

**EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG
ONKOLOGI MELALUI PENDEKATAN STATIK *NONLINIER*
*PUSHOVER***

SKRIPSI

OLEH:

**IZHAK OBRIAN PASARIBU
228110027**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 15/7/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)15/7/26

EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG ONKOLOGI MELALUI PENDEKATAN STATIK *NONLINIER* *PUSHOVER*

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

IZHAK OBRIAN PASARIBU
228110027

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung Onkologi
Melalui Pendekatan Statik *Nonlinier Pushover*
Nama : Izhak Obrian Pasaribu
NPM : 228110027
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T.
Pembimbing

 
Supriatno, S.T., M.T. Eka Ermila Walandari, S.T., M.T.
Dekan Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 10 Maret 2026

PALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Izhak Obrian Pasaribu
NPM	: 228110027
Program Studi	: Teknik Sipil
Fakultas	: Teknik
Jenis karya	: Skripsi

Demı pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Redesain Struktur Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area Menggunakan Metode Flat Slab**. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*dataBase*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 10 Maret 2026

Yang menyatakan

(Izhak Obrian Pasaribu)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Hutapardomuan Pada tanggal 20 Oktober 2003 dari Ayah Matnur Pasaribu dan Ibu Nursinta Sihombing Penulis merupakan putra ke 1. Tahun 2021 Penulis lulus dari SMA Negeri 2 Siabu dan pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan penulis mengikuti Pertukaran Mahasiswa Merdeka Batch 3 pada tahun 2023 dan juga mengikuti Magang Studi Independen Bersertifikat Batch 7 di Direktorat Perumahan Kementerian PUPR pada tahun 2024, pada tahun 2025 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Pembangunan Konstruksi Gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik dan juga penerima Beasiswa Bank Indonesia 2025.



KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Teknologi bangunan tahan gempa dengan judul Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung Onkologi Melalui Pendekatan Statik Nonlinier *Pushover*. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T., pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini, Ibu Tika Ernita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Kedua Orang Tua saya Bapak Matnir Pasaribu dan Ibunda Tercinta Nursinta Mawati Sihombing yang selalu menyemangati dan mendoakan saya dan menyakinkan bahwa saya bisa lulus tepat waktu dan selalu mengingatkan saya untuk tetap berpegang teguh pada pengharapan kepada Yesus Kristus, dan saya juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh keluarga besar saya yang membantu saya dalam perkuliahan ini dan menyemangati dan mendoakan saya, dan saya juga mengucapkan banyak terimakasih kepada seluruh teman saya yang ada di perkuliahan yang selalu membantu saya dalam perkuliahan kepada teman kost saya dan juga teman saya yang dikampung yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

(Izhak Obrian Pasaribu)

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi, sehingga bangunan dengan fungsi vital seperti rumah sakit harus memiliki kinerja seismik yang andal agar tetap dapat beroperasi setelah terjadi gempa. Gedung Onkologi sebagai rumah sakit rujukan nasional memiliki peran strategis dalam pelayanan kesehatan, sehingga evaluasi kinerja seismik strukturnya menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur Gedung Onkologi terhadap beban gempa menggunakan metode analisis statik *nonlinier pushover*. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS berdasarkan gambar dan data struktur eksisting. Pembebanan yang diterapkan meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Evaluasi kinerja seismik dilakukan berdasarkan pedoman ATC-40 dengan meninjau kurva kapasitas, *nilai base shear*, *roof displacement*, *story displacement*, *story drift*, *story drift ratio*, serta pola pembentukan sendi plastis pada elemen struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas gaya geser dasar maksimum yang dapat ditahan struktur sebesar 25096,56 kN pada arah X dengan simpangan puncak 0,157507 m, sedangkan pada arah Y sebesar 15494,58 kN dengan simpangan 0,116117 m. Nilai *displacement* maksimum terjadi pada lantai atas dengan nilai 157,742 mm pada arah X dan 116,544 mm pada arah Y. Sementara itu, *nilai story drift* maksimum sebesar 6,853 mm pada arah X dan 4,064 mm pada arah Y. Nilai *drift ratio* maksimum yang diperoleh adalah 0,376% pada arah X dan 0,344% pada arah Y, yang masih berada di bawah batas 1% sesuai kriteria ATC-40. Distribusi sendi plastis menunjukkan mekanisme keruntuhan yang terkendali dan simpangan antar lantai tidak melampaui batas yang ditetapkan. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, tingkat kinerja struktur Gedung Onkologi berada pada kategori *Immediate Occupancy (IO)* yang menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam kondisi aman dan dapat tetap digunakan setelah mengalami pembebanan gempa dengan kerusakan pada elemen struktur yang relatif kecil.

Kata Kunci: Struktur Gedung, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, Analisis *Pushover*, Kinerja Seismik, ATC- 40.

ABSTRACT

Indonesia is a region with a high level of seismic activity; therefore, buildings with vital functions such as hospitals must have reliable seismic performance so that they can continue operating after an earthquake occurs. The Oncology Building of, as a national referral hospital, plays a strategic role in health services, making the evaluation of its structural seismic performance very important. This study aims to evaluate the seismic performance of the Oncology Building structure under earthquake loads using the nonlinear static pushover analysis method. The structural modeling was carried out using ETABS software based on the existing structural drawings and data. The applied loads include dead loads, live loads, and earthquake loads referring to SNI 1726:2019 and SNI 1727:2020. The seismic performance evaluation was conducted based on the ATC-40 guidelines by reviewing the capacity curve, base shear value, roof displacement, story displacement, story drift, story drift ratio, and the pattern of plastic hinge formation in structural elements. The analysis results show that the maximum base shear capacity that can be resisted by the structure is 25096.56 kN in the X direction with a roof displacement of 0.157507 m, while in the Y direction it is 15494.58 kN with a displacement of 0.116117 m. The maximum displacement occurs at the top floor with a value of 157.742 mm in the X direction and 116.544 mm in the Y direction. Meanwhile, the maximum story drift is 6.853 mm in the X direction and 4.064 mm in the Y direction. The maximum drift ratio obtained is 0.376% in the X direction and 0.344% in the Y direction, which are still below the 1% limit according to the ATC-40 criteria. The distribution of plastic hinges indicates a controlled failure mechanism, and the inter-story displacement does not exceed the specified limit. Based on these evaluation results, the structural performance level of the Oncology Building is in the Immediate Occupancy (IO) category, indicating that the structure remains in a safe condition and can still be used after experiencing earthquake loading with relatively minor damage to structural elements.

Keywords: *Building Structure, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 Pushover Analysis, Seismic Performance, ATC- 40.*

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu.....	7
2.3 Gempa Bumi.....	8
2.3.1 Definisi Gempa Bumi	8
2.3.2 Proses Terjadinya Gempa Bumi	9
2.4 Analisis Gaya Gravitasi.....	10
2.4.1 Beban Mati (DL)	10
2.4.2 Beban Hidup.....	11
2.4.3 Beban Gempa Statik Ekuivalen.....	12
2.5 Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen Pembebanan Gempa merujuk pada standar SNI 1726:2019	12
2.5.1 Menentukan Parameter Percepatan Batuan Dasar, yaitu S_s (pada periode pendek) dan S_1 (pada periode pendek).....	13
2.5.2 Menentukan Koefisien Situs, F_a dan F_v	14
2.5.3 Menentukan Parameter Respon Spektrum Desai	14
2.5.4 Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan	15
2.5.5 Kategori Desain Seismik	16
2.5.6 Sistem Rangka Pemikul Momen	17
2.5.7 Spektrum Respons Desain	18
2.5.8 Waktu Getar Alami Struktur	20
2.5.9 Gaya Geser Dasar (Gaya <i>Lateral</i> Ekuivalen)	21
2.5.10 Gaya Vertikal dan <i>Horizontal</i> Gempa Statik Ekuivalen....	22

2.6	Analisis Statik Non-Linear (<i>Pushover Analysis</i>).....	23
2.6.1	Kurva Kapasitas.....	24
2.7	Dasar Teori Evaluasi Kinerja Seismik.....	27
2.8	Prinsip Dasar Analisis <i>Pushover</i>	31
2.9	Parameter Utama Dalam Analisis <i>Pushover</i>	32
2.10	Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis	33
2.11	Perangkat Lunak ETABS dalam Analisis Struktur	35
2.12	Keunggulan dan Keterbatasan Dibandingkan Perangkat Lunak Lain.....	35
2.13	Standar dan Pedoman Terkait.....	36
2.13.1	Pedoman ATC-40 Dalam Evaluasi Kapasitas Struktur .	36
2.13.2	Batasan Deformasi (<i>Drift</i>) Metode ATC-40	37
2.13.3	<i>Level</i> Kinerja Struktur Metode ATC-40	37
2.14	SNI 1726:2019 Tentang Perencanaan Ketahanan Gempa.....	40
BAB III	TINJAUAN PUSTAKA	42
3.1	Metode Penelitian.....	42
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	42
3.3	Alat Penelitian	43
3.4	Bahan Penelitian.....	43
3.5	Analisis Data	44
3.5.1	Proses Pemodelan Ulang dengan ETABS.....	44
3.6	Kerangka Berfikir.....	64
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65
4.1	Pembebanan.....	65
4.1.1	Perhitungan Beban Mati pada Pelat.....	65
4.1.2	Perhitungan Beban Mati Tambahan Pada Balok (SIDL).....	66
4.1.3	Beban Hidup (QLL)	67
4.1.4	Berat Per Lantai.....	67
4.1.5	Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen	69
4.2	Hasil Simulasi Analisis <i>Pushover</i> Menggunakan ETABS	76
4.2.1	Kurva Kapasitas (<i>Pushover Curve</i>).....	77
4.2.2	Tahap Progresi hingga Munculnya Sendi Plastis	79
4.2.3	<i>Story Displacement</i>	83
4.2.4	<i>Story drift</i>	86
4.2.5	<i>Story drift Ratio</i>	88
4.3	Pembahasan	89
4.3.1	Analisis Kurva Kapasitas	89
4.3.2	Penilaian Kinerja Keamanan Struktur	90
4.3.3	Evaluasi Keamanan Struktur	92
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	95
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	96
	DAFTAR PUSTAKA	xv

