 5.16 <i>Apply</i> Pembebanan Pelat	70
Gambar 5.17 <i>Apply</i> Pembebanan Balok	70
Gambar 5.18 <i>Define Mass Source</i>	71
Gambar 5.19 Respon Spektrum Ciptakarya	73
Gambar 5.20 Grafik Respon Spektrum	75
Gambar 5.21 Input Parameter Respon Spektrum	80
Gambar 5.22 <i>Define Load Cases</i> Gempa	80
Gambar 5.23 <i>Running Base Reaction</i> Statik Ekuivalen	81
Gambar 5.24 <i>Base Reaction</i> Statik Ekuivalen	81
Gambar 5.25 <i>Running Base Reaction</i> Dinamik	82
Gambar 5.26 <i>Base Reaction</i> Dinamik	82

Gambar 5.27 <i>Load Case Gravity</i>	85
Gambar 5.28 <i>Load Case Pushover</i>	86
Gambar 5.29 <i>Load Application Pushover</i>	87
Gambar 5.30 <i>Define Sendi Plastis Pada Balok</i>	88
Gambar 5.31 <i>Setting Hinge Balok</i>	88
Gambar 5.32 <i>Define Sendi Plastis Pada Kolom</i>	89
Gambar 5.33 <i>Setting Hinge Kolom</i>	90
Gambar 5.34 <i>Running Analysis Pushover</i>	90
Gambar 5.35 Kurva Kapasitas <i>Pushover</i> Arah X	91
Gambar 5.36 Kurva Kapasitas <i>Pushover</i> Arah Y	92
Gambar 5.37 Perbandingan Kurva Kapasitas <i>Pushover</i>	92
Gambar 5.38 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur	93
Gambar 5.39 Spektrum Kapasitas Arah X	96
Gambar 5.40 Spektrum Kapasitas Arah Y	96
Gambar 5.41 <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah X	100
Gambar 5.42 Detail <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah X	100
Gambar 5.43 <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah X	101
Gambar 5.44 Detail <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah X	101
Gambar 5.45 <i>Step</i> Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah X	102
Gambar 5.46 Detail <i>Step</i> Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah X	102
Gambar 5.47 <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah Y	103
Gambar 5.48 Detail <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah Y	103
Gambar 5.49 <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah Y	104
Gambar 5.50 Detail <i>Step</i> Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah Y	104
Gambar 5.51 <i>Step</i> Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah Y	105
Gambar 5.52 Detail <i>Step</i> Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah Y	105

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi	112
Lampiran 2 Hasil <i>Dutch Cone Penetration Test</i> S.1	113
Lampiran 3 Hasil <i>Dutch Cone Penetration Test</i> S.2	114
Lampiran 4 Hasil <i>Dutch Cone Penetration Test</i> S.3	115
Lampiran 5 Hasil <i>Dutch Cone Penetration Test</i> S.4	116
Lampiran 6 Hasil <i>Dutch Cone Penetration Test</i> S.5	117
Lampiran 7 Hasil <i>Dutch Cone Penetration Test</i> S.6	118
Lampiran 8 Peta Vs30 Wilayah Provinsi Jawa Tengah	119
Lampiran 9 Gambar Denah Lantai 1	120
Lampiran 10 Gambar Denah Lantai 2	121
Lampiran 11 Gambar Denah Lantai 3	122
Lampiran 12 Gambar Denah Lantai 4	123
Lampiran 13 Gambar Denah Lantai 5	124
Lampiran 14 Gambar Potongan D-D	125
Lampiran 15 Gambar Potongan 2-2	126
Lampiran 16 Gambar Denah Kolom Lantai 1	127
Lampiran 17 Gambar Denah Kolom Lantai 2	128
Lampiran 18 Gambar Denah Kolom Lantai 3	129
Lampiran 19 Gambar Denah Kolom Lantai 4	130
Lampiran 20 Gambar Denah Kolom Lantai 5	131
Lampiran 21 Gambar Denah Balok Lantai 2	132
Lampiran 22 Gambar Denah Balok Lantai 3	133
Lampiran 23 Gambar Denah Balok Lantai 4	134
Lampiran 24 Gambar Denah Balok Lantai 5	135
Lampiran 25 Gambar Denah Balok Atap	136
Lampiran 26 Gambar Detail Pembesian Balok	137
Lampiran 27 Gambar Detail Pembesian Kolom	139

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan aktivitas seismik tinggi akibat posisinya pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar. Wilayah Kota Tegal, meskipun bukan zona seismisitas tinggi, tetap berpotensi terdampak gempa dari sumber gempa aktif di Jawa bagian utara. Universitas Pancasakti Tegal saat ini merencanakan pembangunan Gedung Kampus 2 sebagai fasilitas pendidikan yang masih dalam tahap perencanaan. Penilaian kinerja seismik perlu dilakukan sebelum konstruksi dimulai untuk memastikan struktur memenuhi standar keamanan yang berlaku.

Penelitian ini bertujuan menentukan kurva kapasitas, titik kinerja (*performance point*), tingkat kinerja (*performance level*), dan mekanisme pembentukan sendi plastis pada struktur Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal. Analisis dilakukan menggunakan metode statik nonlinear (*pushover analysis*) berdasarkan prosedur ATC-40 dengan bantuan *software* ETABS. Pemodelan struktur mengacu pada dokumen *Detail Engineering Design* dengan parameter beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

Hasil analisis menunjukkan gaya geser dasar maksimum arah Y sebesar 24447,01 kN lebih besar dibandingkan arah X sebesar 24288,43 kN, sehingga arah Y merupakan sumbu kuat bangunan. *Performance point* menghasilkan target *displacement* 0,116 m pada arah X dan 0,155 m pada arah Y, keduanya tidak melampaui batas 0,452 m, dengan gaya geser target melebihi gaya geser desain sehingga struktur berperilaku inelastis. Evaluasi kinerja ATC-40 menunjukkan *drift* arah X (*total* 0,00513, *inelastic* 0,00376) kategori *Immediate Occupancy* (IO), sedangkan arah Y memiliki *total drift* 0,00686 (IO) namun *inelastic drift* 0,00575 masuk kategori *Damage Control* (DC). Sendi plastis terbentuk lebih dulu pada balok sebelum kolom di kedua arah, mengindikasikan mekanisme *beam sway* sesuai konsep *strong column weak beam*, sehingga struktur dinyatakan aman dengan risiko keruntuhan rendah.

Kata kunci : *Pushover*, ATC-40, *Performance point*, Sendi Plastis

ABSTRACT

Indonesia has high seismic activity due to its location at the meeting point of three major tectonic plates. Although Tegal City is not a high-seismicity zone, it remains vulnerable to earthquakes from active sources in northern Java. Universitas Pancasakti Tegal is planning the construction of Campus Building 2, an educational facility still in the design stage. A seismic performance assessment is required before construction to ensure the planned structure meets applicable safety standards.

This study aims to determine the capacity curve, performance point, performance level, and plastic hinge formation mechanism of the Campus Building 2 structure. The analysis uses nonlinear static analysis (pushover analysis) based on the ATC-40 procedure with ETABS software. The structural model refers to the Detail Engineering Design, with seismic load parameters based on SNI 1726:2019.

The maximum base shear in the Y direction is 24447.01 kN, greater than 24288.43 kN in the X direction, making Y the strong axis. The performance point analysis yields a target displacement of 0.116 m (X) and 0.155 m (Y), both within the 0.452 m limit, with target base shear exceeding the design base shear, indicating inelastic behavior. The ATC-40 evaluation shows X-direction drift (total 0.00513; inelastic 0.00376) under Immediate Occupancy (IO), while Y-direction total drift is 0.00686 (IO) but inelastic drift 0.00575 falls under Damage Control (DC). Plastic hinges form first in beams before columns in both directions, indicating a beam sway mechanism consistent with strong column weak beam, so the structure is considered safe with low collapse risk.

Keyword : Pushover, ATC-40, Performance point, Plastic hinge

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik (Syafitri dkk., 2020). Kondisi geologis tersebut menyebabkan wilayah Indonesia rentan terhadap kejadian gempa bumi yang dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur. Oleh karena itu, perencanaan struktur tahan gempa menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin keamanan, keselamatan, dan kenyamanan pengguna bangunan.

Salah satu jenis bangunan yang memerlukan perhatian khusus terhadap pengaruh gempa adalah gedung fasilitas pendidikan. Bangunan pendidikan merupakan sarana publik yang digunakan oleh banyak orang untuk mendukung kegiatan belajar mengajar sehingga harus memiliki tingkat keandalan struktur yang memadai (Fahreza dan Rajela, 2026). Universitas Pancasakti Tegal merencanakan pembangunan Gedung Kampus 2 sebagai bagian dari pengembangan fasilitas pendidikan. Mengingat gedung tersebut masih berada pada tahap perencanaan dan belum dibangun, diperlukan analisis kinerja struktur sejak tahap desain untuk memastikan bangunan mampu memberikan tingkat keamanan yang sesuai terhadap beban gempa yang mungkin terjadi.

Perencanaan struktur tahan gempa di Indonesia mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Standar ini digunakan untuk menentukan parameter gempa rencana serta persyaratan desain yang harus dipenuhi oleh bangunan agar memiliki ketahanan yang memadai terhadap pengaruh gempa. Namun, pendekatan perencanaan berdasarkan beban gempa rencana saja belum sepenuhnya mampu menggambarkan perilaku aktual struktur ketika mengalami respons inelastik akibat gempa kuat.

Seiring berkembangnya konsep rekayasa gempa modern, evaluasi struktur tidak hanya ditinjau dari aspek kekuatan, tetapi juga berdasarkan tingkat kinerja struktur setelah menerima beban gempa. Pendekatan ini dikenal sebagai evaluasi seismik berbasis kinerja (*performance based seismic evaluation*), yang memungkinkan penilaian kemampuan struktur dalam mempertahankan fungsi dan stabilitasnya setelah terjadi gempa. Melalui pendekatan ini, tingkat kerusakan dan kapasitas struktur dapat diketahui secara lebih realistis sehingga memberikan gambaran yang lebih baik mengenai keamanan bangunan.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam evaluasi berbasis kinerja adalah analisis statik nonlinear (*nonlinear static analysis*) atau analisis *pushover*. Metode ini dilakukan dengan memberikan beban lateral secara bertahap hingga struktur mencapai kondisi tertentu sehingga dapat diperoleh kurva kapasitas, titik kinerja (*performance point*), dan pola pembentukan sendi plastis pada elemen struktur (Budi Asmara dkk., 2021). Hasil evaluasi tersebut kemudian dapat ditinjau menggunakan prosedur ATC-40 untuk menentukan tingkat kinerja struktur terhadap beban gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal yang berlokasi di Jl. Perintis Kemerdekaan, Kalurahan Panggung, Kota Tegal, Jawa Tengah, dan masih dalam tahap perencanaan. Evaluasi dilakukan menggunakan metode analisis *pushover* berdasarkan SNI 1726:2019 dan ATC-40 untuk menentukan kapasitas struktur, titik kinerja (*performance point*), tingkat kinerja (*performance level*), serta pola pembentukan sendi plastis yang terjadi akibat beban gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, penelitian ini merumuskan tiga masalah pokok sebagai berikut.

1. Bagaimana kurva kapasitas struktur Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal yang diperoleh melalui analisis *pushover*?

2. Bagaimana titik kinerja (*performance point*) pada Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal berdasarkan hasil analisis *pushover* yang diperoleh?
3. Bagaimana tingkat kinerja (*performance level*) pada Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal berdasarkan hasil analisis *pushover*?
4. Bagaimana mekanisme pembentukan sendi plastis pada struktur Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal setelah dilakukan analisis *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Memperoleh dan mengevaluasi bentuk kurva kapasitas struktur Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal berdasarkan hasil analisis *pushover*.
2. Mendapatkan titik kinerja (*performance point*) struktur gedung dari hasil analisis *pushover*.
3. Menentukan tingkat kinerja (*performance level*) struktur gedung setelah dilakukan analisis *pushover*.
4. Mengetahui pola terbentuknya sendi plastis pada struktur setelah dilakukan analisis *pushover*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang telah dirumuskan, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk penulis, penelitian ini menjadi sarana pembelajaran bagi penulis untuk memperdalam pemahaman mengenai evaluasi kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa menggunakan metode *pushover* yang berpedoman pada ATC-40. Selain itu, penelitian ini juga memberikan pengalaman langsung dalam menerapkan konsep struktur tahan gempa pada kondisi bangunan nyata di lapangan.
2. Untuk pembaca, penelitian ini diharapkan dapat memperluas wawasan serta menambah pengetahuan bagi mahasiswa maupun pihak lain yang memiliki

minat di bidang teknik sipil, khususnya dalam evaluasi kinerja struktur bangunan gedung menggunakan metode analisis *pushover*. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan evaluasi dan perencanaan struktur tahan gempa.

3. Untuk praktisi, temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi para praktisi teknik sipil dalam melakukan evaluasi, perencanaan ulang, maupun perkuatan terhadap struktur bangunan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan terkait pemeliharaan dan peningkatan kinerja struktur bangunan.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini memiliki ruang lingkup yang terarah dan sesuai dengan keterbatasan waktu serta sumber daya, maka ditetapkan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal yang berlokasi di Jl. Perintis Kemerdekaan, Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal, Provinsi Jawa Tengah.
2. Data struktur gedung diperoleh dari dokumen *detail engineering design* Pembangunan Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal yang digunakan sebagai dasar dalam pemodelan dan analisis.
3. Analisis beban gempa dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
4. Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi menggunakan *software* ETABS, dengan memperhatikan konfigurasi struktur sesuai gambar *detail engineering design*.
5. Metode evaluasi yang digunakan adalah analisis statik nonlinier (*pushover analysis*) untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa rencana.
6. Pedoman standar yang digunakan dalam tahapan analisis *pushover* mengacu pada ATC-40.

7. Komponen yang dievaluasi terbatas pada elemen struktur utama, yaitu balok, kolom, dan pelat lantai. Komponen non-struktural seperti dinding pengisi, arsitektur, maupun utilitas tidak dibahas.
8. Jenis pembebanan yang diperhitungkan terdiri dari:
 - a. Beban mati (*dead load*),
 - b. Beban hidup (*live load*), dan
 - c. Beban gempa (*seismic load*).
9. Sistem struktur yang digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
10. Kondisi tanah berdasarkan hasil pendekatan peta Vs30 pada lokasi gedung masuk dalam klasifikasi tanah tipe sedang (*SD*)
11. Penelitian ini tidak membahas aspek biaya, metode pelaksanaan konstruksi, maupun desain detail penulangan struktur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Analisis *Pushover* Terdahulu

Pada subbab ini disajikan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penerapan analisis *pushover* pada berbagai studi kasus. Dengan adanya pengkajian penelitian sejenis, diharapkan memperoleh pemahaman pada materi ini. Berikut beberapa studi yang menjadi referensi dalam penelitian ini.

1. Analisis Kinerja Seismik Struktur 10 Lantai Beton Bertulang dengan Metode *Pushover Analysis*

Penelitian yang dilakukan oleh Putri dkk. (2022) dari ITK bertujuan untuk mengetahui hubungan antara *base shear* dan *roof displacement* melalui kurva kapasitas, mengetahui nilai *performance point*, memperlihatkan distribusi sendi plastis yang terjadi setelah dilakukan analisis *pushover*, mengetahui hasil kontrol berdasarkan SNI 1726:2019 pada struktur Hotel Platinum 10 lantai di Balikpapan. Analisis kinerja struktur ini menggunakan metode *pushover* dengan mengacu pada pedoman SNI 1726:2019 dan ATC-40. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan *software* SAP2000.

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas dengan hubungan yang searah antara *base shear* dan *roof displacement*, dimana peningkatan *base shear* menyebabkan bertambahnya *roof displacement* hingga mencapai nilai maksimum 17.586,63 kN dan 0,086 m. Hasil evaluasi kinerja struktur menunjukkan nilai *base shear* sebesar 12.164 kN, *roof displacement* sebesar 0,06 m, periode efektif 1,851 detik, dan redaman efektif 5%. Pembentukan sendi plastis diawali pada balok dengan tingkat kinerja B-IO, kemudian berlanjut hingga mencapai kolom pada level E pada *step* 2 sehingga struktur tidak mampu menerima gaya dorong tambahan. Berdasarkan kontrol terhadap *base shear*, *roof displacement*, dan kriteria kinerja, struktur dinyatakan memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 dengan

tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO), yang menunjukkan bahwa struktur tidak mengalami kerusakan struktural maupun nonstruktural yang signifikan saat terjadi gempa.

2. Evaluasi Struktur Gedung Bertingkat Banyak Akibat Alih Fungsi Dengan Analisis *Pushover*

Penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Sutoko (2023) dari UII bertujuan untuk mengetahui kurva kapasitas, tingkat kinerja serta mekanisme sendi plastis yang terjadi pada sebuah gedung yang telah mengalami alih fungsi (dari kondisi eksisting) terhadap risiko bencana gempa. Metode yang digunakan adalah analisis *pushover* dengan mengacu pada metode ATC-40. Dalam pemodelannya menggunakan *software* SAP2000, struktur dirancang tanpa *core wall* untuk menunjukkan kondisi yang paling ekstrim, dan hanya komponen struktur seperti kolom, balok, dan pelat lantai yang dievaluasi.

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan bahwa kurva kapasitas pada arah X memiliki kemiringan yang lebih landai dibandingkan arah Y, yang menunjukkan bahwa struktur pada arah Y memiliki kekakuan yang lebih besar karena mengalami perpindahan yang lebih kecil terhadap gaya lateral yang bekerja. Hasil evaluasi *performance point* menunjukkan bahwa struktur mencapai tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO), sehingga bangunan dinilai masih aman saat terjadi gempa dan dapat difungsikan kembali dengan risiko kerusakan yang relatif kecil.

Evaluasi pembentukan sendi plastis menunjukkan bahwa sendi plastis pertama kali muncul pada balok, kemudian berlanjut ke elemen kolom seiring bertambahnya tahapan pembebanan. Pada kondisi akhir, beberapa elemen struktur mencapai tingkat kinerja yang lebih tinggi hingga *Collapse Prevention* (CP), yang mengindikasikan terjadinya kerusakan cukup signifikan pada beberapa elemen. Namun demikian, struktur masih mampu mempertahankan kestabilannya dan tidak mengalami keruntuhan total.

3. 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*)

Penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Abdillah (2024) dari UII bertujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan bentuk kurva kapasitas, mengetahui titik kinerja (*performance point*), dan mekanisme sendi plastis yang terjadi pada Gedung TILC. Metode evaluasi yang digunakan adalah *pushover* dengan mengacu pada metode ATC-40 dan untuk *software* yang digunakan adalah ETABS.

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan bahwa arah Y memiliki nilai *base shear* yang lebih besar dibandingkan arah X, sehingga menunjukkan kekakuan struktur yang lebih tinggi pada arah tersebut. Evaluasi kinerja struktur berdasarkan parameter *total drift* menunjukkan tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO), sedangkan berdasarkan *inelastic drift* termasuk kategori *Damage Control* (DC). Evaluasi sendi plastis menunjukkan bahwa kerusakan diawali pada balok dan kolom pada level kinerja B, kemudian berlanjut hingga mencapai level *Collapse Prevention* (CP) pada beberapa elemen. Meskipun terjadi penurunan kekuatan dan kekakuan struktur, bangunan secara keseluruhan masih mampu mempertahankan stabilitasnya dan tidak mengalami keruntuhan.

4. Analisis Struktur Atas Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Menggunakan Metode *Pushover* (Studi Kasus: Asrama Putri Pondok Pesantren Tahfizul Qur'an Mu'allimin Muhammadiyah)

Penelitian yang dilakukan oleh Mutia (2025) dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat bertujuan mengetahui kapasitas struktur dengan sarana komponen *performed based design*. Analisis kinerja struktur atas gedung Asrama Putri Pondok Pesantren Tahfizul Qur'an Muallimin Muhammadiyah Kota Bukittinggi menggunakan metode *pushover* dengan mengacu pada pedoman SNI 1726:2019 dan ATC-40. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan *software* SAP2000.

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan bahwa struktur berada pada tingkat kinerja *Damage Control* (DC), yang menunjukkan bahwa bangunan masih mampu menahan beban gempa dengan risiko korban jiwa yang rendah. Evaluasi juga menunjukkan terbentuknya sendi plastis pada kedua arah

pembebanan yang seiring peningkatan beban hingga mencapai kondisi keruntuhan pada beberapa elemen struktur. Meskipun bangunan masih dinilai aman pada tingkat kinerja yang dicapai, peningkatan beban gempa yang lebih besar berpotensi menyebabkan keruntuhan struktur secara menyeluruh.

5. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Perkantoran 7 Lantai Dengan Analisis *Pushover*

Penelitian yang dilakukan oleh Sungkana dkk. (2025) dari Universitas Tarumanagara bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur dan parameter daktilitas seismik (R , Ω_0 , dan C_d) pada gedung perkantoran 7 lantai yang mengadopsi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Analisis kinerja struktur ini menggunakan metode *pushover* dengan mengacu pada pedoman SNI 1726:2019 dan ATC-40. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan *software* ETABS.

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan bahwa faktor daktilitas struktur pada arah X dan Y belum sepenuhnya memenuhi nilai yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019. Analisis juga menunjukkan bahwa struktur pada arah Y tidak mencapai *performance point* akibat kapasitas struktur yang belum mencukupi sehingga mengalami kegagalan sebelum mencapai perpindahan target. Evaluasi kinerja seismik berdasarkan beban gempa BSE-1N dan BSE-2N menunjukkan bahwa struktur arah X memiliki tingkat kinerja di bawah yang diharapkan, sedangkan struktur arah Y memiliki tingkat kinerja yang melebihi target yang direncanakan. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi desain struktur agar kapasitas dan kinerja seismik bangunan dapat memenuhi tingkat kinerja yang diharapkan sesuai ketentuan perencanaan.

2.2 Perbandingan Penelitian Analisis *Pushover* Terdahulu

Perbandingan beberapa penelitian analisis *pushover* terdahulu dengan penelitian penulis tercantum pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Sebelumnya					Penelitian Sekarang
	Putri dkk. (2022)	Sutoko (2023)	Abdillah (2024)	Mutia (2025)	Sungkana dkk. (2025)	Peneliti (2026)
Judul	Analisis Kinerja Seismik Struktur 10 Lantai Beton Bertulang dengan Metode <i>Pushover Analysis</i>	Evaluasi Struktur Gedung Bertingkat Banyak Akibat Alih Fungsi Dengan Analisis <i>Pushover</i>	Analisis Kinerja Bangunan Menggunakan Metode Analisis <i>Pushover</i> Terhadap Struktur Bangunan Bertingkat Banyak Sesuai Standar SNI-03-1726-2019 Dan ATC-40	Analisis Struktur Atas Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Menggunakan Metode <i>Pushover</i> (Studi Kasus: Asrama Putri Pondok Pesantren Tahfizul Qur'an Mu'allimin Muhammadiyah)	Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Perkantoran 7 Lantai Dengan Analisis <i>Pushover</i>	Analisis Kinerja Seismik Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Menggunakan Metode <i>Pushover</i> Berdasarkan ATC-40
Tujuan Penelitian	Mengetahui hubungan <i>base shear</i> dan <i>roof displacement</i> melalui kurva kapasitas, nilai <i>performance point</i> , distribusi sendi plastis, serta hasil	Mengetahui kurva kapasitas, tingkat kinerja struktur, dan mekanisme sendi plastis akibat risiko gempa pada gedung yang	Memperoleh kurva kapasitas, menentukan titik kinerja (<i>performance point</i>), dan mengidentifikasi mekanisme sendi plastis yang	Mengetahui kapasitas struktur, mengevaluasi kinerja struktur atas gedung, serta menilai respons struktur berdasarkan konsep <i>Performance Based Design</i> .	Mengevaluasi kinerja struktur dan parameter daktilitas seismik (R , Ω_0 , dan C_d) pada gedung perkantoran dengan Sistem Rangka Pemikul	Menentukan kurva kapasitas, titik kinerja, tingkat kinerja, dan pola pembentukan sendi plastis pada struktur melalui analisis

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Sebelumnya					Penelitian Sekarang
	Putri dkk. (2022)	Sutoko (2023)	Abdillah (2024)	Mutia (2025)	Sungkana dkk. (2025)	Peneliti (2026)
Tujuan Penelitian	evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2019.	mengalami alih fungsi.	terjadi pada gedung.		Momen Khusus (SRPMK)	<i>pushover</i> sesuai ATC-40.
Fungsi Bangunan dan Jumlah Lantai	Bangunan gedung hotel dengan tingkat 10 lantai.	Bangunan gedung mall dengan tingkat 8 lantai.	Bangunan gedung kampus dengan tingkat 9 lantai.	Bangunan gedung asrama pondok dengan tingkat 3 lantai	Bangunan gedung perkantoran dengan tingkat 7 lantai.	Bangunan gedung kampus dengan tingkat 4 lantai.
Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan metode analisis numerik dengan bantuan SAP2000 yang meliputi pengumpulan data, studi literatur, perhitungan pembebanan, pemodelan struktur	Penelitian melalui pengumpulan data, pemodelan struktur, perhitungan pembebanan, dan analisis <i>pushover</i> menggunakan SAP2000 untuk mengevaluasi	Penelitian dilakukan melalui tahapan pengumpulan data, pemodelan struktur menggunakan ETABS, perhitungan pembebanan, dan analisis <i>pushover</i> berdasarkan ATC-40 untuk memperoleh	Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder yang dianalisis melalui pemodelan struktur dengan SAP2000 V22 serta analisis <i>pushover</i> berdasarkan SNI 1726:2019 dan ATC-40 untuk mengevaluasi kinerja struktur	Penelitian diawali dengan pengumpulan data bangunan, kemudian dilakukan pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan ETABS. Perhitungan beban mengacu pada SNI 1727:2020,	Pengumpulan data bangunan dan studi literatur, memodelkan struktur menggunakan ETABS 22, dilanjutkan Analisis <i>pushover</i> . Menganalisis kinerja struktur sesuai standar

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Sebelumnya					Penelitian Sekarang
	Putri dkk. (2022)	Sutoko (2023)	Abdillah (2024)	Mutia (2025)	Sungkana dkk. (2025)	Peneliti (2026)
Metode Penelitian	analisis struktur, serta evaluasi hasil berdasarkan SNI 1726:2019	kinerja struktur.	kurva kapasitas, <i>performance point</i> , dan tingkat kinerja struktur.	melalui kurva kapasitas.	sedangkan evaluasi kinerja struktur dilakukan melalui analisis statik nonlinier (<i>pushover analysis</i>).	SNI 1726:2019 dan ATC-40.
Hasil Penelitian	Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan struktur mencapai tingkat kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO) dengan <i>base shear</i> maksimum 17.586,63 kN dan <i>roof displacement</i>	Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan arah Y lebih kaku dibandingkan arah X. Struktur mencapai tingkat kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO), dengan sendi plastis	Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan arah Y memiliki kekakuan lebih tinggi dibandingkan arah X. Evaluasi kinerja struktur berada pada tingkat <i>Immediate Occupancy</i> (IO) berdasarkan	Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan struktur berada pada tingkat kinerja <i>Damage Control</i> (DC). Sendi plastis terbentuk pada kedua arah pembebanan dan beberapa elemen mencapai kondisi	Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan faktor daktilitas struktur belum sepenuhnya memenuhi persyaratan SNI 1726:2019. Struktur arah Y tidak mencapai <i>performance point</i> karena mengalami kegagalan sebelum mencapai	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Sebelumnya					Penelitian Sekarang
	Putri dkk. (2022)	Sutoko (2023)	Abdillah (2024)	Mutia (2025)	Sungkana dkk. (2025)	Peneliti (2026)
Hasil Penelitian	0,086 m. Sendi plastis diawali pada balok dan struktur dinyatakan memenuhi persyaratan SNI 1726:2019, sehingga tidak mengalami kerusakan signifikan saat gempa.	terjadi dari balok ke kolom. Meskipun beberapa elemen mencapai <i>Collapse Prevention</i> (CP), struktur tetap stabil dan tidak mengalami keruntuhan.	<i>total drift</i> dan <i>Damage Control</i> (DC) berdasarkan <i>inelastic drift</i> . Sendi plastis diawali pada balok dan kolom, dengan elemen mencapai tingkat <i>Collapse Prevention</i> (CP), namun struktur tetap stabil	keruntuhan. Meskipun masih dinilai aman, peningkatan beban gempa berpotensi menyebabkan keruntuhan struktur secara menyeluruh.	perpindahan target. Evaluasi kinerja seismik menunjukkan kinerja struktur belum sepenuhnya memenuhi target, sehingga diperlukan optimalisasi desain untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja bangunan.	

2.3 Keaslian Penelitian

Kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis *pushover* berbasis ATC-40 telah banyak diterapkan pada berbagai jenis bangunan. Namun demikian, belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengkaji kinerja seismik Gedung Universitas Pancasakti Tegal Kampus 2 menggunakan data perencanaan (*detail engineering design*). Oleh sebab itu, penelitian ini memiliki unsur kebaruan dan tidak termasuk duplikasi dari studi yang telah ada.

Keaslian penelitian ini dapat ditinjau dari beberapa poin berikut:

1. Objek yang dievaluasi adalah Gedung Universitas Pancasakti Tegal Kampus 2, yang belum pernah dijadikan objek analisis *pushover* dalam penelitian sebelumnya, sehingga memberikan kontribusi baru dalam pemetaan kinerja struktur bangunan perguruan tinggi di wilayah tersebut.
2. Data yang digunakan bersumber langsung dari dokumen *detail engineering design*, sehingga seluruh elemen struktur, dimensi, material, serta detail pembebanan yang dimodelkan merupakan representasi kondisi aktual bangunan, bukan asumsi atau modifikasi dari penelitian lain.
3. Pemodelan struktur dilakukan dengan *software* ETABS, dengan mengikuti seluruh parameter, spesifikasi, dan konfigurasi struktural dari data *detail engineering design*. Hal ini menjadikan proses evaluasi memiliki tingkat keaslian karena seluruh pemodelan dibuat dari awal sesuai karakteristik gedung yang diteliti.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

Kadarusman dkk. (2012) menjelaskan bahwa gempa bumi merupakan fenomena getaran yang terjadi akibat kejutan atau hentakan di bagian kerak bumi. Kejadian ini umumnya disebabkan oleh proses gesekan atau pergeseran lempeng kerak bumi yang memberikan dampak langsung pada permukaan bumi. Kejutan tersebut kemudian merambat ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik hingga mencapai permukaan bumi, sehingga menyebabkan bumi dan bangunan di atasnya ikut bergetar dan berguncang.

Hanafi dkk. (2024) menjelaskan gempa bumi terbagi menjadi tiga jenis utama berdasarkan penyebabnya, diantaranya.

1. Gempa Vulkanik

Gempa vulkanik merupakan gempa yang terjadi akibat aktivitas gunung api, terutama karena pergerakan magma dan tekanan yang berkembang di dalam kantong magma. Ketika tekanan tersebut meningkat dan energi dilepaskan, akan timbul getaran yang dapat dirasakan di sekitar lereng maupun kawasan yang berdekatan dengan gunung api.

2. Gempa Tektonik

Gempa tektonik merupakan gempa yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik di dalam kerak bumi. Pergerakan tersebut menghasilkan tegangan dan regangan pada lapisan batuan hingga mencapai batas kekuatannya dan mengalami patahan atau pergeseran. Pelepasan energi yang terjadi secara tiba-tiba inilah yang menimbulkan getaran gempa dan dapat dirasakan pada wilayah yang luas.

3. Gempa Runtuhan

Gempa runtuhan adalah gempa yang terjadi akibat runtuhnya rongga bawah tanah, seperti gua alami, terowongan tambang, atau kawasan batuan kapur

yang memiliki banyak rekahan. Runtuhan tersebut menyebabkan getaran pada lapisan batuan di sekitarnya.

3.2 Analisis Struktur Bangunan

Analisis struktur bangunan merupakan tahapan penting dalam proses perencanaan dan evaluasi suatu bangunan untuk mengetahui respons struktur terhadap berbagai jenis pembebanan yang bekerja. Pada bangunan yang direncanakan tahan gempa, analisis struktur dilakukan untuk menilai kemampuan elemen struktur dalam menerima dan menyalurkan gaya gempa tanpa mengalami keruntuhan yang dapat membahayakan keselamatan pengguna bangunan. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam analisis tersebut adalah *Performance Based Seismic Earthquake Engineering* (PBEE), yang menekankan penilaian kinerja struktur berdasarkan responsnya terhadap beban gempa

Krisdianti dkk. (2024) menyatakan bahwa *Performance Based Seismic Design* merupakan pendekatan perencanaan tahan gempa untuk bangunan baru maupun eksisting yang bertujuan memahami risiko keselamatan, kesiapan pakai, dan kerugian akibat gempa mendatang. Dalam pendekatan ini, target kinerja struktur ditetapkan sejak awal sesuai fungsi dan aspek ekonomis, serta menerapkan konsep kolom kuat-balok lemah agar kegagalan terjadi secara terkendali tanpa menyebabkan keruntuhan total.

Awasthi dkk. (2020) dalam Amrina dkk. (2023) menyatakan dalam metode *performance based*, struktur direncanakan sesuai dengan tingkat kinerja (*performance level*) yang telah ditetapkan untuk kondisi gempa. Pendekatan ini bertujuan untuk menciptakan struktur yang efisien, di samping memberikan kemampuan pengendalian dan pengelolaan risiko yang lebih baik serta mengeliminasi asumsi-asumsi yang kurang realistis.

Performance based seismic evaluation menilai kinerja struktur berdasarkan keseimbangan antara permintaan gempa (*demand*) dan kapasitas struktur (*capacity*). Kapasitas struktur diperoleh melalui analisis *pushover* yang menghasilkan kurva kapasitas dan *performance point* sebagai titik temu dengan

permintaan gempa, sedangkan metode ATC-40 digunakan untuk menentukan level kinerja struktur berdasarkan nilai *performance point* tersebut.

3.3 Pembebanan Pada Struktur Bangunan

Pembebanan merupakan faktor utama yang memengaruhi perilaku dan respons suatu struktur terhadap gaya yang bekerja. Dalam perencanaan dan analisis struktur, identifikasi jenis serta besaran beban perlu dilakukan secara tepat untuk memastikan struktur memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang memadai selama masa layan. Pada penelitian ini, pembebanan yang ditinjau meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh elemen struktur dan komponen tetap bangunan yang bekerja vertikal selama umur layan struktur. Beban ini meliputi elemen struktural maupun nonstruktural yang nilainya dapat dihitung berdasarkan berat satuan material dan volumenya. Pada penelitian ini, beban mati mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 1727:2020

3.3.2 Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang bersifat dinamis dan tidak permanen, yang timbul akibat keberadaan penghuni, aktivitas penggunaan ruang, serta barang atau peralatan yang dapat berpindah selama masa operasional bangunan. Besarnya beban hidup dapat berubah sesuai dengan fungsi dan tingkat penggunaan ruang yang ditinjau. Pada penelitian ini, penentuan beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020 yang tercantum dalam Tabel Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (L_o) dan Beban Hidup Terpusat Minimum sesuai fungsi ruangan pada bangunan.

3.3.3 Beban gempa

Beban gempa adalah gaya yang timbul akibat terjadinya gempa bumi dan bekerja pada struktur sebagai respons terhadap pergerakan tanah. Dalam penelitian

ini, beban gempa yang digunakan direpresentasikan dalam bentuk respons spektrum.