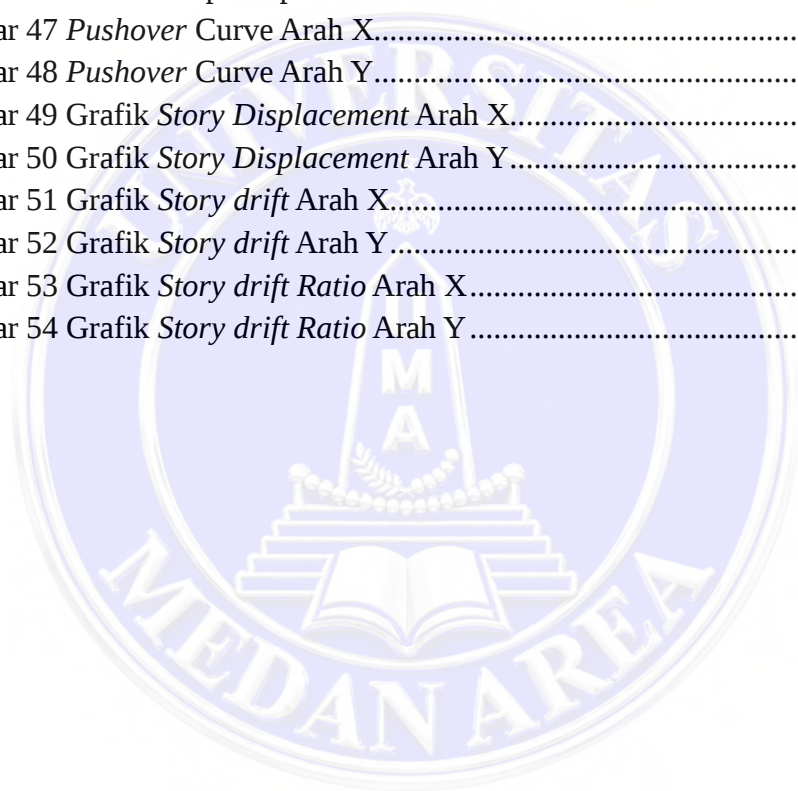
DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu.....	7
Tabel 2 Beban mati berdasarkan bahan bangunan.....	10
Tabel 3 Klasifikasi kelas situs	11
Tabel 4 Klasifikasi kelas situs	12
Tabel 5 Koefisien situs, Fa	14
Tabel 6 Koefisien situs, Fv	14
Tabel 7 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa..	15
Tabel 8 Faktor keutamaan gempa.....	16
Tabel 9 Desain seismik mengacu pada <i>respons</i> percepatan periode pendek.....	17
Tabel 10 Desain seismik mengacu pada <i>respons</i> percepatan 1 detik	17
Tabel 11 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.....	18
Tabel 12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.....	20
Tabel 13 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x	20
Tabel 14 Tingkat Kinerja Seismik	28
Tabel 15 Hasil Evaluasi Analisis <i>Pushover</i>	32
Tabel 16 Parameter Utama dalam Analisis <i>Pushover</i>	33
Tabel 17 Jenis dan Karakteristik Sendi Plastis	34
Tabel 18 Perbandingan SAP 2000 dengan Perangkat Lunak Lain	36
Tabel 19 <i>Deformation Limits</i> Table 11-2 ATC-40 Volume I	37
Tabel 20 <i>Level</i> kinerja bangunan	39
Tabel 21 Beban Mati Qdl lantai <i>Basement</i>	65
Tabel 22 Beban Mati Qdl lantai 1 - 8	65
Tabel 23 Beban Mati Qdl Atap <i>Deck</i> dan <i>Roof Deck</i>	66
Tabel 24 Perhitungan Beban Mati Tambahan Dinding <i>Basement</i> dan <i>Roof Deck</i>	66
Tabel 25 Perhitungan Beban Mati Tambahan Dinding lantai 1.....	66
Tabel 26 Perhitungan Beban Mati Tambahan Dinding lantai 2,3,5,6,7,8.....	67
Tabel 27 Perhitungan Beban Mati Tambahan Dinding lantai 4.....	67
Tabel 28 Perhitungan Berat Lantai 1	67
Tabel 29 Perhitungan Berat Lantai 2 hingga <i>Roof Deck</i>	69
Tabel 30 Respon Spektrum Rencana.....	72
Tabel 31 <i>Pushover Curve</i> Arah-X	83
Tabel 32 Tabel 30 <i>Pushover Curve</i> Arah-Y	86
Tabel 33 Nilai <i>Displacement</i> Arah X dan Y	83
Tabel 34 Nilai <i>Story drift</i> Arah X dan Y.....	86
Tabel 35 Nilai <i>Story drift Ratio</i> X dan Y.....	88
Tabel 36 Hasil Penilaian Kinerja Struktur.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta gempa tahun 2017 menunjukkan percepatan spektrum <i>respons</i> 0,2 detik pada batuan dasar (SB) yang terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%	13
Gambar 2 Peta sumber dan bahaya gempa 2017 menampilkan percepatan spektrum <i>respons</i> untuk periode 1,0 detik dengan redaman 5% pada batuan dasar (SB) yang memiliki probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.	13
Gambar 3 Spektrum <i>respons</i> desain	19
Gambar 4 Kurva Kapasitas ATC-40 Volume I Figure 8-1.....	25
Gambar 5 Modifikasi Format Respon Percepatan Ke Format ADRS ATC-40 Volume I Figure 8-6.....	27
Gambar 6. Spektrum kapasitas untuk penentuan <i>level</i> kinerja ATC -40	29
Gambar 7 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastik	35
Gambar 8 Ilustrasi Keruntuhan Gedung dan <i>Level</i> Kinerjanya.....	38
Gambar 9 Lokasi Penelitian	43
Gambar 10 Tampilan Model <i>Initialization Box</i>	45
Gambar 11 Tampilan <i>Input</i> Pada <i>Quick Templates</i>	45
Gambar 12 Tampilan <i>Input Grid System Data</i>	45
Gambar 13 Tampilan <i>Input Story Data</i>	46
Gambar 14 Tampilan <i>Add Material Property Rebar</i>	47
Gambar 15 Tampilan <i>Add Material Property Concrete</i>	47
Gambar 16 Tampilan <i>Input</i> Untuk Penampang Balok	48
Gambar 17 <i>Reinforcement</i> Data Untuk Penampang Balok.....	48
Gambar 18 Tampilan <i>Input</i> Untuk Penampang Kolom.....	49
Gambar 19 <i>Reinforcement</i> Data Untuk Penampang Kolom	49
Gambar 20 Tampilan <i>Input</i> Penampang Pelat	50
Gambar 21 <i>Property Of Object</i> untuk Kolom	51
Gambar 22 Penggambaran Elemen Kolom	51
Gambar 23 <i>Property Of Object</i> Untuk Balok.....	52
Gambar 24 3D View dan <i>Plan View</i> Untuk Balok.....	52
Gambar 25 <i>Property Of Object</i> Untuk Pelat	53
Gambar 26 Penggambaran Elemen Pelat	53
Gambar 27 <i>Joint Assignment</i>	54
Gambar 28 <i>Define Static Load Pattern</i>	54
Gambar 29 <i>Input</i> Beban Mati Pada Balok.....	55
Gambar 30 <i>Input</i> Beban Hidup Pada Balok	55
Gambar 31 <i>Input</i> Beban Mati Tambahan Pada Balok	56
Gambar 32 <i>Input</i> Beban Mati Pada Pelat	56
Gambar 33 <i>Input</i> Beban Hidup Pada Pelat.....	57
Gambar 35 <i>Hinges Property</i> Balok	58

Gambar 34 <i>Hinges Property</i> Kolom.....	58
Gambar 36 Pendefenisian <i>Hinges</i> Kolom dan Balok	59
Gambar 37 <i>Diaphragms</i>	59
Gambar 38 <i>Input Diaphragms</i>	60
Gambar 39 <i>Define Load Pattern Lateral</i> X dan Y	61
Gambar 40 <i>Input Lateral Load</i> Arah-X.....	61
Gambar 41 <i>Input Lateral Load</i> Arah-Y.....	62
Gambar 42 <i>Define Static Load Cases</i>	63
Gambar 43 Setting Final <i>Pushover</i> Arah-X	63
Gambar 44 Setting Final <i>Pushover</i> Arah-Y	63
Gambar 45 Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 46 Grafik Respon Spektrum Rencana	74
Gambar 47 <i>Pushover</i> Curve Arah X.....	78
Gambar 48 <i>Pushover</i> Curve Arah Y.....	78
Gambar 49 Grafik <i>Story Displacement</i> Arah X.....	84
Gambar 50 Grafik <i>Story Displacement</i> Arah Y.....	84
Gambar 51 Grafik <i>Story drift</i> Arah X.....	86
Gambar 52 Grafik <i>Story drift</i> Arah Y.....	87
Gambar 53 Grafik <i>Story drift Ratio</i> Arah X.....	89
Gambar 54 Grafik <i>Story drift Ratio</i> Arah Y	88



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang berpotensi menimbulkan kerusakan serius pada bangunan dan membahayakan keselamatan manusia, terutama di negara dengan aktivitas tektonik tinggi seperti Indonesia (Christianto et al., 2021). Letak geografis Indonesia pada zona pertemuan lempeng menyebabkan frekuensi kejadian gempa relatif tinggi setiap tahunnya. Data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mencatat lebih dari 11.000 kejadian gempa selama tahun 2023 yang sebagian terjadi di wilayah padat penduduk. Kondisi tersebut meningkatkan risiko kerusakan pada bangunan apabila struktur tidak dirancang dengan ketahanan seismik yang memadai. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa menjadi langkah penting untuk memastikan keamanan bangunan serta meminimalkan potensi kerugian akibat bencana seismic (Nasution & Fauzan, 2024).

Kota Medan sebagai ibu kota Provinsi Sumatera Utara termasuk wilayah yang memiliki potensi bahaya gempa cukup tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh keberadaan sumber gempa aktif seperti Sesar Renun serta zona subduksi di sepanjang pantai barat Sumatera (Rahayu et al., 2022). Selain menjadi pusat kegiatan ekonomi, Kota Medan juga berperan sebagai pusat layanan kesehatan regional yang melayani masyarakat dari berbagai daerah di Sumatera bagian utara. Salah satu fasilitas kesehatan utama adalah Gedung Onkologi yang berfungsi sebagai rumah sakit rujukan nasional. Sebagai bangunan dengan fungsi vital, struktur rumah sakit harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi agar tetap

mampu beroperasi ketika terjadi gempa sehingga keselamatan pasien dan tenaga medis tetap terjamin (Aranta et al., 2025).

Penilaian kinerja struktur pascagempa menjadi aspek yang sangat penting terutama pada bangunan fasilitas kesehatan yang harus tetap beroperasi setelah terjadi bencana. Penelitian sebelumnya pada bangunan rumah sakit di Lampung menunjukkan bahwa analisis pushover mampu mengungkap kondisi aktual elemen-elemen struktur yang secara visual tampak stabil namun sebenarnya telah memasuki zona plastis saat menerima beban gempa besar (Ragat Aji Mustofa, 2025). Nugraha (2021) menjelaskan bahwa pendekatan nonlinier mampu merepresentasikan perilaku struktur secara lebih realistis dibandingkan analisis linier, karena mempertimbangkan kondisi plastis yang mungkin terjadi pada elemen struktur ketika menerima beban gempa yang besar.

Penilaian kinerja seismik dalam rekayasa struktur bertujuan memastikan bangunan tetap memenuhi standar keselamatan saat mengalami guncangan gempa (Nurhidayatullah & Ardiyanto, 2025). Penelitian ini menerapkan analisis pushover berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan ATC-40 melalui evaluasi kurva pushover, story displacement, story drift, serta story drift ratio pada Gedung Onkologi sebagai fasilitas pelayanan kesehatan. Berbeda dengan bangunan umum, rumah sakit harus tetap beroperasi saat dan setelah gempa sehingga menuntut tingkat keandalan struktur yang lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai kinerja seismik bangunan rumah sakit serta menjadi referensi dalam evaluasi dan perencanaan struktur di wilayah rawan gempa (Nascimbene et al., 2025).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana kinerja seismik struktur Gedung Onkologi RUSP H. Adam Malik Medan terhadap beban gempa berdasarkan hasil analisis Statik nonlinier (*pushover*) menggunakan perangkat lunak ETABS.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur Gedung Onkologi RUSP H. Adam Malik Medan terhadap beban gempa berdasarkan hasil analisis Statik nonlinier (*pushover*) menggunakan perangkat lunak ETABS.

1.4 Batasan Masalah

Analisis *pushover* ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada evaluasi kinerja seismik struktur utama gedung Onkologi RUSP H. Adam Malik Medan, menggunakan metode Statik nonlinier *pushover* dengan bantuan perangkat lunak ETABS.
2. Analisis dilakukan berdasarkan standar perencanaan gempa SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 serta menggunakan kriteria kinerja dari dan ATC-40.
3. Kinerja struktur dinilai melalui kurva kapasitas, pergeseran antar lantai (*Story drift*), rasio pergeseran lantai, besaran *displacement*, dan proses terbentuknya sendi plastis.
4. Pembebanan yang diterapkan mencakup:
 - a. Beban mati, yaitu berat sendiri struktur bangunan.

- b. Beban hidup, disesuaikan dengan fungsi gedung sesuai ketentuan (SNI 1727:2020).
 - c. Beban *Lateral*, berupa beban gempa yang dihitung mengacu pada (SNI 1726:2019).
 - d. Peraturan pembebanan mengacu pada ketentuan pembebanan Indonesia untuk rumah dan gedung (SNI 03-1727-1989).
5. Klasifikasi kinerja struktur bangunan dilakukan dengan mempertimbangkan nilai maksimum *Story drift*, sehingga dapat menentukan apakah struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, atau *Collapse Prevention (CP)*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan sebagai berikut:

1. Untuk penulis, penelitian ini memberikan kesempatan untuk meningkatkan keterampilan dalam mengoperasikan program ETABS dalam merancang struktur beton portal tiga dimensi, serta memperluas pemahaman mengenai metode analisis Statik *pushover* di bidang teknik sipil.
2. Untuk Pembaca, Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca tentang analisis Statik *pushover* untuk menilai perilaku struktur saat gempa, serta menjadi referensi bagi studi lanjutan terkait kinerja seismik bangunan.
3. Untuk praktisi, evaluasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar pertimbangan dalam merencanakan, memperbaiki, atau memperkuat struktur bangunan agar tetap aman saat terjadi gempa bumi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah hasil dari penelitian terdahulu :

1. Valencia J. M. Bernardus et al. (2025) melakukan evaluasi kinerja struktur Gedung Rumah Sakit Umum Monompia Kotamobagu menggunakan analisis *pushover*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur rumah sakit terhadap beban gempa berdasarkan standar ASCE 41-17 dan SNI 1726:2019. Metode yang digunakan adalah pemodelan struktur eksisting dengan perangkat lunak SeismoStruct dan analisis *pushover* untuk menghasilkan kurva kapasitas serta identifikasi elemen kritis. Hasil penelitian menunjukkan struktur mampu mencapai kriteria *Immediate Occupancy*, dengan beberapa elemen memerlukan perkuatan, sehingga secara umum gedung layak dan aman terhadap beban gempa.
2. Ragat Aji Mustofa et al. (2024) melakukan evaluasi kinerja struktur Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung dengan metode analisis *pushover*. Tujuan penelitian ini adalah menilai tingkat kinerja seismik bangunan bertingkat rumah sakit terhadap beban gempa sesuai standar ATC-40. Penelitian menggunakan pemodelan struktur eksisting dan analisis *pushover* dengan software SAP2000. Hasil penelitian menunjukkan gedung memenuhi *level Immediate Occupancy* dengan nilai *drift* dan *displacement* dalam batas aman, sehingga struktur dinyatakan layak menahan gempa.
3. Fauzan et al. (2024) melakukan evaluasi tingkat kinerja struktur *Gedung Business Center Research & Technology Center* Terintegrasi Pertamina Jakarta menggunakan *pushover analysis*. Tujuan penelitian ini adalah menilai tingkat

keamanan dan daktilitas struktur terhadap dua skenario gempa berdasarkan ASCE 41-17. Penelitian dilakukan dengan pemodelan struktur menggunakan ETABS dan analisis *pushover* pada dua skenario gempa. Hasil penelitian menunjukkan gedung mampu menahan beban gempa pada *level Immediate Occupancy* untuk skenario BSE-1E dan *level Damage Control* untuk BSE-2E, dengan nilai daktilitas yang baik dan simpangan masih dalam batas aman.

4. Syahira et al. (2023) melakukan analisis kinerja struktur atas pada sebuah gedung perkantoran di Kota Padang dengan menerapkan metode *pushover* yang mengacu pada pedoman ATC-40. Penilaian kinerja dilakukan untuk meninjau *respons* struktur terhadap beban gempa pada tingkat *Maximum Considered Earthquake* (MCER) serta *Design Basis Earthquake* (DBE). Dari hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa desain struktur menunjukkan performa yang baik dalam menahan beban gempa besar dan telah memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan oleh ATC-40.
5. Hutubessy (2022) melakukan evaluasi kinerja struktur Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon terhadap beban gempa menggunakan metode *pushover*. Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan struktur gedung dalam menahan beban gempa besar. Analisis dilakukan dengan metode *pushover* nonlinier menggunakan SAP2000. Hasil penelitian menunjukkan struktur mampu menahan gaya gempa hingga 615,53 ton dan nilai *drift* dalam batas *Immediate Occupancy*, sehingga gedung dinyatakan aman secara structural.
6. Nur et al.(2021) mengevaluasi kinerja struktur beton Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Unair Surabaya dengan metode *pushover*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat daktilitas dan *level* kinerja struktur gedung setelah

dianalisis beban gempa berdasarkan ATC-40 dan SNI 1726:2012. Metode yang digunakan adalah pemodelan struktur gedung eksisting dan simulasi *pushover* untuk memperoleh nilai *drift*, *displacement*, dan daktilitas. Hasil penelitian menunjukkan struktur gedung berada pada *level Immediate Occupancy*, dengan nilai *drift* dan *displacement* yang masih berada dalam batas aman, serta struktur tergolong elastis.

7. Fatkur Rizki dan Pujo Pamungkas (2021) membandingkan kinerja struktur baja dan beton bertulang pada Hotel Santika Batam dengan analisa *pushover* Statik nonlinier. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbedaan kinerja kedua sistem struktur terhadap beban gempa. Metode yang digunakan adalah analisis *pushover* dengan ETABS pada kedua tipe konstruksi. Hasil penelitian menunjukkan baik struktur baja maupun beton bertulang masih memenuhi *level Immediate Occupancy*, namun struktur baja memiliki kapasitas menahan gempa dan perpindahan atap yang lebih besar dibandingkan beton bertulang.

2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan antara hasil penelitian sebelumnya dengan penelitian ini dapat ditemukan pada Tabel 1. Studi-studi terdahulu memang telah mengkaji berbagai aspek yang berkaitan dengan topik ini, namun masih terdapat sejumlah perbedaan yang menjadi perhatian utama dalam penelitian yang sedang dilakukan saat ini.

Tabel 1. Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Perbedaan
1	Valencia J. M. Bernardus et al. (2025)	Evaluasi Kinerja Gedung Rumah Sakit 3 Lantai Di Kotamobagu Dengan Metode Analisis <i>Pushover</i>	Objek yang diteliti adalah Gedung Rumah Sakit, 3 lantai di Kotamobagu. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.
2	Ragat Aji Mustofa et al. (2024)	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis <i>Pushover</i> (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)	Objek yang diteliti adalah Gedung Rumah Sakit, 6 lantai di Lampung. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.

No	Penulis	Judul Penelitian	Perbedaan
3	Fauzan et al. (2024)	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan <i>Pushover Analysis</i>	Objek yang diteliti adalah <i>Gedung Business Center Research & Technology Center</i> Terintegrasi Pertamina, 8 lantai di Jakarta. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.
4	Syahira et al. (2023)	Evaluasi kinerja struktur atas pada desain gedung perkantoran menggunakan analisis <i>pushover</i> berdasarkan atc-40 terhadap beban gempa <i>level</i> besar (<i>maximum considered earthquake, risk targeted</i>)	Objek yang diteliti adalah Gedung Perkantoran, 4 lantai. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.
5	Hutubessy (2022)	Evaluasi Kinerja Stuktur Gedung Bpjs Kesehatan Cabang Ambon Terhadap Gempa Dengan Metode <i>Pushover</i>	Objek yang diteliti adalah Gedung BPJS Kesehatan, 4 lantai di Ambon. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.
6	Nur et al. (2021)	Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Perikanan Dan Kelautan Unair Surabaya Dengan Metode <i>Pushover Analysis</i>	Objek yang diteliti adalah Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Unair, 4 lantai di Surabaya. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.
7	Fatkur Rizki et al. (2021)	Analisis Kinerja Struktur Pada Konstruksi Baja Dan Konstruksi Beton Bertulang Dengan Analisa <i>Pushover</i> Statik Non-Linear Menggunakan Software ETABS	Objek yang diteliti adalah Hotel Santika Batam, 10 lantai di Batam. Sedangkan penulis meneliti gedung Onkologi RSUP H. Adam Malik 8 lantai di Medan.

2.3 Gempa Bumi

2.3.1 Definisi Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam kerak bumi (Chalif, 2024), biasanya disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik, aktivitas gunung berapi, atau runtuhnya batuan di bawah permukaan tanah. Energi yang dilepaskan menyebabkan gelombang seismik yang dapat dirasakan hingga ke permukaan dan berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan maupun lingkungan sekitar. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempa bumi dapat terjadi kapan saja dan di mana saja, terutama di wilayah yang berada pada pertemuan lempeng tektonik aktif seperti Indonesia.

2.3.2 Proses Terjadinya Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di wilayah-wilayah tertentu, khususnya di daerah yang berada pada zona pertemuan lempeng tektonik. Untuk memahami bagaimana gempa bumi dapat terjadi, berikut adalah tahapan proses terjadinya gempa bumi secara umum:

1. Akumulasi Energi di Dalam Bumi

Di dalam kerak bumi, lempeng-lempeng tektonik saling bergerak dan saling menekan satu sama lain. Akibat pergerakan ini, energi elastis secara perlahan terakumulasi di sepanjang zona patahan atau pertemuan lempeng.

2. Peningkatan Tegangan di Zona Patahan

Tekanan dan tegangan yang terus meningkat menyebabkan batuan di sekitar zona patahan menjadi semakin rapuh dan rentan pecah.

3. Pelepasan Energi secara Tiba-tiba

Ketika tegangan telah melampaui kekuatan batuan, terjadi pelepasan energi secara tiba-tiba. Energi ini dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik yang merambat ke segala arah dari titik pusat gempa (hiposenter).

4. Getaran Mencapai Permukaan Bumi

Gelombang seismik yang dihasilkan tersebut bergerak menuju permukaan bumi dan menimbulkan getaran yang dapat dirasakan oleh manusia serta menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan.

5. Pusat dan Episentrum Gempa

Titik di dalam bumi tempat energi dilepaskan disebut hiposenter, sedangkan titik di permukaan bumi tepat di atas hiposenter disebut episentrum, yang biasanya mengalami dampak getaran terkuat.

Wilayah di sekitar episentrum sering kali mengalami kerusakan paling parah, tergantung pada kedalaman dan kekuatan gempa yang terjadi.

2.4 Analisis Gaya Gravitasi

Analisis gaya gravitasi merupakan kajian terhadap gaya-gaya yang bekerja secara vertikal pada struktur bangunan akibat berat sendiri (beban mati), beban hidup, dan beban tambahan lainnya yang bersifat tetap maupun sementara.