3.4 Ketentuan Desain Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019

Ketentuan desain gempa menjadi salah satu dasar dalam perencanaan struktur tahan gempa untuk menentukan besarnya pengaruh gempa yang harus diperhitungkan pada bangunan. Perencanaan ini mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

3.4.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

SNI 1726:2019 mengklasifikasikan risiko struktur bangunan, baik gedung maupun nongedung, terhadap gempa ke dalam empat kategori berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan. Kategori risiko ini merepresentasikan tingkat prioritas penanganan dengan mempertimbangkan besarnya risiko yang dapat ditimbulkan akibat gempa. Selain itu, setiap kategori risiko memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) yang digunakan dalam perhitungan beban gempa untuk mencerminkan tingkat fungsi bangunan. Klasifikasi kategori risiko struktur disajikan pada Tabel 3.1, dan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa

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

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas Penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi	III

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.2 Menentukan Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs merupakan langkah awal dalam merumuskan kriteria desain seismik, termasuk penentuan faktor amplifikasi yang mempengaruhi respons bangunan. Berdasarkan SNI 1726:2019, profil tanah pada suatu lokasi diklasifikasikan ke dalam enam tipe utama. Klasifikasi ini penting untuk memodelkan amplifikasi gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah. Tipe-tipe tanah beserta parameternya disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras sangat padat, batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (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 niralinir $s_u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari		

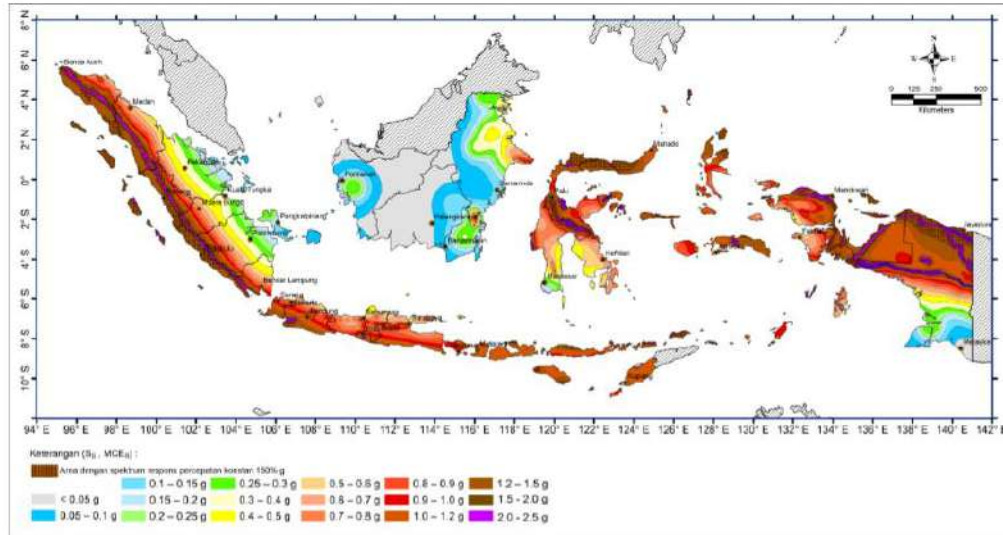
Lanjutan Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

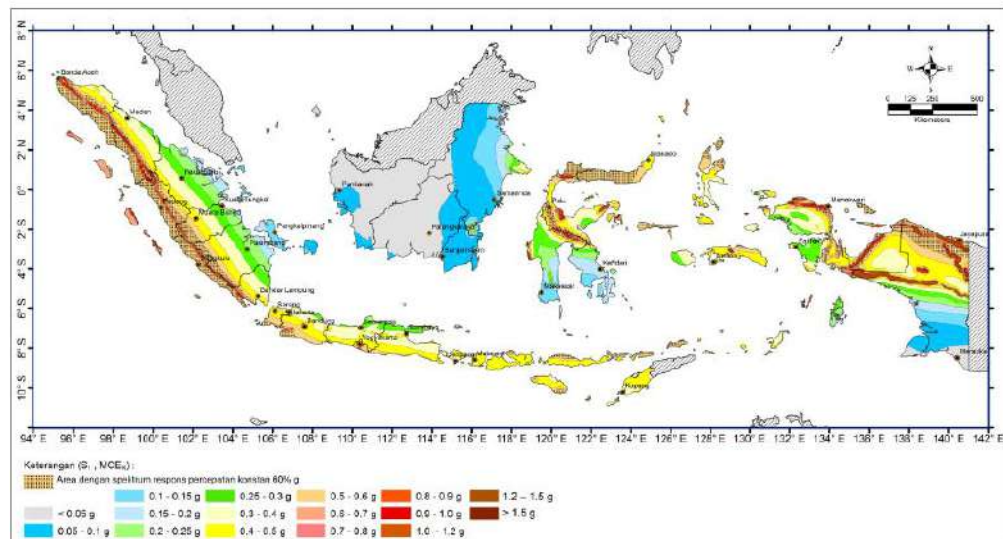
Sumber: SNI 1726-2019

3.4.3 Parameter Respons Spektral dan Koefisien Situs

Nilai respons spektral pada setiap daerah memiliki perbedaan karena karakteristik dan intensitas kejadian gempa antara satu wilayah dengan wilayah lainnya tidak sama. Dalam penentuan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah untuk bangunan gedung, diperlukan faktor amplifikasi seismik yang dinyatakan pada periode pendek 0,2 detik (S_s) dan periode 1 detik (S_1). Nilai faktor tersebut ditetapkan berdasarkan peta gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.1 Peta Respon Spektral Percepatan Periode 0,2 Detik (S_0)
(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 3.2 Peta Respon Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1)
(Sumber: SNI 1726-2019)

Faktor amplifikasi seismik F_a (periode 0,2 detik) dan F_v (periode 1 detik) diperlukan dalam menghitung parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah. Besaran kedua faktor ini ditentukan melalui hubungan antara percepatan gempa dan kelas situs, sebagaimana disajikan dalam Tabel 3.4 untuk F_a dan Tabel 3.5 untuk F_v .

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a

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

Sumber: SNI 1726-2019

Catatan :

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

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v

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

Sumber: SNI 1726-2019

Catatan :

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

Parameter respons spektral percepatan di permukaan tanah pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) dihitung menggunakan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2.

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

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

Keterangan:

F_a = Faktor amplifikasi seismik untuk periode pendek, yaitu pada $T = 0,2$ detik.

F_v = Faktor amplifikasi seismik untuk periode 1 detik.

S_s = Parameter respons spektral percepatan maksimum gempa dengan risiko-terpetakan (MCE_R) pada periode pendek, $T = 0,2$ detik.

S_I = Parameter respons spektral percepatan maksimum gempa dengan risiko-tertarget (MCE_R) pada periode 1 detik.

Selanjutnya nilai S_{MS} dan S_{MI} digunakan sebagai dasar untuk menghitung parameter spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan untuk periode 1 detik (S_{D1}) melalui Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4.

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3.4)$$

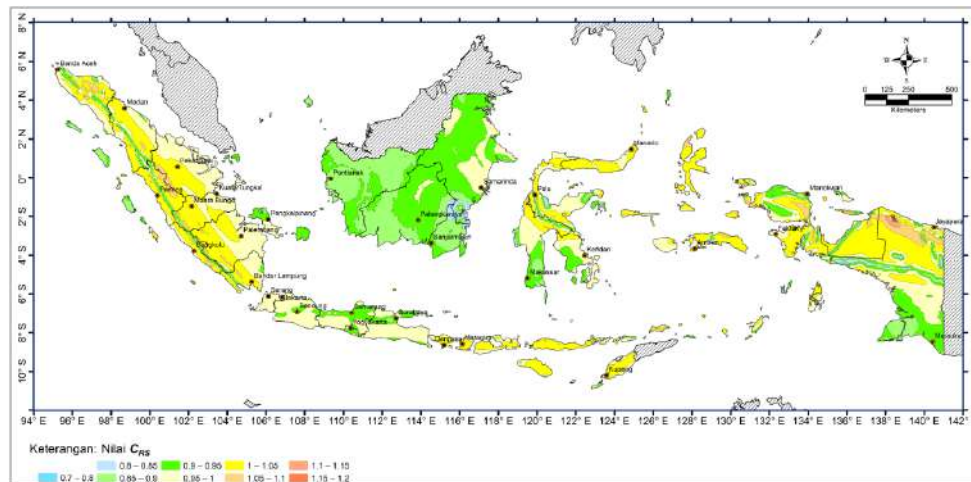
Keterangan:

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek

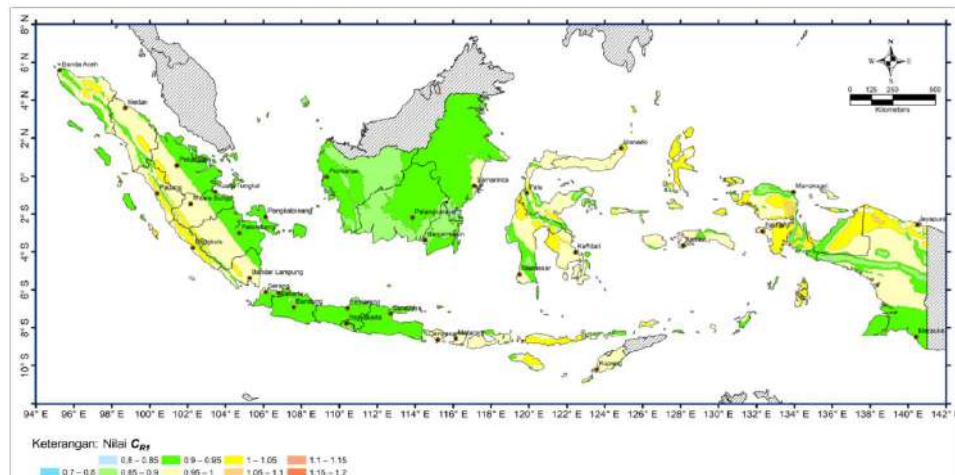
S_{MI} = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

3.4.4 Koefisien Risiko Terpetakan (C_{RS} dan C_{R1})

Berdasarkan SNI 1726:2019 koefisien risiko terpetakan terbagi menjadi 2, koefisien risiko terpetakan periode pendek (C_{RS}) dan periode 1 detik C_{R1} . Nilai tersebut bisa dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.3 Peta Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Spektrum Respons 0,2 Detik (C_{RSI})
(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 3.4 Peta Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 1 Detik (C_{RI})
(Sumber: SNI 1726-2019)

3.4.5 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, penentuan kategori desain seismik (KDS) pada suatu struktur dilakukan dengan cara berikut.

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

Selanjutnya kategori desain seismik untuk seluruh struktur ditetapkan berdasarkan kategori risiko dan parameter spektral desain (S_{DS} dan S_{DI}). Penentuan ini berdasarkan pada kriteria yang disajikan dalam Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6 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	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DS}	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 1726-2019

3.4.6 Definisi Persyaratan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, persyaratan teknis untuk setiap kategori desain seismik dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Kategori Desain Seismik A dan B

Struktur bangunan yang termasuk dalam kategori ini memerlukan pendekatan desain yang relatif sederhana, dimana perencanaannya mengacu pada ketentuan minimal menggunakan sistem Struktur Momen Pemikul Momen Biasa (SMPMB) atau Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB). Sistem ini diterapkan pada wilayah dengan risiko seismik rendah.

b. Kategori Desain Seismik C

Struktur bangunan harus memenuhi persyaratan desain yang lebih ketat dibandingkan kategori A dan B. Perencanaan struktur mengikuti standar sistem Struktur Momen Pemikul Momen Menengah (SMPMM) atau tetap dapat menggunakan Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB) dengan pertimbangan tertentu.

c. Kategori Desain Seismik D

Struktur dalam kategori ini wajib memenuhi persyaratan desain yang lebih lengkap, menggunakan sistem Struktur Momen Pemikul Momen Khusus (SMPMK) atau Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK). Pendekatan ini diperlukan untuk memastikan kinerja struktur yang memadai pada wilayah dengan risiko seismik tinggi.

d. Kategori Desain Seismik E dan F

Struktur yang tergolong dalam kategori E dan F harus memenuhi semua persyaratan desain yang berlaku untuk Kategori Desain Seismik D, dengan tambahan pertimbangan khusus terkait kondisi geoteknik setempat dan potensi amplifikasi gempa.

Berikut klasifikasi kategori desain seismik berdasarkan tingkat risiko kegempaan yang berlaku pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

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

Sumber: SNI 1726-2019

Keterangan :

SRPM = Sistem Rangka Pemikul Momen

SDS = Sistem Dinding Struktur

B ; M ; K = Biasa ; Menengah ; Khusus

3.4.7 Spektrum Respon Desain

SNI 1726:2019 mensyaratkan bahwa ketika spektrum respons desain diperlukan dan analisis gerak tanah spesifik-situs tidak diterapkan, pengembangan kurva spektrum respons desain harus mengacu pada Gambar 3.5 dan mematuhi ketentuan berikut.

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

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

2. Untuk periode lebih besar dari sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons 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 , nilai 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.

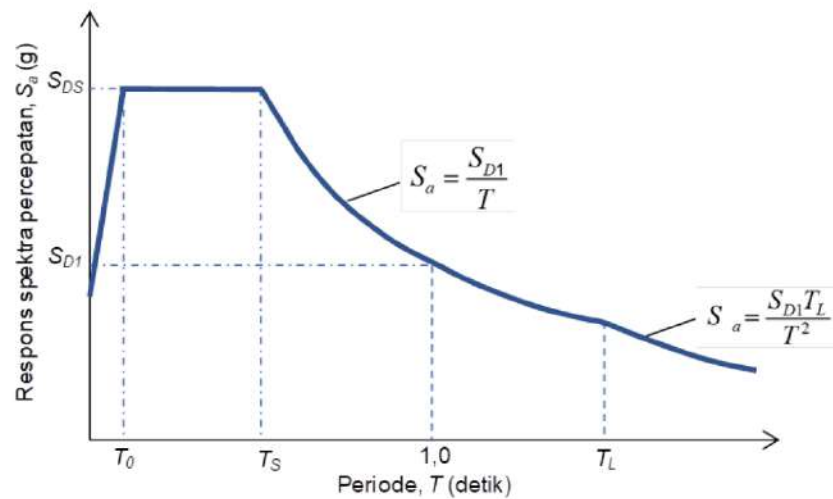
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

T = Periode getar fundamental struktur.

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

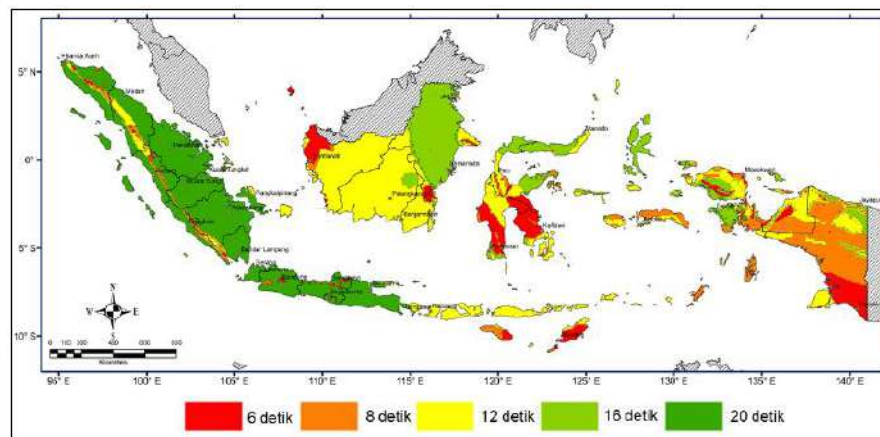
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.9)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 yang nilainya diambil dari Gambar 3.6



Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 3.6 Peta Transisi Periode Panjang (T_L)

(Sumber: SNI 1726-2019)

3.4.8 Parameter dan Pemilihan Sistem Struktur

Penentuan sistem pemikul gaya seismik menjadi dasar untuk perhitungan beban lateral. Dalam perhitungan tersebut, digunakan tiga parameter yaitu faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem ($\mathcal{Q}_o$), dan faktor pembesaran defleksi (Cd). Pada Tabel 3.9 menyajikan nilai faktor-faktor tersebut untuk sistem struktur Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen.

Tabel 3.9 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, ^b	Faktor pembesaran defleksi, Cd^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka Pemikul Momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726-2019

Keterangan:

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

3.4.9 Penentuan Periode Fundamental Struktur

SNI 1726:2019 mengatur bahwa periode fundamental struktur (T), yang diperoleh dari analisis struktur, harus memenuhi batas tertentu. Nilai T yang digunakan dalam perhitungan tidak boleh melebihi hasil perkalian antara koefisien batas atas (C_u) dan periode pendekatan (T_a). Koefisien C_u untuk berbagai kondisi dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726-2019

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.10)$$

Keterangan :

h_n adalah ketinggian struktur dengan satuan meter, di atas dasar hingga tingkat tertinggi pada struktur, dan koefisien C_t dan x di tentukan dari Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
- Rangka baja pemikul momen	0,0772	0,8

Lanjutan Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.10 Gaya geser dasar seismik

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

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

Keterangan:

 V = Gaya geser dasar seismik C_s = Koefisien respons seismik W = Berat seismik efektif

Penentuan koefisien respons seismik (C_s) diawali dengan perhitungan menggunakan Persamaan 3.12. Namun, nilai yang dihasilkan dari persamaan ini harus mematuhi batasan minimum dan maksimum yang ditetapkan. Nilai C_s tidak boleh melebihi batas atas yang ditentukan oleh Persamaan 3.13 dan Persamaan 3.14, tetapi juga tidak boleh kurang dari batas bawah yang ditetapkan oleh Persamaan 3.15. Terdapat pula ketentuan khusus untuk struktur yang berada di daerah dengan nilai S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g untuk kondisi ini, nilai minimum C_s harus tidak kurang dari Persamaan 3.16.

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

Untuk $T \leq T_L$

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

Untuk $T > T_L$

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

 C_s tidak boleh kurang dari

$$C_s = 0,44 S_{DS} \times I_e \geq 0,001 \quad (3.15)$$

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

3.4.11 Distribusi vertikal gaya seismik

Untuk menentukan pendistribusian gaya seismik lateral (F_x) ke setiap lantai struktur, digunakan Persamaan 3.17. Perhitungan ini bergantung pada koefisien faktor distribusi vertikal (C_{vx}), yang nilainya harus terlebih dahulu dicari menggunakan Persamaan 3.18.

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

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

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser pada dasar struktur (kN)

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

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

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

- Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
- Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
- Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.5 Analisis Statik Nonlinier (*Pushover*)

Prasetiawan dan Makrifa (2023) menjelaskan analisis *pushover* adalah metode analisis statik nonlinier yang digunakan untuk menilai kapasitas dan perilaku struktur bangunan ketika mengalami beban lateral seperti gempa. Dalam metode ini, struktur didorong secara bertahap menggunakan beban lateral statik yang ditingkatkan sedikit demi sedikit untuk melihat bagaimana struktur merespons mulai dari kondisi elastis, kemudian inelastis, hingga mencapai titik keruntuhan.

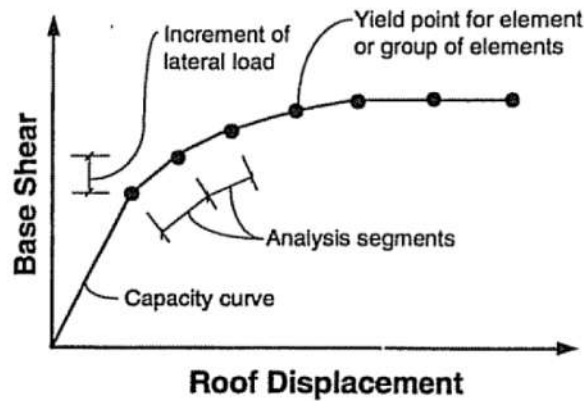
Hutubessy dkk. (2022) menyatakan analisis *pushover* bertujuan untuk memperkirakan besarnya gaya maksimum dan deformasi yang terjadi pada struktur, serta mengidentifikasi elemen-elemen yang bersifat kritis. Informasi ini digunakan untuk menentukan bagian struktur yang memerlukan perhatian khusus, terutama dalam hal pendetailan dan stabilitas.

Hasil utama dari analisis ini adalah kurva kapasitas, yaitu grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap, sehingga dapat diketahui tingkat kekuatan, kekakuan, daktilitas, serta titik di mana struktur mulai melemah.

3.5.1 Kurva Kapasitas Struktur

Suwandi (2019) menjelaskan kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis *pushover* merepresentasikan kemampuan struktur dalam menahan beban lateral, yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik hubungan momen deformasi dari setiap elemen struktur. Kurva ini dibentuk melalui penerapan beban lateral secara bertahap pada struktur hingga mencapai kondisi nonlinier, dengan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*). Pola pembebanan yang digunakan umumnya berupa beban statik ekuivalen dan sesuai untuk bangunan dengan periode fundamental relatif kecil. Namun, untuk bangunan yang lebih fleksibel dengan periode struktur yang lebih besar, pengaruh ragam getar yang lebih tinggi perlu diperhitungkan dalam analisis. Hasil dari analisis statik nonlinier *pushover* tersebut berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dan simpangan atap struktur.

Sebuah kurva kapasitas yang menunjukkan tahapan perilaku struktur, mulai dari kondisi elastis, saat pertama kali leleh, terbentuknya sendi plastis, hingga mencapai kondisi runtuh. Ilustrasi kurva kapasitas struktur ini ditampilkan pada gambar 3.7 berikut.

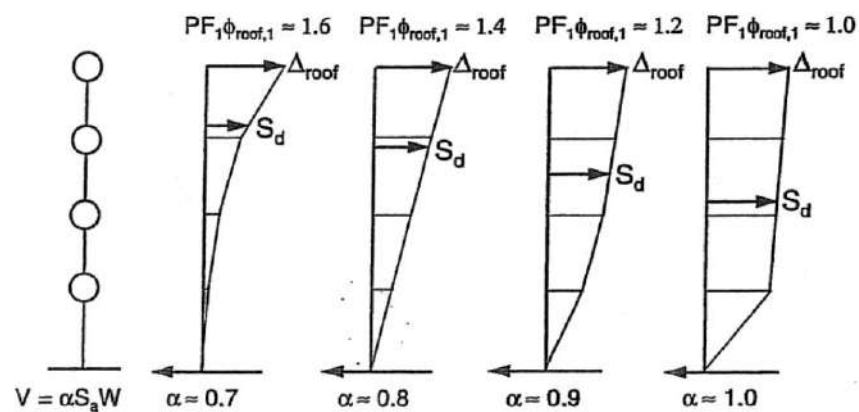


Gambar 3.7 Kurva Kapasitas

(Sumber : ATC-40, 1996)

1. Konversi Kurva Kapasitas Dalam Format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS)

Konversi kurva kapasitas menjadi format ADRS atau spektrum kapasitas memerlukan keterkaitan dengan parameter faktor partisipasi modal, koefisien massa modal, dan perpindahan struktur. Hubungan antar parameter tersebut diilustrasikan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa

(Sumber : ATC-40, 1996)

Gambar 3.8 mengilustrasikan bahwa hubungan antara faktor partisipasi modal dan koefisien massa modal bervariasi pada setiap bangunan untuk nilai simpangan antar lantai yang berbeda. Adapun langkah mengubah kurva

kapasitas ke format ADRS dilakukan dengan menghitung faktor partisipasi massa (PF_1) dan koefisien massa modal (α_1). Perhitungan kedua parameter ini mengikuti rumus yang disajikan pada Persamaan 3.19 dan 3.20 di bawah ini.

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

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

Keterangan:

PF_1 = faktor partisipasi modal pada mode pertama

α_1 = modal koefisien massa pada mode pertama

w_i/g = massa pada tingkat ke- i

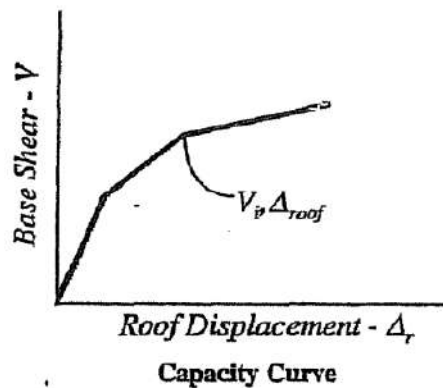
ϕ_{i1} = amplitud mode-1 pada tingkat ke- i

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

$$S_a = \frac{v/w}{a_1} \quad (3.21)$$

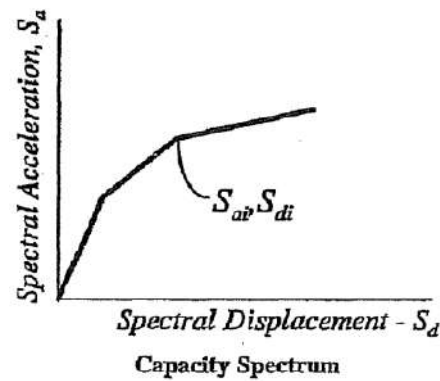
$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (3.22)$$

Spektrum kapasitas diperoleh dari hasil perhitungan Persamaan 3.21 dan 3.22. Hasil konversi format kurva kapasitas ini kemudian divisualisasikan pada Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.9 Perubahan Format Kurva Kapasitas Format Standar

(Sumber : ATC-40, 1996)



Gambar 3.10 Perubahan Format Kurva Kapasitas Format ADRS

(Sumber : ATC-40, 1996)

Demand spektrum, yang biasanya digambarkan sebagai hubungan antara percepatan spektral (S_a) dan periode (T), diperoleh dengan mengubah respons spektrum ke dalam format ADRS (S_a , S_d). Konversi ini, termasuk mengonversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas, dapat dilakukan secara otomatis oleh ETABS melalui metode khusus yang tersedia dalam program tersebut.

2. Konversi kurva respon spektrum (*demand spectrum*) ke format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS)

Untuk mengubah respons spektrum ke dalam format ADRS, perhitungan dapat dilakukan menggunakan Persamaan 3.23 atau Persamaan 3.24 berikut.

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

Atau

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

Keterangan:

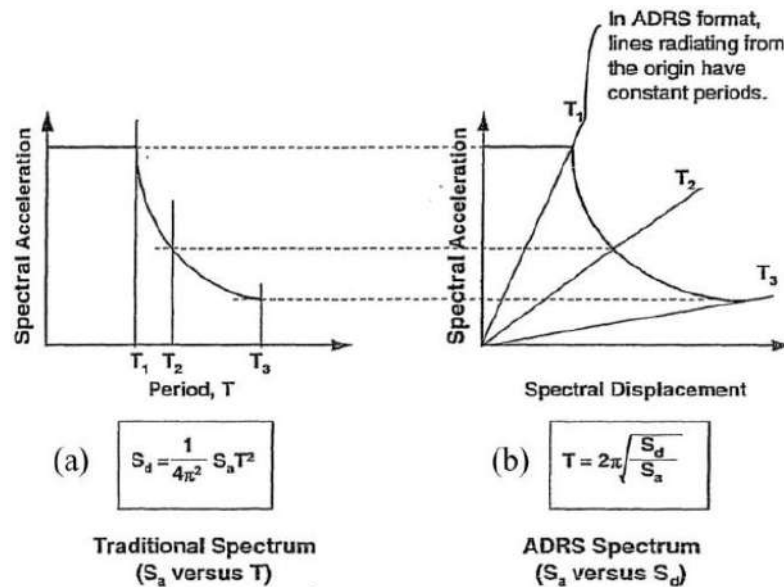
S_a = spektra percepatan atau *spectral acceleration* (m)

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

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

T = periode getar fundamental (dt)

Proses perubahan format data dari respon spektrum biasa menjadi format *Acceleration Displacement Response Spectra* (ADRS) diilustrasikan dalam Gambar 3.11.



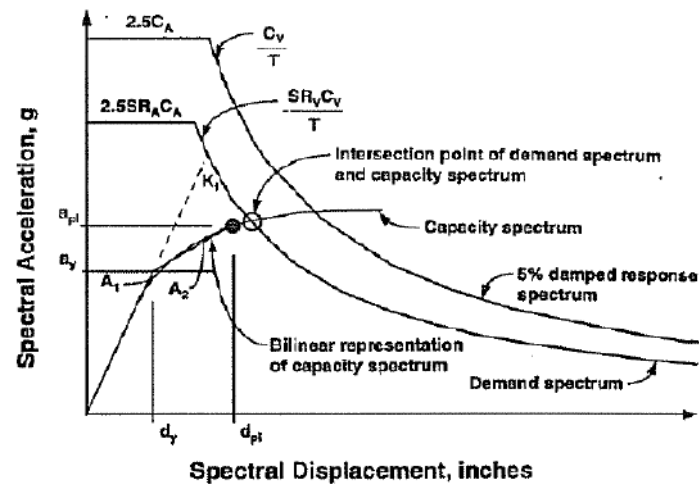
Gambar 3.11 Perubahan Respon Spektra. (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS

(Sumber : ATC-40, 1996)

3.5.2 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Dalam *Capacity Spectrum Method* (ATC-40, 1996), yang dimaksud dengan *performance point* adalah titik perpotongan antara kurva kapasitas struktur dengan kurva spektrum respons gempa yang menandai kinerja struktur terhadap beban gempa rencana.

Zain (2018) menjelaskan dari *performance point* dapat diperoleh berbagai parameter respons struktur, seperti periode efektif dan redaman efektif yang mencerminkan perubahan kekakuan struktur akibat terbentuknya sendi plastis. Selain itu, respons mengenai simpangan antar struktur dan distribusi sendi plastis juga dapat dievaluasi untuk menilai perilaku serta tingkat kinerja struktur saat menerima beban gempa. Ilustrasi *performance point* yang disajikan pada Gambar 3.12. berikut.



Gambar 3.12 Kurva Penentuan *Performance Point*

(Sumber : ATC-40, 1996)

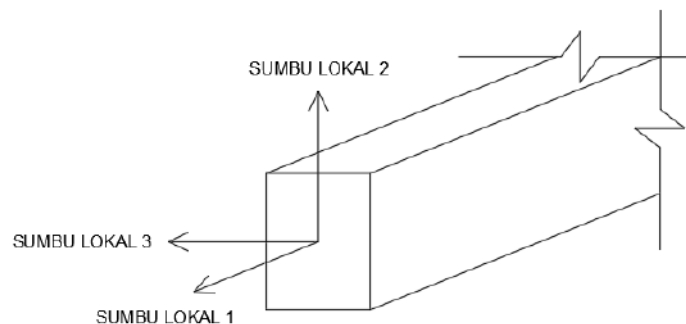
3.6 Perilaku Sendi Plastis Pada Struktur Gedung

Menurut Nada dkk. (2023), sendi plastis menggambarkan perilaku elemen struktur setelah melewati batas leleh, yang ditinjau berdasarkan derajat kebebasan tertentu. Konsep ini digunakan untuk merepresentasikan perubahan perilaku elemen struktur dari kondisi elastis menuju kondisi plastis. Perilaku pasca leleh tersebut dapat didefinisikan pada berbagai komponen gaya dalam, seperti gaya aksial, gaya geser, momen lentur, dan momen torsi. Sementara itu, derajat kebebasan yang tidak didefinisikan mengalami perilaku plastis tetap diasumsikan berada dalam kondisi elastis.

Wibawa dkk. (2024) menjelaskan sendi plastis terbentuk pada bagian elemen struktur yang telah mencapai kondisi leleh dan berfungsi sebagai titik rotasi plastis saat struktur menerima beban yang melebihi kapasitas elastisnya. Pada struktur rangka, sendi plastis umumnya terbentuk di ujung balok dan kolom ketika beban yang bekerja telah melampaui kapasitas elastis struktur. Pembentukan sendi plastis memungkinkan mengalami deformasi dan menyerap energi gempa tanpa mengalami keruntuhan secara tiba-tiba.

Sendi plastis yang diterapkan pada *pushover* adalah sendi M3, sebuah parameter yang menunjukkan bahwa balok bekerja secara efektif dalam menahan rotasi akibat momen pada sumbu kuatnya (sumbu lokal-3). Penggunaan tipe sendi

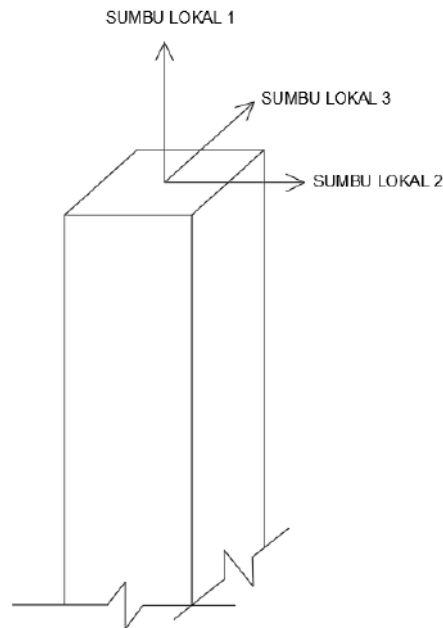
ini didasarkan pada karakteristik balok yang dominan memikul beban lentur searah gravitasi maupun akibat beban gempa pada bidang utamanya. Sebagai gambaran dalam menentukan orientasi pembebanan, posisi dan arah sumbu lokal pada elemen struktur tersebut diilustrasikan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Titik Sumbu Lokal Balok Struktur

Berbeda dengan balok, pemodelan sendi plastis pada elemen kolom menggunakan tipe sendi P-M2-M3. Pemilihan tipe ini didasarkan pada karakteristik kolom sebagai elemen tekan lentur, di mana kegagalan plastis terjadi akibat interaksi antara gaya aksial (P) dengan momen pada sumbu lokal-2 (M_2) dan sumbu lokal-3 (M_3).

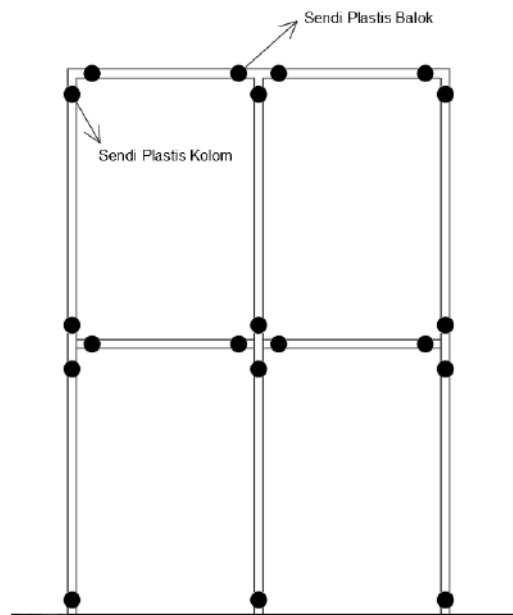
Dalam penelitian ini, penampang kolom yang dianalisis berbentuk persegi dengan distribusi tulangan yang tersebar di keempat sisinya. Konfigurasi tulangan yang simetris ini menyebabkan kapasitas momen pada sumbu lokal-2 dan lokal-3 memiliki nilai yang setara. Dengan demikian, kolom dianggap memiliki kekuatan lentur yang sama pada kedua arah utama saat menerima beban lateral. Orientasi sumbu lokal serta representasi interaksi gaya pada kolom tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Titik Sumbu Lokal Kolom Struktur

Penempatan sendi plastis pada elemen struktural dilakukan berdasarkan panjang bersih masing-masing komponen. Untuk elemen balok, sendi plastis diletakkan tepat pada kedua ujung panjang bersihnya, di mana posisi 0 mendefinisikan titik pangkal dan posisi 1 mewakili titik ujung dari bentang bersih tersebut.

Prinsip penempatan yang serupa juga diterapkan pada kolom, yakni pada kedua ujung panjang bersih kolom. Secara sistematis, posisi 0 menandakan titik awal panjang bersih, sedangkan posisi 1 menandakan titik akhirnya. Konfigurasi ini dipilih karena ujung-ujung elemen merupakan lokasi kritis terjadinya momen maksimum saat struktur menerima beban lateral. Ilustrasi peletakan sendi plastis ini dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Sendi plastis pada balok dan pada kolom

3.7 Metode ATC-40

ATC-40 (*Applied Technology Council*) adalah dokumen panduan teknis yang diterbitkan oleh *Applied Technology Council* pada tahun 1996 sebagai prosedur analisis kinerja seismik berbasis perpindahan (*displacement based*) untuk bangunan beton bertulang. Metode ini menggunakan analisis *pushover* untuk menghasilkan kurva kapasitas struktur, yang kemudian dikonversi ke format spektrum *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS) dan dipertemukan dengan kurva *demand* gempa untuk mendapatkan titik kinerja (*performance point*). Penilaian kinerja struktur dalam ATC-40 tidak hanya didasarkan pada titik kinerja, tetapi juga mempertimbangkan batasan simpangan antar lantai (*drift limit*) yang telah ditetapkan untuk masing-masing level kinerja

3.6.1 Batasan Simpangan (*Drift Limit*)

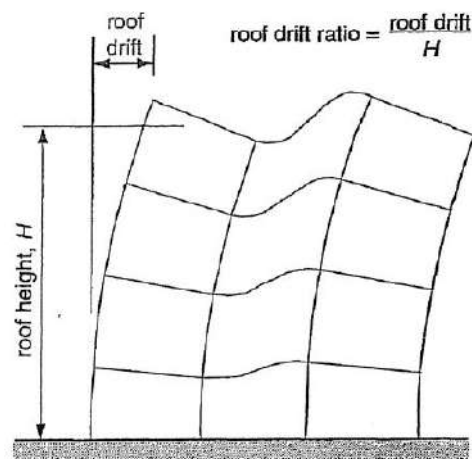
Batasan simpangan (*drift limit*) dalam ATC-40 merupakan batas maksimum perpindahan lateral yang diizinkan pada suatu struktur akibat beban gempa. Terdapat dua jenis batasan simpangan, yaitu *Maximum Total Drift* dan *Maximum Inelastic Drift*, keduanya memiliki nilai batasan berbeda sesuai dengan level kinerja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Batasan Simpangan

<i>Interstory 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</i>	0,01	0,01–0,02	0,02	$0,33 V_1/P_1$
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0,005	0,005–0,0015	<i>No Limit</i>	<i>No Limit</i>

Sumber : ATC-40, 1996

Selain batasan simpangan, ATC-40 juga mendefinisikan rasio simpangan (*drift ratio*) sebagai perbandingan antara simpangan atap (*roof drift*) dengan tinggi total stuktur (*roof height*). Rasio simpangan ini digunakan sebagai parameter evaluasi perilaku lateral struktur secara keseluruhan akibat beban gempa, ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.16

**Gambar 3.16 Simpangan Pada Atap dan Rasio Simpangan Pada Atap**

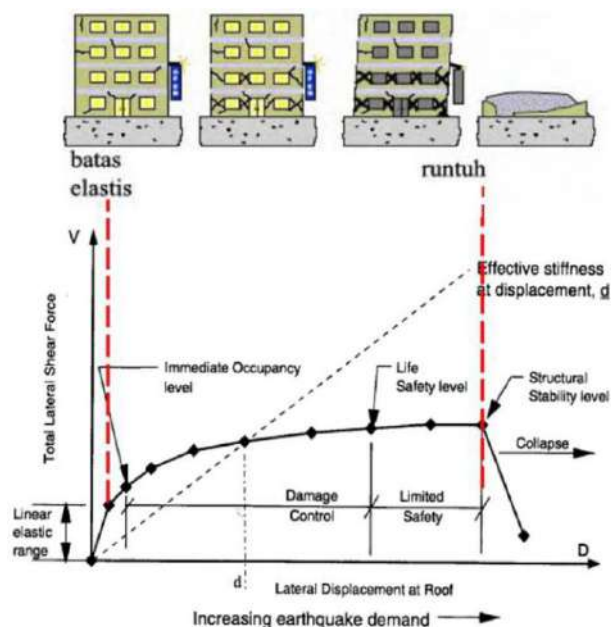
(Sumber : ATC-40, 1996)

3.6.2 Level Kinerja

Erizal dkk. (2024) menjelaskan kinerja struktur menunjukkan kemampuan bangunan untuk bertahan dan berfungsi saat menerima beban gempa tertentu. Tingkat kerusakan elemen struktur dinilai dari hubungan momen rotasi, sedangkan level kinerja ditentukan berdasarkan batas kerusakan maksimum yang masih dapat

diterima, dengan parameter utama berupa gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*).