2.4.1 Beban Mati (DL)

Beban mati merupakan berat seluruh elemen bangunan yang bersifat permanen, termasuk komponen tambahan, finishing, mesin, dan peralatan tetap yang menjadi bagian integral dari gedung tersebut (PPIUG, 1983). Nilai beban mati berdasarkan jenis bahan bangunan pada bangunan gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Beban mati berdasarkan bahan bangunan (PPIUG: 1983 tabel 2.1)

Bahan bangunan	Besar beban
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2600 kg/ m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/ m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/ m ³
Batu pecah	1.450 kg/ m ³
Besi tuang	7.250 kg/ m ³
Beton	2.200 kg/ m ³
Beton bertulang	2.400 kg/ m ³
Kayu (kelas 1)	1.000 kg/ m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/ m ³
Pasangan batu merah	1.700 kg/ m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/ m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/ m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/ m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.650 kg/ m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/ m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/ m ³
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/ m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/ m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/ m ³
Komponen Gedung	
Adukan per cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Adukan per cm tebal dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/ m ²
Dinding pasangan batu merah satu bata	450 kg/ m ²
Dinding pasangan batu merah setengah bata	250 kg/ m ²

Bahan bangunan	Besar beban
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/ m ²
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/ m ²
Tanpa lubang tebal dinding 15 cm	300 kg/ m ²
Tanpa lubang tebal dinding 10 cm	200 kg/ m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku untuk semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis) dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/ m ²
Untuk kaca, dengan tebal 3-4 mm	10 kg/ m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit bentang maksimum 5 m dan beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/ m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/ m ²
Komponen Gedung	Besar beban
Penutup atap genteng dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50 kg/ m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/ m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/ m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/ m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 g/ m ²

2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang muncul dari aktivitas penghuni dan penggunaan gedung, seperti benda bergerak, mesin, atau peralatan yang tidak permanen dan dapat diganti selama masa pakai bangunan. Beban ini dapat berubah-ubah dan memengaruhi lantai serta atap, termasuk beban air hujan pada atap, namun tidak mencakup beban angin, gempa, atau beban khusus (PPIUG 1983). Penentuan beban hidup sangat penting dalam perencanaan struktur agar bangunan tetap aman dan optimal, dengan nilai beban hidup untuk lantai tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi kelas situs (SNI:2019 tabel 5)

Beban hidup pada lantai gedung	Besar beban
Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang yang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/ m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/ m ²
Lantai ruang olahraga	400 kg/ m ²
Lantai ruang dansa	500 kg/ m ²
Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan lain lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pertunjukan, ruang rapat, bioskop dan panggung dengan tempat duduk tetap	400 kg/ m ²
Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk Beban hidup pada lantai gedung	500 kg/ m ²
Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam c	Besar beban 300 kg/ m ²

Beban hidup pada lantai gedung	Besar beban
Tangga, bordes tangga, gang yang disebut dalam d, e, f, dan g	500 kg/ m ²
Lantai ruang pelengkap yang disebut dalam c, d, e, f, dan g	250 kg/ m ²
Lantai untuk pabrik, bengkel: gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan sendiri, dengan minimum	400 kg/ m ²
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah	800 kg/ m ²
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/ m ²
Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap lantai hidup dari ruang yang berbatasan dengan minimum	300 kg/ m ²

2.4.3 Beban Gempa Statik Ekuivalen

Analisis Statik meliputi metode analisis Statik ekuivalen dan analisis Statik

pushover. Dengan klasifikasi kelas situs pada table 5.

Tabel 4 Klasifikasi kelas situs (SNI:2019 tabel 5)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	7500 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:			
1. Indeks plastisitas, $P_I > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ 3. Kuat geser nirair $\bar{s}_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis <i>respons</i> spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, empung sangat sensitiv, tanah tersentasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $h > 3$ m) - Lempung berplastisitas lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

2.5 Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen Pembebanan Gempa

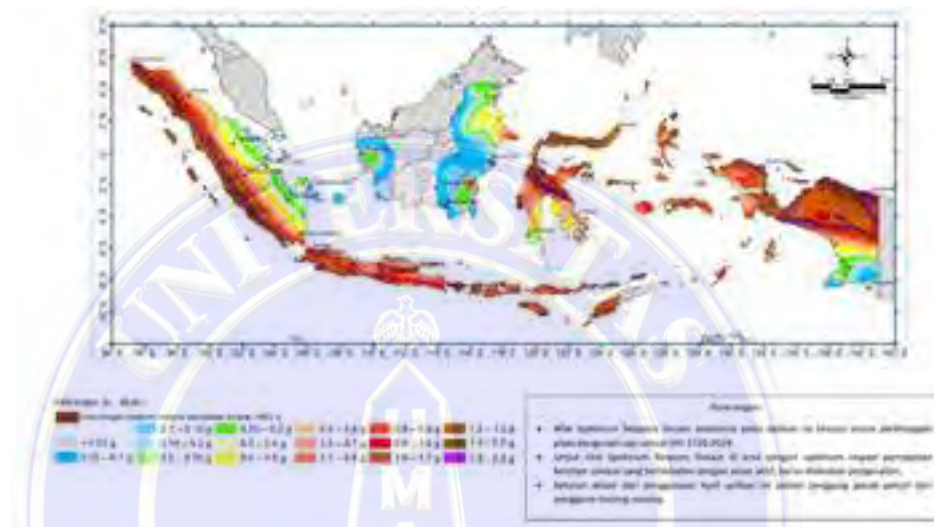
merujuk pada standar SNI 1726:2019

Untuk melakukan perhitungan beban gempa Statik ekuivalen sesuai dengan

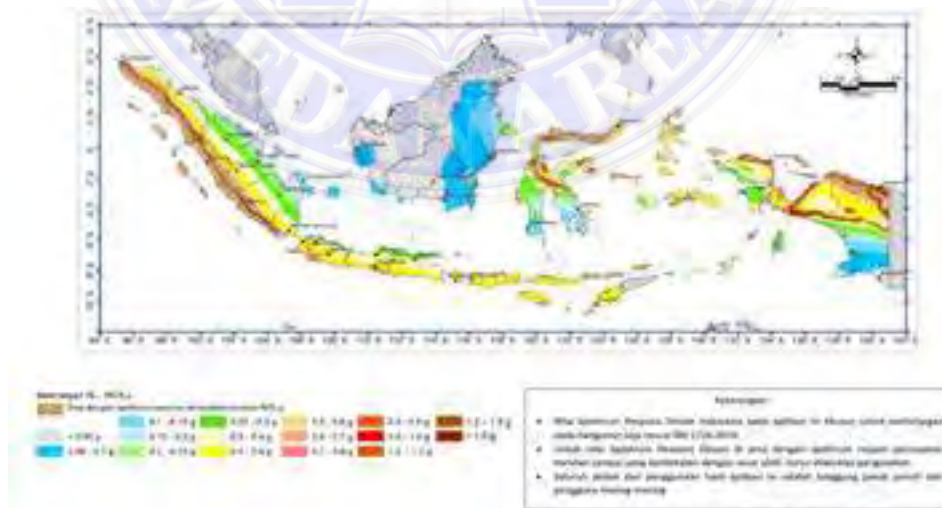
SNI 1726:2019, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

2.5.1 Menentukan Parameter Percepatan Batuan Dasar, yaitu S_s (pada periode pendek) dan S_1 (pada periode pendek)

Parameter SS dan S_1 diambil dari peta respon spektral percepatan untuk periode 0,2 detik dan 1 detik (Gambar 1 dan 2), Nilai tersebut dapat dilihat pada peta gempa tahun 2017 berikut.



Gambar 1 Peta gempa tahun 2017 menunjukkan percepatan spektrum *respons* 0,2 detik pada batuan dasar (SB) yang terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%.



Gambar 2 Peta sumber dan bahaya gempa 2017 menampilkan percepatan spektrum *respons* untuk periode 1,0 detik dengan redaman 5% pada batuan dasar (SB) yang memiliki probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.

2.5.2 Menentukan Koefisien Situs, F_a dan F_v

Perhitungan *respons* spektral percepatan tanah menggunakan faktor F_a dan F_v , lalu nilai SMS dan SM1 disesuaikan dengan jenis situs berdasarkan rumus di Tabel 5 dan 6 (SNI 1726:2019).

Tabel 5 Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2019 tabel 6)

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

Tabel 6 Koefisien situs, F_v (SNI 1726:2019)

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

2.5.3 Menentukan Parameter Respon Spektrum Desain

Parameter *respons* spektrum periode pendek (SMs) dinyatakan dalam Persamaan 1 berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (1)$$

Percepatan *respons* spektrum untuk periode 1 detik (SM1) dinyatakan dalam Persamaan 2 berikut.

$$SM_1 = F_v \cdot S_1 \quad (2)$$

Percepatan spektral desain pada periode pendek (SDS) dapat dilihat pada Persamaan 3 berikut.

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

Parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik (SD1) dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (4)$$

Keterangan

S_s = Parameter *respons* spektral percepatan gempa MCER yang dipetakan pada periode pendek

S_s = Parameter *respons* spektral percepatan gempa MCER yang dipetakan pada periode 1,0 detik.

2.5.4 Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Risiko struktur gedung dan non-gedung terhadap gempa rencana harus dikalikan faktor keutamaan gempa (I_e). Untuk bangunan yang bersebelahan, desain harus mengikuti kategori sesuai SNI 1726-2019. Penentuan risiko dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019 tabel 3)

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 Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam Kategori II, III, IV.	I
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 industry - Fasilitas manufaktur	II

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan termasuk tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pentipan anak - Penjara - Bangunann untuk Orang Jompo	III
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan /atau massal terhadap kehidupan masyarakat sehari hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam 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 dimana jumlah kandungan bahayanya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya. - 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 air atau <i>Material</i> atau peralatan pemadam kebakaran) Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Penentuan faktor keutamaan gempa harus disesuaikan dengan kategori risiko struktur bangunan, sesuai nilai pada Tabel 8 (SNI 1726:2019).

Tabel 8 Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 tabel 4)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1,25
IV	1,50

2.5.5 Kategori Desain Seismik

Struktur harus dikategorikan ke dalam desain seismik sesuai risiko dan nilai

S1. Struktur dengan risiko I, II, atau III dan $S_1 \geq 0,75$ termasuk kategori desain seismik E. Struktur risiko IV dengan $S_1 \geq 0,75$ masuk kategori desain seismik F.

Setiap bangunan harus mengikuti kategori desain seismik terberat, tanpa memperhatikan nilai periode getaran T (lihat Tabel 9 dan 10, SNI 1726:2019).

Tabel 9 Desain seismik mengacu pada *respons* percepatan periode pendek (Tabel 8 SNI 1726:2019).

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

Tabel 10 Desain seismik mengacu pada *respons* percepatan 1 detik (Tabel 9 SNI 1726:2019).

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

2.5.6 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan struktur di mana balok, kolom, dan sambungan bersama-sama menahan gaya melalui aksi lentur, geser, dan aksial. sistem rangka pemikul momen terbagi tiga bagian yaitu sebagai berikut:

- 1 Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) memiliki daktilitas terbatas dan hanya sesuai untuk wilayah dengan risiko gempa rendah.
- 2 Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) adalah sistem dengan daktilitas sedang yang digunakan di wilayah berisiko gempa sedang. Kolomnya diharapkan mampu menahan geser, dan pendetailan harus mengikuti standar nasional struktur tahan gempa.
- 3 Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem berdaktilitas penuh yang wajib digunakan di daerah berisiko gempa tinggi, dengan prinsip strong column-weak beam, tahan geser, dan detail khusus.

Kombinasi sistem struktur pada sumbu orthogonal dapat memakai sistem pemikul gaya berbeda untuk menahan gempa, dengan nilai R , C_d , dan Ω_0 serta batasan sesuai Tabel 11 (SNI 1726:2019)

Tabel 11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi <i>respons</i> R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, hn (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
Sistem rangka pemikul momen				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	T	T	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	T	T	10 ^k	TI ^k	TI ^k
Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TI	TI	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	$5\frac{1}{2}$	48	48	30	TI	TI

2.5.7 Spektrum *Respons* Desain

Jika tata cara ini mensyaratkan spektrum *respons* desain dan digunakan prosedur gerak tanah spesifik lokasi, maka kurva spektrum *respons* desain harus disusun sesuai ketentuan berikut (SNI 1726:2019).

1. Untuk periode kurang dari T_0 , nilai spektrum *respons* percepatan desain (S_a) dihitung menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_o} \right) \quad (1)$$

2. Untuk periode yang bernilai antara T_o hingga T_s ($T_o \leq T \leq T_s$), nilai spektrum *respons* percepatan desain (S_a) adalah sama dengan S_{DS} .

3. Pada periode antara $T_s < T \leq T_L$, *respons* spektral percepatan desain (S_a) ditentukan dengan Persamaan 2

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

4. Untuk periode yang melebihi T_L , nilai *respons* spektral percepatan desain (S_a) dihitung menggunakan Persamaan 3 berikut.