Metode ATC-40 (1996) mengklasifikasikan kinerja struktur bangunan terhadap gempa ke dalam beberapa tingkatan berdasarkan batas kerusakan yang masih dapat diterima. Penetapan level kinerja tersebut mempertimbangkan tiga aspek utama, yaitu tingkat kerusakan yang terjadi pada elemen struktur, risiko terhadap keselamatan penghuni bangunan, serta tindakan perbaikan yang diperlukan pascagempa. Setiap level kinerja memiliki karakteristik kerusakan dan batasan perpindahan lateral yang berbeda-beda. Hubungan antara tingkat kerusakan, level kinerja, dan keruntuhan bangunan secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Ilustrasi Level Kinerja Struktur Bangunan
(Sumber : ATC-40, 1996)

Dalam gambar tersebut, level kinerja struktur ditandai dengan titik bulat (●) pada kurva kapasitas yang merepresentasikan kejadian-kejadian penting dalam respons struktur selama gempa berlangsung. Kejadian penting yang dimaksud meliputi terjadinya leleh pertama pada elemen struktur serta timbulnya kerusakan spesifik yang dapat berkembang menuju keruntuhan menyeluruh, seperti kegagalan

geser pada kolom. ATC-40 mengklasifikasikan level kinerja struktur ke dalam beberapa tingkatan *Structure Performance Level* yang dikombinasikan dengan *Nonstructural Performance Level* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.13 dan dijelaskan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.13 Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

<i>Building Performance Levels</i>						
<i>Nonstructural Performance Levels</i>	<i>Structure Performance Level</i>					
	<i>SP-1 Immediate Occupancy</i>	<i>SP-2 Damage Control</i>	<i>SP-3 Life Safety</i>	<i>SP-4 Limited Safety (Range)</i>	<i>SP-5 Structural Stability</i>	<i>SP-6 Not Considered</i>
<i>NP-A Operational</i>	<i>1-A Operational</i>	<i>2-A</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP-B Immediate Occupancy</i>	<i>1-B Immediate Occupancy</i>	<i>2-B</i>	<i>3-B</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP-C Life Safety</i>	<i>1-C</i>	<i>2-C</i>	<i>3-C Life Safety</i>	<i>4-C</i>	<i>5-C</i>	<i>6-C</i>
<i>NP-D Hazard Reduced</i>	<i>NR</i>	<i>2-D</i>	<i>3-D</i>	<i>4-D</i>	<i>5-D</i>	<i>6-D</i>
<i>NP-E Not Considered</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>3-E</i>	<i>4-E</i>	<i>5-E Structural Stability</i>	<i>Not Applicable</i>

Sumber : ATC-40, 1996

Tabel 3.14 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>SP-1 Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan tetap dalam kondisi aman saat gempa terjadi. Risiko korban jiwa sangat kecil, kerusakan struktur tidak signifikan, dan bangunan dapat langsung digunakan kembali tanpa perbaikan berarti.	Bangunan yang wajib beroperasi sebagai sarana penyalamatan, penyimpanan bahan berbahaya, atau bangunan yang berpengaruh terhadap perekonomian nasional. Contohnya rumah sakit, gudang bahan bakar, dan bangunan objek vital nasional.

Lanjutan Tabel 3.14 Tingkat Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Terjadi Gempa

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>SP-2 Damage Control (DC)</i>	Kondisi peralihan antara SP-1 dan SP-3. Bangunan masih mampu bertahan terhadap gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa sangat rendah.	Bangunan bersejarah serta bangunan yang difungsikan sebagai tempat penyimpanan barang berharga.
<i>SP-3 Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak sampai menyebabkan keruntuhan yang menimbulkan korban jiwa dalam jumlah besar. Setelah gempa berlalu, bangunan dapat difungsikan kembali setelah dilakukan perbaikan pada komponen struktural maupun nonstruktural.	Fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang, dan sejenisnya.
<i>SP-4 Limited Safety (Range)</i>	Kondisi peralihan antara SP-3 dan SP-5. Bukan merupakan tingkatan serta tidak menghitung aspek ekonomis dalam pelaksanaan perbaikan pascagempa.	-
<i>SP-5 Structural Stability (SS)</i>	Struktur mengalami kerusakan berat hingga mendekati ambang keruntuhan total maupun parsial. Meskipun demikian, komponen penahan beban gravitasi masih mampu berfungsi meski kestabilan keseluruhan struktur sudah kritis.	-
<i>SP-6 Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk acuan dalam evaluasi seismik non struktural atau perkuatan (<i>retrofit</i>).	-

Sumber : ATC-40, 1996

3.6.3 Mekanisme Keruntuhan Struktur

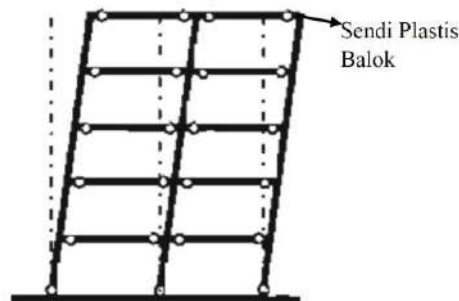
Krisdianti dkk. (2024) menjelaskan mekanisme keruntuhan pada struktur bangunan didasarkan pada konsep *strong column - weak beam*, di mana hierarki kekuatan elemen struktur dirancang sedemikian rupa sehingga sendi plastis terbentuk terlebih dahulu pada ujung-ujung balok. Dengan konsep ini, apabila terjadi keruntuhan, balok akan mengalami kegagalan lebih awal sebelum kolom,

sehingga struktur masih memiliki kesempatan untuk mempertahankan stabilitasnya sebelum runtuh secara keseluruhan.

Menurut ATC-40, mekanisme keruntuhan dibedakan menjadi dua tipe. *Beam sway mechanism* merupakan mekanisme ideal di mana sendi plastis terbentuk pada ujung-ujung balok sehingga dapat diserap secara merata oleh seluruh elemen struktur. *Column sway mechanism* terjadi ketika sendi plastis terbentuk pada kolom yang menyebabkan struktur kehilangan kestabilannya secara tiba-tiba dan berpotensi mengalami keruntuhan total. Gambar detail untuk masing-masing mekanisme adalah sebagai berikut:

1. *Beam sway mechanism,*

Sendi plastis terjadi pada ujung-ujung elemen balok.

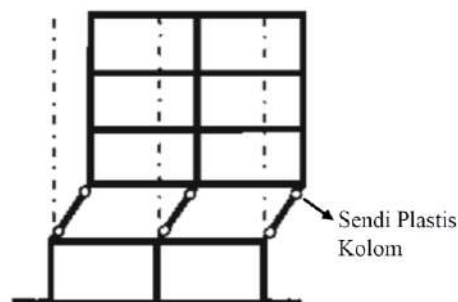


Gambar 3.18 Mekanisme Keruntuhan *Beam Sway Mechanism*

(Sumber : ATC-40, 1996)

2. *Column sway mechanism,*

Sendi plastis terjadi pada ujung-ujung elemen kolom.



Gambar 3.19 Mekanisme Keruntuhan *Column Sway Mechanism*

(Sumber : ATC-40, 1996)

BAB IV

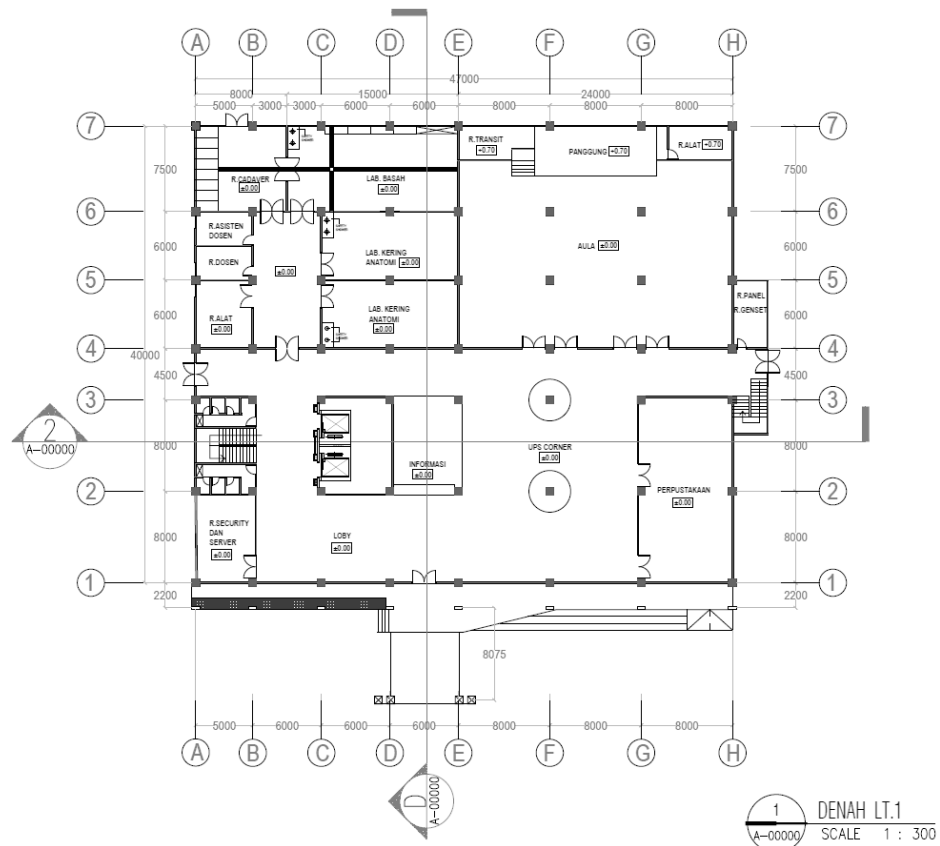
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

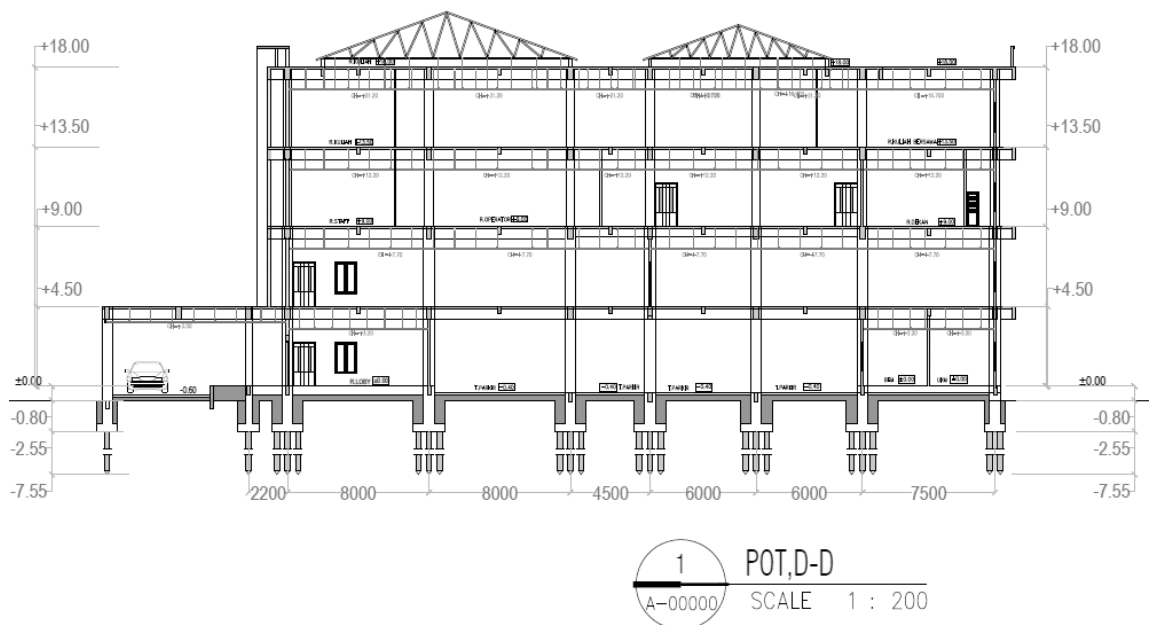
Objek yang dianalisis dalam penelitian ini adalah gedung perkuliahan Universitas Pancasakti Tegal Kampus 2 yang berlokasi di Jl. Perintis Kemerdekaan, Kalurahan Panggung, Kota Tegal, Jawa Tengah. Gedung tersebut merupakan bangunan empat lantai yang difungsikan sebagai fasilitas pendidikan. Lokasi gedung, denah struktur, dan potongan dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



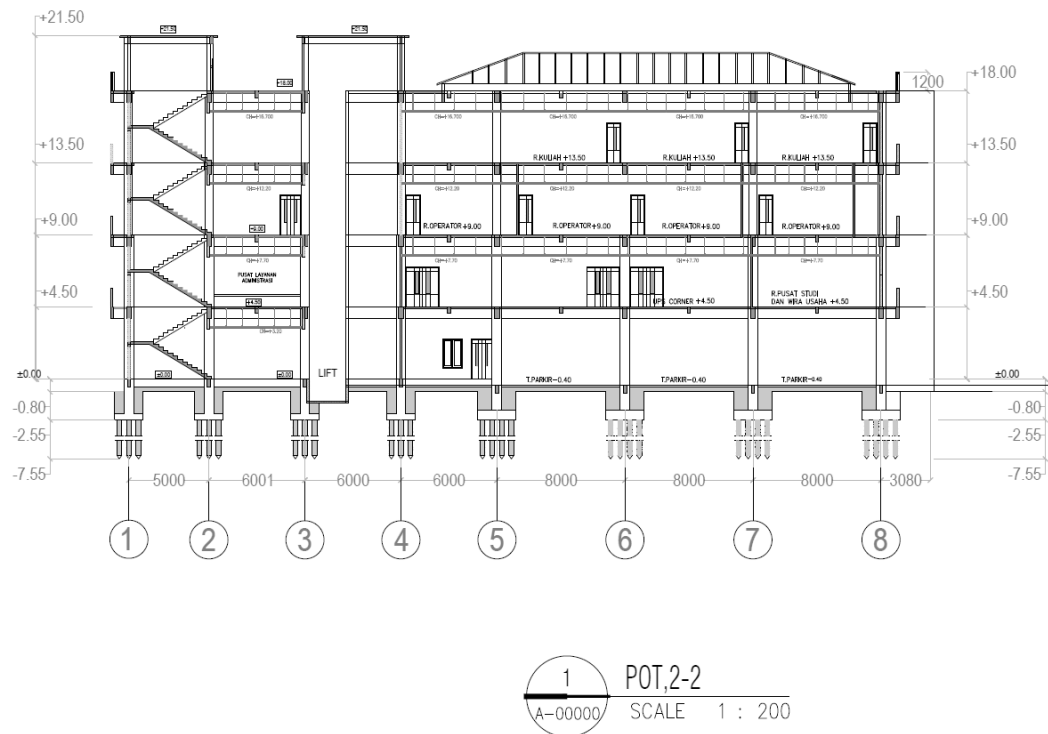
Gambar 4.1 Lokasi Gedung Penelitian
(Sumber: *Google Earth Pro*, 2026)



Gambar 4.2 Denah Lantai 1 Gedung Kuliah Pancasila
(Sumber: Data Detail Engineering Design, 2026)



Gambar 4.3 Potongan D-D Gedung Kuliah Pancasila
(Sumber: Data Detail Engineering Design, 2026)



Gambar 4.4 Potongan 2-2 Gedung Kuliah Pancasakti
(Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026)

4.2 Data Bangunan

Sumber data utama dalam penelitian ini adalah dokumen *Detail Engineering Design* yang disediakan oleh konsultan perencana proyek, yaitu RekaRuang. Data yang diambil mencakup hal-hal berikut.

1. Mutu Beton
 - a. f'_c = 33,2 MPa
 - b. Modulus Elastisitas = $4700 \sqrt{f'_c} = 26,999$ MPa
 - c. Berat Jenis beton = 2,4 ton/m³
2. Mutu Baja Tulangan
 - a. Tulangan Polos BJTP, F_y = 240 MPa
 - b. Tulangan Ulir BJTS, F_y = 400 MPa
3. Dimensi Elemen Struktur

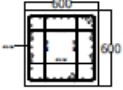
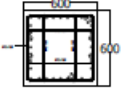
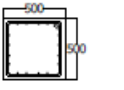
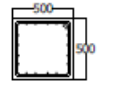
a. Kolom

Tabel 4.1 Tipe Kolom

No.	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	600 x 600
2	K2	500 x 500
3	K3	400 x 400
4	K4	200 x 500
5	K5	150 x 800

Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026

Berikut contoh gambar detail pembesian untuk potongan melintang kolom K1 dan K2.

POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR				
DIMENSI	60CM X 60CM	60CM X 60CM	50CM X 50CM	50CM X 50CM
TULANGAN ATAS	9 D19	9 D19	6 Ø19	6 Ø19
TULANGAN BAWAH	9 D19	9 D19	6 Ø19	6 Ø19
BEUGEL	2 Ø12-125	2 Ø12-125	Ø12-125	Ø12-150

Gambar 4.5 Detail Pembesian K1 dan K2
(Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026)

b. Balok

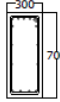
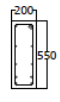
Dimensi masing-masing balok berdasarkan tipenya disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tipe Balok

No.	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1	300 x 700
2	B2	200 x 550
3	B3	200 x 500
4	B4	200 x 400
5	B5	150 x 300

Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026

Berikut contoh gambar detail pembesian untuk potongan melintang balok B1 dan B2.

POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR				
DIMENSI	30 CM X 70 CM	30 CM X 70 CM	20 CM X 55 CM	20 CM X 55 CM
TULANGAN ATAS	7 Ø19	3 Ø19	5 Ø19	2 Ø19
TULANGAN BAWAH	4 Ø19	6 Ø19	3 Ø19	4 Ø19
TULANGAN PINGGANG	4 Ø10	4 Ø10	4 Ø10	4 Ø10
BEUGEL	Ø12-100	Ø12-150	Ø10-100	Ø10-150

Gambar 4.6 Detail Pembesian B1 dan B2
(Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026)

c. Pelat

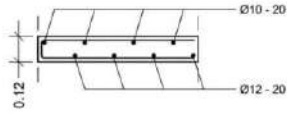
Dimensi masing-masing pelat berdasarkan tipenya disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tipe Plat

No.	Tipe Plat	Dimensi (mm)
1	PL	120

Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026

Berikut contoh gambar detail pembesian untuk pelat PL.

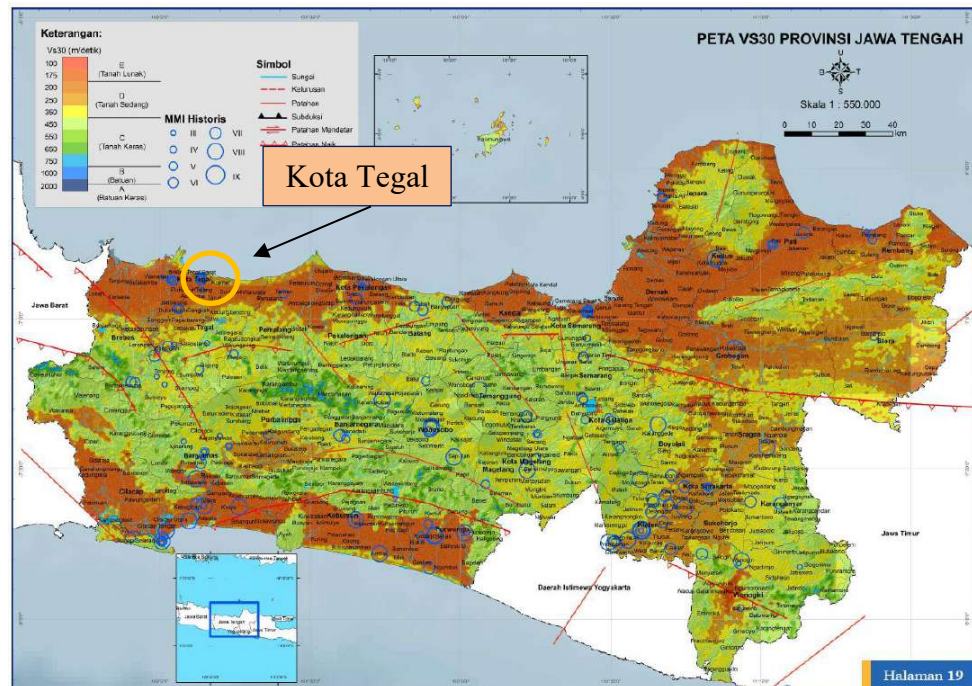
	
TUMPUAN	
TULANGAN POKOK	BESI Ø 12
TULANGAN PEMBANTU	BESI Ø 10

Gambar 4.7 Detail Pembesian PL
(Sumber: Data *Detail Engineering Design*, 2026)

4. Data Tanah

Data sondir dari penyelidikan tanah yang terdapat pada lampiran hanya mencapai kedalaman 6 meter, sehingga tidak dapat digunakan untuk penentuan kelas situs yang mensyaratkan kedalaman minimum 30 meter. Sebagai alternatif, digunakan pendekatan data Vs30 wilayah Kota Tegal yang mengkategorikan tanah di lokasi penelitian sebagai tanah sedang (kelas situs

SD). Peta Vs30 wilayah Provinsi Jawa Tengah disajikan pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Peta Vs30 Wilayah Provinsi Jawa Tengah
(Sumber: Peta Vs30, 2022)

4.3 Software Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan beberapa *software* untuk membantu analisis. Penggunaannya membuat penelitian lebih efektif dan akurat, terutama untuk pemodelan dan perhitungan yang diperlukan karena kompleksitas struktur yang diteliti. *Software* yang digunakan meliputi:

1. ETABS 22, sebagai *software* utama untuk pemodelan struktur bangunan, serta menganalisis respons dan perilaku struktur terhadap berbagai beban.
2. Microsoft Excel 2021, digunakan untuk mengolah data, melakukan perhitungan tambahan, dan menganalisis hasil dari ETABS.

4.4 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan analisis *pushover* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai sumber yang berkaitan dengan topik penelitian, antara lain jurnal ilmiah, dan artikel referensi yang membahas analisis *pushover* dengan metode ATC-40. Peraturan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi SNI 1726:2019 mengenai perencanaan ketahanan gempa, SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria bangunan gedung, dan dokumen *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete* (ATC-40) yang digunakan sebagai acuan utama dalam pelaksanaan analisis statik nonlinier *pushover*.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data terkait struktur bangunan yang menjadi objek penelitian. Data mencakup dimensi elemen struktur, konfigurasi denah, material yang digunakan, serta informasi pendukung lainnya. Data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses pemodelan struktur tiga dimensi.

3. Pemodelan 3D

Pemodelan tiga dimensi dilakukan menggunakan *software* analisis struktur ETABS. Pemodelan mencakup elemen-elemen struktural utama seperti kolom, balok, serta pelat lantai. Pemodelan dilakukan sesuai data dimensi dan karakteristik material yang telah diperoleh sebelumnya. Pemodelan ini bertujuan untuk merepresentasikan perilaku struktur secara akurat pada kondisi pembebanan gempa.

4. Perhitungan Pembebanan

Tahapan ini meliputi penentuan dan penginputan beban-beban yang bekerja pada struktur. Beban mati (*dead load*) dimodelkan sebagai berat sendiri komponen gedung dan beban hidup (*live load*) sebagai beban hidup pada lantai gedung dimasukkan secara manual sesuai ketentuan SNI 1727:2020. Beban gempa ditentukan berdasarkan parameter respons spektrum menurut SNI 1726:2019. Semua beban tersebut diinput dan dikombinasikan sesuai dengan kebutuhan analisis.

5. Analisis Statik Ekuivalen & Dinamik Respon Spektrum

Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku linear struktur sebelum dilakukan analisis nonlinear. Analisis statik ekuivalen dilakukan untuk menentukan besaran gaya geser dasar seismik, sedangkan analisis dinamik respon spektrum dilakukan untuk memperoleh distribusi gaya gempa pada struktur berdasarkan SNI 1726:2019. Hasil analisis ini digunakan untuk memvalidasi nilai gaya geser dasar total agar memenuhi persyaratan teknis sebelum dilanjutkan ke tahap analisis *pushover*.

6. Analisis Statik *Pushover*

Analisis *pushover* dilakukan dengan mengikuti prosedur yang dijelaskan dalam ATC-40 menggunakan metode *capacity spectrum*. Pada tahap ini, beban dorong lateral diberikan secara bertahap pada titik kontrol di bagian atap struktur hingga mencapai perpindahan target atau hingga struktur mengalami mekanisme keruntuhan lokal. Hasil analisis meliputi kurva kapasitas, perpindahan struktur, dan nilai *drift* yang selanjutnya dikonversi ke format spektrum ADRS untuk menentukan *performance point* dan tingkat kinerja struktur.

7. Analisis dan Interpretasi Hasil *Pushover*

Hasil dari analisis *pushover* kemudian dievaluasi untuk mengamati respons struktur terhadap peningkatan beban lateral, meliputi perubahan perilaku elemen struktur, urutan terbentuknya sendi plastis, serta kapasitas struktur dalam menahan gempa. Tingkat kinerja struktur pada *performance point* kemudian ditentukan dengan membandingkan hasil analisis terhadap kriteria batasan simpangan dan rasio simpangan yang ditetapkan dalam ATC-40

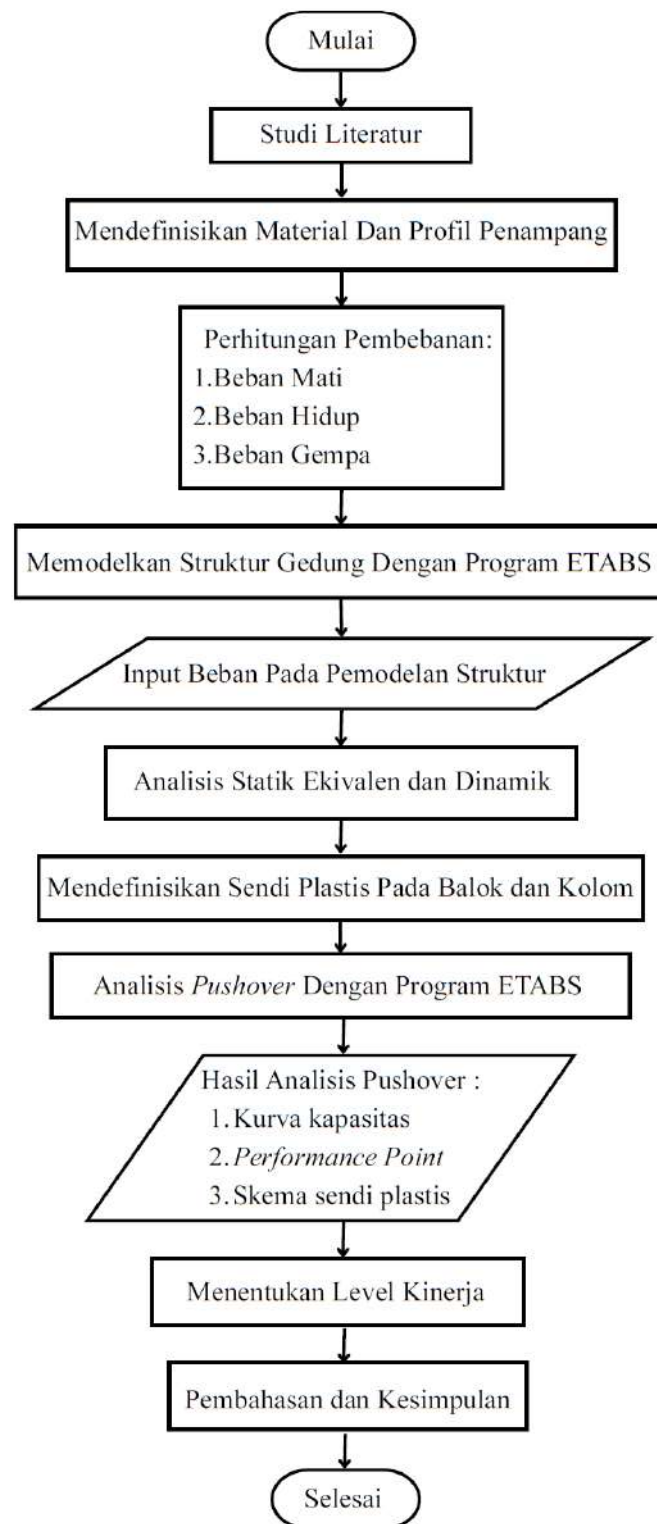
8. Pembahasan Hasil Analisis

Pada tahap pembahasan, seluruh hasil yang diperoleh dari analisis *pushover* diinterpretasikan untuk menilai apakah struktur telah memenuhi tingkat kinerja yang disyaratkan. Perilaku struktur sebelum dan sesudah mencapai titik kinerja dianalisis untuk memahami potensi kerusakan dan mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi. Hasil pembahasan menjadi dasar dalam menarik kesimpulan mengenai kondisi struktur secara keseluruhan.

9. Penyusunan Kesimpulan

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan kesimpulan yang merangkum temuan utama penelitian berdasarkan analisis dan pembahasan. Kesimpulan disusun secara objektif sesuai hasil evaluasi kinerja struktur dan kesesuaiannya dengan standar penilaian yang ditetapkan dalam ATC-40 (1996).

Tahapan penelitian di atas digambarkan dalam bagan alir pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Bagan Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemodelan Struktur

Tahapan awal dalam proses analisis ini adalah pembentukan model struktur tiga dimensi (3D) menggunakan *software* ETABS. Pemodelan dilakukan dengan memasukkan seluruh elemen struktur atas, yang mencakup kolom, balok, serta pelat lantai. Pemodelan struktur bertujuan mempresentasikan perilaku gedung dalam pengaruh beban rencana yang bekerja pada struktur. Tahapan pemodelan selengkapnya akan dijabarkan pada subsubbab berikut.

5.1.1 Pendefinisian Material Struktur

1. Beton

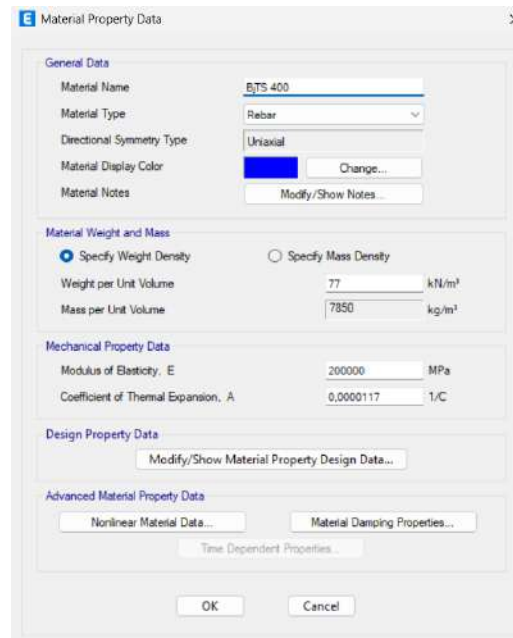
Dimulai mendefinisikan material beton dengan cara klik menu *Define – Material Properties – Add New Properties – Material Type “Concrete”* – Input data beton sesuai spesifikasi gambar DED.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for defining concrete material. The 'General Data' section includes 'Material Name' (K400), 'Material Type' (Concrete), 'Directional Symmetry Type' (Isotropic), 'Material Display Color' (a blue swatch), and 'Material Notes'. The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with 'Weight per Unit Volume' at 24.5186 kN/m³ and 'Mass per Unit Volume' at 2500 kg/m³. The 'Mechanical Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (27061 MPa), 'Poisson's Ratio, U' (0.2), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (0.000012 1/C), and 'Shear Modulus, G' (11263.75 MPa). The 'Design Property Data' section has a 'Modify/Show Material Property Design Data...' button. The 'Advanced Material Property Data' section includes buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. The 'Modulus of Rupture for Cracked Deflections' section has 'Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)' selected. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 5.1 Define Materials Beton

2. Baja

Mendefinisikan material tulangan baja dengan cara klik *Define – Material Properties – Add New Properties – Material Type “Rebar”* – Input data baja sesuai spesifikasi gambar DED.



Gambar 5.2 Define Materials Baja

5.1.2 Pendefinisian Elemen Kolom

1. Penampang

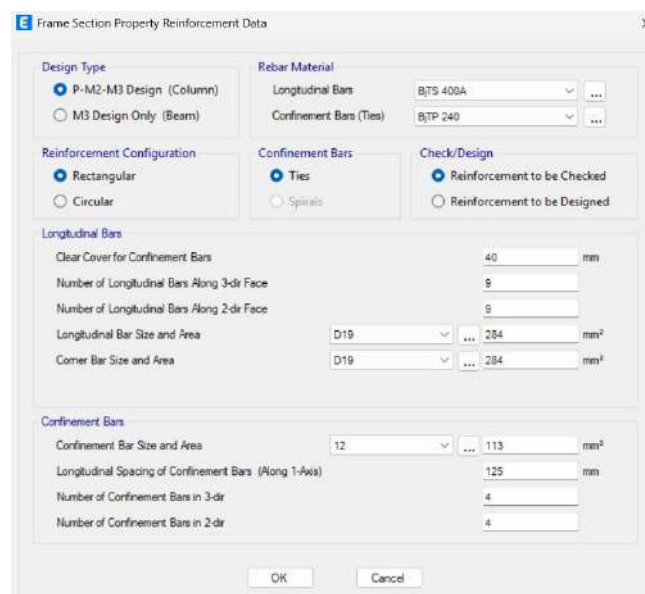
Mendefinisikan kolom dengan cara klik *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Properties – Section Shape*, pilih *Concrete Rectangular*. Input data kolom, material dan dimensi penampang kolom.



Gambar 5.3 Define Frame Kolom

2. Konfigurasi Penulangan

Setelah data kolom sudah dimasukkan, selanjutnya memasukkan data konfigurasi tulangan dengan cara klik *Reinforcement* “*Modify/Show Rebar*” – *Design Type* “*column*” – input data tulangan kolom yang digunakan – sesuaikan jumlah, luasan tulangan dan dimensi baja yang digunakan pada detail gambar kerja.

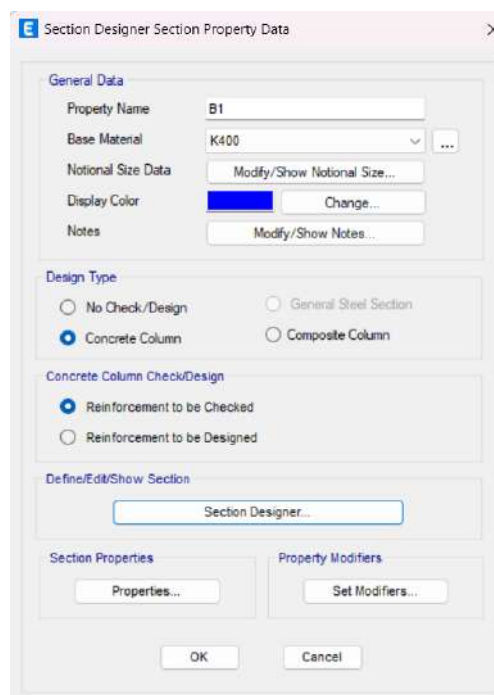


Gambar 5.4 Konfigurasi Tulangan Kolom

5.1.3 Pendefinisian Elemen Balok

1. Penampang

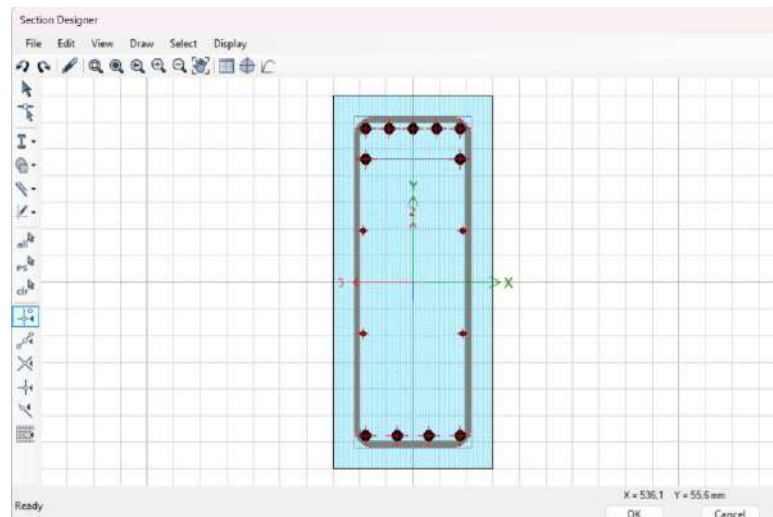
Mendefinisikan balok dengan cara klik *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Properties – Section Shape “Concrete Rectangular” – Frequently Used Shape Types, Special “Section Designer”* – pilih material balok.



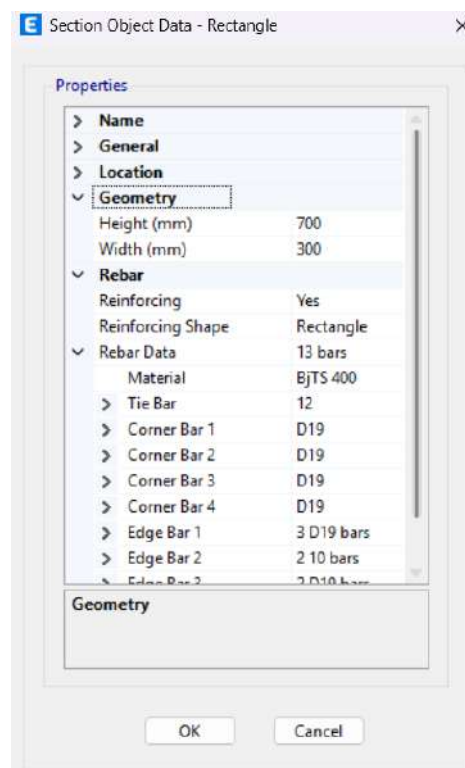
Gambar 5.5 Define Frame Balok

2. Konfigurasi Penulangan

Setelah material balok sudah dimasukkan, selanjutnya memasukkan data konfigurasi tulangan dengan cara klik *Section Designer – Draw Concrete Shape – Draw Rectangle* – gambar balok berbentuk kotak, lalu input data dimensi balok, sesuaikan jumlah tulangan pokok, sengkang dan diameter tulangan serta tebal selimut beton sesuai detail gambar kerja.