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

Keterangan:

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

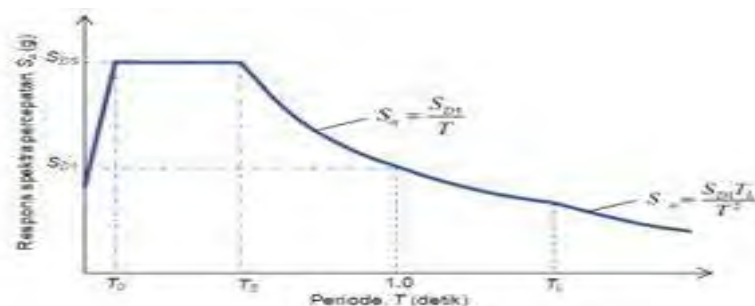
S_{D1} = parameter *respons* spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

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

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

T_L = Peta transisi periode panjang ditunjukkan gambar pada Gambar 3



Gambar 3 Spektrum *respons* desain (SNI 1726:2019)

2.5.8 Waktu Getar Alami Struktur

Periode fundamental struktur T harus dihitung berdasarkan sifat dan deformasi elemen pemikul, serta tidak boleh melebihi $CU \times Ta$. Sebagai alternatif, periode pendekatan Ta boleh langsung digunakan. Nilai CU dapat dilihat pada Tabel 12 (SNI 1726:2019).

Tabel 12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726:2019)

Parameter percepatan <i>respons</i> spectral desain pada 1 detik, SD1	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

Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam satuan detik ditentukan menggunakan persamaan 4 berikut (SNI 1726:2019).

$$T_a = C_t h_n^x \quad (4)$$

Keterangan:

H_n adalah tinggi struktur (m) dari lantai dasar hingga titik tertinggi gedung. Nilai C_t dan x , serta periode pendekatan, dijelaskan pada Tabel 13. H_n diukur dari elevasi lantai dasar hingga puncak lantai atau atap bangunan.

Tabel 13 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2019 tabel 18)

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

Perhitungan periode maksimum (T_{max}) dilakukan menggunakan

Persamaan 5 (SNI 1726:2019) berikut ini:

$$T_{\max} = C_u \cdot T_a \quad (5)$$

Melalui analisis dengan software, diperoleh nilai T_c untuk mode 1 dan mode 2.

Syarat periode struktur (T) yang digunakan:

Jika $T_c > T_{\max}$ maka yang dipakai adalah $T = T_{\max}$

Jika $T_a \leq T_c \leq T_{\max}$ maka yang dipakai adalah $T = T_c$ (terbesar)

Jika $T_c < T_a$ maka yang dipakai adalah $T = T_a$

2.5.9 Gaya Geser Dasar (Gaya *Lateral* Ekivalen)

Penentuan nilai koefisien *respons* seismik dilakukan dengan menghitungnya melalui Persamaan 6, 7, 8, 9, 10 berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (6)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan *respons* spektral desain dalam rentang periode pendek.

R = koefisien modifikasi *respons*

I_e = faktor keutamaan gempa

Syarat 1 apabila $T \leq T_L$, maka C_s tidak wajib melebihi nilai batasnya,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7)$$

Syarat 2 apabila $T > T_L$, maka C_s tidak wajib melebihi nilai batasnya,

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (8)$$

Syarat 3 untuk $S_1 \geq 0,6$ g, maka C_s wajib melebihi nilai dari

$$C_s = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (9)$$

C_s harus lebih dari

$$C_s = 0.044 S_{D1} I_e \geq 0$$

Keterangan

Dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan

S_{D1} = parameter percepatan *respons* spektral desain pada periode sebesar 0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan *respons* spektral maksimum yang ditetapkan

Penentuan gaya geser dasar seismik (V) untuk arah yang ditetapkan mengikuti Persamaan 10 (SNI 1726:2019).

$$V = C_s \cdot W \quad (10)$$

Keterangan

C_s = koefisien *respons* seismik yang ditentukan

W = berat seismik efektif

2.5.10 Gaya Vertikal dan *Horizontal* Gempa Statik Ekuivalen

Gaya seismik *Lateral* (F_x) pada setiap lantai didistribusikan berdasarkan persamaan 3.11, dengan memperhitungkan koefisien distribusi vertikal (C_{vx}) yang ditentukan melalui persamaan 11, 12, 13, 14, 15, 16 berikut.

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (11)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{l=1}^n w_l h_l^k} \quad (12)$$

Keterangan

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

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

w_x dan w_l = 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 linear antara 1 dan 2

2.6 Analisis Statik Non-Linear (*Pushover Analysis*)

Analisis *pushover* merupakan metode analisis Statik nonlinier yang digunakan untuk mengevaluasi *respons* struktur bangunan gedung terhadap pengaruh gempa (Urba, n.d.) Dalam metode ini, beban gempa rencana dipresentasikan sebagai beban Statik yang diaplikasikan pada pusat massa setiap lantai, di mana besarnya secara bertahap dinaikkan hingga melampaui beban tertentu, sehingga memicu terbentuknya sendi plastis pertama pada struktur. Hasil analisis *pushover* memperlihatkan perilaku struktur yang awalnya linear hingga mencapai titik leleh, setelah itu perilaku struktur menjadi nonlinier.

Metode ini dilakukan dengan memberikan pola beban *Lateral* Statik pada struktur, kemudian beban tersebut ditingkatkan secara bertahap melalui faktor pengali hingga struktur mencapai target perpindahan *Lateral* pada titik acuan yang

telah ditentukan. Selama proses analisis *pushover*, struktur didorong secara bertahap sampai mengalami leleh pada satu atau beberapa lokasi pada struktur. Kurva hasil analisis kemudian digunakan untuk menggambarkan hubungan antara gaya dan perpindahan, yang memperlihatkan perubahan karakteristik *respons* struktur dari kondisi elastis menuju kondisi plastis.

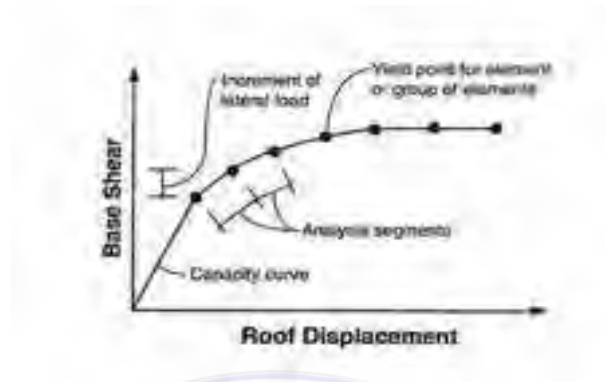
Menurut Pangestu et al., (2024), analisis *pushover* adalah metode Statik non-lini-er yang efektif untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur bangunan. Namun, perlu diperhatikan beberapa keterbatasan berikut:

- 1 Hasil analisis *pushover* masih bersifat pendekatan, sebab karakteristik beban gempa yang sebenarnya adalah bolak-balik secara siklik, sedangkan beban pada *pushover analysis* bersifat Statik dan meningkat secara monoton.
- 2 Pemilihan pola beban *Lateral* sangat krusial, karena hasil analisis sangat dipengaruhi oleh pola distribusi beban yang digunakan.
- 3 Pemodelan analisis nonlinier lebih kompleks dibandingkan dengan model linier, karena harus memperhitungkan perilaku inelastik dan pengaruh efek $P-\Delta$ dari elemen-elemen struktur penting.

2.6.1 Kurva Kapasitas

Pada metode analisis Statik nonlinier *pushover*, diperoleh hasil berupa kurva kapasitas. kurva kapasitas merepresentasikan tingkat kekuatan struktur yang dipengaruhi oleh kemampuan deformasi tiap-tiap elemen struktur. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base shear*) dan perpindahan atap (*Roof displacement*). kurva kapasitas menjadi alat penting dalam mengevaluasi

kinerja seismik struktur dan menentukan sejauh mana bangunan mampu menyerap energi gempa sebelum kehilangan stabilitas, kurva dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Kurva Kapasitas ATC-40 Volume I Figure 8-1 (1996)

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

Agar kurva kapasitas dapat dikonversi ke dalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*, diperlukan suatu persamaan transformasi. Persamaan transformasi yang digunakan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$PF_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \dot{\theta}_{i1}) / g]}{[\sum_{i=1}^N (w_i \dot{\theta}_{i1}^2) / g]} \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \dot{\theta}_{i1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N (w_i / g)] [\sum_{i=1}^N (w_i \dot{\theta}_{i1}^2) / g]} \quad (14)$$

$$Sa = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (15)$$

$$Sd = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \theta_{roof,1}} \quad (16)$$

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

$\dot{\theta}_{i1}$ = amplitud mode-1 pada tingkat ke-i

V = gaya geser dasar

W = berat mati bangunan ditambah beban hidup

Δ_{roof} = *Roof displacement*

Sa = *Spectral Acceleration*

Sd = *Spectral displacement*

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

Spektrum *respons (demand spectrum)* harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)* agar dapat dibandingkan secara langsung dengan kurva kapasitas. Oleh karena itu, diperlukan suatu persamaan transformasi untuk melakukan perubahan format tersebut. Adapun persamaan 17, 18 yang digunakan dapat dilihat berikut ini.

$$Sd = \frac{T^2}{4\pi^2} Sa(g) \quad (17)$$

Atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{Sd}{Sa}} \quad (18)$$

Keterangan:

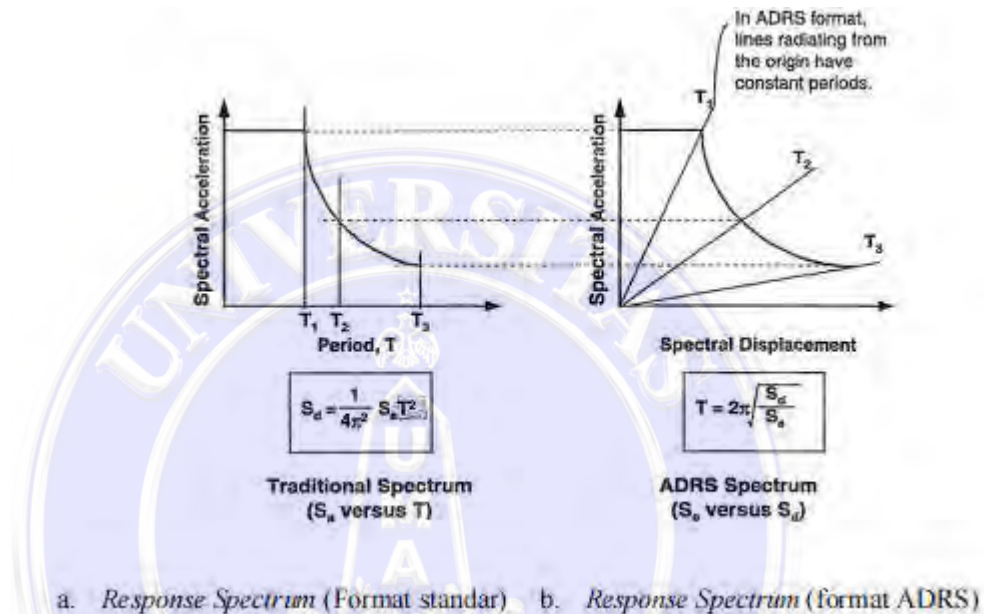
Sa = spektra percepatan (*Spectral Acceleration*) (m)

S_d = spektra perpindahan (*Spectral displacement*) (g)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

T = periode getar fundamental (dt)

Transformasi respon spektrum menjadi format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Modifikasi Format Respon Percepatan Ke Format *ADRS* ATC-40 Volume I Figure 8-6 (1996)

2.7 Dasar Teori Evaluasi Kinerja Seismik

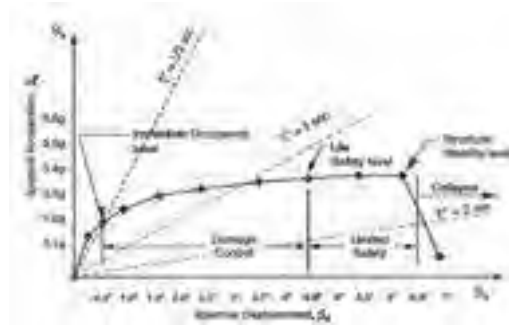
Evaluasi kinerja seismik merupakan proses analisis untuk menilai seberapa mampu suatu struktur menghadapi beban gempa. Tujuan dari evaluasi ini adalah memastikan keselamatan penghuni, meminimalkan kerusakan pada struktur, dan meningkatkan daya tahan bangunan terhadap getaran seismik. Pendekatan berbasis kinerja, seperti yang tercantum dalam FEMA P58-6 (2018), digunakan untuk membandingkan *respons* struktur pada berbagai tingkat intensitas gempa.