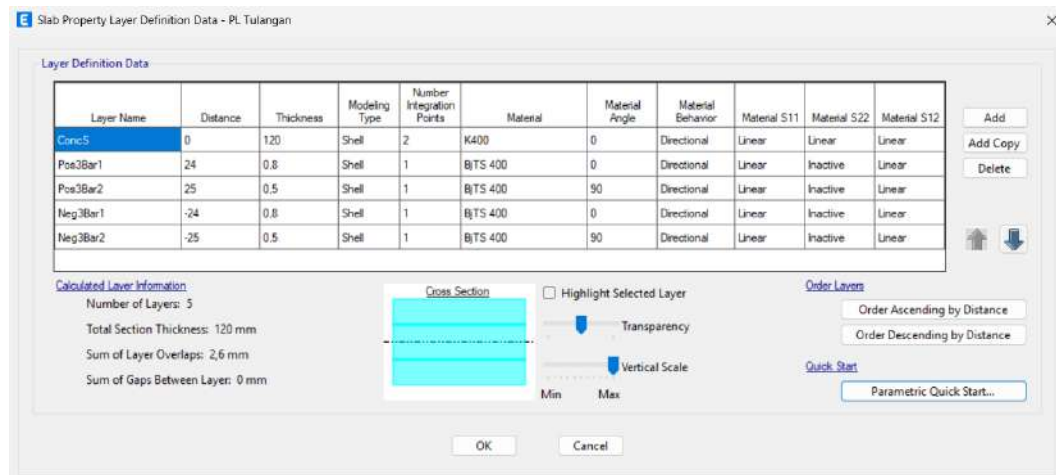
Gambar 5.6 Gambar Penampang Balok



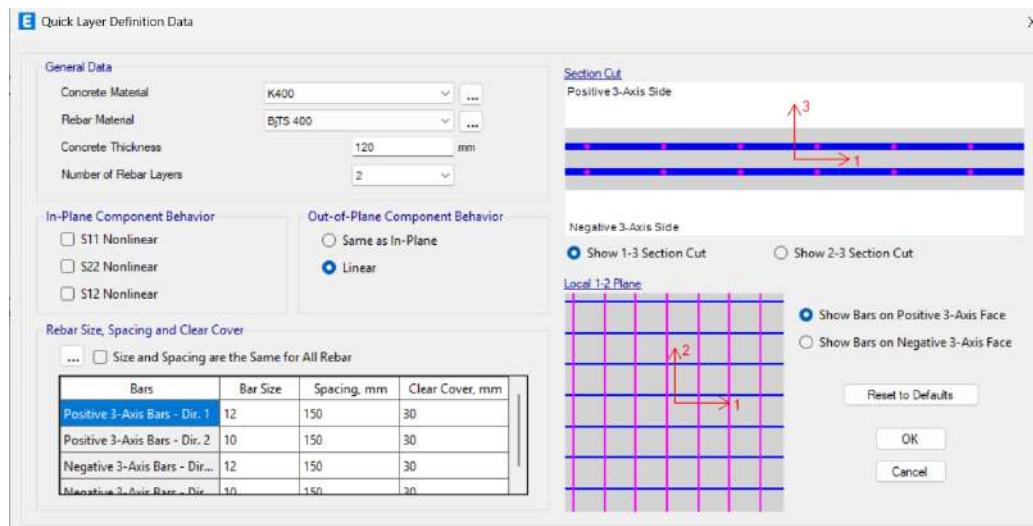
Gambar 5.7 Konfigurasi Tulangan Balok

5.1.4 Pendefinisian Elemen Pelat

Mendefinisikan pelat dengan cara klik *Define – Section Properties – Slab Section – Add New Property – Modelling Type “Layered” – Modify/Show Layered Slab Data – Parametric Quick Start*, dan input data tulangan pelat.



Gambar 5.8 Slab Property Layer Definition Data

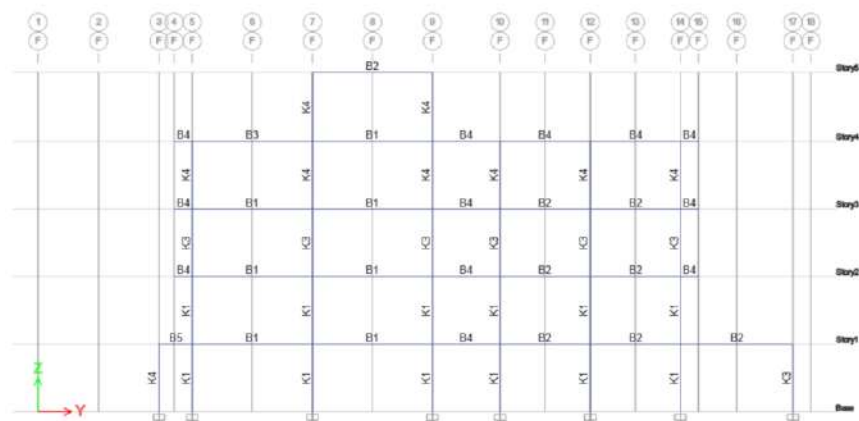


Gambar 5.9 Quick Layer Definition Data

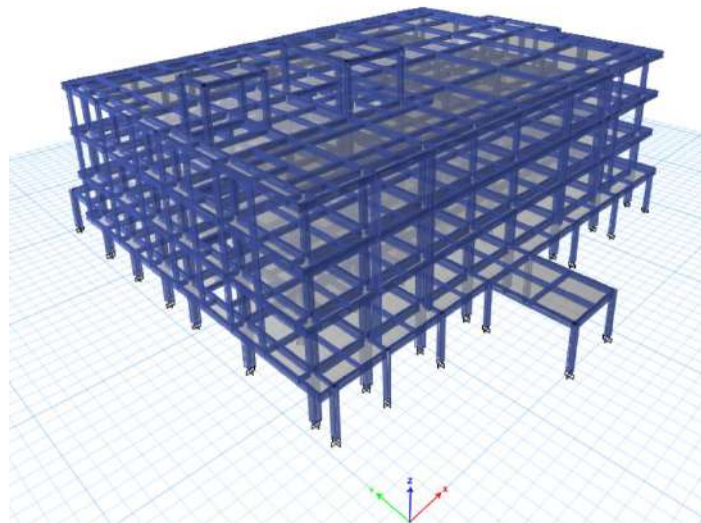
5.1.5 Penggambaran Struktur 3D

Pemodelan struktur dilakukan setelah mendefinisikan material dan penampang struktur selesai. Proses pemodelan meliputi penggambaran kolom menggunakan fitur *Draw Column* pada titik-titik pertemuan *grid* sesuai denah struktur, kemudian penggambaran balok menggunakan fitur *Draw Beam* yang menghubungkan antar kolom pada setiap lantai, serta pemodelan pelat lantai menggunakan fitur *Draw Floor/Wall Object* dengan membentuk area yang dibatasi oleh balok-balok. Setelah proses penggambaran selesai, dilakukan *check model*

untuk memastikan tidak terdapat elemen yang terduplikasi, tidak terhubung, atau kesalahan pemodelan lainnya. Selanjutnya, model yang telah dibuat diperiksa kembali dan disesuaikan dengan gambar *Detail Engineering Design (DED)* untuk memastikan kesesuaian dimensi, posisi, dan konfigurasi elemen struktur yang dimodelkan.



Gambar 5.10 Penggambaran Elemen Gedung

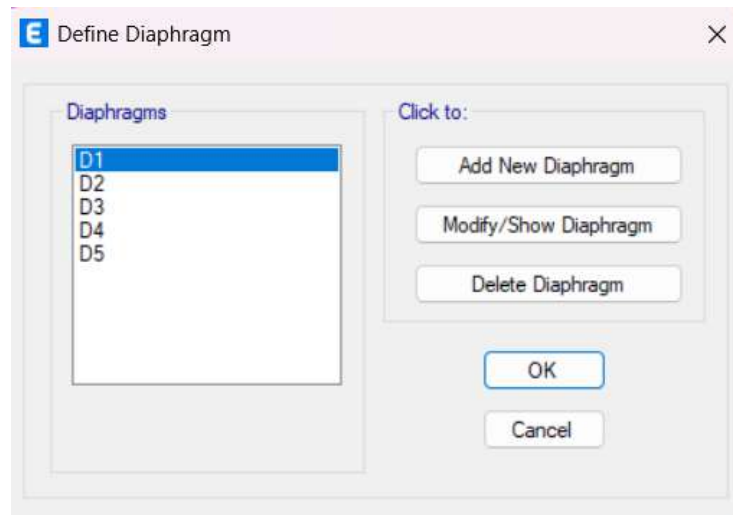


Gambar 5.11 Model 3D Gedung

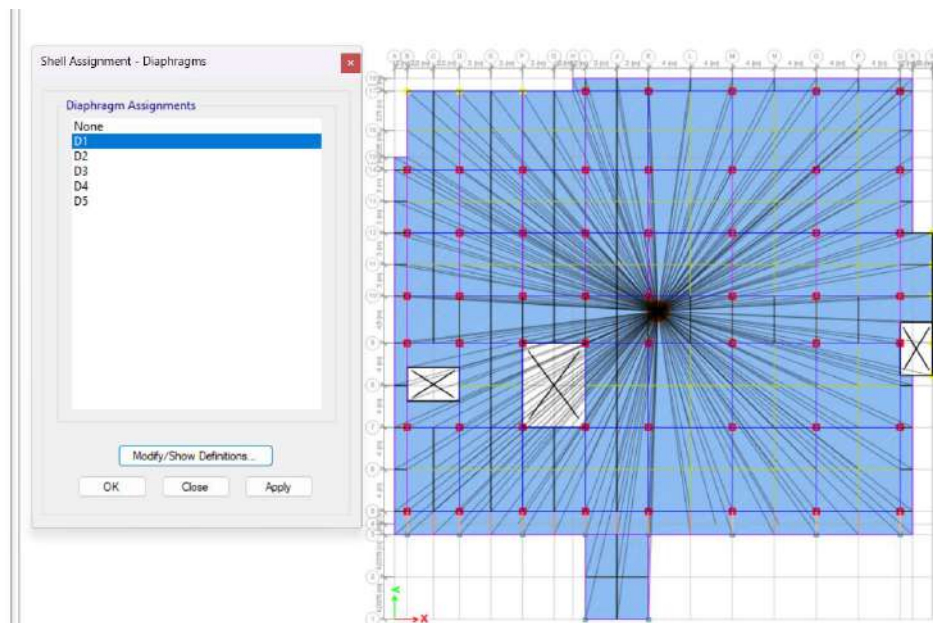
5.1.6 Pendefinisian Diafragma

Mendefinisikan diafragma dengan cara klik *Define – Diaphragm – Add New Diaphragm* – berikan kodefikasi diafragma – pada opsi *Rigidity*, pilih “*Rigid*”.

Setelah pendefinisian diafragma, selanjutnya *assign diaphragm* setiap lantai dengan cara *select* atap – *Assign – Shell – Diaphragm* – klik salah satu diafragma – *Apply*.



Gambar 5.12 Define Diafragma



Gambar 5.13 Assign Diafragma

5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur

5.2.1 Beban Mati

Beban mati meliputi berat seluruh komponen permanen bangunan, seperti pelat lantai, balok, dan kolom. Dalam pemodelan menggunakan *software* ETABS, berat sendiri elemen struktur telah dihitung secara otomatis.

5.2.2 Beban Mati Tambahan

Adapun beban mati tambahan yang dimasukkan dalam pembebanan model struktur yang digunakan adalah sebagai berikut. Dalam SNI 1727:2020 untuk fungsi ruangan yang memiliki beban hidup $\geq 3,83 \text{ kN/m}^2$ tidak perlu menyertakan beban partisi.

1. Beban mati tambahan pelat lantai.

Pasir (1 cm)	$= 1600 \text{ kg/m}^3 \times 0,01 \text{ m}$	$= 16 \text{ kg/m}^2$
Spesi (3 cm)	$= 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,03 \text{ m}$	$= 63 \text{ kg/m}^2$
Keramik (1 cm)	$= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,01 \text{ m}$	$= 24 \text{ kg/m}^2$
Plafon + rangka		$= 49 \text{ kg/m}^2$
MEP		$= 19 \text{ kg/m}^2$
Partisi		$= \underline{73 \text{ kg/m}^2} +$
		$= 245 \text{ kg/m}^2$
SIDL pelat lantai dengan partisi	$= 245 \text{ kg/m}^2$	$= 2,40 \text{ kN/m}^2$
SIDL pelat lantai tanpa partisi	$= 172 \text{ kg/m}^2$	$= 1,68 \text{ kN/m}^2$

2. Beban mati tambahan pelat atap

<i>Waterproof</i> (2 cm)	$= 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,02 \text{ m}$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Plafon + rangka		$= 49 \text{ kg/m}^2$
MEP		$= \underline{19 \text{ kg/m}^2} +$
		$= 111 \text{ kg/m}^2$
SIDL pelat atap	$= 111 \text{ kg/m}^2$	$= 1,08 \text{ kN/m}^2$

3. Beban mati tambahan balok

Bata merah (10 cm)	$= 191 \text{ kg/m}$	$= 1,87 \text{ kN/m}$
Plesteran	$= \underline{49 \text{ kg/m}}$	$= \underline{0,48 \text{ kN/m}} +$
SIDL Dinding Bata	$= 240 \text{ kg/m}$	$= 2,35 \text{ kN/m}$

5.2.3 Beban Hidup

Adapun beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi ruangan tiap plat sesuai dengan denah DED. Nilai beban hidup didapat berdasarkan Tabel 4.3-1 pada SNI 1727:2020. Rangkuman untuk mengklasifikasikan fungsi ruangan dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Klasifikasi Beban Hidup

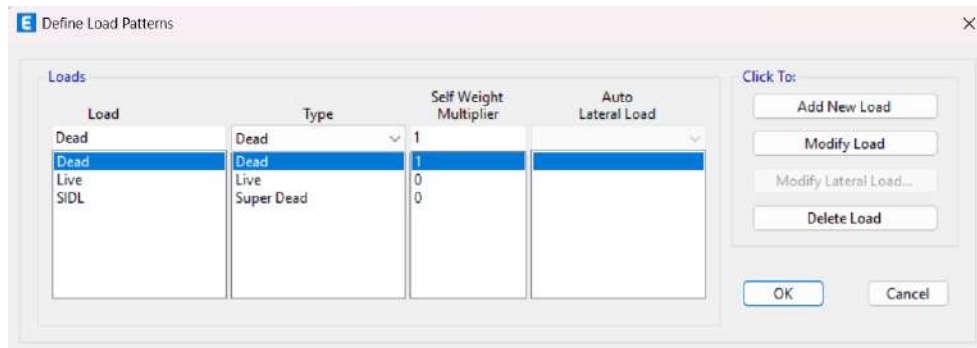
No.	Fungsi Ruang	Q Live (kN/m ²)	Q SIDL (kN/m ²)	Klasifikasi
1	Rooftop Perpustakaan	0,96	2,40	Atap datar, berbubung, dan lengkung
2	Koridor	3,83	1,68	Koridor di atas lantai pertama
3	Perpustakaan	7,18	1,68	Ruang penyimpanan (Perpustakaan)
4	R. Medu, R. UPPMJ, R. Senat, R. Kaprodi, R. Dekan, R. Dosen, R. Informasi, R. Koordinator, R. Tata Usaha	2,40	2,40	Ruang kantor
5	R. Tutorial	1,92	2,40	Ruang Kelas
6	<i>Storage</i> , Rekam medis, linen	4,79	1,68	Ruang komputer
7	Skill lab	4,79	1,68	Laboratorium
8	<i>Smart class</i>	4,79	1,68	Ruang pertemuan (kursi dapat dipindahkan)
9	Toilet	2,87	2,40	Toilet
10	Gudang	6	1,68	Gudang Ringan

5.2.4 Input Pembebanan Pada Model Struktur

1. Pembebanan Pada Pelat

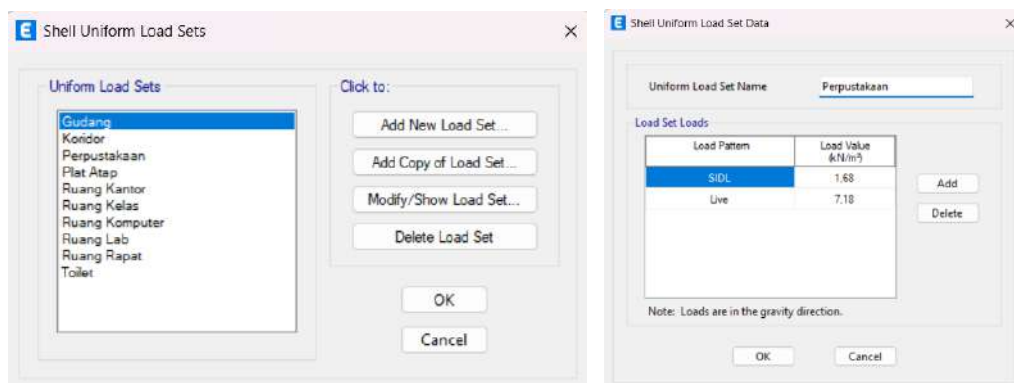
Sebelum memasukkan pembebanan ke dalam model struktur, dimulai dengan membuat pola pembebanan untuk beban hidup & beban mati tambahan. Berikut cara membuat pola pembebanan, klik *Define – Load Patterns – Type “Live”* dan isi *Self Weight Multiplier “0” – Add New Load Pattern*. Buat

dengan cara yang sama untuk beban mati tambahan dengan *type* “*super dead*”.



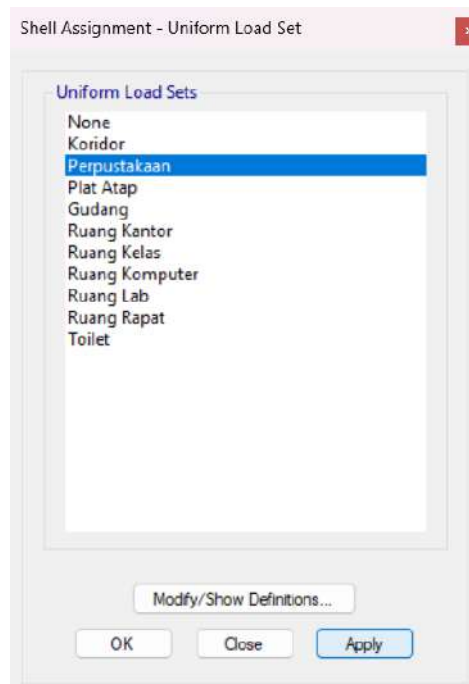
Gambar 5.14 Define Load Pattern

Setelah pola pembebanan dibuat, langkah berikutnya adalah mendefinisikan beban plat berdasarkan fungsi ruangan dengan cara klik *Define – Shell Uniform Load Sets – Add New Load Set* – masukkan beban hidup & tambahan sesuai fungsi ruang.



Gambar 5.15 Shell Uniform Load Sets

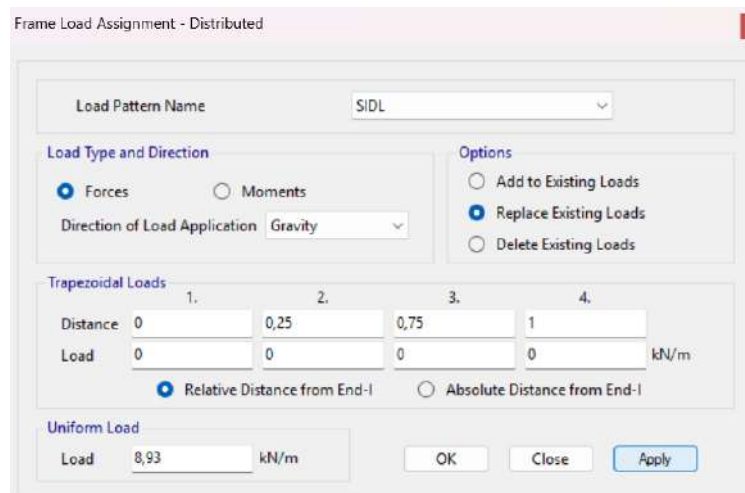
Masukkan beban pada plat dengan cara *select* plat lantai – *Assign – Shell Loads – Shell Uniform Load Set* – pilih fungsi ruangan – *Apply*.



Gambar 5.16 Apply Pembebanan Pelat

2. Pembebanan Pada Balok

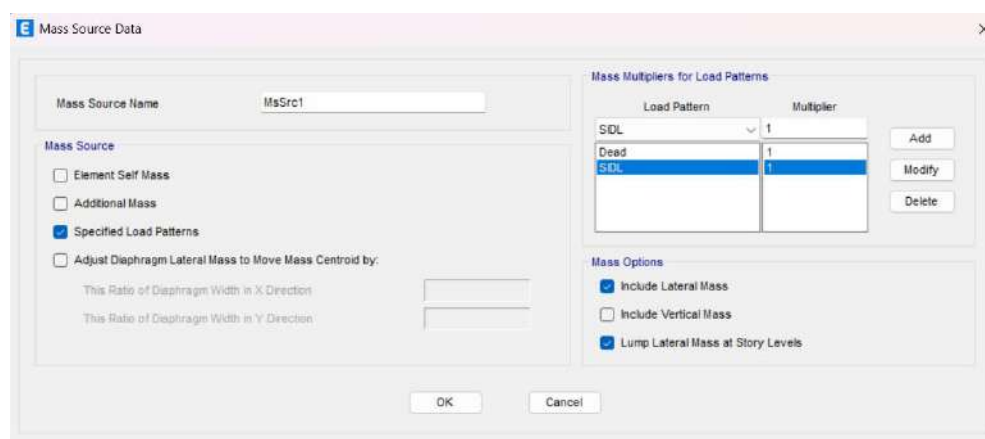
Untuk beban gravitasi balok yang dimasukkan berupa beban mati tambahan (SIDL) untuk dinding dengan cara *select* balok – *Assign* – *Frame Loads* – *Distributed* – *Load Pattern* “SIDL” – *Uniform Load*, masukkan beban dinding yang telah dihitung dengan satuan kN/m – *Apply*.



Gambar 5.17 Apply Pembebanan Balok

3. Pendefinisian Mass Source

Pendefinisian *mass source* dilakukan untuk menentukan sumber massa yang akan digunakan dalam analisis dinamik respon spektrum dan perhitungan beban gempa pada model struktur. Massa struktur diperoleh dari kombinasi beban mati & beban mati tambahan. Pendefinisian dilakukan dengan cara klik *Define – Mass Source – Add New Mass Source – checklist Specified Load Patterns* – input *Load Pattern Dead = 1* dan *SIDL = 1*.



Gambar 5.18 Define Mass Source

Setelah proses perhitungan manual dan pendefinisian *mass source* selesai dilakukan, massa total bangunan hasil perhitungan manual dibandingkan dengan massa yang diperoleh dari *software* ETABS. Perbandingan ini dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian massa yang digunakan dalam analisis. Hasil rekapitulasi massa bangunan disajikan pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Perbandingan Massa Bangunan

Lantai	Massa Bangunan
Atap	53164,27 kg
5	740144,81 kg
4	2031699,03 kg
3	2137195,14 kg

Lanjutan Tabel 5.2 Perbandingan Massa Bangunan

Lantai	Massa Bangunan	
2	2290515,43	kg
Total Massa Perhitungan Manual	7252718,69	kg
Total Massa <i>Software</i> ETABS	7187926,67	kg
Selisih	64792,02	kg
Perbandingan Massa	0,89	%

5.2.5 Beban Gempa

Sebelum dilakukan analisis beban gempa, terlebih dahulu ditentukan berbagai parameter seismik yang dipengaruhi oleh karakteristik bangunan dan kondisi lokasi penelitian. Adapun tahapan penentuan parameter seismik yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Klasifikasi Kelas Situs

Pengujian sondir di lokasi hanya mencapai kedalaman 6 meter sehingga belum memenuhi syarat klasifikasi minimum 30 meter, maka digunakan pendekatan peta Vs30 wilayah Tegal, Jawa Tengah, dan didapatkan klasifikasi situs yang masuk ke dalam kategori kelas situs *SD* (tanah sedang) untuk perhitungan beban gempa.

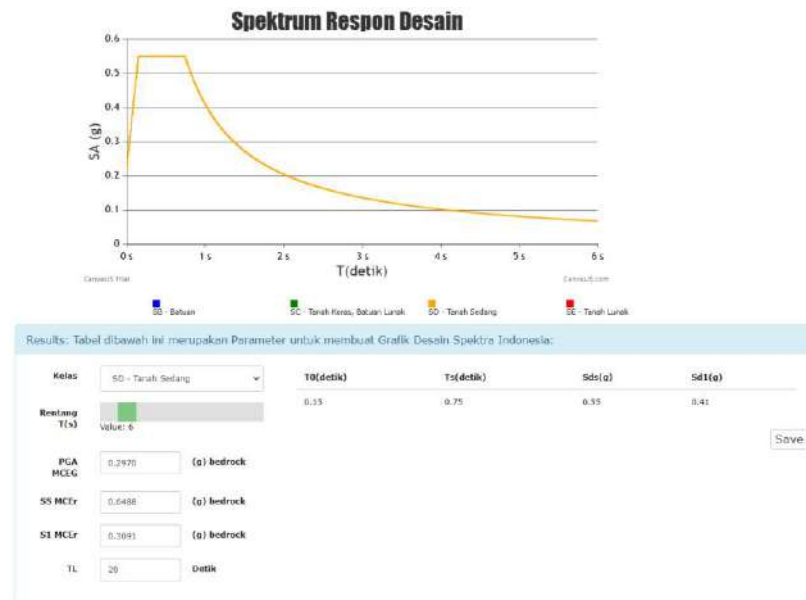
2. Menentukan Parameter Percepatan Gempa

a. Menentukan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan (I_e)

Bangunan pada penelitian ini adalah gedung kampus atau fasilitas pendidikan, maka berdasarkan Tabel 3 dan 4 pada SNI 1726:2019 bangunan masuk ke kategori risiko IV dan memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,5.

b. Menentukan Spektral Percepatan Gempa (S_s dan S_l)

Untuk menentukan respon spektral percepatan gempa periode pendek (S_s) dan 1 detik (S_l) dapat menggunakan peta respons spektrum pada SNI 1726:2019 atau dengan cara mengakses rsa.ciptakarya.pu.go.id.



Gambar 5.19 Respon Spektrum Ciptakarya
(Sumber: Website RSA Ciptakarya Kementrian PU, 2026)

Berdasarkan respon spektrum website tersebut, didapatkan nilai respon spektral percepatan gempa sebagai berikut.

$$S_s = 0,6488 \text{ g}$$

$$S_I = 0,3091 \text{ g}$$

c. Menentukan Koefisien Situs (F_a dan F_v)

Berdasarkan kelas situs bangunan serta nilai respon spektral percepatan gempa periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_I), ditentukan nilai koefisien situs periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v) dengan cara interpolasi dari nilai Tabel 6 dan 7 pada SNI 1726:2019. Didapatkan hasil interpolasi sebagai berikut.

$$F_a = 1,281$$

$$F_v = 1,991$$

d. Menentukan Koefisien Risiko Terpetakan (C_{RS} dan C_{RI})

Berdasarkan peta koefisien risiko terpetakan Gambar 18 pada SNI 1726:2019, wilayah Tegal memiliki nilai koefisien risiko terpetakan sebagai berikut.

$$C_{RS} = 0,95$$

$$C_{RI} = 0,90$$

e. Menentukan Percepatan Respons Spektral (S_{MS} dan S_{MI})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= S_s \times F_a \\ &= 0,6488 \text{ g} \times 1,281 \\ &= 0,831 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= S_I \times F_v \\ &= 0,3091 \text{ g} \times 1,991 \\ &= 0,615 \text{ g} \end{aligned}$$

f. Percepatan Spektral Desain (S_{DS} dan S_{DI})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,831 \text{ g} \\ &= 0,554 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= \frac{2}{3} \times S_{MI} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,615 \text{ g} \\ &= 0,410 \text{ g} \end{aligned}$$

3. Spektrum Respons Percepatan Desain (S_a)

$$\begin{aligned} \text{a. } T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,410}{0,554} \\ &= 0,148 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } T_s &= \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,410}{0,554} \\ &= 0,740 \text{ detik} \end{aligned}$$

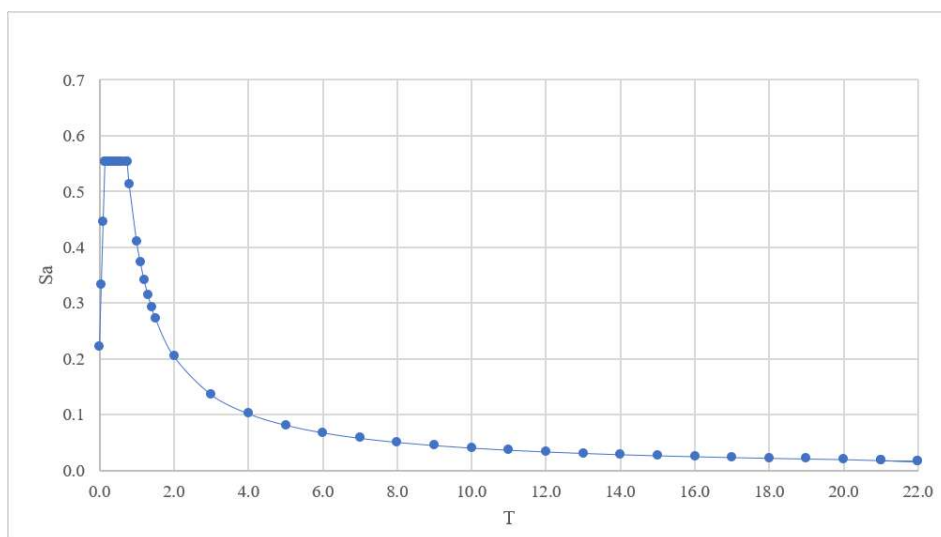
$$\begin{aligned} \text{c. } T_L &= 20 \text{ detik (Berdasarkan peta transisi periode pendek SNI 1726:2019} \\ &\quad \text{atau Website RSA Ciptakarya)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \left(\frac{T}{T_0} \right) \right) \\ &= 0,554 \left(0,4 + 0,6 \left(\frac{0}{0,148} \right) \right) \\ &= 0,222 \text{ g untuk } T < T_0 \end{aligned}$$

$$S_a = S_{DS}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,554 \text{ g untuk } T_0 < T < T_s \\
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
 &= \frac{0,410}{20} \\
 &= 0,021 \text{ g untuk } T_0 > T_s
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dan penentuan parameter yang sudah dilakukan di atas, diperoleh grafik respon spektrum yang ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 5.20 Grafik Respon Spektrum

4. Kategori Desain Seismik (KDS)

Berdasarkan nilai spektral desain periode pendek (S_{DS}) dan 1 detik (S_{D1}) yang telah diperoleh, bangunan termasuk dalam Kategori Desain Seismik D sesuai dengan Tabel 8 dan 9 SNI pada 1726:2019.

5. Menentukan Sistem dan Parameter Struktur

Setelah Kategori Desain Struktur diperoleh, maka sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) beton bertulang sesuai Tabel 12 pada SNI 1726:2019 dengan parameter struktur sebagai berikut.

- a. Koefisien modifikasi respon, R = 8
- b. Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 = 3
- c. Faktor pembesaran defleksi, C_d = 5,5

6. Menentukan Koefisien Batas Atas pada Periode

Berdasarkan nilai spektral desain periode 1 detik (S_{DI}) yang telah diperoleh, maka koefisien batas atas pada periode (C_u) adalah 1,4 sesuai dengan Tabel 17 pada SNI 1726:2019.

7. Periode Struktur

a. Menghitung Periode Getar Struktur (T_a)

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,466 \times 22,6^{0,9} \\ &= 0,771 \text{ detik} \end{aligned}$$

Keterangan:

C_t = Koefisien diperoleh dari Tabel 18 pada SNI 1726:2019, dengan nilai 0,466 disesuaikan dari sistem struktur yang digunakan yaitu rangka beton pemikul momen

h_n = Total tinggi bangunan dari dasar hingga atap (m)

x = Diperoleh dari Tabel pada 18 SNI 1726:2019, dengan nilai 0,9.

b. Menghitung Periode Maksimum (T_{max})

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,771 \\ &= 1,079 \text{ detik} \end{aligned}$$

c. Nilai Periode Struktur Hasil Pemodelan (T_c)

Nilai yang didapatkan dari analisis *software* ETABS.

$$T_c \text{ x} = 1,048 \text{ detik}$$

$$T_c \text{ y} = 1,130 \text{ detik}$$

d. Menentukan Periode Struktur Pakai

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, periode struktur dipilih sesuai syarat sebagai berikut.

1) Jika $T_c > T_{max}$, maka digunakan $T = T_{max}$

2) Jika $T_a < T_c < T_{max}$, maka digunakan $T = T_c$

3) Jika $T_c < T_a$, maka digunakan $T = T_a$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai jika $T_a < T_c < T_{max}$, sehingga digunakan nilai periode hasil analisis *software*,

$$T_c x = 1,048 \text{ detik}$$

$$T_c y = 1,079 \text{ detik}$$

8. Koefisien Respon Seismik (C_s)

a. Tingkat daktilitas struktur, $R = 8$

b. Faktor keutamaan struktur, $I_e = 1,5$

c. Perhitungan nilai C_s

$$\begin{aligned} 1) C_{s \text{ hitung}} &= \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,632}{\frac{8}{1,5}} \\ &= 0,104 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) C_{s \text{ max X}} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,410}{1,048\left(\frac{8}{1,5}\right)} \\ &= 0,073 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s \text{ max y}} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,410}{1,079\left(\frac{8}{1,5}\right)} \\ &= 0,071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) C_{s \text{ min}} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,001 \\ &= 0,044 \times 0,554 \times 1,5 \geq 0,001 \\ &= 0,037 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai yang diperoleh, karena nilai $C_{s \text{ hitung}} > C_{s \text{ max}}$, maka nilai yang digunakan adalah $C_{s \text{ max}}$.

9. Gaya Geser Dasar Seismik Manual (V)

Gaya geser dasar seismik berdasarkan SNI 1726:2019 dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} V_x &= C_s \times W \\ &= 0,073 \times 71765,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$= 5267,57 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_y &= C_s \times W \\ &= 0,071 \times 71765,07 \text{ kN} \\ &= 5113,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

10. Distribusi Vertikal Beban Gempa Statik Ekvivalen

Gaya seismik lateral (F_x) pada setiap tingkat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} F_x &= C_{vx} \times V_s \\ C_{vx} &= \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \end{aligned}$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V_s = Gaya seismik lateral rencana total atau geser dari elemen-elemen di atas tingkat dasar

w_i dan w_x = Berat bangunan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = Tinggi bangunan pada tingkat i atau x

k = Eksponen yang terkait periode struktur dengan ketentuan
 $k = 1$, untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik
 $k = 2$, untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik
 $k = \text{interpolasi}$, untuk struktur dengan $0,5 \leq T \leq 2,5$ detik

Nilai k untuk $T = \text{detik}$, dapat dicari menggunakan interpolasi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} k_x &= 1 + \left(\frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} \times (1,048 - 0,5) \right) \\ &= 1,274 \\ k_y &= 1 + \left(\frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} \times (1,079 - 0,5) \right) \\ &= 1,290 \end{aligned}$$

Hasil distribusi gaya seismik vertikal pada setiap lantai berdasarkan beban gempa SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan 5.4 berikut.