Metode analisis pada evaluasi kinerja seismik umumnya dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu analisis linier dan non-linier. Analisis linier seperti metode *respons* spektrum dan analisis gaya *Lateral* statis ekuivalen digunakan untuk memperkirakan *respons* awal struktur terhadap gempa. Sementara itu, analisis non-linier, seperti *pushover* dan analisis riwayat waktu, dinilai lebih akurat dalam memahami mekanisme kegagalan serta kapasitas plastis struktur (ATC-40, 1996).

Evaluasi ini juga mempertimbangkan beberapa parameter penting, antara lain gaya geser dasar (*Base shear*), perpindahan atap (*Roof displacement*), dan distribusi sendi plastis pada elemen struktur. Dengan menggunakan standar internasional seperti TC -40, evaluasi kinerja seismik memberikan gambaran yang lebih nyata mengenai ketahanan bangunan terhadap gempa. Tingkat kerusakan yang diperbolehkan dalam evaluasi ini didasarkan pada intensitas gempa yang terjadi, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 14 berdasarkan ATC-40.

Tabel 14. Tingkat Kinerja Seismik (ATC-40)

Tingkat Kinerja	Deskripsi	Kondisi Struktur
Operasional (OP)	Bangunan tetap berfungsi dengan sedikit atau tanpa kerusakan.	Tidak ada kerusakan signifikan.
Batas Layan (IO- <i>Immediate Occupancy</i>)	Struktur mengalami sedikit kerusakan, tetapi masih bisa digunakan.	Kerusakan minor pada elemen non-struktural.
Pre-Kerusakan (LS- <i>Life Safety</i>)	Struktur mengalami kerusakan signifikan tetapi tidak runtuh	Kerusakan sedang pada elemen struktural.
Ambang Keruntuhan (CP - <i>Collapse Prevention</i>)	Struktur hampir runtuh tetapi masih dapat berdiri.	Kerusakan berat pada elemen struktural.
Runtuh (C - <i>Collapse</i>)	Struktur gagal total dan mengalami keruntuhan.	Tidak dapat menahan beban lebih lanjut.



Gambar 6. Spektrum kapasitas untuk penentuan *level* kinerja ATC -40

Dari Gambar 1 Persamaan yang dapat diperoleh:

1. Persamaan Kekakuan Awal (K_i)

Kekakuan awal (K_i) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya geser dasar saat sebelum leleh (V_y) dan perpindahan leleh (δ_y), seperti yang terlihat pada Persamaan (1).

$$K_i = \frac{V_y}{\delta_y} \quad (2)$$

Dengan

K_i = Kekakuan awal (*initial stiffness*)

V_y = Gaya geser saat leleh (*yield Base shear*)

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

2. Persamaan Kekakuan Efektif (K_e)

Kekakuan efektif adalah kekakuan yang mempertimbangkan perubahan kekakuan setelah melewati batas elastis sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$K_e = \frac{0.6V_y}{\delta_y} \quad (2)$$

Dengan

K_e = Kekakuan efektif (*effective stiffness*)

$0.6 V_y$ = Gaya geser efektif untuk menentukan kekakuan efektif

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

3. Persamaan Kekakuan Pasca Leleh (aK_e)

Setelah melewati batas elastis, struktur mengalami penurunan tingkat kekakuan. Kekakuan setelah leleh dinyatakan menggunakan faktor reduksi kekakuan α , seperti yang terlihat pada Persamaan (3).

$$K_{post} = aK_e \quad (3)$$

Dengan

K_{post} = Kekakuan pasca leleh (*post yield stiffness*)

a = Rasio kekakuan pasca-leleh terhadap kekakuan efektif

K_e = Kekakuan efektif (*effective stiffness*)

4. Persamaan Kapasitas Struktur (Kurva Kapasitas)

Secara umum, kurva kapasitas dapat direpresentasikan melalui persamaan linear seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$K_{post} = aK_e \quad (4)$$

Dengan

V = Gaya geser dasar (*Base shear*)

K_i = Kekakuan awal (*initial stiffness*)

δ = Perpindahan atap (*Roof displacement*)

δ_y = Perpindahan Leleh (*yield displacement*)

Setelah melebihi δ_y , kurva kapasitas mengikuti kekakuan pasca-leleh, seperti yang ditampilkan pada Persamaan. (5).

$$V = V_y + K_{post}(\delta - \delta_y), \quad \text{Untuk } \delta > \delta_y \quad (5)$$

Dengan

V = Gaya geser dasar (*Base shear*)

V_y = Gaya geser saat leleh (*yield Base shear*)

K_{post} = Kekakuan pasca leleh (*post yield stiffness*)

δ = Perpindahan atap (*Roof displacement*)

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

2.8 Prinsip Dasar Analisis *Pushover*

Metode *pushover* adalah salah satu pendekatan evaluasi struktural yang digunakan untuk menelaah perilaku bangunan selama terjadi gempa. Pendekatan ini termasuk ke dalam analisis Statik non-linear, dengan pemberian beban *Lateral* secara bertahap hingga struktur mengalami kegagalan.

Dalam analisis ini, struktur disimulasikan dengan memasukkan aspek non-linearitas pada elemen-elemen penyusunnya, antara lain balok, kolom, dan sambungan. Peningkatan beban *Lateral* menyebabkan beberapa elemen melewati batas elastis dan menghasilkan sendi plastis. Adanya sendi plastis ini merupakan indikator kunci dalam menentukan area kritis yang berpotensi mengalami kegagalan.

Pada tahapan analisis, interaksi antara *Base shear* dan perpindahan puncak bangunan dicatat dan digambarkan melalui kurva kapasitas. Kurva ini menampilkan seberapa besar kapasitas struktur dalam menahan beban gempa dan digunakan untuk menilai kemungkinan tingkat kerusakan pada bangunan.

Setelah analisis *pushover* dilakukan, hasilnya dievaluasi dengan membandingkannya terhadap kriteria kinerja dalam standar seismik, misalnya FEMA 356 atau ATC-40. Dari hasil evaluasi ini, dapat ditentukan apakah struktur

masih layak, memerlukan perbaikan, atau perlu diperkuat agar lebih tahan gempa. Dengan demikian, analisis *pushover* berperan penting dalam desain dan rehabilitasi bangunan tahan gempa. Umumnya, penilaian hasil analisis ini didasarkan pada beberapa parameter utama yang tercantum dalam Tabel 15.

Tabel 15 Hasil Evaluasi Analisis *Pushover* (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17)

Parameter	Definisi	Fungsi dalam Evaluasi
<i>Base shear</i>	Gaya geser maksimum yang dapat ditahan struktur sebelum kolaps.	Menentukan kapasitas <i>Lateral</i> struktur
<i>Roof Displacement</i>	Perpindahan <i>Lateral</i> maksimum pada puncak bangunan.	Menunjukkan tingkat deformasi struktur.
<i>Performance Point</i>	Titik keseimbangan antara kapasitas struktur dan permintaan seismik	Digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur memenuhi kinerja yang diinginkan.
<i>Hinge Formation</i>	Titik pada elemen struktur yang mengalami plastifikasi.	Menunjukkan pola kegagalan struktur.

2.9 Parameter Utama Dalam Analisis *Pushover*

Dalam analisis *pushover*, terdapat beberapa parameter penting yang menentukan *respons* struktur terhadap beban gempa. Salah satunya adalah *Base shear*, yakni total gaya geser pada bagian dasar struktur sebagai reaksi terhadap beban *Lateral*. *Roof displacement* atau perpindahan atap juga menjadi indikator utama untuk menilai besar deformasi maksimum yang terjadi. Selain itu, sendi plastis merupakan parameter krusial karena mengidentifikasi area pada elemen struktur yang telah mengalami pelelehan plastis, sebagai tanda awal kegagalan struktur. Kurva kapasitas, yang menghubungkan *Base shear* dan *Roof displacement*, digunakan untuk mengevaluasi kapasitas dan performa struktur.

Faktor reduksi kekakuan penting untuk menggambarkan penurunan kekakuan elemen akibat non-linearitas. *Level* kinerja struktur, seperti *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*, digunakan untuk

menilai keamanan bangunan serta kebutuhan perkuatan. Dalam analisis *pushover*, parameter-parameter ini penting untuk menilai *respons* dan ketahanan struktur terhadap gempa, serta menentukan perlunya modifikasi desain atau perkuatan. Penjelasan fungsi tiap parameter utama dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16 Parameter Utama dalam Analisis *Pushover* (ATC-40)

Parameter	Definisi	Fungsi dalam Evaluasi
Gaya Geser Dasar	Gaya geser maksimum yang diterima bangunan sebelum mencapai kondisi batas.	Menunjukkan kapasitas <i>Lateral</i> struktur
Perpindahan Atas	Perpindahan <i>Lateral</i> maksimum pada puncak bangunan akibat beban <i>Lateral</i> .	Menentukan deformasi dan stabilitas struktur
<i>Performance Point</i>	Titik keseimbangan antara kapasitas struktur dan permintaan gempa.	Digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur memenuhi kriteria kinerja seismik.
Sendi Plastis	Titik di mana elemen struktur mengalami plastifikasi akibat beban <i>Lateral</i> .	Menunjukkan pola dan urutan kegagalan elemen struktur
Faktor Daktilitas	Rasio perpindahan maksimum terhadap perpindahan saat leleh.	Mengukur kapasitas deformasi sebelum kegagalan.
Kekakuan Struktur	Hubungan antara gaya dan perpindahan pada struktur.	Menunjukkan seberapa besar ketahanan struktur terhadap deformasi.

2.10 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

Sendi plastis terbentuk dalam struktur ketika elemen seperti balok dan kolom mengalami tegangan yang melebihi batas elastis akibat peningkatan beban *Lateral*. Pada awalnya, struktur merespons beban secara elastis sehingga deformasinya masih dapat kembali seperti semula setelah beban diangkat. Namun, jika beban terus bertambah, sebagian elemen mencapai batas leleh dan mengalami perubahan permanen pada *Materialnya*, yang disebut plastisitas.

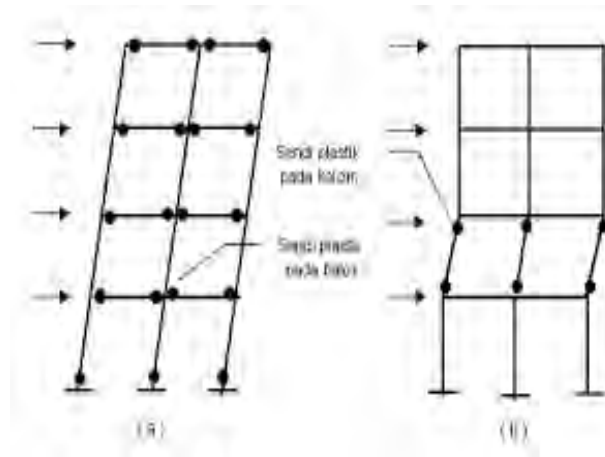
Saat plastisitas terjadi, bagian tertentu elemen struktur mengalami rotasi tanpa penambahan kapasitas beban yang berarti, sehingga terbentuk sendi plastis. Sendi ini berperan sebagai titik penyerapan energi yang membantu struktur

meredam dan menyebarkan beban gempa. Umumnya, sendi plastis muncul pertama kali di ujung balok, lalu bisa meluas ke kolom sesuai konfigurasi dan kekakuan struktur. Jika sendi plastis terbentuk berlebihan pada elemen utama, dapat terjadi mekanisme keruntuhan global.

Pada analisis *pushover*, pembentukan sendi plastis menjadi indikator utama dalam menilai keamanan struktur. Dengan memahami pola dan penyebaran sendi plastis, bangunan dapat dirancang atau diperkuat agar mampu menahan gempa tanpa kegagalan besar. Tabel 17 menunjukkan jenis sendi plastis menurut elemen yang mengalami pelelehan, sedangkan Gambar 7 menggambarkan mekanismenya.

Tabel 17 Jenis dan Karakteristik Sendi Plastis (ATC-40, SNI 1726:2019)

Jenis Sendi Plastis	Elemen yang Terkena	Karakteristik	Dampak pada Struktur
Sendi Plastis pada Balok	Balok	Terjadi pada ujung balok akibat momen lentur yang tinggi.	Umumnya diharapkan dalam desain tahan gempa untuk disipasi energi.
Sendi Plastis pada Kolom	Kolom	Terjadi di dasar kolom atau di sambungan balok kolom akibat gaya aksial dan momen	Jika berlebihan, dapat menyebabkan keruntuhan bangunan.
Sendi Plastis pada Sambungan Balok-Kolom	Sambungan	Terjadi pada pertemuan balok dan kolom akibat gaya geser tinggi.	Bisa menyebabkan kegagalan mendadak jika tidak diperkuat.
Sendi Plastis pada Dinding Geser	Dinding geser	Terjadi pada dasar dinding akibat kombinasi momen dan geser.	Mengurangi kapasitas struktur dalam menahan gaya <i>Lateral</i> .



Gambar 7 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

2.11 Perangkat Lunak ETABS dalam Analisis Struktur

Perangkat Lunak Etabs adalah Program computer yang di rancang khusus untuk analisis dan desain struktur bangunan bertingkat. ETABS banyak digunakan dalam berbagai proyek, baik skala nasional maupun internasional, karena kemampuannya memodelkan struktur secara detail. Pengguna dapat melakukan pemodelan dan analisis secara interaktif dengan tampilan grafis yang intuitif.

ETABS juga mampu menganalisis gaya-gaya dalam, momen, serta deformasi pada elemen struktur akibat berbagai beban. Proses verifikasi desain menjadi lebih mudah melalui fitur visualisasi hasil secara langsung pada model struktur. Dengan keunggulan fitur analisisnya, ETABS telah menjadi pilihan utama para insinyur struktur.

2.12 Keunggulan dan Keterbatasan Dibandingkan Perangkat Lunak Lain

ETABS memiliki keunggulan utama dalam pemodelan dan analisis struktur gedung bertingkat dengan antarmuka yang sangat intuitif, khususnya untuk bangunan berlantai banyak. Fitur-fiturnya memudahkan proses desain serta visualisasi hasil secara detail dan interaktif, menjadikannya pilihan utama untuk struktur gedung. Dibandingkan SAP2000 yang lebih bersifat general purpose untuk

berbagai jenis struktur (jembatan, pelat, rangka, dll.), ETABS lebih optimal digunakan pada bangunan bertingkat dengan kebutuhan analisis gempa dan beban vertikal yang kompleks.

Namun, ETABS memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas pemodelan struktur non-gedung dan tidak selengkap SAP2000 dalam menganalisis elemen khusus seperti jembatan atau struktur bentuk bebas. Jika dibandingkan dengan STAAD.Pro, ETABS lebih unggul dalam kemudahan pemodelan gedung bertingkat, tetapi STAAD.Pro sering dipilih untuk proyek infrastruktur besar karena kemampuannya mendukung berbagai standar *internasional* dan fleksibilitas desain struktur baja. Dengan demikian, pilihan perangkat lunak sangat bergantung pada jenis struktur dan kebutuhan spesifik proyek.

Tabel 18 Perbandingan SAP 2000 dengan Perangkat Lunak Lain (FEMA P-695)

Metode Analisis	Keunggulan	Keterbatasan
ETABS	Unggul untuk gedung bertingkat, antarmuka intuitif	Kurang fleksibel untuk struktur non-gedung
SAP2000	Fleksibel untuk berbagai struktur	Kurang optimal untuk gedung bertingkat
STAAD.Pro	Mendukung banyak standar internasional	Kompleks untuk pemodelan nonlinier

2.13 Standar dan Pedoman Terkait

2.13.1 Pedoman ATC-40 Dalam Evaluasi Kapasitas Struktur

ATC-40 (*Applied Technology Council 40*) berfungsi sebagai acuan dalam menilai kinerja seismik bangunan dengan memanfaatkan metode *pushover*. Panduan ini dirancang untuk memahami *respons* non-linear struktur bangunan saat menerima beban gempa, sehingga melalui metode *pushover* dapat diketahui sejauh mana struktur mampu menahan beban *Lateral* hingga mencapai titik leleh atau kegagalan. Selain itu, ATC-40 juga menetapkan standar tingkat kinerja baik untuk elemen struktur maupun non-struktur pada bangunan, di mana kombinasi dari

kedua tingkat kinerja tersebut mencerminkan performa keseluruhan bangunan dalam menghadapi gempa. Oleh karena itu, ATC-40 sering dipakai dalam menganalisis bangunan eksisting untuk menilai apakah strukturnya masih cukup kuat menghadapi gempa atau memerlukan penguatan lebih lanjut (ATC-40, 1996).

2.13.2 Batasan Deformasi (*Drift*) Metode ATC-40

Metode ATC-40 menetapkan batasan terkait deformasi (*drift*), di mana parameter ini digunakan untuk memeriksa deformasi *Lateral* pada saat titik kinerja tercapai. Batas-batas deformasi untuk setiap tingkat kinerja menurut ATC-40 (1996) dapat dilihat pada Tabel 19 berikut.

Tabel 19 *Deformation Limits* Table 11-2 ATC-40 Volume I (1996)

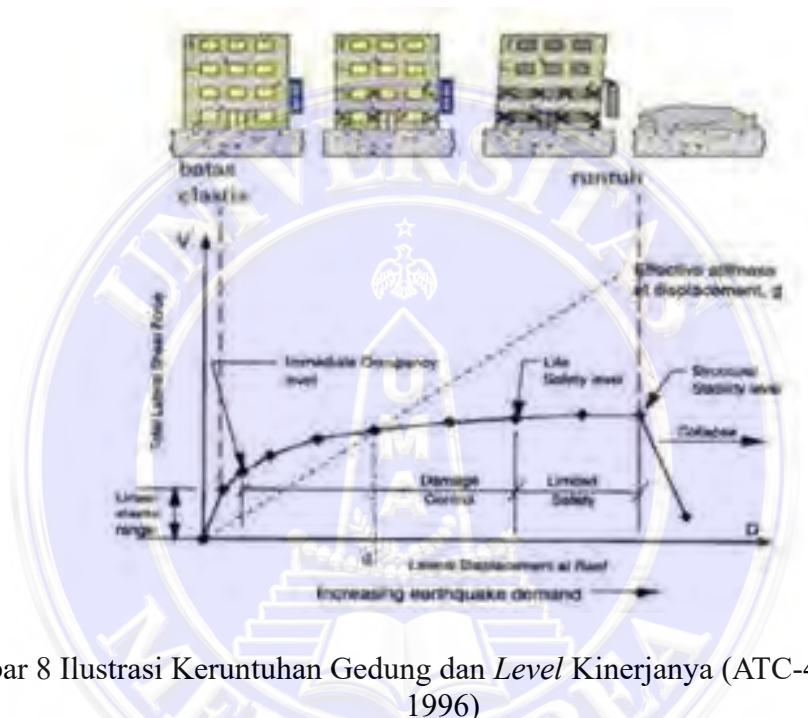
<i>InterStory drift Limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 V_1/P_1
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0,005	0,005- 0,0015	No Limit	No Limit

Pada Tabel 19, maksimum simpangan total (*maximum total drift*) didefinisikan sebagai simpangan antar lantai (*interStory drift*) pada *displacement* titik kinerja jika dibandingkan dengan tinggi keseluruhan bangunan. Sementara itu, maksimum simpangan inelastik (*maximum inelastic drift*) adalah bagian dari simpangan total yang melebihi titik leleh efektif.

2.13.3 Level Kinerja Struktur Metode ATC-40

Metode ATC-40 (1996) mengklasifikasikan struktur bangunan ke dalam beberapa tingkatan kinerja (*performance levels*), yang masing-masing merepresentasikan batas kerusakan yang masih dianggap dapat diterima ketika bangunan mengalami gempa. Setiap tingkat ini tidak hanya menggambarkan tingkat kerusakan fisik pada elemen struktural maupun non-struktural, tetapi juga

mempertimbangkan potensi risiko terhadap keselamatan penghuni, gangguan terhadap fungsi bangunan, serta implikasi terhadap kebutuhan perbaikan atau rehabilitasi pascagempa. Pendekatan ini memberikan kerangka evaluasi yang komprehensif dalam menilai seberapa jauh bangunan masih dapat berfungsi atau harus ditangani lebih lanjut setelah kejadian seismik. Ilustrasi mengenai mekanisme keruntuhan dan klasifikasi *level* kinerja bangunan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Ilustrasi Keruntuhan Gedung dan *Level* Kinerjanya (ATC-40 Volume I 1996)

Pada Gambar 8, kurva kapasitas menampilkan simbol bulatan (●) yang menandakan berbagai *level* kinerja struktur. Setiap *level* ini menunjukkan peristiwa penting yang terjadi pada bangunan selama terjadinya gempa. Peristiwa tersebut meliputi terjadinya pelelehan pertama pada elemen struktur maupun munculnya kerusakan tertentu, seperti kegagalan geser pada kolom hingga terjadinya keruntuhan total sistem struktur.

Dokumen ATC 40 menetapkan sasaran kinerja dengan mempertimbangkan berbagai kondisi kerusakan (*damage states*) pada beberapa *level* intensitas gempa.

Dokumen ini dapat digunakan sebagai pedoman baik untuk perancangan struktur baru maupun evaluasi bangunan yang sudah ada. Pada ATC 40, kriteria kinerja struktur dibagi ke dalam enam tingkatan yang masing-masing merepresentasikan *respons* struktur terhadap gempa. Pembagian *level* kinerja bangunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20 *Level* kinerja bangunan (Dokumen ATC-40)

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

Merujuk pada tabel di atas, ATC-40 berperan sebagai panduan dalam menetapkan tingkat kinerja suatu struktur bangunan gedung. Penjabaran lebih rinci mengenai kinerja struktur menurut ATC-40 disampaikan sebagai berikut:

1. *Immediate Occupancy, SP-1*: Pada kondisi ini, jika terjadi gempa, kerusakan struktural yang timbul sangat minimal, sehingga karakteristik serta kemampuan sistem penahan gaya vertikal maupun *Lateral* pada struktur tetap seperti sebelum gempa. Dengan demikian, bangunan tetap aman dan dapat langsung digunakan kembali.
2. *Damage Control, SP-2*: Merupakan tahapan di antara SP-1 dan SP-3, di mana bangunan tetap sanggup menahan beban gempa yang terjadi dan risiko terhadap keselamatan jiwa penghuni sangat kecil.