Tabel 5.3 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Vertikal Arah X

Lantai ke-i	H (m)	W_i (kN)	$W \times H^k$	C_{vx}	F_x (kN)
Atap	22,6	473,55	25147,73	0,02	140,38
5	18	5583,64	221888,35	0,17	1238,65
4	13,5	20394,67	561774,21	0,43	3135,99
3	9	21124,53	347129,83	0,26	1937,78
2	4,5	22937,18	155859,33	0,12	870,05
1	0	1251,51	0,00	0,00	0,00
Total		71765,07	1311799,45	1	7322,86

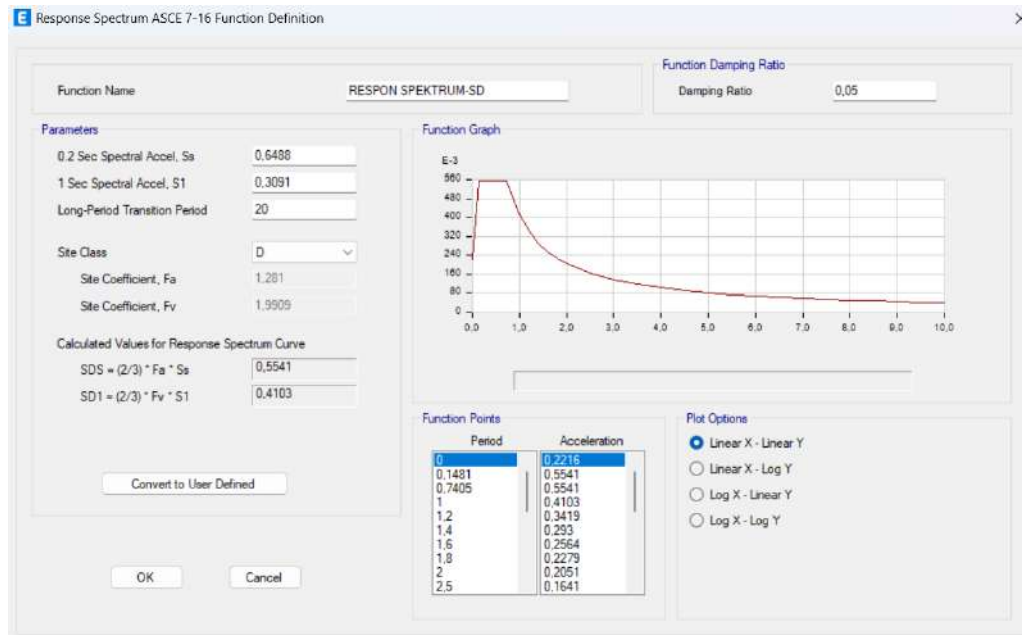
Tabel 5.4 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Vertikal Arah Y

Lantai ke-i	H (m)	W_i (kN)	$W \times H^k$	C_{vy}	F_y (kN)
Atap	22,6	473,55	26412,37	0,02	141,92
5	18	5583,64	232213,64	0,17	1247,76
4	13,5	20394,67	585260,16	0,43	3144,79
3	9	21124,53	359342,09	0,26	1930,86
2	4,5	22937,18	159592,28	0,12	857,54
1	0	1251,51	0,00	0,00	0,00
Total		71765,07	1362820,55	1	7322,86

5.3 Analisis Beban Gempa

5.3.1 Memasukkan Data Respon Spektrum Gempa

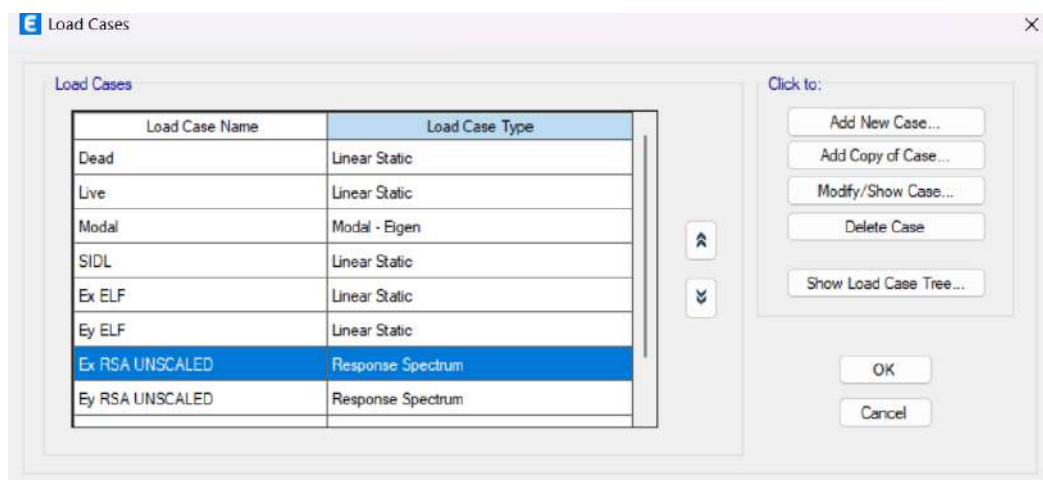
Tahapan berikutnya memasukkan data respon spektrum dengan cara klik *Define – Functions – Response Spectrum – Choose Function Type To Add – ASCE7-16 – Add New Function* – input data respon spektrum yang sudah didapatkan.



Gambar 5.21 Input Parameter Respon Spektrum

5.3.2 Pendefinisian *Load Case* Gempa

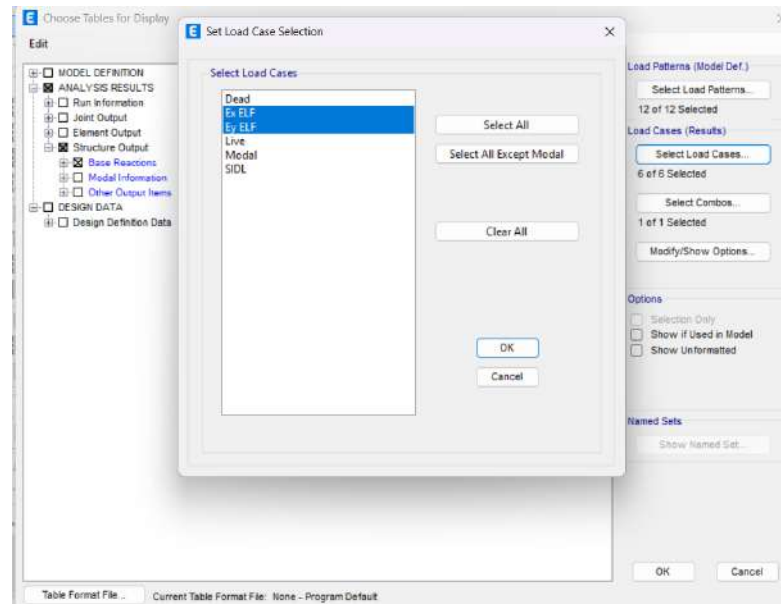
Pendefinisian *load case* gempa dilakukan dengan memasukkan data fungsi respons spektrum dan *scale factor* yang telah ditentukan berdasarkan data gempa lokasi bangunan. Pendefinisian dilakukan dengan cara *Define – Load Cases – Add New Case – Load Type “Acceleration” – Load Case Name “U1”* untuk arah X dan “U2” untuk arah Y, dengan *Function “Respon Spektrum”* – input nilai *scale factor*.



Gambar 5.22 Define Load Cases Gempa

5.3.3 Analisis Gaya Geser Dasar Statik

Nilai gaya geser dasar hasil analisis gempa statik ekuivalen diperoleh melalui proses analisis *software* ETABS, diambil dengan cara klik *Display – Show Table – Structure Output – Base Reaction* – pilih *output case Ex ELF* dan *Ey ELF*.



Gambar 5.23 Running Base Reaction Statik Ekuivalen

Base Reactions						
File Edit Format-Filter-Sort Select Options						
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Base React						
Filter: ([Output Case] = 'Ex ELF' OR [Output Case] = 'Ey ELF') AND ([Step Number] = 1)						
	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN
▶	Ex ELF	LinStatic	Step By Step	1	-7322,8602	0
	Ey ELF	LinStatic	Step By Step	1	0	-7322,8602

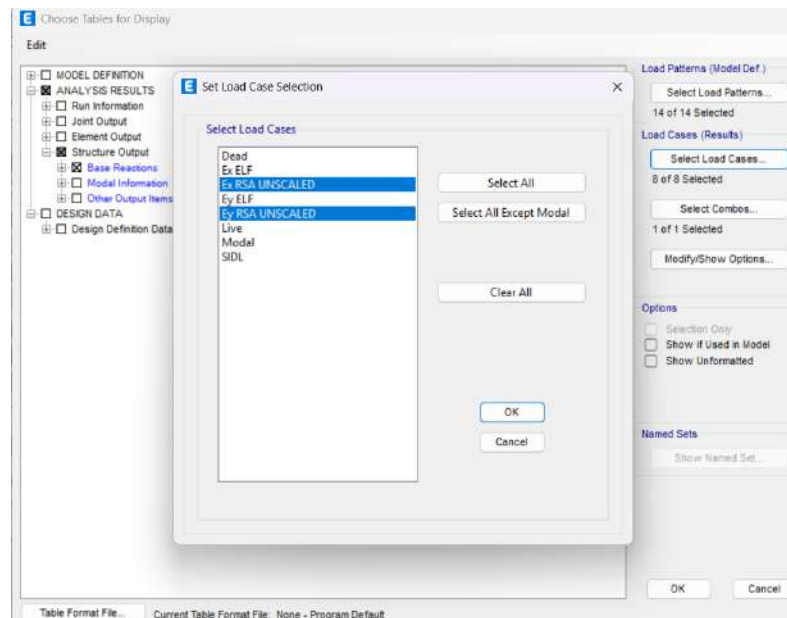
Gambar 5.24 Base Reaction Statik Ekuivalen

Berdasarkan hasil yang diperoleh, diketahui nilai gaya geser gempa statik ekuivalen untuk arah x (V_x) = 7322,86 kN dan arah y (V_y) = 7322,86 kN

5.3.4 Analisis Gaya Geser Dasar Dinamik

Nilai gaya geser dasar hasil analisis gempa dinamik diperoleh melalui proses analisis *software* ETABS, diambil dengan cara klik *Display – Show Table –*

Structure Output – Base Reaction – pilih output case Ex RSA UNSCALED dan Ey RSA UNSCALED.



Gambar 5.25 Running Base Reaction Dinamik

Base Reactions						
File Edit Format-Filter-Sort Select Options						
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None						
Filter: ([Output Case] = 'Ex RSA UNSCALED' OR [Output Case] = 'Ey RSA UNSCALED')						
	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN
	Ex RSA UNSC...	LinRespSpec	Max		4103,0993	146,4219
▶	Ey RSA UNSC...	LinRespSpec	Max		146,4219	3869,3986

Gambar 5.26 Base Reaction Dinamik

Berdasarkan hasil pada Gambar, diketahui nilai gaya geser gempa dinamik untuk arah x (V_x) = 4103,10 kN dan arah y (V_y) = 3869,40 kN

5.3.5 Pengecekan Gaya Gasar Dasar

Dalam SNI 1726:2019 dijelaskan nilai gaya geser dasar hasil analisis dinamik respons spektrum harus memenuhi paling sedikit 100% dari gaya geser dasar yang diperoleh melalui analisis statik ekuivalen. Apabila nilai gaya geser dasar dinamik

lebih kecil dari nilai gaya geser dasar statik, maka hasil analisis respons spektrum perlu disesuaikan dengan menggunakan *scale factor*. Nilai gaya geser dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Output Nilai Gaya Geser Dasar

	<i>V</i> statik (kN)	<i>V</i> dinamik (kN)	Kontrol
Arah x	7322,86	4103,10	Belum Memenuhi
Arah y	7322,86	3869,40	Belum Memenuhi

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa nilai gaya geser dasar analisis dinamik respons spektrum masih lebih kecil dibandingkan nilai gaya geser dasar statik ekuivalen pada kedua arah pembebanan. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan *scale factor* untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan. *Scale factor* dihitung sebagai perbandingan antara gaya geser dasar statik dan gaya geser dasar dinamik.

$$\begin{aligned}
 \text{Scale factor arah x} &= \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \\
 &= \frac{7322,86}{4103,10} \\
 &= 1,78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Scale factor arah y} &= \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \\
 &= \frac{7322,86}{3869,40} \\
 &= 1,89
 \end{aligned}$$

Setelah nilai *scale factor* diperoleh, nilai tersebut digunakan pada *load case* respons spektrum di ETABS, kemudian analisis kembali. Hasil analisis yang telah diskalakan menghasilkan nilai gaya geser dasar dinamik yang selanjutnya dibandingkan kembali dengan gaya geser dasar statik. Nilai gaya geser dasar setelah dimasukkan *scale factor* ditampilkan pada Tabel 5.6 dan menunjukkan bahwa hasil analisis telah memenuhi ketentuan yang disyaratkan.

Tabel 5.6 Output Nilai Gaya Geser Dasar Setelah *Scale Factor*

	<i>V</i> statik (kN)	<i>V</i> dinamik (kN)	Kontrol
Arah x	7322,86	7322,864	Memenuhi
Arah y	7322,86	7322,861	Memenuhi

Berdasarkan hasil perbandingan, nilai gaya geser dinamik pada kedua arah pembebanan telah memenuhi syarat karena nilainya lebih besar atau sama dengan gaya geser statik sesuai ketentuan SNI 1726:2019.

5.4 Analisis Nonlinier *Pushover*

5.4.1 Pendefinisian *Load Case Pushover*

Pada analisis *pushover*, *load case* didefinisikan dalam dua tahap pembebanan. Tahap pertama adalah pembebanan gravitasi nonlinear yang digunakan untuk mempresentasikan kondisi beban vertikal yang telah bekerja pada struktur. Tahap kedua berupa pembebanan lateral nonlinear yang diberikan secara bertahap hingga struktur mencapai target perpindahan atau kondisi batas tertentu.

1. Pendefinisian Beban Gravitasi Nonlinear

Pendefinisian beban gravitasi dilakukan dengan cara klik *Define – Load Case – Add New Load Case* – beri nama *load case* “Gravity” – input data *Load Case* dengan tahapan sebagai berikut.

- a. *Load Case Name* = Gravity
- b. *Load Case Type* = Nonlinear Static
- c. *Mass Source* = MsSrc
- d. *Initial Conditions* = Zero Initial Conditions – Start from Unstressed State
- e. *Loads Applied* = Load Pattern – Dead – 1
Load Pattern – SIDL – 1
Load Pattern – Live – 0,25
- f. *Modal Load Case* = Modal
- g. *Geometric Nonlinearity Option* = P-Delta

- h. *Load Application* = *Full Load*
- i. *Results Saved* = *Final State Only*
- j. *Floor Cracking Analysis* = *No Cracked Analysis*
- k. *Nonlinear Parameters* = *Iterative Event – to – Event*

Load Case Data

General

Load Case Name: Gravity

Load Case Type: Nonlinear Static

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Design... Notes...

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	SIDL	1
Load Pattern	Live	0,25

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event

Modify/Show... Modify/Show... Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Gambar 5.27 Load Case Gravity

2. Pendefinisian Beban Lateral *Pushover* Arah X dan Y

Pendefinisian beban lateral *pushover* dilakukan dengan cara klik *Define – Load Case – Add New Load Case*. Beri nama *load case* “*Push X*” – input data *Load Case* dengan tahapan sebagai berikut.

- a. *Load Case Name* = *Push X*
- b. *Load Case Type* = *Nonlinear Static*
- c. *Mass Source* = *MsSrc*
- d. *Initial Conditions* = *Continue State at End of Nonlinear Case - Gravity*

- e. *Loads Applied* = *Load Pattern* – UX – (-1)
- f. *Modal Load Case* = *Modal*
- g. *Geometric Nonlinearity Option* = *P-Delta*
- h. *Results Saved* = *Multiple States*
- i. *Floor Cracking Analysis* = *No Cracked Analysis*
- j. *Nonlinear Parameters* = *Iterative Event – to – Event*

Load Case Data

General

Load Case Name: Push 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...]

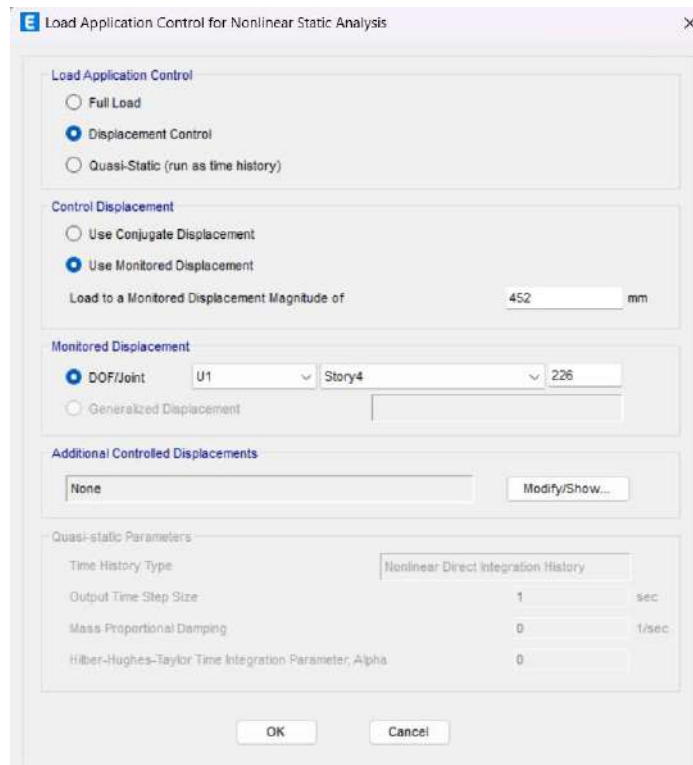
Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

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

[OK] [Cancel]

Gambar 5.28 Load Case Pushover

Berikutnya pada *Load Application*, *modify* – pilih *Displacement Control* dengan opsi *Use Monitored Displacement* agar analisis dikendalikan berdasarkan target perpindahan yang telah ditentukan. Masukkan nilai *Load to a Monitored Displacement Magnitude* sebesar 2% dari total tinggi bangunan yaitu 0,452 m – pada *Monitored Displacement*, pilih DOF dan gunakan U2 dengan Joint 226 pada *Story 4* sebagai titik kontrol perpindahan. Buat *load case* dengan cara yang sama untuk arah y.



Gambar 5.29 Load Application Pushover

5.4.2 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinges*)

1. Sendi Plastis pada Balok

Pendefinisian sendi plastis pada balok dilakukan dengan cara berikut.

- a. *Select* seluruh balok pada semua lantai
- b. Klik menu *Assign – Frame – Hinges – Frame Hinge Definition Type “User Defined”* – pada *Relative to Clear Length* masukkan nilai sebesar 0,05 dan 0,95 yang menunjukkan sendi plastis terjadi pada bentang 5% dan 95% dari panjang total balok.

Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Definition Type

☐ Nonlinear Beam/Column

☐ Distributed Plasticity

☐ Equal Spacing

☐ Continuous Spring Support (Piles or Grade Beams)

☒ User Defined

Convert to User Defined

Frame Hinge Assignment Data - User Defined

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance
Auto M3	Relative to clear length	0.05	0
Auto M3	Relative to clear length	0.05	0

Add Hinge
Modify Hinge
Delete Hinge

Current Hinge Information
Type: From Tables in ASCE 41-17
Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item I
DOF: Auto M3, Isotropic hysteresis

Show Advanced Parameters

Options

☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns (All hinges will be converted to User Defined)

☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
Number of Selected Frame Objects: 1161
Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 2362
All 2362 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Cancel

Gambar 5.30 Define Sendi Plastis Pada Balok

- c. Klik *Auto Hinge Type*, pilih *From Table In ASCE 41-17 – Select a Hinge Table*, pilih *Table 10-7 (Concrete Beams – Flexure) item I – Degree of Freedom*, pilih *M3 – V Value From*, *Case/Combo* pilih *Gravity*.

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

Hysteresis Type
Isotropic

Modify/Show

V Value From
☒ Case/Combo Gravity
☐ User Value V2 MN

Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced
☒ From Current Design
☐ User Value (for positive bending)

Transverse Reinforcing
☒ Transverse Reinforcing is Conforming

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

Ultimate Strength Limit
Ultimate Strength Limit (as a Ratio to Yield Strength) 1.1

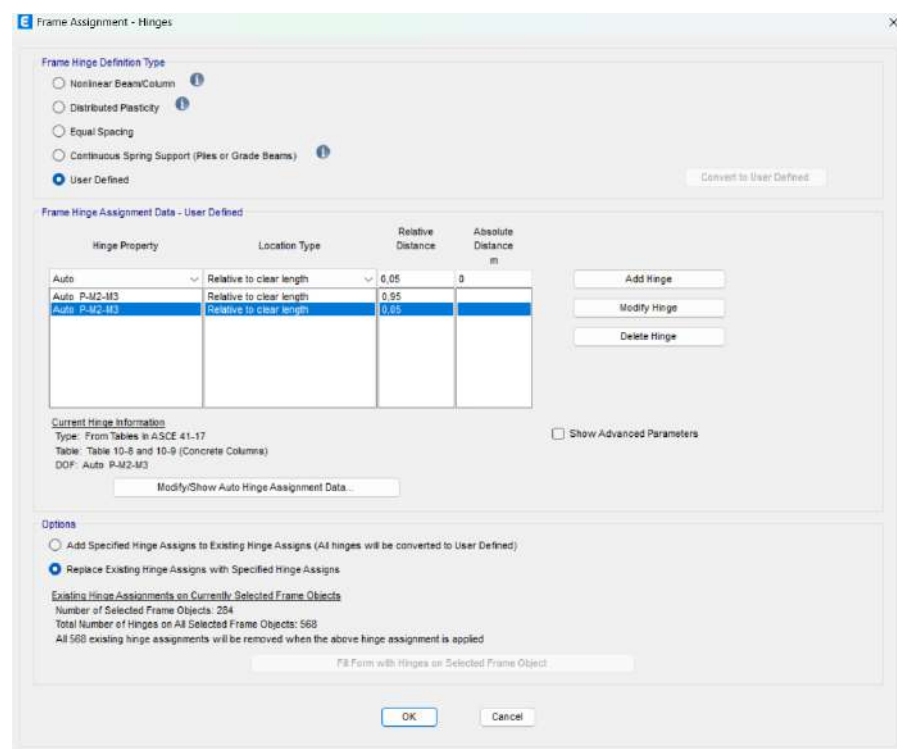
OK Cancel

Gambar 5.31 Setting Hinge Balok

2. Sendi Plastis pada Kolom

Pendefinisian sendi plastis pada balok dilakukan dengan cara berikut.

- Select* seluruh kolom pada semua lantai
- Klik menu *Assign – Frame – Hinges – Frame Hinge Definisiton Type “User Defined”* – pada *Relative to Clear Length* masukkan nilai sebesar 0,05 dan 0,95 yang menunjukkan sendi plastis terjadi pada bentang 5% dan 95% dari tinggi total kolom.



Gambar 5.32 Define Sendi Plastis Pada Kolom

- Klik *Auto Hinge Type*, pilih *From Table In ASCE 41-17 – Select a Hinge Table*, pilih *Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns) – Degree of Freedom*, pilih *P2-M2-M3 – V Value From, Gravity* dan *Gravity + Lateral* pilih *Gravity*.

Gambar 5.33 Setting Hinge Kolom

5.4.3 Running Analisis Pushover

Langkah selanjutnya *Running Pushover Analysis* dengan cara klik menu *Analyze – Set Load Case to Run* – pilih *Case Gravity, Push X*, dan *Push Y* dengan *Action Run*, untuk case yang lain ubah menjadi *Do Not Run* – klik *Run Now*.

Case	Type	Status	Action
Modal	Modal - Eigen	Not Run	Do Not Run
SIDL	Linear Static	Not Run	Do Not Run
Gravity	Nonlinear Static	Not Run	Run
Push X	Nonlinear Static	Not Run	Run
Push Y	Nonlinear Static	Not Run	Run
Ex ELF	Linear Static	Not Run	Do Not Run

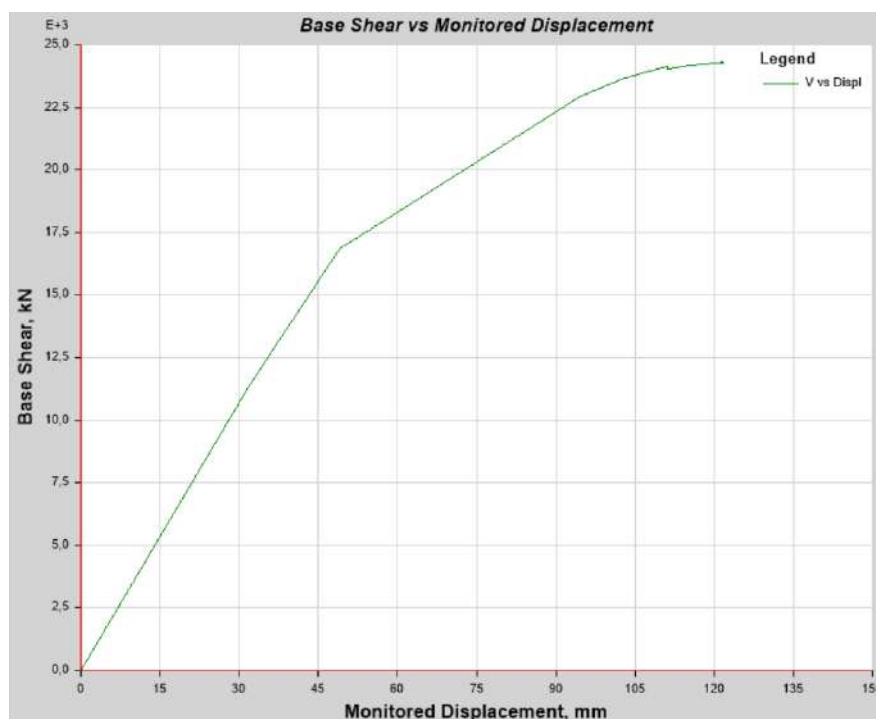
Gambar 5.34 Running Analysis Pushover

5.5 Hasil Analisis *Pushover*

Pada subbab ini disajikan hasil *running* analisis *pushover* yang telah dilakukan. Hasil analisis meliputi kurva kapasitas, titik kinerja yang selanjutnya digunakan sebagai dasar penilaian tingkat kerja berdasarkan ATC-40, dan skema pembentukan sendi plastis.

5.5.1 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

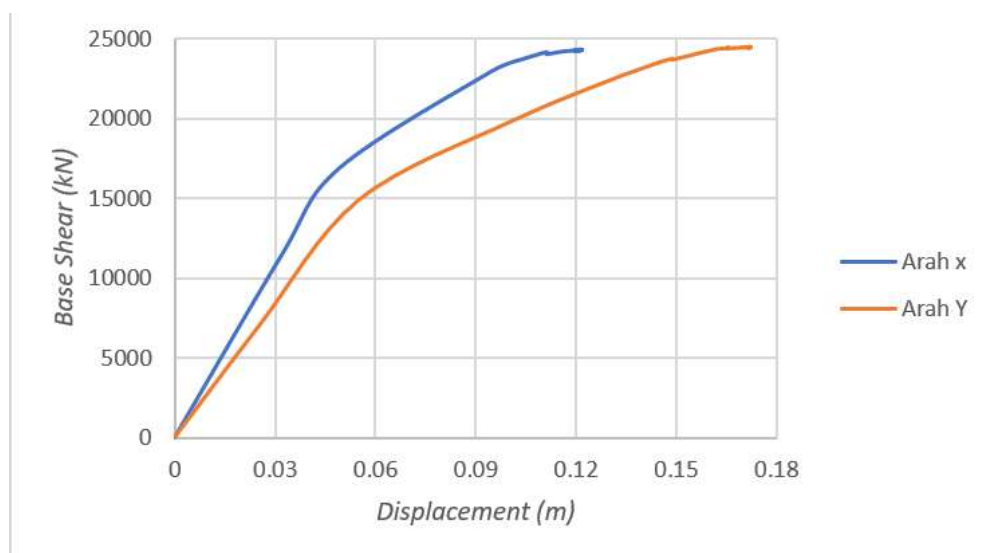
Kurva kapasitas merupakan hasil utama dari analisis *pushover* yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*) struktur akibat pembebanan lateral yang diberikan secara bertahap. Kurva tersebut dapat ditampilkan dengan cara klik *Display – Static Pushover Curve*. Kurva kapasitas *pushover* arah X dan arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan 5.36.



Gambar 5.35 Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X



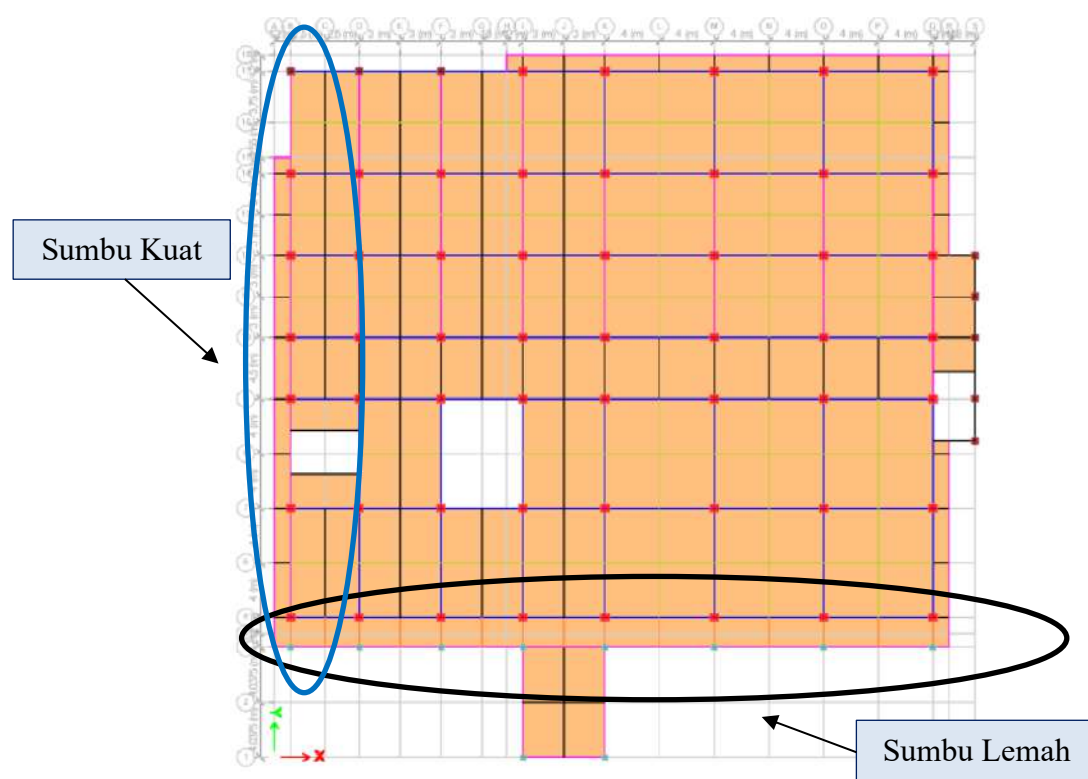
Gambar 5.36 Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y



Gambar 5.37 Perbandingan Kurva Kapasitas *Pushover*

Berdasarkan perbandingan kurva kapasitas pada Gambar 5.37, diperoleh bahwa nilai *base shear* maksimum pada arah Y sebesar 24447,0122 kN pada *step* ke-138, lebih besar dibandingkan arah X yang mencapai 24288,4288 kN pada *step* ke-151. Selain itu, kurva *pushover* arah Y terlihat lebih tegak dibandingkan arah X,

yang menunjukkan bahwa struktur pada arah Y memiliki kekakuan yang lebih tinggi. Kondisi ini dipengaruhi oleh besarnya momen inersia yang menghasilkan kapasitas perlawanan lentur yang lebih besar terhadap beban lateral. Dengan demikian, arah Y dapat dikategorikan sebagai sumbu kuat bangunan karena mampu menahan beban yang lebih besar, sedangkan arah X merupakan sumbu lemah bangunan. Sumbu kuat dan sumbu lemah struktur ditunjukkan pada Gambar 5.38 berikut.



Gambar 5.38 Sumbu Kuat dan Sumbu Lemah Struktur

Selain disajikan dalam bentuk kurva kapasitas, hasil analisis juga ditampilkan dalam bentuk tabel *output* yang memuat data setiap *step* pembebanan beserta nilai *base shear* yang dihasilkan. Data hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7 untuk arah X dan 5.8 untuk arah Y berikut.

Tabel 5.7 Kurva Kapasitas Arah X

Steps	Displacement (m)	Base Force (kN)	A-IO	IO- LS	LS- CP	>CP	Total
0	0	0	2572	0	0	0	2572
1	0,031653	11309,5781	2572	0	0	0	2572
2	0,049156	16866,057	2572	0	0	0	2572
3	0,094659	22944,4395	2505	67	0	0	2572
4	0,102392	23621,6129	2500	72	0	0	2572
5	0,102397	23613,6686	2500	72	0	0	2572
↓							
90	0,120820	24284,011	2484	88	0	0	2572
91	0,120825	24285,461	2484	88	0	0	2572
92	0,120846	24285,8375	2484	88	0	0	2572
93	0,120850	24286,4342	2484	88	0	0	2572
94	0,120855	24286,3321	2484	88	0	0	2572
95	0,120865	24286,5922	2484	88	0	0	2572
↓							
146	0,121573	24288,1367	2480	92	0	0	2572
147	0,121578	24286,0593	2480	92	0	0	2572
148	0,121635	24287,4366	2480	92	0	0	2572
149	0,121640	24285,9112	2480	92	0	0	2572
150	0,121644	24287,4894	2480	92	0	0	2572
151	0,121686	24288,4288	2480	92	0	0	2572

Tabel 5.8 Kurva Kapasitas Arah Y

Steps	Displacement (m)	Base Force (kN)	A-IO	IO- LS	LS- CP	>CP	Total
0	0	0	2572	0	0	0	2572
1	0,025549	7074,6412	2572	0	0	0	2572
2	0,055124	14881,8594	2572	0	0	0	2572

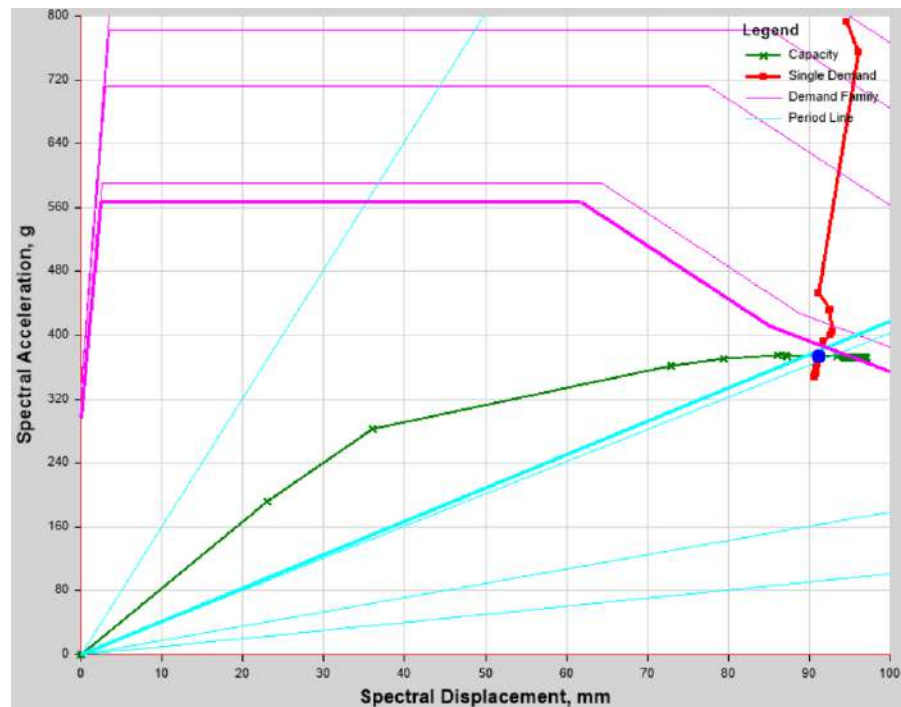
Lanjutan Tabel 5.9 Kurva Kapasitas Arah Y

Steps	Displacement (m)	Base Force (kN)	A-IO	IO- LS	LS- CP	>CP	Total
3	0,100781	19813,9466	2501	71	0	0	2572
4	0,134262	22711,7813	2479	93	0	0	2572
5	0,134267	22704,2266	2479	93	0	0	2572
↓							
69	0,17111	24434,1577	2464	108	0	0	2572
70	0,17119	24435,6046	2464	108	0	0	2572
71	0,17123	24435,6094	2463	109	0	0	2572
72	0,17125	24435,9182	2463	109	0	0	2572
73	0,17127	24435,8061	2463	109	0	0	2572
74	0,17143	24436,3032	2462	110	0	0	2572
↓							
133	0,172243	24445,942	2461	111	0	0	2572
134	0,172262	24446,3061	2461	111	0	0	2572
135	0,172266	24444,9916	2461	111	0	0	2572
136	0,172306	24445,5614	2461	111	0	0	2572
137	0,172311	24446,7398	2461	111	0	0	2572
138	0,172331	24447,0122	2461	111	0	0	2572

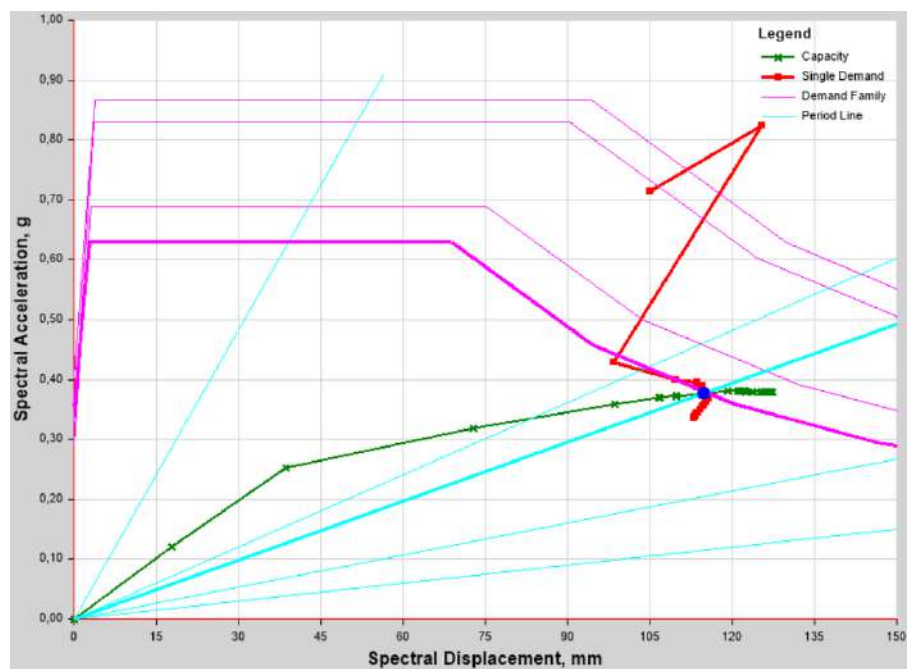
5.5.2 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Penentuan *performance point* dilakukan dengan mengkonversi kurva kapasitas yang dihasilkan dari analisis *pushover* ke dalam format *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS) sesuai ATC-40 menggunakan bantuan program ETABS. Format ADRS menggambarkan hubungan antara percepatan spektral (*Spectral Acceleration, Sa*) dan perpindahan spektral (*Spectral Displacement, Sd*), sehingga kurva kapasitas dapat dipertemukan dengan kurva *demand* gempa untuk mendapatkan titik kinerja struktur. Spektrum kapasitas yang

dihasilkan untuk arah x dan arah y masing-masing dapat dilihat pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40.



Gambar 5.39 Spektrum Kapasitas Arah X



Gambar 5.40 Spektrum Kapasitas Arah Y

Hasil evaluasi ATC-40 berupa nilai *performance point*, periode efektif, dan redaman efektif yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.10 *Performance Point* Berdasarkan ATC-40

Beban	Base Shear	Performance Point					
		V_t (kN)	D_t (m)	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Pushover X	7322,86	24180,92	0,116	0,374	0,0914	0,932	0,128
Pushover Y	7322,86	24005,09	0,155	0,377	0,1148	1,141	0,156

Berdasarkan hasil analisis *pushover* pada arah X yang diperoleh, target *displacement* (D_t) sebesar 0,116 m dengan gaya geser dasar target (V_t) = 24180,92 kN. Nilai (V) sebesar 7322,86 kN menunjukkan bahwa struktur memiliki cadangan kekuatan yang memadai terhadap beban gempa. Selain itu, berdasarkan metode *capacity spectrum*, perilaku struktur dikategorikan inelastis karena analisis telah mengidentifikasi terbentuknya sendi-sendi plastis pada elemen struktur, yang menandakan bahwa struktur mampu menyerap serta meredam energi gempa secara daktail.

Hal yang sama ditunjukkan pada hasil analisis arah Y, di mana diperoleh target *displacement* (D_t) sebesar 0,155 m dan gaya geser dasar target (V_t) sebesar 24005,09 kN, struktur arah Y juga menunjukkan perilaku inelastis akibat terbentuknya sendi-sendi plastis. Secara keseluruhan, nilai target perpindahan pada kedua arah pembebanan masih berada di bawah batas maksimum izin sebesar 2% dari total tinggi bangunan yaitu 0,452 m, sehingga struktur dinyatakan telah memenuhi ketentuan kinerja yang disyaratkan.

5.5.3 Tingkat Kinerja (*Performance Level*)

Evaluasi tingkat kinerja (*performance level*) struktur dilakukan berdasarkan rasio simpangan atap (*roof drift ratio*) yang diperoleh pada kondisi *performance point*. Penilaian tersebut mengacu pada Tabel 3.13 yaitu parameter *maximum total drift* dan *maximum inelastic drift*, dengan persamaan dan tahapan perhitungan sebagai dijabarkan sebagai berikut.

$$\text{Maximum Total Drift} = \frac{D_t}{H} \quad (5.1)$$

$$\text{Maximum Inelastic Drift} = \frac{D_t - D_1}{H} \quad (5.2)$$

Keterangan:

D_t = displacement atap

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

1. *Pushover* Arah X

$$\begin{aligned} \text{a. Maximum Total Drift} &= \frac{D_t}{H} \\ &= \frac{0,116}{22,6} \\ &= 0,00513 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 11.2 pada ATC-40 (*deformation limits*), nilai *maximum total drift ratio* < 0,01 termasuk dalam kategori *Immadiate Occupancy* (IO). Tingkat kinerja tersebut menunjukkan bahwa bangunan tetap aman saat terjadi gempa, hanya mengalami kerusakan ringan, serta dapat langsung difungsikan kembali.

$$\begin{aligned} \text{b. Maximum Inelastic Drift} &= \frac{D_t - D_1}{H} \\ &= \frac{0,116 - 0,031}{22,6} \\ &= 0,00376 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 11.2 pada ATC-40 (*deformation limits*), nilai *maximum total drift ratio* < 0,005 termasuk dalam kategori *Immadiate Occupancy* (IO). Tingkat kinerja tersebut menunjukkan bahwa bangunan tetap aman saat terjadi gempa, hanya mengalami kerusakan ringan, serta dapat langsung difungsikan kembali.

2. *Pushover* Arah Y

$$\begin{aligned} \text{a. Maximum Total Drift} &= \frac{D_t}{H} \\ &= \frac{0,155}{22,6} \\ &= 0,00686 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 11.2 pada ATC-40 (*deformation limits*), nilai *maximum total drift ratio* < 0,01 termasuk dalam kategori *Immadiate Occupancy*

(IO). Tingkat kinerja tersebut menunjukkan bahwa bangunan tetap aman saat terjadi gempa, hanya mengalami kerusakan ringan, serta dapat langsung difungsikan kembali.

$$\begin{aligned} \text{b. Maximum Inelastic Drift} &= \frac{D_t - D_1}{H} \\ &= \frac{0,155 - 0,025}{22,6} \\ &= 0,00575 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 11.2 pada ATC-40 (*deformation limits*), nilai *maximum total drift ratio* $> 0,005$ termasuk dalam kategori *Damage Control* (DC). Tingkat kinerja tersebut menunjukkan bahwa bangunan mengalami kerusakan ringan hingga sedang. Bangunan tetap berdiri aman dan risiko korban jiwa sangat kecil, namun mungkin memerlukan inspeksi serta perbaikan sebelum dapat difungsikan kembali secara penuh.

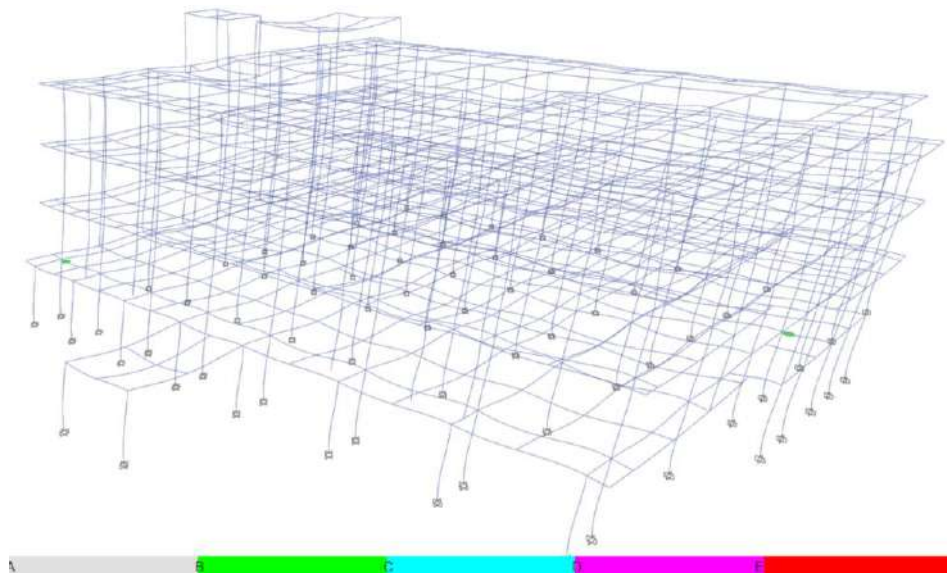
5.5.4 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

Pada analisis *pushover*, terbentuknya sendi plastis menunjukkan bahwa elemen struktur telah memasuki kondisi inelastis akibat beban yang bekerja melebihi kapasitas elemen. Kondisi ini terjadi ketika peningkatan beban lateral secara bertahap menyebabkan momen yang terjadi melampaui kapasitas momen elemen. Sebelum mencapai kondisi tersebut, elemen struktur masih berperilaku elastis dan mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Dalam *software* ETABS, pembentukan sendi plastis ditampilkan dengan kode warna tertentu yang menggambarkan tingkat kinerja atau tingkat kerusakan elemen struktur.

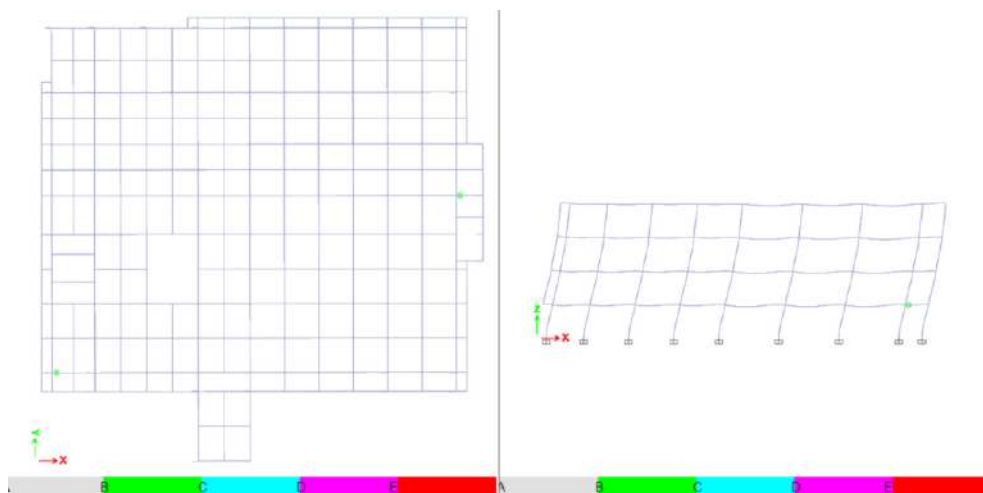
1. Sendi Plastis Arah X

a. *Step* awal terjadi sendi plastis

Pada arah X, sendi plastis akibat beban gempa rencana mulai terbentuk pada balok di *step* ke-1, yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna hijau. Warna hijau menunjukkan bahwa elemen struktur berada pada level kinerja B to C, yaitu kondisi di mana sendi plastis mulai terbentuk pada elemen struktur. Proses terbentuknya sendi plastis pada *step* ke-1 dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42.



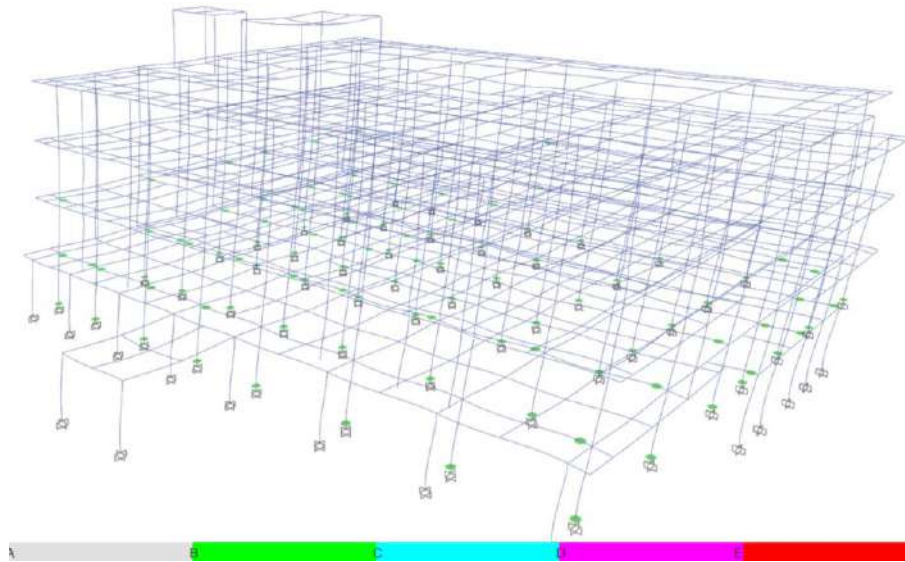
Gambar 5.41 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah X



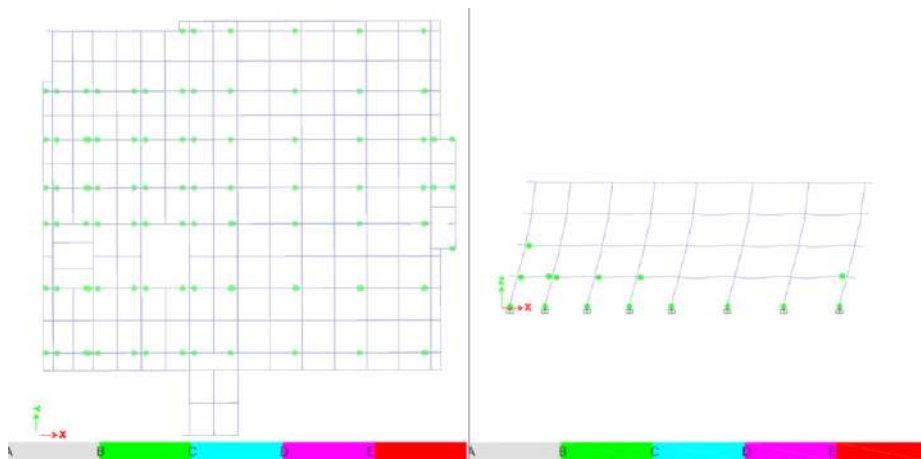
Gambar 5.42 Detail Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah X

b. *Step* awal terjadi sendi plastis pada kolom

Pada arah X, sendi plastis akibat beban gempa rencana mulai terbentuk pada kolom di *step* ke-2, yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna hijau. Warna hijau menunjukkan bahwa elemen struktur berada pada level kinerja B to C, yaitu kondisi di mana sendi plastis mulai terbentuk pada elemen struktur. Proses terbentuknya sendi plastis pada *step* ke-2 dapat dilihat pada Gambar 5.43 dan Gambar 5.44.



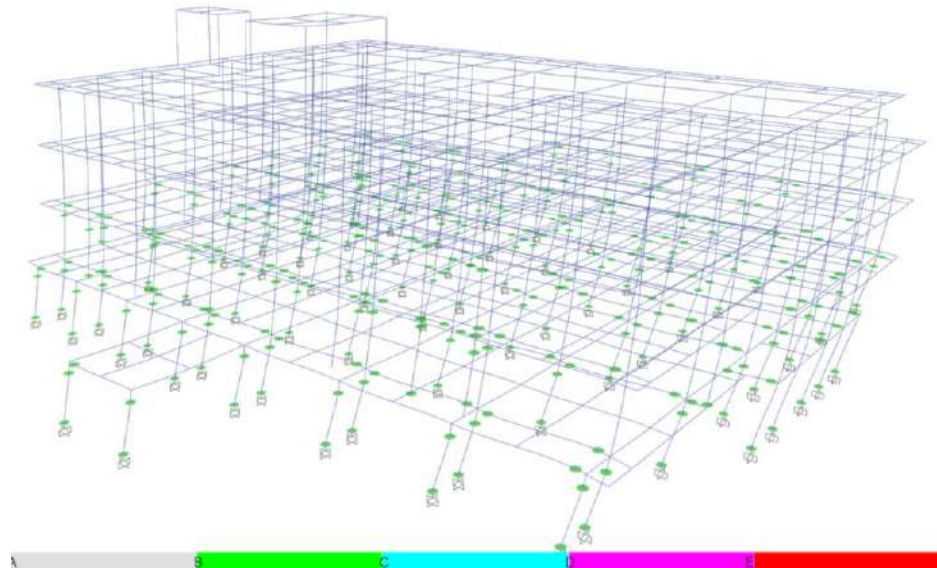
Gambar 5.43 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah X



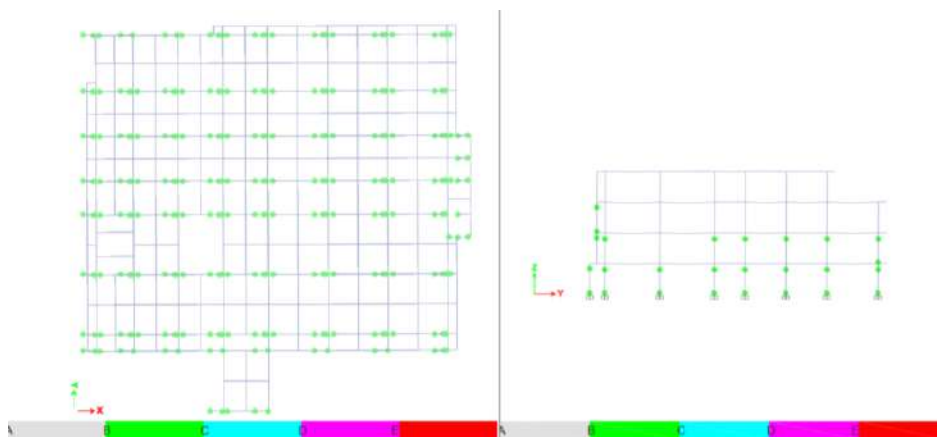
Gambar 5.44 Detail Step Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah X

c. *Step* akhir terjadi sendi plastis

Pada arah X, sendi plastis akibat beban gempa rencana berhenti terbentuk di *step* ke-151. Titik sendi plastis pada kolom berwarna hijau dari lantai ke - 1 hingga lantai ke - 3. Warna hijau menunjukkan bahwa elemen struktur berada pada level kinerja B to C, yaitu kondisi di mana sendi plastis mulai terbentuk pada elemen struktur. Proses terbentuknya sendi plastis pada *step* ke-151 dapat dilihat pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46.



Gambar 5.45 Step Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah X

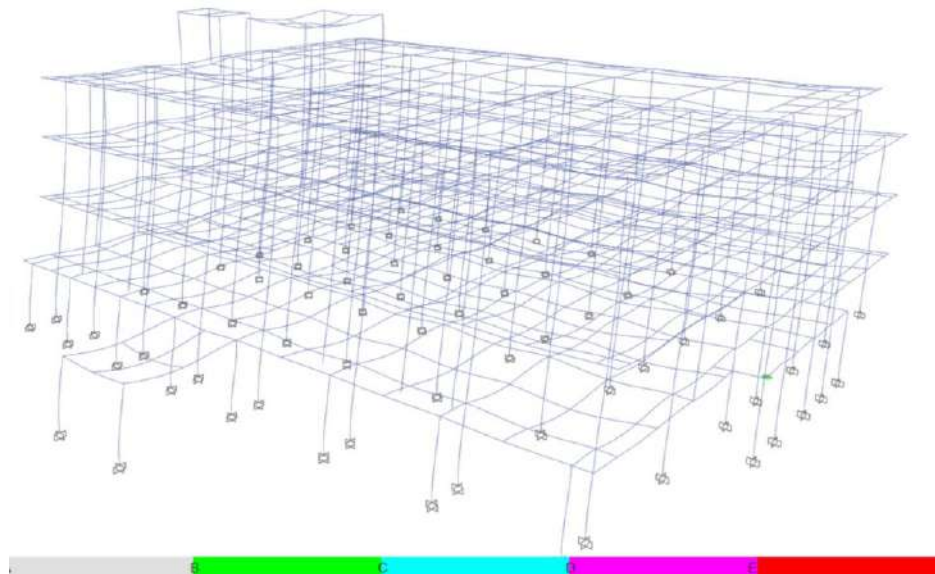


Gambar 5.46 Detail Step Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah X

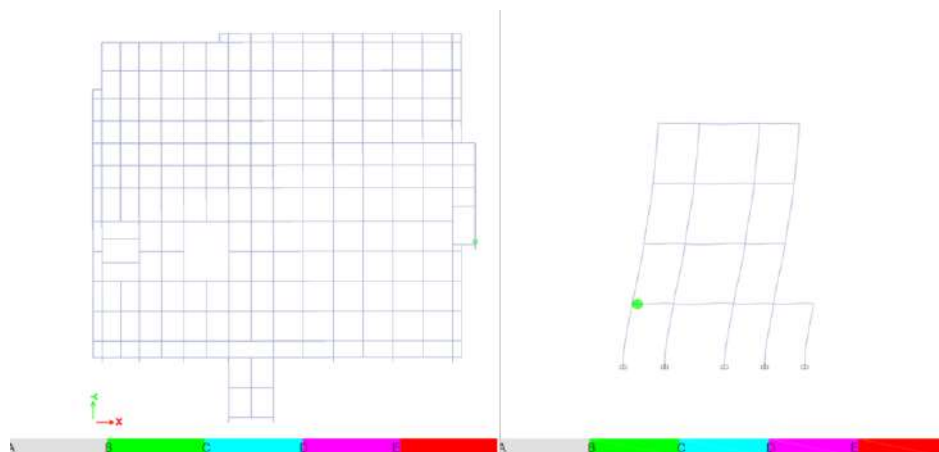
2. Sendi Plastis Arah Y

a. Step awal terjadi sendi plastis

Pada arah Y, sendi plastis akibat beban gempa rencana mulai terbentuk pada balok di *step* ke-1, yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna hijau. Warna hijau menunjukkan bahwa elemen struktur berada pada level kinerja B to C, yaitu kondisi di mana sendi plastis mulai terbentuk pada elemen struktur. Proses terbentuknya sendi plastis pada *step* ke-1 dapat dilihat pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48.



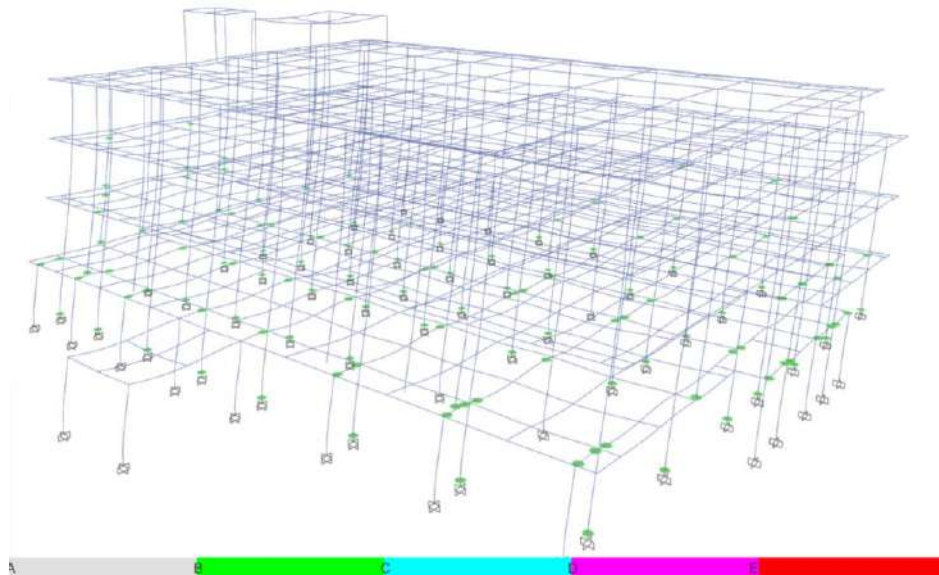
Gambar 5.47 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah Y



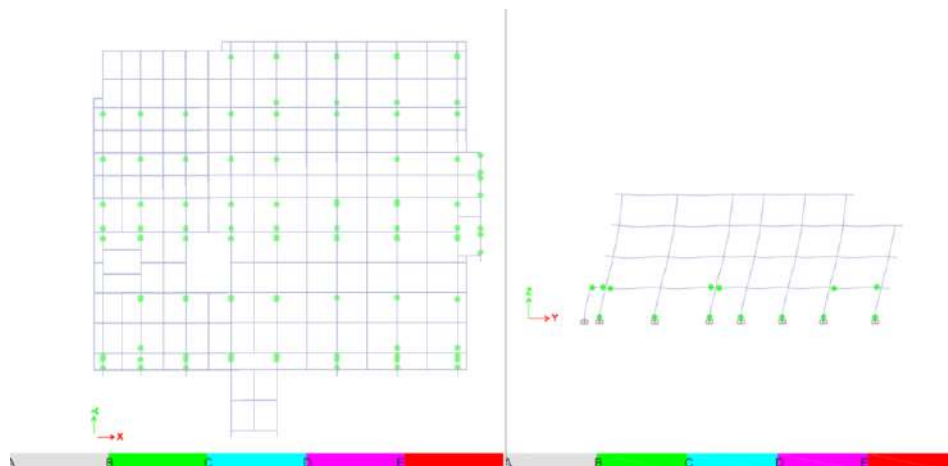
Gambar 5.48 Detail Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah Y

b. *Step* awal terjadi sendi plastis pada kolom

Pada arah Y, sendi plastis akibat beban gempa rencana mulai terbentuk pada kolom di *step* ke-2, yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna hijau. Warna hijau menunjukkan bahwa elemen struktur berada pada level kinerja B to C, yaitu kondisi di mana sendi plastis mulai terbentuk pada elemen struktur. Proses terbentuknya sendi plastis pada *step* ke-2 dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.50.



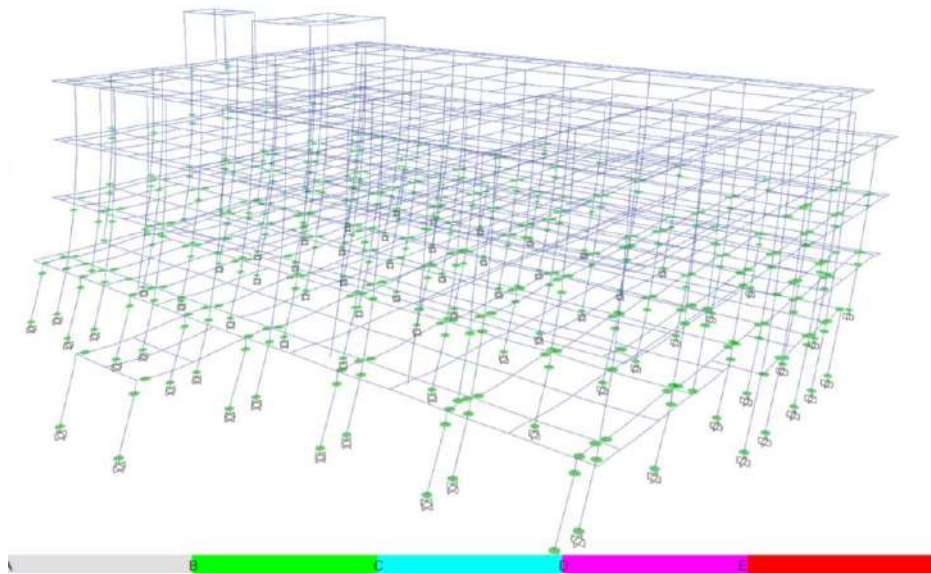
Gambar 5.49 *Step* Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah Y



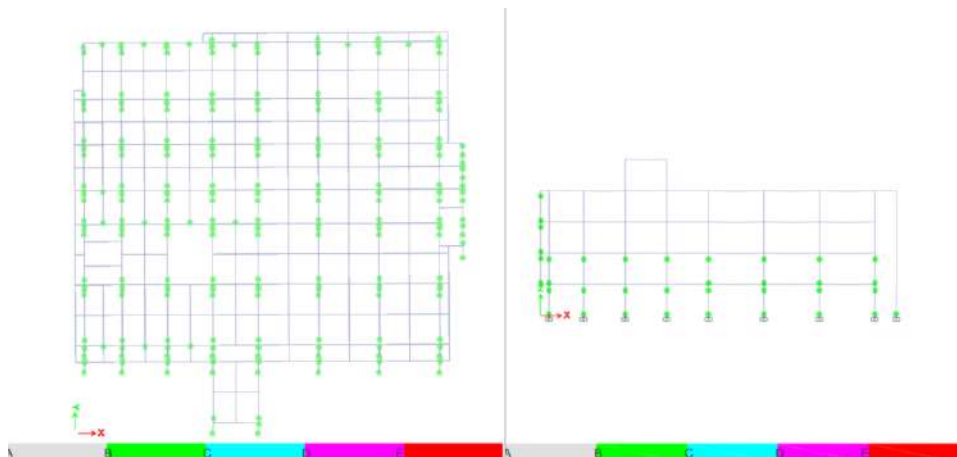
Gambar 5.50 Detail *Step* Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah Y

c. *Step* akhir terjadi sendi plastis

Pada arah Y, sendi plastis akibat beban gempa rencana berhenti terbentuk di *step* ke-138. Titik sendi plastis pada kolom berwarna hijau dari lantai ke - 1 hingga lantai ke - 4. Warna hijau menunjukkan bahwa elemen struktur berada pada level kinerja B to C, yaitu kondisi di mana sendi plastis mulai terbentuk pada elemen struktur. Proses terbentuknya sendi plastis pada *step* ke-138 dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52.



Gambar 5.51 Step Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah Y



Gambar 5.52 Detail Step Akhir Terjadinya Sendi Plastis Arah Y

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis *pushover* yang telah dilakukan terhadap struktur Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti Tegal menggunakan metode ATC-40, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Kurva kapasitas struktur menunjukkan bahwa nilai gaya geser dasar maksimum pada arah Y sebesar 24447,0122 kN pada step ke-138 lebih besar dibandingkan arah X yang mencapai 24288,4288 kN pada step ke-151. Kurva *pushover* arah Y yang lebih tegak mengindikasikan kekakuan struktur yang lebih tinggi pada arah tersebut akibat besarnya momen inersia yang menghasilkan kapasitas perlawanan lentur lebih besar terhadap beban lateral. Dengan demikian, arah Y merupakan sumbu kuat bangunan, sedangkan arah X merupakan sumbu lemah bangunan.
2. Berdasarkan hasil analisis *performance point* menggunakan metode *capacity spectrum*, struktur pada arah X memperoleh target *displacement* (D_t) sebesar 0,116 m dengan gaya geser dasar target (V_t) sebesar 24180,92 kN, sedangkan pada arah Y diperoleh target *displacement* (D_t) sebesar 0,155 m dengan gaya geser dasar target (V_t) sebesar 24005,09 kN. Pada kedua arah, nilai V_t lebih besar dari gaya geser dasar desain (V), yang menunjukkan bahwa struktur berperilaku inelastis karena terbentuknya sendi plastis. Selain itu, target *displacement* pada kedua arah tidak melampaui batas perpindahan maksimum sebesar 0,452 m (2% dari total tinggi bangunan 22,6 m), sehingga struktur dinyatakan memenuhi ketentuan yang disyaratkan.
3. Berdasarkan evaluasi tingkat kinerja mengacu pada batasan deformasi ATC-40 (Tabel 11.2), hasil perhitungan *drift* pada kedua arah pembebanan menunjukkan tingkat kinerja yang bervariasi. Pada arah X, diperoleh nilai *maximum total drift* sebesar 0,00513 dan *maximum inelastic drift* sebesar 0,00376, yang keduanya termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy*

(IO). Pada arah Y, nilai *maximum total drift* sebesar 0,00686 masih termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), namun nilai *maximum inelastic drift* sebesar 0,00575 telah melampaui batas 0,005 sehingga masuk dalam kategori *Damage Control* (DC). Dengan demikian, tingkat kinerja struktur secara keseluruhan berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) hingga *Damage Control* (DC), yang menunjukkan bahwa bangunan tetap aman saat terjadi gempa dengan risiko korban jiwa yang sangat kecil, meskipun pada arah Y mengalami kerusakan ringan hingga sedang sehingga berpotensi memerlukan inspeksi dan perbaikan struktural sebelum dapat difungsikan kembali secara penuh.

4. Mekanisme pembentukan sendi plastis pada kedua arah pembebanan menunjukkan pola yang serupa. Pada arah X maupun arah Y, sendi plastis pertama kali terbentuk pada elemen balok di *step* ke-1, diikuti oleh terbentuknya sendi plastis pada elemen kolom di *step* ke-2, yang keduanya ditandai dengan warna hijau pada level kinerja B to C. Pada akhir analisis, sendi plastis arah X berhenti terbentuk di *step* ke-151 dengan titik sendi plastis pada kolom berwarna hijau dari lantai 1 hingga lantai 3, sedangkan pada arah Y berhenti di *step* ke-138 dengan sendi plastis pada kolom yang terjadi dari lantai 1 hingga lantai 4. Pola pembentukan sendi plastis yang diawali pada balok sebelum kolom mengindikasikan bahwa struktur berperilaku sesuai dengan konsep *strong column weak beam*, sehingga mekanisme keruntuhan yang terjadi tergolong dalam *beam sway mechanism* yang merupakan mekanisme ideal dalam perencanaan struktur tahan gempa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode evaluasi lain seperti FEMA 356 atau FEMA 440 sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dan memberikan tinjauan yang lebih beragam terhadap kinerja seismik struktur.

2. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan analisis riwayat waktu (*time history analysis*) untuk memperoleh respons struktur yang lebih akurat dengan memperhitungkan variasi beban gempa secara dinamis.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan perangkat komputer dengan spesifikasi yang lebih tinggi guna meminimalkan risiko kegagalan sistem dan mempersingkat waktu yang dibutuhkan selama proses analisis berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F. (2024). 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). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Amrina, F., Riyansyah, M., Aryanto, A., dan Lim, E. (2023). Evaluasi Kinerja Pilar Jembatan Lemah Ireng II Berdasarkan Performance Based Seismic Design. *Teknisia*, 28 (1), 1-12.
- Applied Technology Council (ATC 40) (1996). 1 *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019: *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020: *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*.
- Budi Asmara, K., Isneini, M., & Niken DWSB, C. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur. *JRSDD*, 9 (1), 177-188.
- Fahreza, M. F., & Rajela, A. (2026). Analisis Stabilitas Struktur Beton Bertulang Bangunan Sekolah Berdasarkan Respon Spektrum Terhadap Gaya Gempa Berdasarkan SNI 1726 : 2019. *Jurnal Multi Disiplin Dehasen*, 5 (1), 189-196.
- Hanafî, R., Dewi, I. K., dan Ngatijo. (2024). Pemetaan Magnitude of Completeness (Mc) untuk Gempa di Wilayah Bengkulu. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 10 (2), 121-138.
- Hutubessy, V. R. R. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon Terhadap Gempa dengan Metode Pushover. *Journal Agregate*, 1 (1), 108-122.
- Kadarusman, R. A., Agoes, S. M. D., & Wibowo, A. (2012). *Kajian Analisis Pushover untuk Performance Based Design pada Gedung A Rumah Sakit*

- Umum Daerah (RSUD) Kertosono. Disertasi (Diterbitkan). Universitas Brawijaya. Malang.*
- Krisdianti, E. A., Sungkono, K. K. D., dan Gunarso. (2024). Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 29 (2), 7-16.
- Mutia, J. R., Masril, M., & Zuheldi, Z. (2025). Analisis Struktur Atas Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Menggunakan Metode Pushover (Studi Kasus: Asrama Putri Pondok Pesantren Tahfizul Qur'an Mu'allimin Muhammadiyah) Kota Bukittinggi. *Rangkiang Jurnal*. 1 (1), 137-143.
- Prasetiawan, J., & Makrifa, A. I. (2023). Analisa Rumah Instan Konvensional Sebagai Alternatif Rumah Tahan Gempa Sesuai Sni 1726: 2019. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(6).
- Putri, A., Herdinata, S., Khala, C. C. S., & Sari, O. L. (2022). Analisis Kinerja Seismik Struktur 10 Lantai Beton Bertulang dengan Metode Pushover Analysis. *IJCEE: Indonesian Journal of Civil and Environmental Engineering*, 8 (1), 15-22.
- Sungkana, K. E., Prabowo, A., & Christianto, D. (2025). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Perkantoran 7 Lantai dengan Analisis Pushover. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. 8 (2), 587-600.
- Sutoko, R. A. R. (2023). Evaluasi Struktur Gedung Bertingkat Banyak Akibat Alih Fungsi dengan Analisis Pushover. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Suwandi, H. P. (2019). Analisis Gempa Non-Linear Static Pushover dengan Metode ATC-40 untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 1 (1), 35-45.
- Syafitri, Y., Bahtiar, B., & Didik, L. A. (2020). Analisis Pergeseran Lempeng Bumi Yang Meningkatkan Potensi Terjadinya Gempa Bumi Di Pulau Lombok. *Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 3 (2), 139-146.
- Zain, A. M. (2018). Desain Kinerja Struktur dengan Menggunakan Analisis Pushover pada Bangunan Gedung di Kota Palu. *Siimo Engineering*, 2 (1), 9-16.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi



Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia
Gedung Moh. Hatta
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.2301
F. (0274) 898444 psw.2091
E. perpustakaan@uii.ac.id
W. library.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2989217815/Perpus./10/Dir.Perpus/VI/2026

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan bahwa:

Nama : Jundi Nur Faiz
Nomor Mahasiswa : 22511017
Pembimbing : Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Teknik Sipil
Judul Karya Ilmiah : Analisis Kinerja Seismik Gedung Kampus 2 Universitas Pancasakti
Menggunakan Metode Pushover Berdasarkan Atc-40

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan Turnitin dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar 12 (Dua Belas) %.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 25/06/2026

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.

Lampiran 2 Hasil Dutch Cone Penetration Test S.1

DUTCH CONE PENETRATION TEST											
PROJECT : Penyelidikan Tanah Kampus II UPS						LOCATION : Universitas Panca Sakti Tegal					
Cone Base Area : 10 cm ²						Test No : S.1					
Friction Jacket Area : 150 cm ²						Date of Test : 14 Mei 2025					
Dutch Cone Machine : 2,5 ton						Ground Surface Condition :					
DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %	DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	150,00	175,00	2,50	806,00	1,67
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	200,00	225,00	2,50	856,00	1,25
0,40	25,00	38,00	1,30	26,00	5,20	6,60	250,00				
0,60	32,00	38,00	0,60	38,00	1,88	6,80					
0,80	28,00	32,00	0,40	46,00	1,43	7,00					
1,00	50,00	60,00	1,00	66,00	2,00	7,20					
1,20	25,00	30,00	0,50	76,00	2,00	7,40					
1,40	30,00	35,00	0,50	86,00	1,87	7,60					
1,60	30,00	35,00	0,50	96,00	1,87	7,80					
1,80	30,00	40,00	1,00	116,00	3,33	8,00					
2,00	35,00	45,00	1,00	136,00	2,86	8,20					
2,20	40,00	50,00	1,00	156,00	2,50	8,40					
2,40	40,00	50,00	1,00	176,00	2,50	8,60					
2,60	50,00	60,00	1,00	196,00	2,00	8,80					
2,80	60,00	70,00	1,00	216,00	1,67	9,00					
3,00	60,00	70,00	1,00	236,00	1,67	9,20					
3,20	80,00	90,00	1,00	256,00	1,25	9,40					
3,40	100,00	120,00	2,00	296,00	2,00	9,60					
3,60	130,00	145,00	1,50	326,00	1,15	9,80					
3,80	120,00	150,00	3,00	386,00	2,50	10,00					
4,00	110,00	130,00	2,00	426,00	1,82	10,20					
4,20	115,00	135,00	2,00	466,00	1,74	10,40					
4,40	125,00	140,00	1,50	496,00	1,20	10,60					
4,60	130,00	150,00	2,00	536,00	1,54	10,80					
4,80	140,00	160,00	2,00	576,00	1,43	11,00					
5,00	150,00	175,00	2,50	626,00	1,67	11,20					
5,20	140,00	155,00	1,50	666,00	1,07	11,40					
5,40	135,00	145,00	1,00	676,00	0,74	11,60					
5,60	130,00	145,00	1,50	706,00	1,15	11,80					
5,80	110,00	120,00	1,00	726,00	0,91	12,00					
6,00	120,00	135,00	1,50	756,00	1,25	12,20					
REMARKS : Angkur terangkat											

Lampiran 3 Hasil Dutch Cone Penetration Test S.2

DUTCH CONE PENETRATION TEST											
PROJECT : Penyelidikan Tanah Kampus II UPS						LOCATION : Universitas Panca Sakti Tegal					
Cone Base Area : 10 cm ²						01/SI-ZEI/05/2025					
Friction Jacket Area : 150 cm ²						Test No : S.2					
Dutch Cone Machine : 2,5 ton						Date of Test : 15 Mei 2025					
						Ground Surface Condition :					
DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc)%	DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc)%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	150,00	175,00	2,50	540,00	1,67
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	170,00	190,00	2,00	580,00	1,18
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60	180,00	200,00	2,00	620,00	1,11
0,60	10,00	15,00	0,50	10,00	5,00	6,80	185,00	205,00	2,00	660,00	1,08
0,80	12,00	18,00	0,60	22,00	5,00	7,00					
1,00	8,00	12,00	0,40	30,00	5,00	7,20					
1,20	10,00	14,00	0,40	38,00	4,00	7,40					
1,40	12,00	15,00	0,30	44,00	2,50	7,60					
1,60	10,00	12,00	0,20	48,00	2,00	7,80					
1,80	12,00	18,00	0,60	60,00	5,00	8,00					
2,00	15,00	25,00	1,00	80,00	6,67	8,20					
2,20	16,00	22,00	0,60	92,00	3,75	8,40					
2,40	14,00	18,00	0,40	100,00	2,86	8,60					
2,60	15,00	20,00	0,50	110,00	3,33	8,80					
2,80	15,00	22,00	0,70	124,00	4,67	9,00					
3,00	12,00	18,00	0,60	136,00	5,00	9,20					
3,20	14,00	18,00	0,40	144,00	2,86	9,40					
3,40	16,00	22,00	0,60	156,00	3,75	9,60					
3,60	25,00	30,00	0,50	168,00	2,00	9,80					
3,80	35,00	42,00	0,70	180,00	2,00	10,00					
4,00	40,00	45,00	0,50	190,00	1,25	10,20					
4,20	30,00	40,00	1,00	210,00	3,33	10,40					
4,40	35,00	45,00	1,00	230,00	2,86	10,60					
4,60	45,00	60,00	1,50	260,00	3,33	10,80					
4,80	50,00	65,00	1,50	290,00	3,00	11,00					
5,00	70,00	85,00	1,50	320,00	2,14	11,20					
5,20	85,00	100,00	1,50	350,00	1,76	11,40					
5,40	100,00	120,00	2,00	390,00	2,00	11,60					
5,60	100,00	120,00	2,00	430,00	2,00	11,80					
5,80	120,00	135,00	1,50	460,00	1,25	12,00					
6,00	160,00	175,00	1,50	490,00	0,94	12,20					
REMARKS : Angkur terangkat											

Lampiran 4 Hasil Dutch Cone Penetration Test S.3

DUTCH CONE PENETRATION TEST											
PROJECT : Penyelidikan Tanah Kampus II UPS						LOCATION : Universitas Panca Sakti Tegal					
Cone Base Area : 10 cm ²						Test No : S.3					
Fiction Jacket Area : 150 cm ²						Date of Test : 15 Mei 2025					
Dutch Cone Machine : 2,5 ton						Ground Surface Condition :					
DEPTH (M)	qc kg/cm 2	qc + f kg/cm 2	Fs kg/cm 2	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %	DEPTH (M)	qc kg/cm 2	qc + f kg/cm 2	Fs kg/cm 2	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20					
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40					
0,40	10,00	12,00	0,20	4,00	2,00	6,60					
0,60	12,00	14,00	0,20	8,00	1,67	6,80					
0,80	10,00	16,00	0,60	20,00	6,00	7,00					
1,00	12,00	15,00	0,30	28,00	2,50	7,20					
1,20	10,00	18,00	0,80	42,00	8,00	7,40					
1,40	15,00	25,00	1,00	62,00	6,67	7,60					
1,60	15,00	20,00	0,50	72,00	3,33	7,80					
1,80	15,00	22,00	0,70	88,00	4,67	8,00					
2,00	25,00	30,00	0,50	96,00	2,00	8,20					
2,20	16,00	22,00	0,60	108,00	3,75	8,40					
2,40	12,00	20,00	0,80	124,00	6,67	8,60					
2,60	12,00	22,00	1,00	144,00	8,33	8,80					
2,80	10,00	22,00	1,20	168,00	12,00	9,00					
3,00	15,00	30,00	1,50	198,00	10,00	9,20					
3,20	20,00	32,00	1,20	222,00	6,00	9,40					
3,40	22,00	38,00	1,60	254,00	7,27	9,60					
3,60	25,00	35,00	1,00	274,00	4,00	9,80					
3,80	30,00	45,00	1,50	304,00	5,00	10,00					
4,00	60,00	75,00	1,50	334,00	2,50	10,20					
4,20	55,00	70,00	1,50	364,00	2,73	10,40					
4,40	65,00	75,00	1,00	384,00	1,54	10,60					
4,60	70,00	85,00	1,50	414,00	2,14	10,80					
4,80	110,00	135,00	2,50	464,00	2,27	11,00					
5,00	120,00	140,00	2,00	504,00	1,67	11,20					
5,20	135,00	150,00	1,50	534,00	1,11	11,40					
5,40	140,00	165,00	2,50	584,00	1,79	11,60					
5,60	190,00	210,00	2,00	624,00	1,05	11,80					
5,80	200,00	225,00	2,50	674,00	1,25	12,00					
6,00						12,20					
REMARKS : Angkur terangkat											

Lampiran 5 Hasil Dutch Cone Penetration Test S.4

DUTCH CONE PENETRATION TEST											
PROJECT : Penyelidikan Tanah Kampus II UPS						LOCATION : Universitas Panca Sakti Tegal					
Cone Base Area : 10 cm ²						01/SI-ZEI/05/2025					
Friction Jacket Area : 150 cm ²						Test No : S.4					
Dutch Cone Machine : 2,5 ton						Date of Test : 15 Mei 2025					
						Ground Surface Condition : _____					
DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %	DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20					
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40					
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60					
0,60	8,00	10,00	0,20	4,00	2,50	6,80					
0,80	10,00	12,00	0,20	8,00	2,00	7,00					
1,00	12,00	15,00	0,30	14,00	2,50	7,20					
1,20	10,00	16,00	0,60	26,00	6,00	7,40					
1,40	14,00	18,00	0,40	34,00	2,66	7,60					
1,60	18,00	25,00	0,70	48,00	3,89	7,80					
1,80	18,00	25,00	0,70	62,00	3,89	8,00					
2,00	15,00	22,00	0,70	78,00	4,67	8,20					
2,20	18,00	25,00	0,70	90,00	3,89	8,40					
2,40	20,00	28,00	0,80	106,00	4,90	8,60					
2,60	10,00	20,00	1,00	126,00	10,00	8,80					
2,80	12,00	25,00	1,30	152,00	10,83	9,00					
3,00	20,00	30,00	1,00	172,00	5,90	9,20					
3,20	22,00	32,00	1,00	192,00	4,55	9,40					
3,40	30,00	40,00	1,00	212,00	3,33	9,60					
3,60	50,00	65,00	1,50	242,00	3,00	9,80					
3,80	60,00	75,00	1,50	272,00	2,50	10,00					
4,00	90,00	105,00	1,50	302,00	1,67	10,20					
4,20	120,00	130,00	1,00	322,00	0,83	10,40					
4,40	125,00	135,00	1,00	342,00	0,80	10,60					
4,60	120,00	130,00	1,00	362,00	0,83	10,80					
4,80	130,00	145,00	1,50	392,00	1,15	11,00					
5,00	135,00	150,00	1,50	422,00	1,11	11,20					
5,20	140,00	155,00	1,50	452,00	1,07	11,40					
5,40	150,00	165,00	1,50	482,00	1,00	11,60					
5,60	160,00	175,00	1,50	512,00	0,94	11,80					
5,80	175,00	195,00	2,00	552,00	1,14	12,00					
6,00						12,20					
REMARKS : Angkur terangkat											

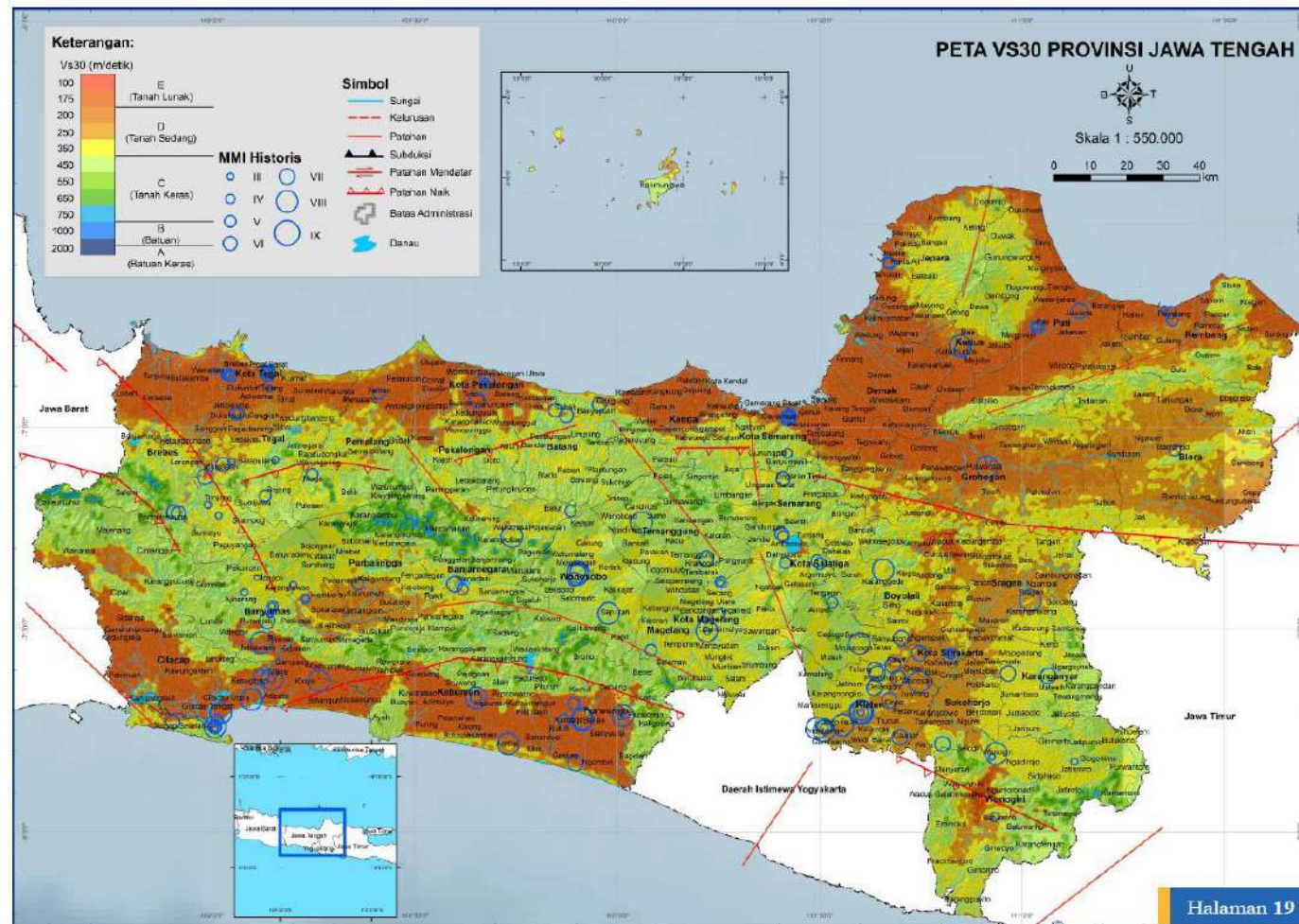
Lampiran 6 Hasil Dutch Cone Penetration Test S.5

DUTCH CONE PENETRATION TEST											
PROJECT : Penyelidikan Tanah Kampus II UPS						LOCATION : Universitas Panca Sakti Tegal					
01/ST-ZEI/05/2025											
Cone Base Area : 10 cm ²						Test No : S.5					
Friction Jacket Area : 150 cm ²						Date of Test : 15 Mei 2025					
Dutch Cone Machine : 2,5 ton						Ground Surface Condition :					
DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %	DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20					
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40					
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60					
0,60	6,00	10,00	0,40	8,00	6,67	6,80					
0,80	8,00	12,00	0,40	16,00	5,00	7,00					
1,00	10,00	15,00	0,50	26,00	5,00	7,20					
1,20	12,00	16,00	0,40	34,00	3,33	7,40					
1,40	10,00	15,00	0,50	44,00	5,00	7,60					
1,60	15,00	22,00	0,70	58,00	4,67	7,80					
1,80	15,00	22,00	0,70	72,00	4,67	8,00					
2,00	15,00	20,00	0,50	82,00	3,33	8,20					
2,20	12,00	18,00	0,60	94,00	5,00	8,40					
2,40	10,00	15,00	0,50	104,00	5,00	8,60					
2,60	10,00	18,00	0,80	120,00	8,00	8,80					
2,80	12,00	22,00	1,00	140,00	8,33	9,00					
3,00	20,00	32,00	1,20	164,00	6,00	9,20					
3,20	35,00	45,00	1,00	184,00	2,86	9,40					
3,40	40,00	60,00	2,00	224,00	5,00	9,60					
3,60	60,00	70,00	1,00	244,00	1,67	9,80					
3,80	80,00	95,00	1,50	274,00	1,88	10,00					
4,00	75,00	90,00	1,50	304,00	2,00	10,20					
4,20	75,00	85,00	1,00	324,00	1,33	10,40					
4,40	90,00	100,00	1,00	344,00	1,11	10,60					
4,60	70,00	80,00	1,00	364,00	1,43	10,80					
4,80	80,00	95,00	1,50	394,00	1,88	11,00					
5,00	90,00	100,00	1,00	414,00	1,11	11,20					
5,20	100,00	115,00	1,50	444,00	1,50	11,40					
5,40	120,00	135,00	1,50	474,00	1,25	11,60					
5,60	110,00	130,00	2,00	514,00	1,82	11,80					
5,80	170,00	200,00	3,00	574,00	1,76	12,00					
6,00						12,20					
REMARKS : Angkur terangkat											

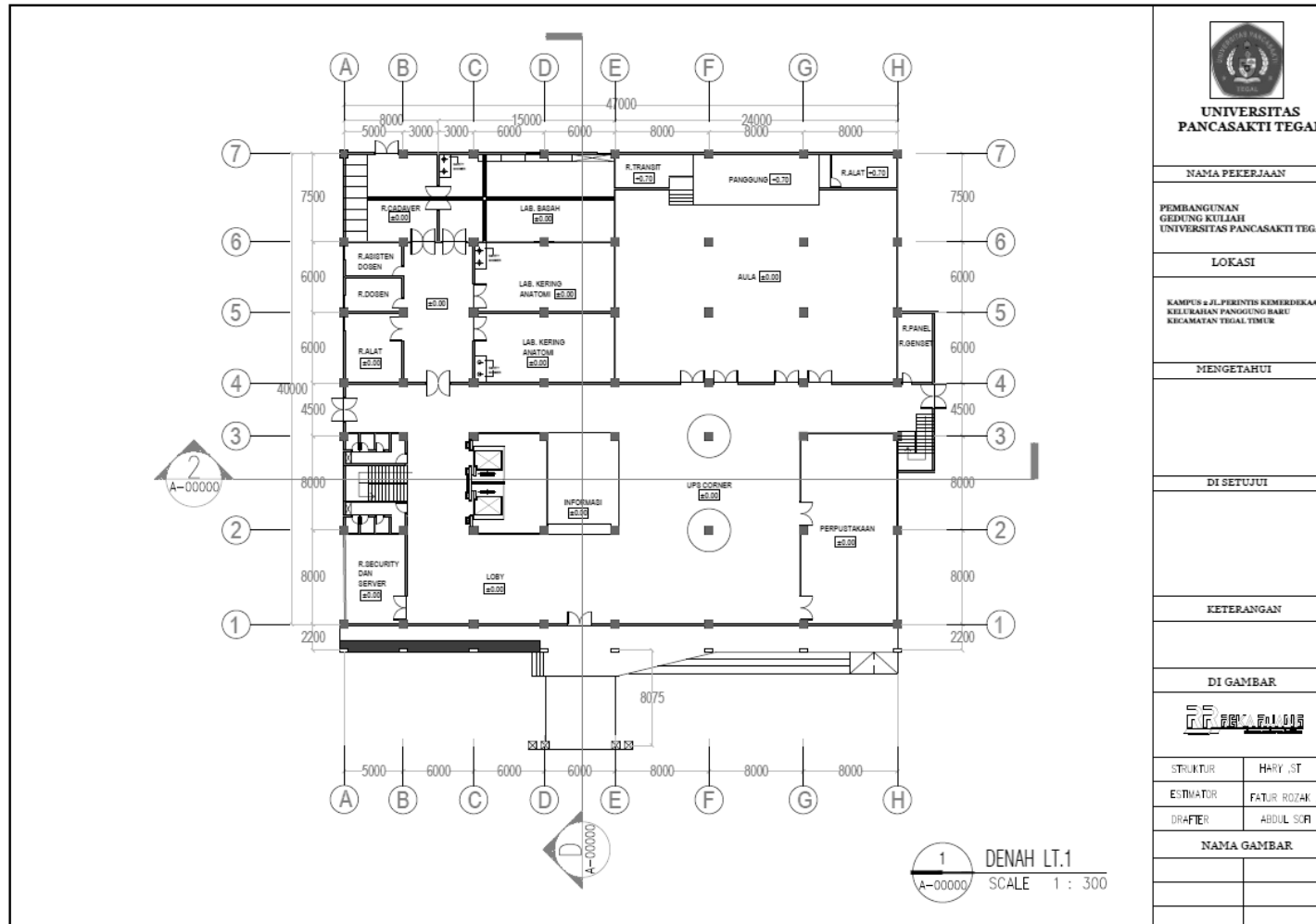
Lampiran 7 Hasil Dutch Cone Penetration Test S.6

DUTCH CONE PENETRATION TEST											
PROJECT : Penyelidikan Tanah Kampus II UPS						LOCATION : Universitas Panca Sakti Tegal					
Cone Base Area : 10 cm ²						Test No : S.6					
Friction Jacket Area : 150 cm ²						Date of Test : 15 Mei 2025					
Dutch Cone Machine : 2,5 ton						Ground Surface Condition :					
01/SI-ZEI/05/2025											
DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %	DEPTH (M)	qc kg/cm ²	qc + f kg/cm ²	Fs kg/cm ²	TF kg/cm	FR (Fs/qc) %
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20					
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40					
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60					
0,60	6,00	10,00	0,40	8,00	6,67	6,80					
0,80	10,00	15,00	0,50	18,00	5,00	7,00					
1,00	8,00	12,00	0,40	26,00	5,00	7,20					
1,20	10,00	15,00	0,50	36,00	5,00	7,40					
1,40	12,00	20,00	0,80	52,00	6,67	7,60					
1,60	10,00	20,00	1,00	72,00	10,00	7,80					
1,80	10,00	18,00	0,80	88,00	8,00	8,00					
2,00	12,00	20,00	0,80	104,00	6,67	8,20					
2,20	12,00	20,00	0,80	120,00	6,67	8,40					
2,40	14,00	28,00	1,40	148,00	10,00	8,60					
2,60	12,00	20,00	0,80	164,00	6,67	8,80					
2,80	15,00	22,00	0,70	178,00	4,67	9,00					
3,00	24,00	30,00	0,60	190,00	2,50	9,20					
3,20	20,00	28,00	0,80	206,00	4,00	9,40					
3,40	25,00	32,00	0,70	220,00	2,80	9,60					
3,60	30,00	40,00	1,00	240,00	3,33	9,80					
3,80	30,00	38,00	0,80	256,00	2,67	10,00					
4,00	50,00	65,00	1,50	286,00	3,00	10,20					
4,20	60,00	70,00	1,00	306,00	1,67	10,40					
4,40	75,00	90,00	1,50	336,00	2,00	10,60					
4,60	80,00	100,00	2,00	376,00	2,50	10,80					
4,80	85,00	100,00	1,50	406,00	1,76	11,00					
5,00	100,00	110,00	1,00	426,00	1,00	11,20					
5,20	90,00	110,00	2,00	466,00	2,22	11,40					
5,40	100,00	120,00	2,00	506,00	2,00	11,60					
5,60	130,00	145,00	1,50	536,00	1,15	11,80					
5,80	150,00	175,00	2,50	586,00	1,67	12,00					
6,00	175,00	190,00	1,50	616,00	0,86	12,20					
REMARKS : Angkur terangkat											

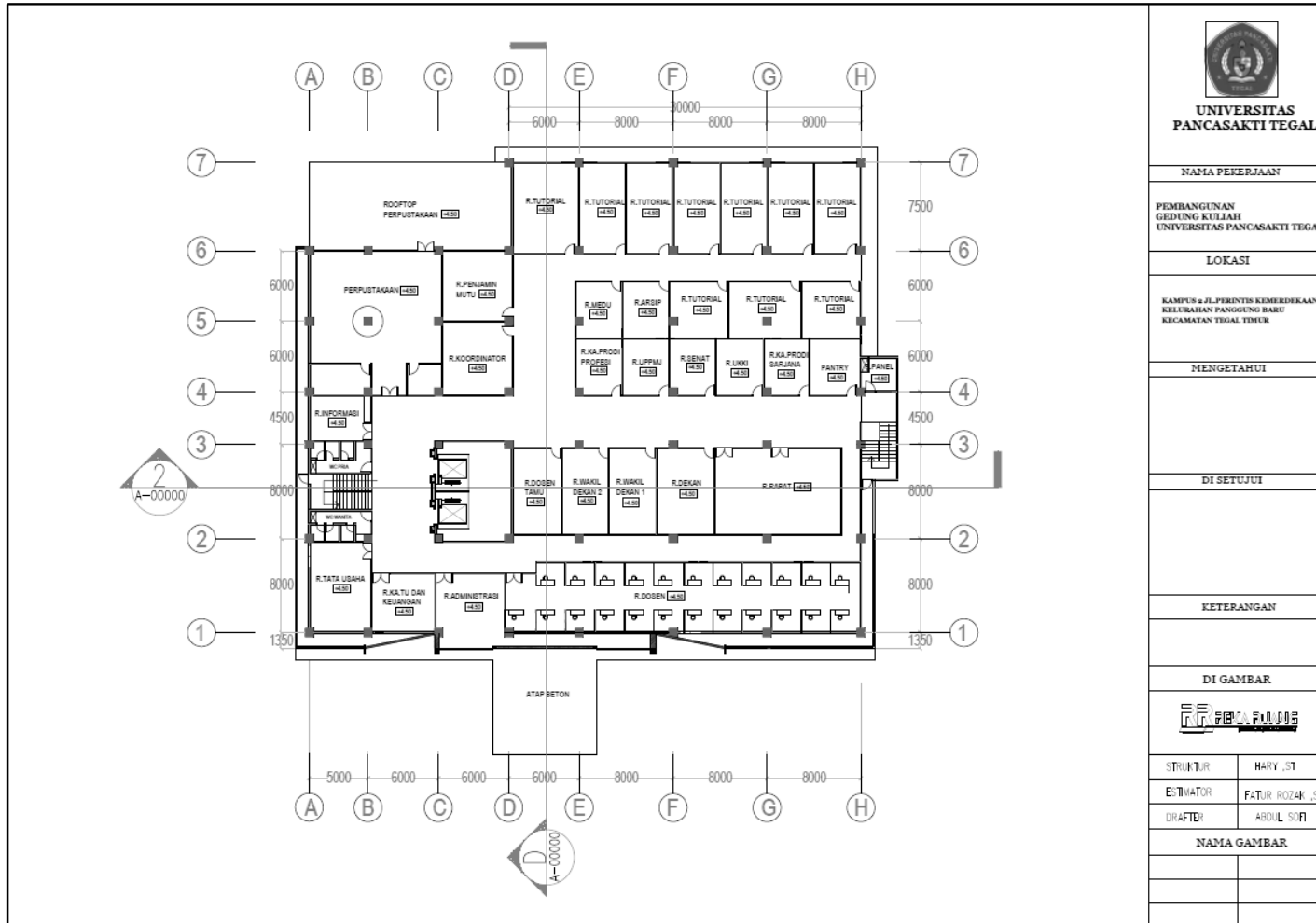
Lampiran 8 Peta Vs30 Wilayah Provinsi Jawa Tengah



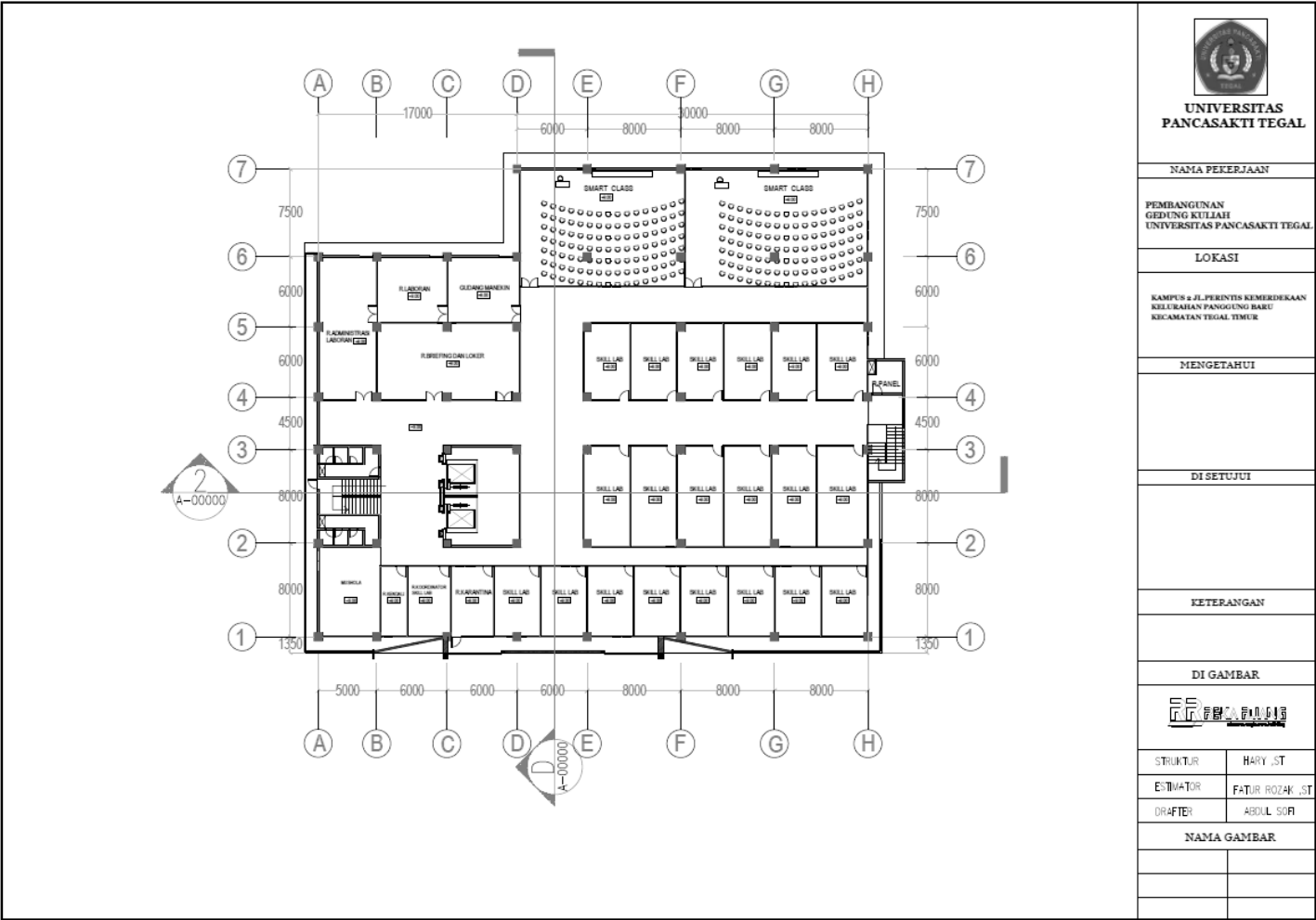
Lampiran 9 Gambar Denah Lantai 1



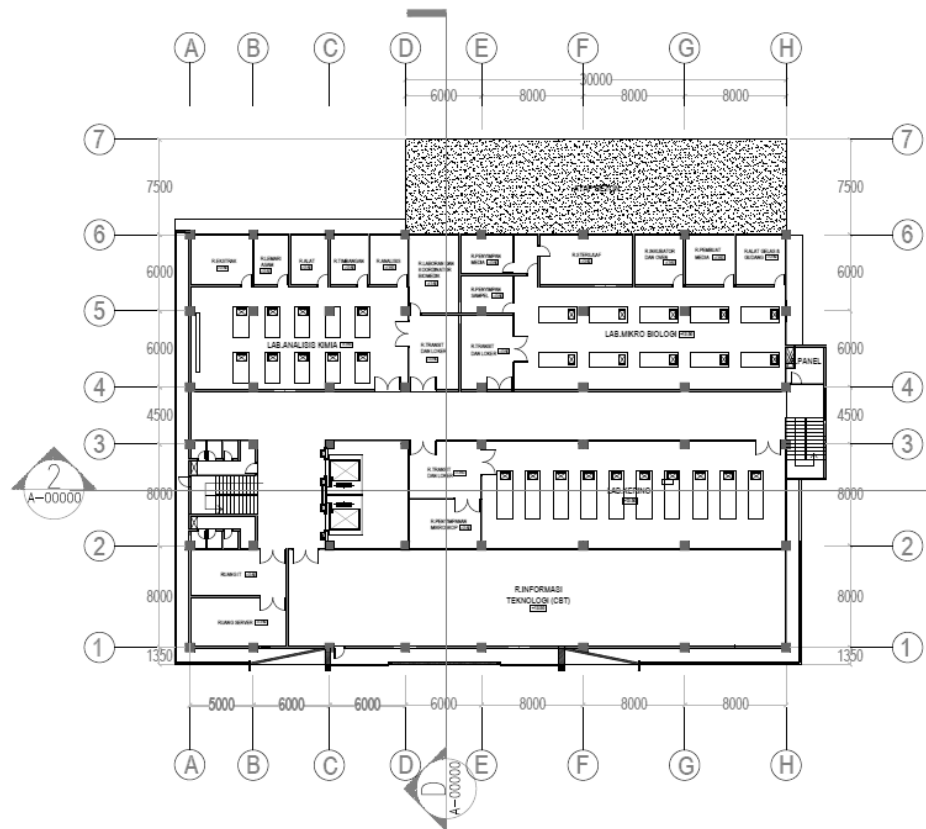
Lampiran 10 Gambar Denah Lantai 2



Lampiran 11 Gambar Denah Lantai 3



Lampiran 12 Gambar Denah Lantai 4



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR



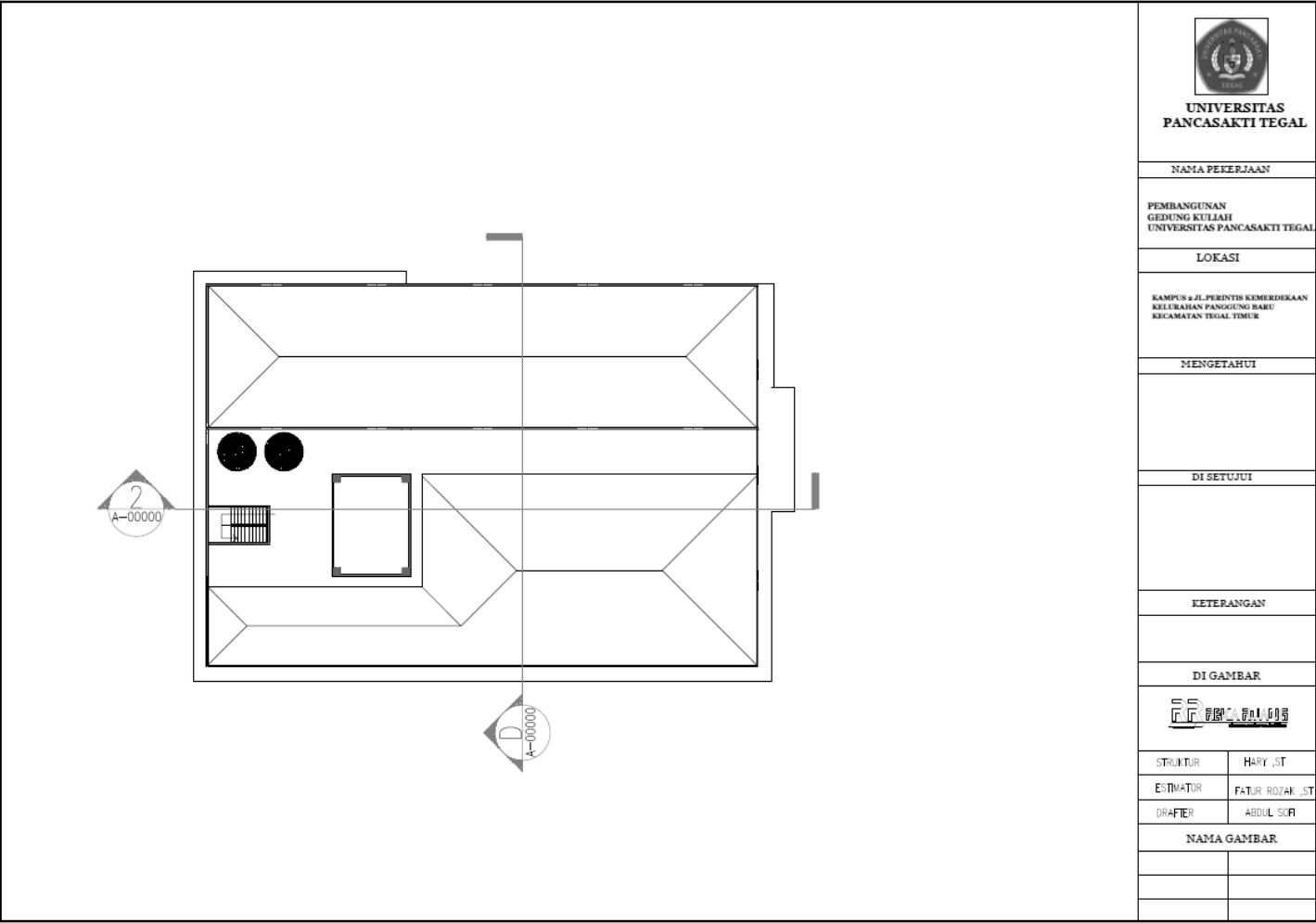
STRUKTUR	HARY ,ST
----------	----------

ESTIMATOR	FATUR ROZAK, ST
-----------	-----------------

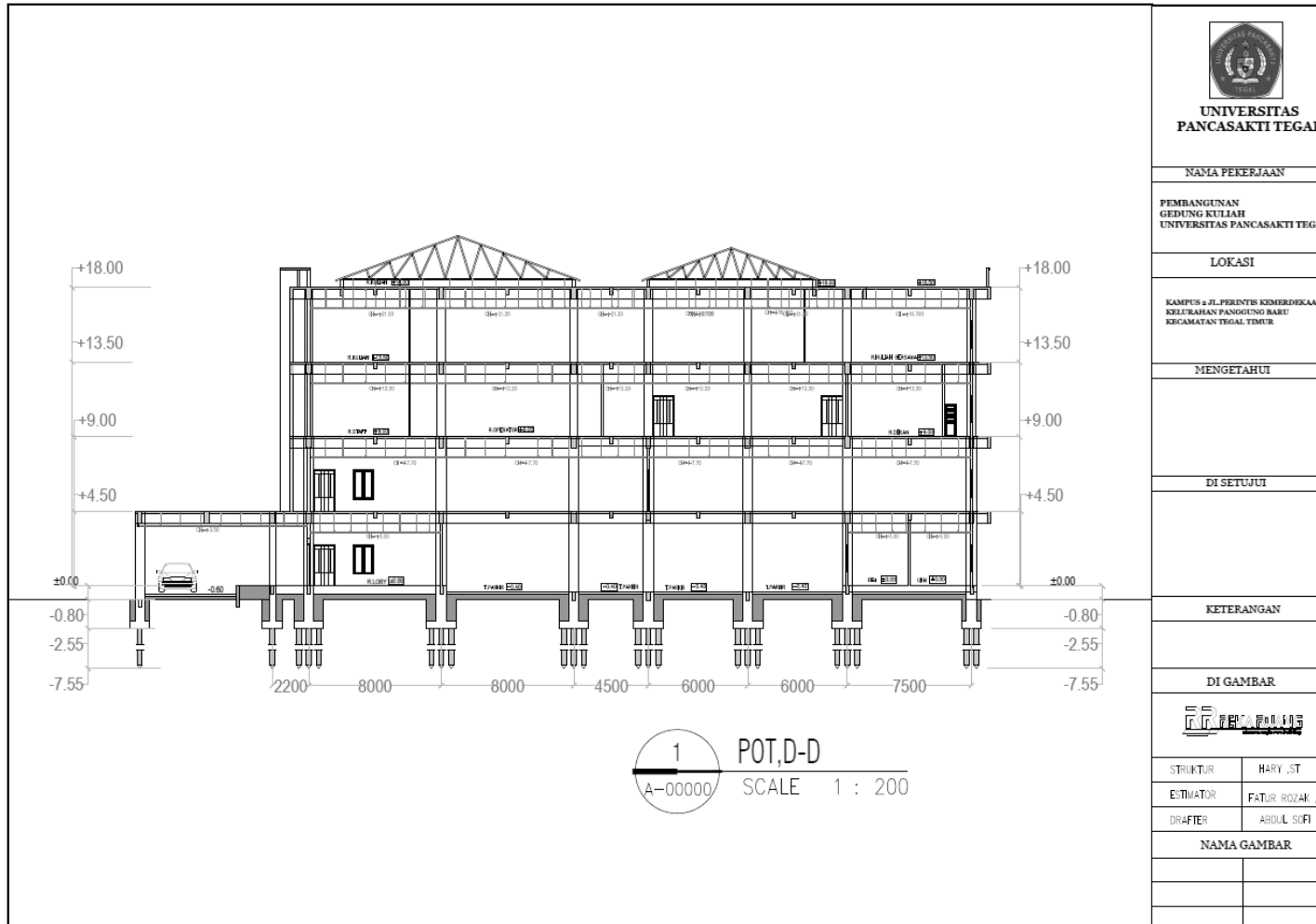
DRAFTER	ABDUL SCFI
---------	------------

NAMA GAMBAR

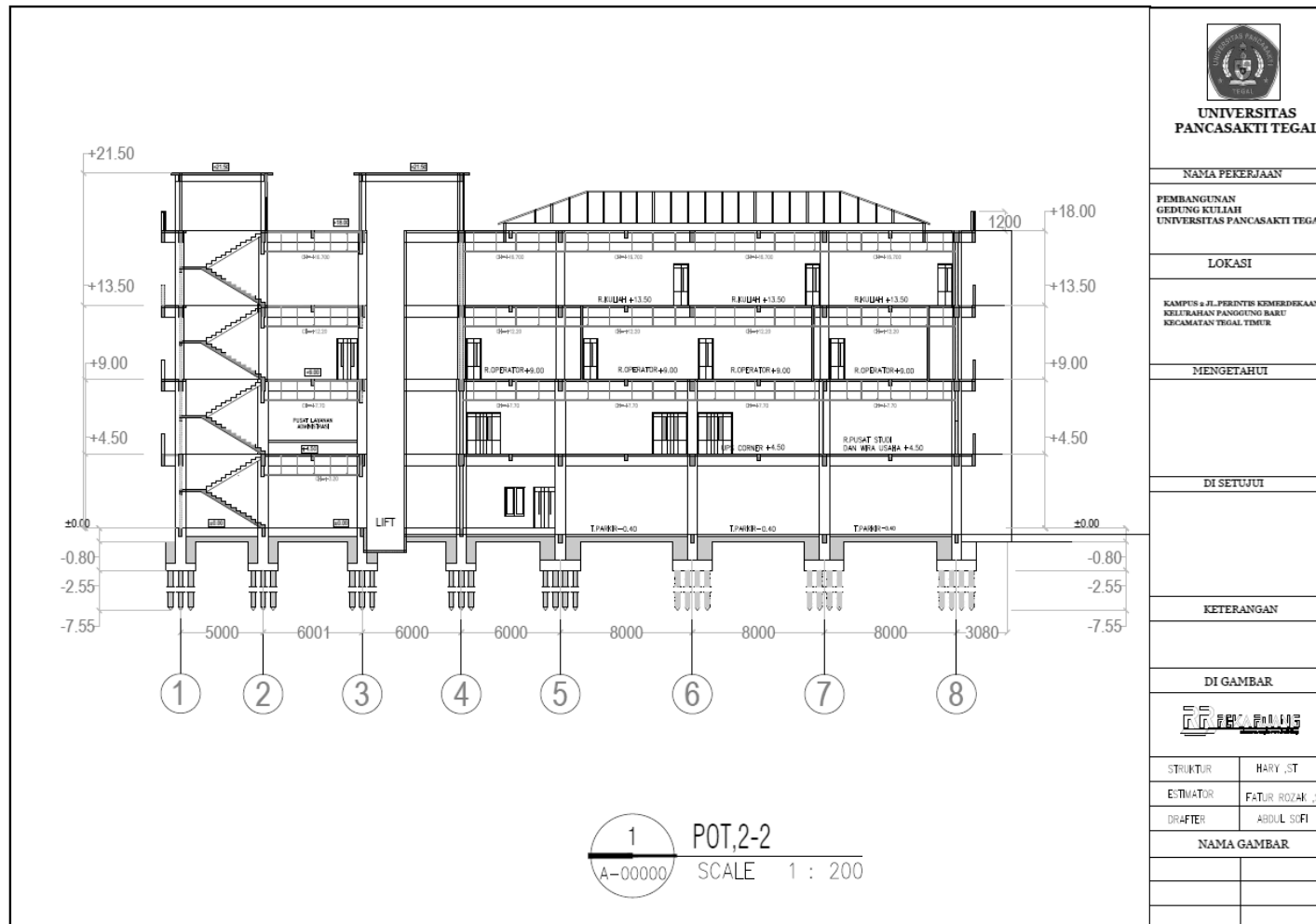
Lampiran 13 Gambar Denah Lantai 5



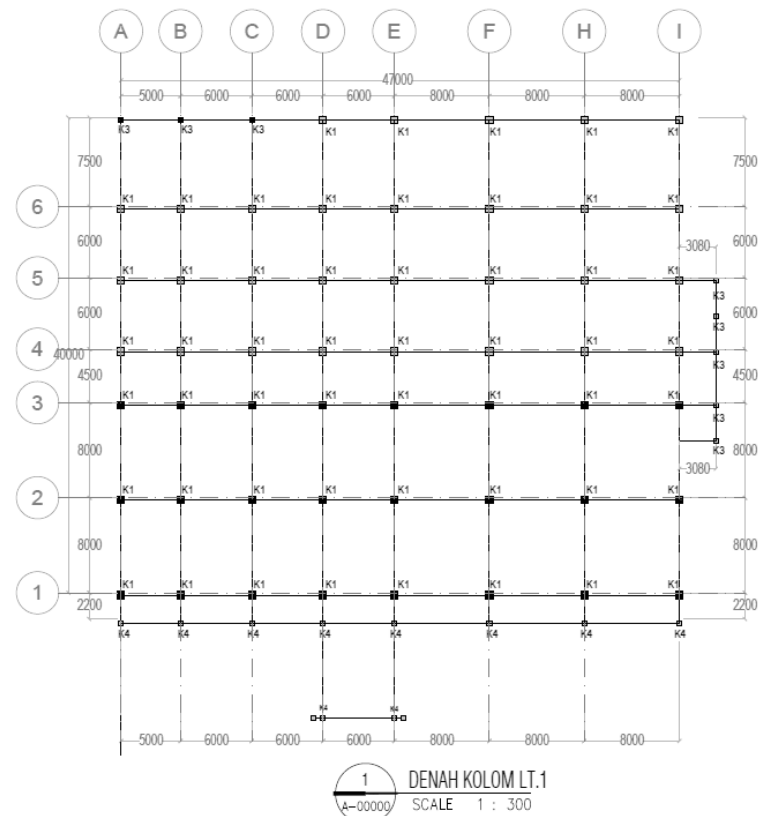
Lampiran 14 Gambar Potongan D-D



Lampiran 15 Gambar Potongan 2-2



Lampiran 16 Gambar Denah Kolom Lantai 1



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

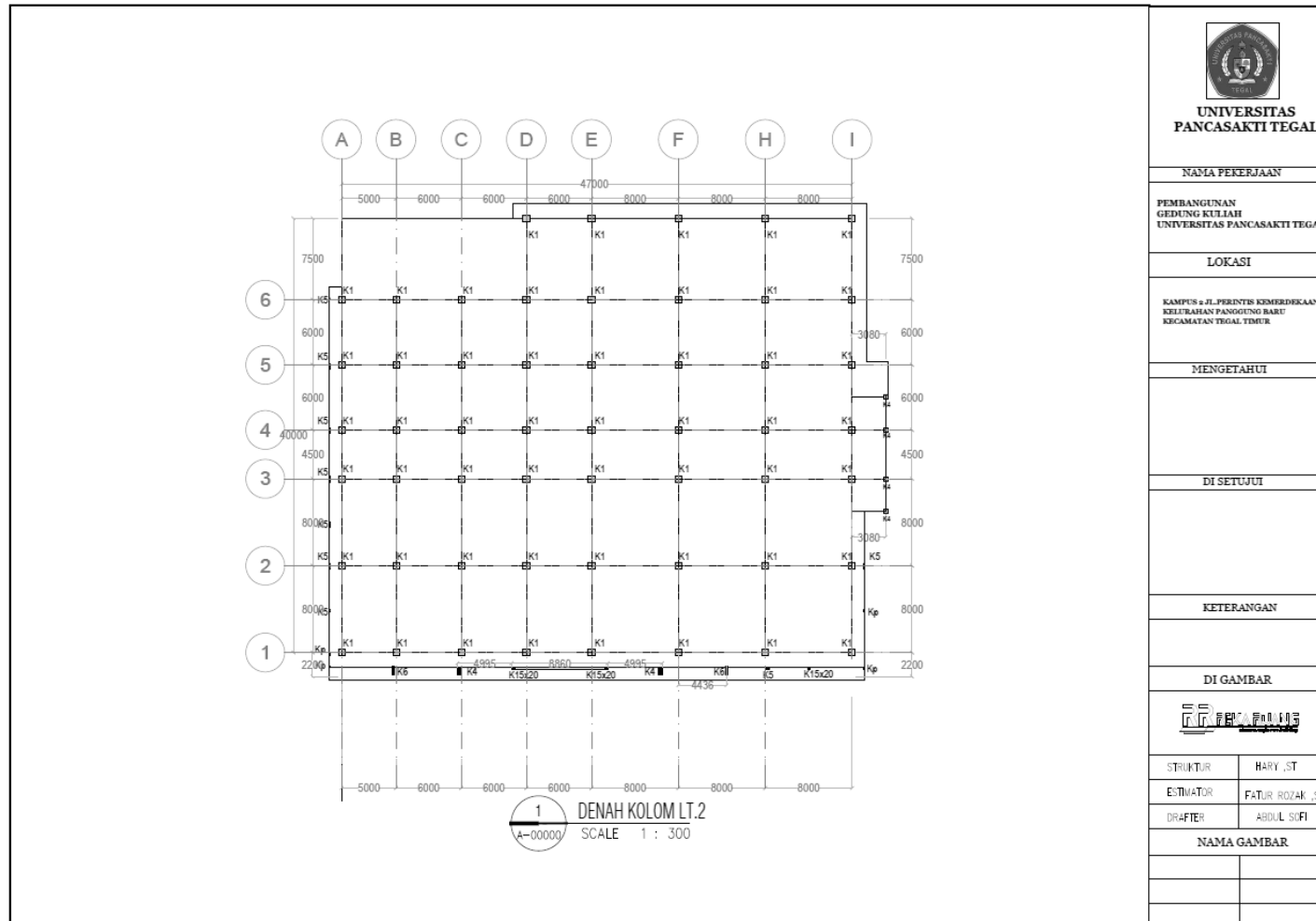
DI GAMBAR

REVISI

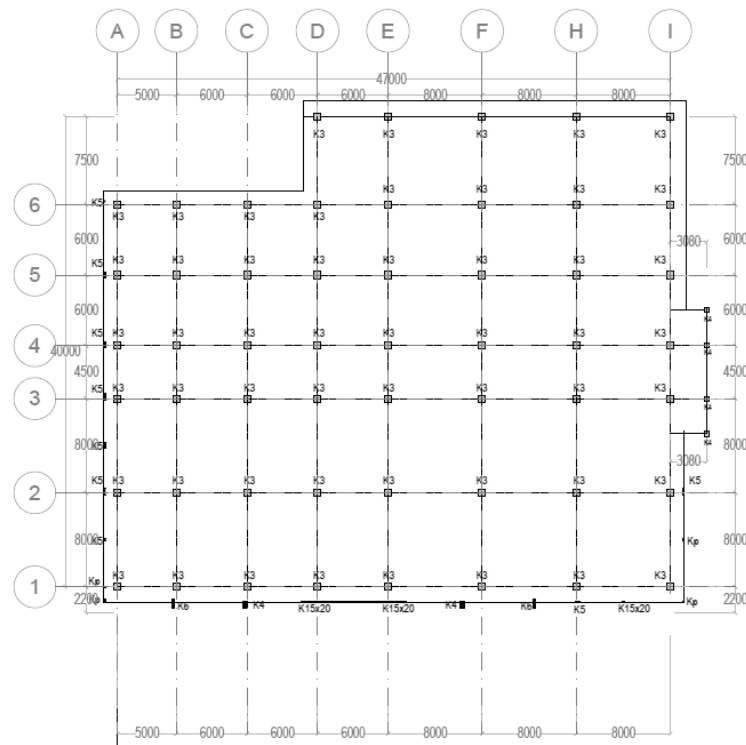
STRUKTUR	HARY, ST
ESTIMATOR	FATUR ROZAK, ST
DRAFTER	ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 17 Gambar Denah Kolom Lantai 2



Lampiran 18 Gambar Denah Kolom Lantai 3



1
A-00000
DENAH KOLOM LT.3
SCALE 1 : 300



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR



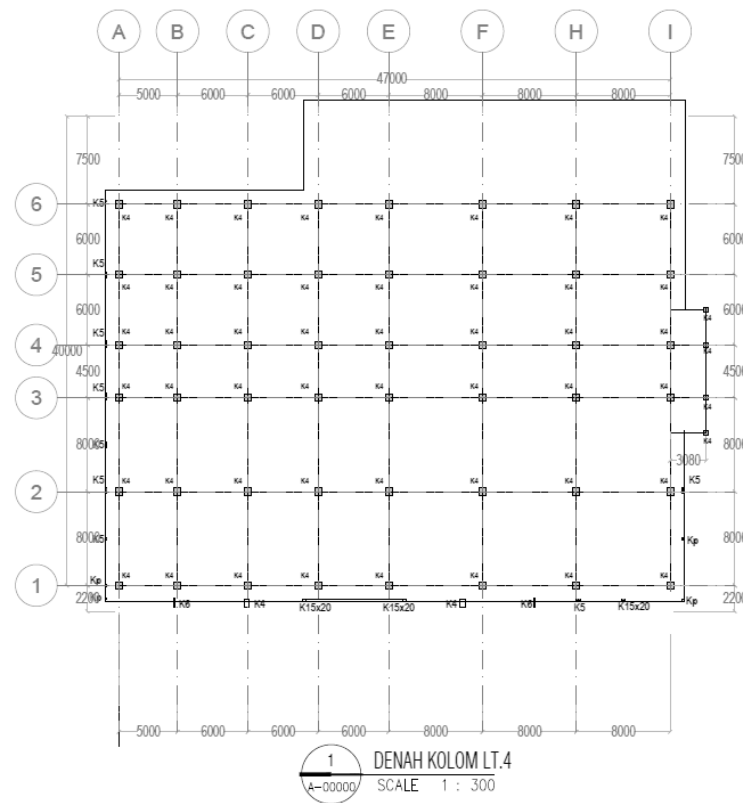
STRUKTUR HARY ST

ESTIMATOR FATUR ROZAK ST

DRAFTER ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 19 Gambar Denah Kolom Lantai 4



**UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL**

NAMA PEKERJAAN

**PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

LOKASI

**KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR**

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR



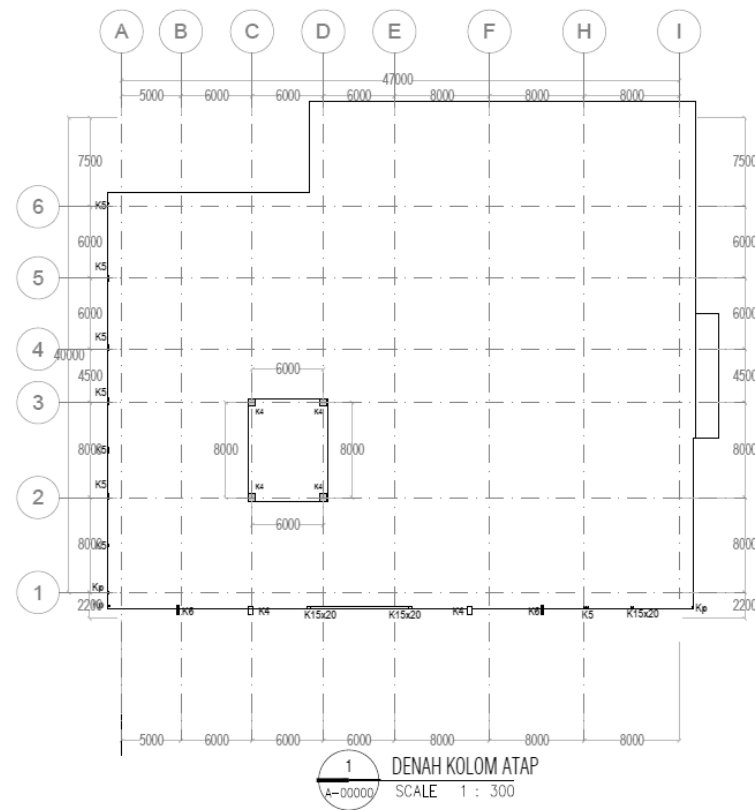
STRUKTUR HARY ST

ESTIMATOR FATUR ROZAK ST

DRAFTER ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 20 Gambar Denah Kolom Lantai 5



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

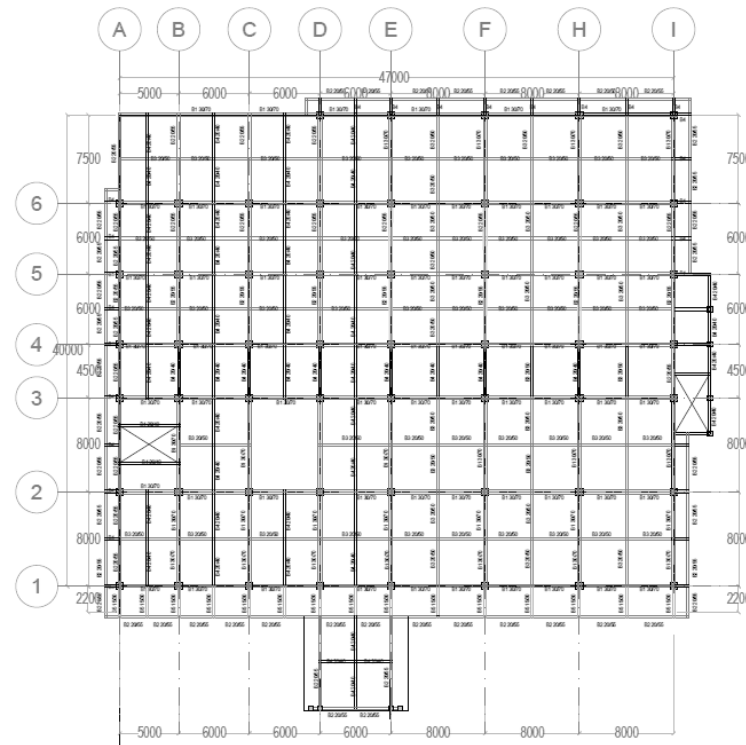
DI GAMBAR

FF FLOOR

STRUKTUR	HARY, ST
ESTIMATOR	FATUR ROZAK, ST
DRAFTER	ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 21 Gambar Denah Balok Lantai 2



1 DENAH BALOK LT.2
A-00000 SCALE 1 : 300



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

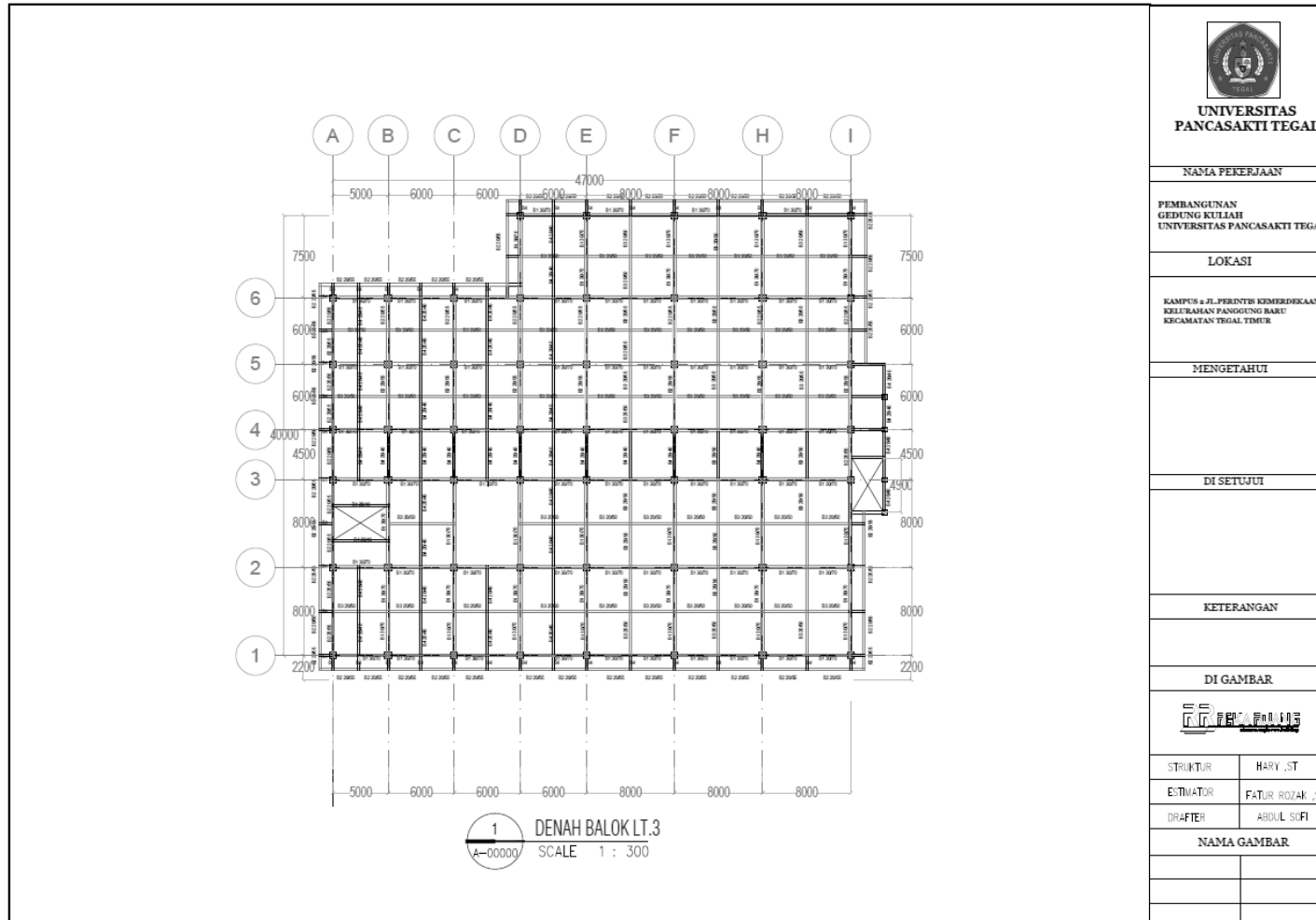
KETERANGAN

DI GAMBAR

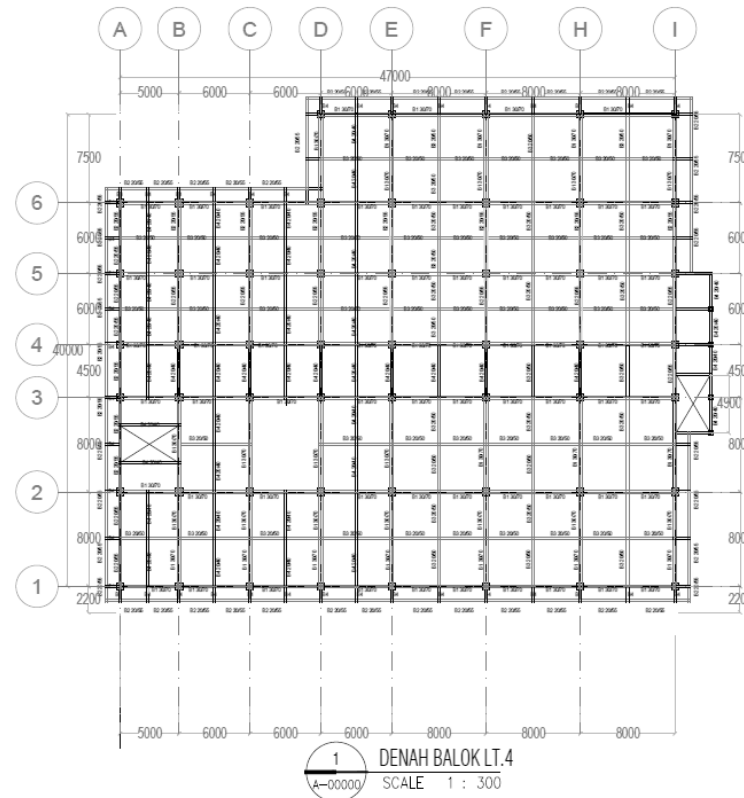


STRUKTUR	HARY ST
ESTIMATOR	FATUR ROZAK ST
DRAFTER	ABDUL SOFI
NAMA GAMBAR	

Lampiran 22 Gambar Denah Balok Lantai 3



Lampiran 23 Gambar Denah Balok Lantai 4



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR



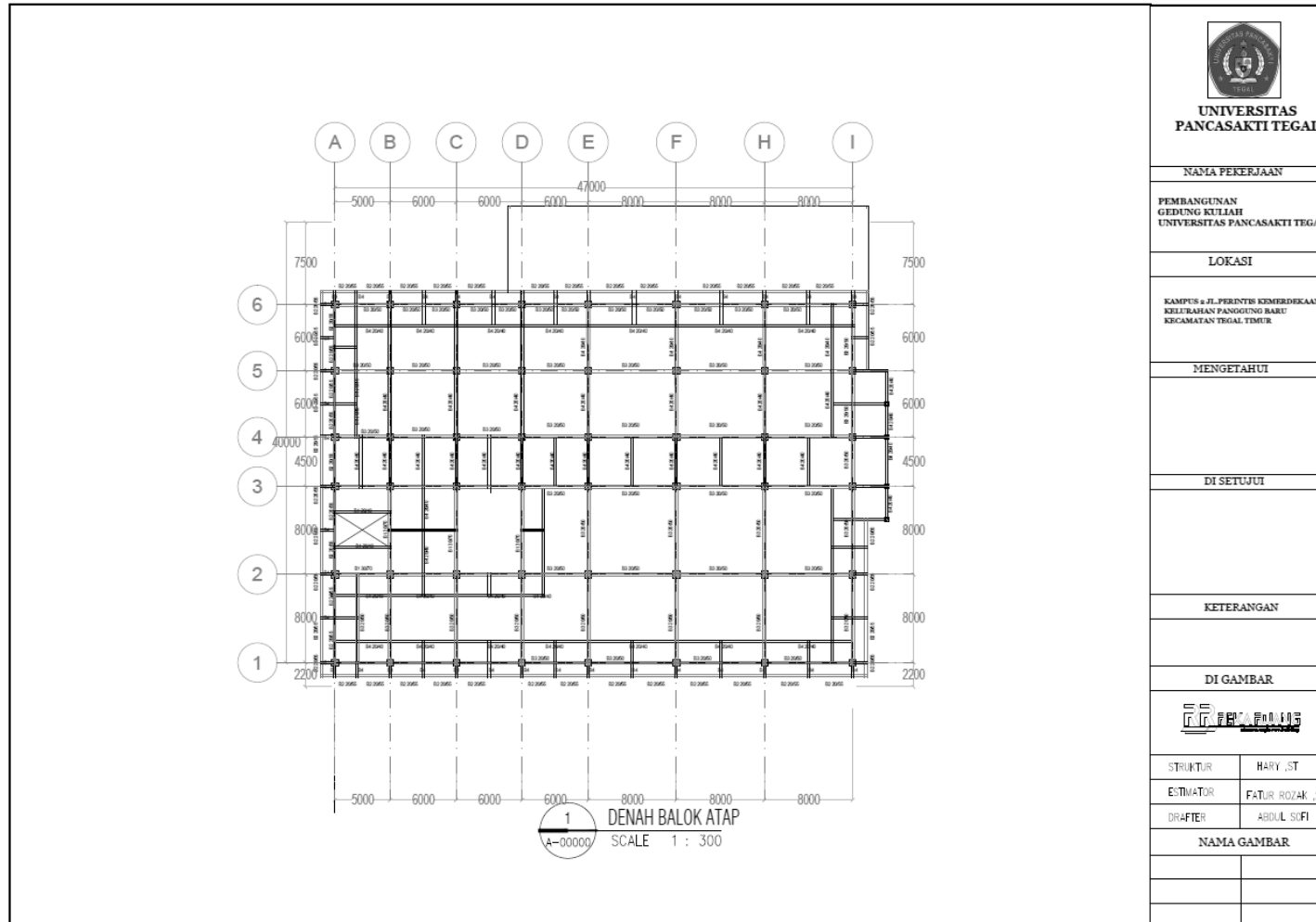
STRUKTUR HARY ST

ESTIMATOR FATUR ROZAK ST

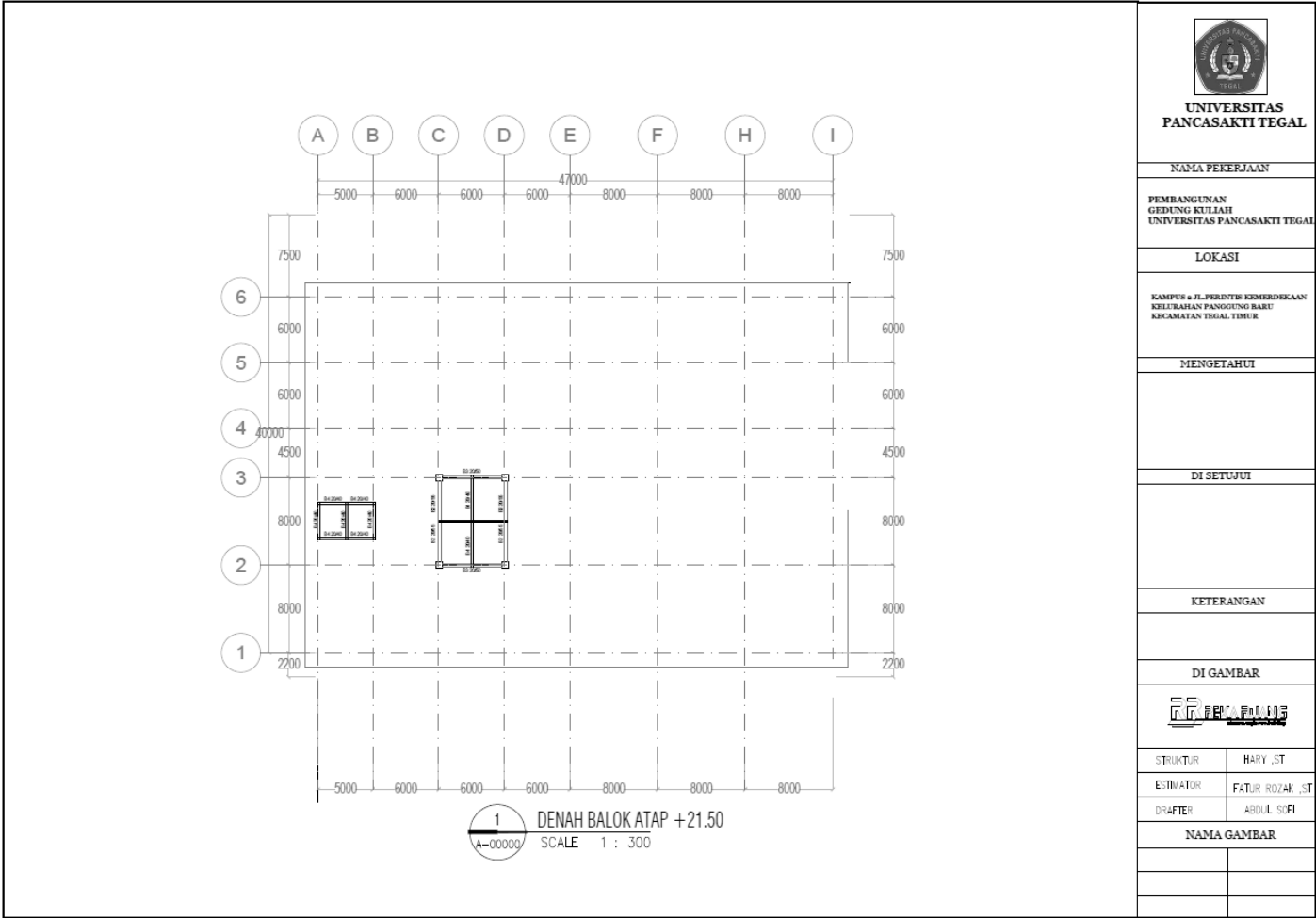
DRAFTER ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 24 Gambar Denah Balok Lantai 5

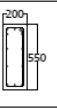


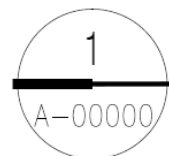
Lampiran 25 Gambar Denah Balok Atap



Lampiran 26 Gambar Detail Pembesian Balok

NAMA	SLOOF S1 30X50		SLOOF S2 20X50	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR				
DIMENSI	30 CM X 50 CM	30 CM X 50 CM	20 CM X 50 CM	20 CM X 50 CM
TULANGAN ATAS	4 Ø16	4 Ø16	4 Ø16	4 Ø16
TULANGAN BAWAH	4 Ø16	4 Ø16	4 Ø16	4 Ø16
BEUGEL	Ø 8 -100	Ø 8 -125	Ø 8 -125	Ø 8 -125

NAMA	BALOK B1 30X70		BALOK B1 20X55	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR				
DIMENSI	30 CM X 70 CM	30 CM X 70 CM	20 CM X 55 CM	20 CM X 55 CM
TULANGAN ATAS	7 Ø19	3 Ø19	5 Ø19	2 Ø19
TULANGAN BAWAH	4 Ø19	6 Ø19	3 Ø19	4 Ø19
TULANGAN PINGGANG	4 Ø10	4 Ø10	4 Ø10	4 Ø10
BEUGEL	Ø12-100	Ø12-150	Ø10-100	Ø10-150



DETAIL PEMBESIAN

SCALE 1 : 30



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGUNG BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR

REVISI

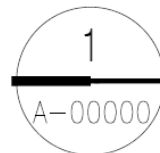
STRUKTUR	HARY, ST
ESTIMATOR	FATUR ROZAK, ST
DRAFTER	ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 24 Gambar Detail Pembesian Balok

NAMA	BALOK B3 20X50		BALOK B4 20X40	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR				
DIMENSI	20 CM X 50 CM	20 CM X 50 CM	20 CM X 40 CM	20 CM X 40 CM
TULANGAN ATAS	5 Ø16	2 Ø16	4 Ø16	2 Ø16
TULANGAN BAWAH	3 Ø16	4 Ø16	2 Ø16	4 Ø16
TULANGAN PINGGANG	4 Ø10	4 Ø10	2 Ø10	2 Ø10
BEUGEL	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-100	Ø10-150

NAMA	BALOK B5 15X30			
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN		
GAMBAR				
DIMENSI	15 CM X 30 CM	20 CM X 50 CM		
TULANGAN ATAS	2 Ø16	2 Ø16		
TULANGAN BAWAH	2 Ø16	2 Ø16		
TULANGAN PINGGANG				
BEUGEL	Ø10-100	Ø10-150		



DETAIL PEMBESIAN

SCALE 1 : 30



UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGUNGU BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR



STRUKTUR HARY .ST

ESTIMATOR FATUR ROZAK .ST

DRAFTER ABUL SUFI

NAMA GAMBAR

Lampiran 27 Gambar Detail Kolom

NAMA		KOLOM K1 60X60		KOLOM K3 50X50	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
GAMBAR					
DIMENSI	60CM X 60CM	60CM X 60CM	50CM X 50CM	50CM X 50CM	
TULANGAN ATAS	9 D19	9 D19	6 Ø19	6 Ø19	
TULANGAN BAWAH	9 D19	9 D19	6 Ø19	6 Ø19	
BEUGEL	2 Ø12-125	2 Ø12-125	Ø12-125	Ø12-150	

NAMA		KOLOM K5 20x50		KOLOM KP 15x15	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
GAMBAR					
DIMENSI	20 CM X 50 CM	20 CM X 50 CM	15 CM X 15 CM	50CM X 50CM	
TULANGAN ATAS	10 D12	10 D12	4 Ø12	4 Ø12	
TULANGAN BAWAH	10 D12	10 D12	4 Ø12	4 Ø12	
BEUGEL	Ø 8 -150	Ø 8 -150	Ø 8 -150	Ø 8 -150	

NAMA		KOLOM K4 40X40		KOLOM K6 15X80	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
GAMBAR					
DIMENSI	40CM X 40CM	40CM X 40CM	15 CM X 80 CM	15 CM X 80 CM	
TULANGAN ATAS	4 Ø19	4 Ø19	10 Ø12	10 Ø12	
TULANGAN BAWAH	4 Ø19	4 Ø19	10 Ø12	10 Ø12	
BEUGEL	Ø12-150	Ø12-150	Ø 8-150	Ø 8-150	

1
A-00000

DETAIL PEMBESIAN
SCALE 1 : 40

UNIVERSITAS
PANCASAKTI TEGAL

NAMA PEKERJAAN

PEMBANGUNAN
GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

LOKASI

KAMPUS 2 JL. PERINTIS KEMERDEKAAN
KELURAHAN PANGOTING BARU
KECAMATAN TEGAL TIMUR

MENGETAHUI

DI SETUJUI

KETERANGAN

DI GAMBAR

STRUKTUR HARY ,ST

ESTIMATOR FATUR ROZAK ,ST

DRAFTER ABDUL SOFI

NAMA GAMBAR