3. *Life Safety, SP-3*: Jika gempa terjadi, struktur mulai mengalami kerusakan yang cukup berarti. Namun, struktur masih mampu menahan beban gempa, elemen utama struktur tidak runtuh, dan bangunan masih bisa digunakan kembali setelah dilakukan perbaikan, meski perbaikannya mungkin memerlukan biaya besar.
4. *Limited Safety, SP-4*: Pada tingkatan ini, kondisi bangunan tidak sebaik *level safety*, namun juga tidak separah *structural stability*. *Level* ini berlaku saat *level Life Safety* tidak efektif atau ketika hanya terdapat beberapa kerusakan struktur kritis yang masih bisa diminimalkan.
5. *Structural Stability, SP-5*: *Level* ini menandakan struktur telah mengalami kerusakan sangat serius pada elemen struktur maupun non-struktur. Struktur sudah tidak mampu lagi menahan gaya *Lateral* akibat penurunan kemampuan.
6. *Not Considered, SP-6*: Pada tingkatan ini, bangunan sudah berada dalam kondisi runtuh sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat difungsikan kembali.

2.14 SNI 1726:2019 Tentang Perencanaan Ketahanan Gempa

SNI 1726:2019 merupakan standar nasional yang mengatur prosedur perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung maupun non-gedung di Indonesia. Standar ini menggantikan SNI 1726:2012 dengan menghadirkan berbagai pembaruan yang didasarkan pada hasil penelitian terbaru dan pemetaan seismik yang lebih rinci dari Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN, 2017). Berdasarkan SNI 1726:2019, desain struktur wajib memperhitungkan beban gempa menggunakan peta bahaya gempa terkini, yang telah diperbarui sesuai data terbaru

mengenai sumber gempa, pergerakan tektonik, serta catatan sejarah gempa di wilayah Indonesia (BSN, 2019).

Standar ini mengatur pemilihan metode analisis gaya gempa sesuai dengan tingkat kompleksitas dan kebutuhan desain struktur, seperti metode Statik ekuivalen, *respons* spektrum, serta analisis *time history* untuk memperkirakan *respons* dinamis bangunan akibat gempa. SNI 1726:2019 juga mengelompokkan jenis tanah berdasarkan sifat-sifatnya, menentukan kategori risiko bangunan, serta mengatur tingkat kinerja struktur agar tetap bertahan pada berbagai tingkat intensitas gempa. Penentuan sistem struktur serta faktor reduksi gempa (R) harus mempertimbangkan kemampuan struktur dalam menyerap energi gempa sehingga dapat mencegah terjadinya keruntuhan total (BSN, 2019).

Beberapa jenis sistem struktur yang tercantum dalam standar ini antara lain *Moment Resisting Frame* (MRF), sistem dinding geser (*Shear Wall System*), dan sistem ganda (*Dual System*), yang masing-masing berfungsi untuk meningkatkan kekuatan bangunan terhadap gempa. SNI 1726:2019 juga memuat ketentuan terkait retrofit dan penguatan pada bangunan yang sudah ada, seperti metode *jacketing*, pemasangan damper seismik, serta isolasi pada pondasi, dengan tujuan memperbesar ketahanan struktur terhadap gempa. Melalui penerapan standar ini, diharapkan bangunan-bangunan di Indonesia dapat memiliki tingkat keamanan yang lebih baik serta mampu meminimalkan risiko cedera manusia dan kerugian *Material* akibat gempa.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan metode kuantitatif dan analitis untuk menilai kinerja seismik bangunan bertingkat melalui *pushover analysis* Statik *non linier*. Pendekatan kuantitatif diwujudkan dengan pemanfaatan data numerik serta perhitungan matematis dalam menganalisis *respons* struktur terhadap beban gempa. Proses simulasi elemen hingga dilakukan menggunakan perangkat lunak struktur seperti SAP2000 atau ETABS, yang memberikan *output* berupa parameter teknis seperti gaya dalam, perpindahan, dan kapasitas struktur. Hasil simulasi tersebut selanjutnya dibandingkan dengan standar seismik, misalnya SNI 1726:2019, guna memastikan struktur telah memenuhi kriteria keselamatan yang berlaku.

Sementara itu, pendekatan analitis diterapkan dengan mengamati *respons* struktur akibat beban *Lateral* yang dinaikkan secara bertahap melalui *pushover analysis*. Analisis ini menggunakan pendekatan berbasis kapasitas, yaitu mengaitkan antara gaya dan perpindahan untuk menilai tingkat kerusakan elemen struktur. Dengan metode ini, dapat diketahui batas kemampuan struktur dalam menahan deformasi sebelum memasuki kondisi kritis. Selanjutnya, hasil evaluasi diklasifikasikan ke dalam *level* kinerja bangunan, seperti *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, atau Collapse Prevention, mengacu pada pedoman ATC-40.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jalan Bunga Lau No.17, Kecamatan Medan Tuntungan, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

3.3 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini, pemodelan struktur dan analisis *pushover* dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk menilai kinerja seismik bangunan. Microsoft Excel digunakan sebagai alat bantu dalam mengolah data serta menganalisis hasil simulasi dari ETABS. Untuk pembuatan gambar teknis dan visualisasi detail struktur, dimanfaatkan AutoCAD. Seluruh perangkat lunak tersebut dijalankan pada komputer atau laptop yang juga berperan dalam pengelolaan data penelitian.

3.4 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa jenis data, di antaranya data geometri bangunan, *Material* struktur, beban yang mempengaruhi struktur, serta standar dan regulasi yang dijadikan acuan dalam proses perencanaan dan analisis. Data geometri meliputi ukuran dan dimensi bangunan, jumlah lantai, serta susunan elemen struktural yang digunakan dalam pemodelan. Untuk data *Material*, informasi yang dikumpulkan mencakup kuat tekan beton, kuat tarik baja, modulus elastisitas, serta karakteristik elastis dan plastis dari *Material* struktur. Selain itu,

data beban terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang diperhitungkan mengacu pada standar yang berlaku.

Analisis struktur dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan regulasi dan standar yang relevan. SNI 1726:2019 digunakan sebagai acuan perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung maupun non-gedung, sedangkan SNI 2847:2019 menjadi standar utama dalam menentukan persyaratan beton struktural pada bangunan. Pedoman ATC-40 turut dijadikan referensi utama dalam pelaksanaan *pushover analysis* dan evaluasi kinerja seismik struktur.

3.5 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis data sekunder, yakni dengan mengolah data yang telah ada dari lokasi penelitian atau laporan sebelumnya untuk dilakukan analisis lanjutan.

3.5.1 Proses Pemodelan Ulang dengan ETABS

1. Buka Software Etabs yang sudah Ter instal.
2. Proses awal dalam pemodelan menggunakan ETABS V18 dimulai dengan menyusun *Grid Line* sebagai acuan pola grid yang sesuai dengan bentuk struktur yang akan dianalisis. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:
 - a. Pada menu bar pilih File → *New Model*. Setelah jendela Model Initialization muncul, atur standar dan satuan dengan memilih *use built-in settings with* seperti pada Gambar 8, lalu klik OK. Setelah itu, pada *New Model Quick Templates* pilih *custom grid spacing* dan sesuaikan jarak antar grid melalui *Edit grid data*.



Gambar 10 Tampilan Model *Initialization Box* pada (ETABS V18, 2025)



Gambar 11 Tampilan *Input* Pada *Quick Templates* (ETABS V18, 2025)



Gambar 12 Tampilan *Input Grid System Data* (ETABS V18, 2025)

Gambar 13 Tampilan *Input Story Data* (ETABS V18, 2025)

3. Membuat Data Bahan/*Material* Struktur

Kemudian Memasukkan bahan *Material* dengan memilih menu *Define* → *Material Properties* → *Add New Material*,

Material baja yang digunakan memiliki beberapa ketentuan sebagai berikut:

Mutu Baja (BJTS, 420B) = f_y 420 MPa; f_u 550 Mpa

Modulus Elastisitas baja, E_s = 200 000 MPa

Angka poisson baja, ν = 0,2

Material beton yang digunakan memiliki beberapa ketentuan sebagai berikut:

Mutu Beton = f'_c 35 MPa

Modulus Elastisitas beton, $E_s = 4700\sqrt{f'_c}$

Angka poisson beton, ν = 0,3

Pada opsi *region*, pilih *user*, kemudian gunakan dua jenis *Material*: beton

(*concrete*) dan tulangan (*rebar*). jenis *Material* yang digunakan



Gambar 14 Tampilan *Add Material Property Rebar* (ETABS V18, 2025)



Gambar 15 Tampilan *Add Material Property Concrete* (ETABS V18, 2025)

4. Menentukan Dimensi Elemen Struktur

Dalam menetapkan dimensi elemen struktur, beberapa asumsi pemodelan perlu ditentukan. Balok diasumsikan berbentuk persegi sesuai dimensinya (bukan balok T). Dengan pemodelan balok persegi, pelat lantai dan atap dibuat sebagai elemen *Shell*, sehingga pelat perlu dilakukan meshing.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

Pada menu bar, pilih *Define* → *Section Properties* → *Frame Sections* → *Add New Property*, lalu pada *Section shape* pilih *concrete Rectangular* dan *rebar*.

- a. Untuk elemen balok, pilih *Concrete* → *Rectangular Section*, ubah *Section Name*, lalu masukkan dimensi balok. Pada *Material Type* pilih $f'c = 35$ MPa. Untuk *Reinforcement*, gunakan *Rebar* f_y 420B MPa sebagai *Longitudinal Bars* dan *Confinement Bars* (Ties). Pada *Design Type* pilih M3 Design Only (Beam). Selanjutnya, pada *Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid*, isi nilai 40 mm.



Gambar 16 Tampilan *Input* Untuk Penampang Balok (ETABS V18, 2025)



Gambar 17 *Reinforcement* Data Untuk Penampang Balok (ETABS V18, 2025)

- b. Untuk elemen kolom beton, pilih *Concrete* → *Rectangular*, isi *Section Name*, lalu masukkan dimensi kolom. Pada *Material Type* pilih $f'c$ 35

MPa. Pada *Concrete Reinforcement*, gunakan *Rebar* fy 420B MPa untuk *Longitudinal Bars* dan *Confinement Bars* (Ties). Pada *Design Type* pilih P-M2-M3 Design (Column). Untuk *Reinforcement Configuration* pilih *Rectangular* sesuai bentuk kolom. Pada *Clear Cover for Confinement Bars*, isi selimut beton 40 mm, lalu aktifkan opsi *Reinforcement to be Designed*.



Gambar 18 Tampilan *Input* Untuk Penampang Kolom (ETABS V18, 2025)



Gambar 19 *Reinforcement* Data Untuk Penampang Kolom (ETABS V18, 2025)

- c. Untuk elemen pelat, buka *Define* → *Section Properties* → *Add New Property*, ubah *Property Name*, lalu pilih $f'_c = 35$ MPa sebagai *Material* pelat dan gunakan tipe *Shell-Thin*. Masukkan tebal pelat lantai atau atap pada bagian *Thickness*.

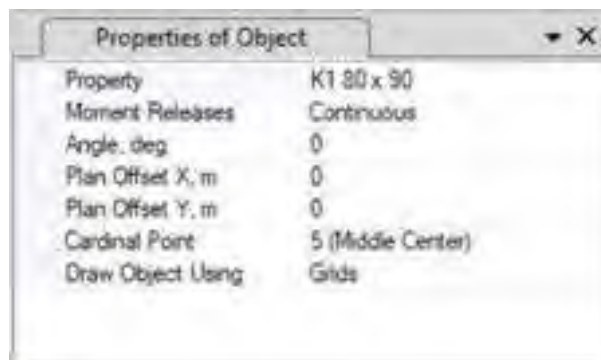


Gambar 20 Tampilan *Input* Penampang Pelat (ETABS V18, 2025)

5. Menggambar Elemen Struktur

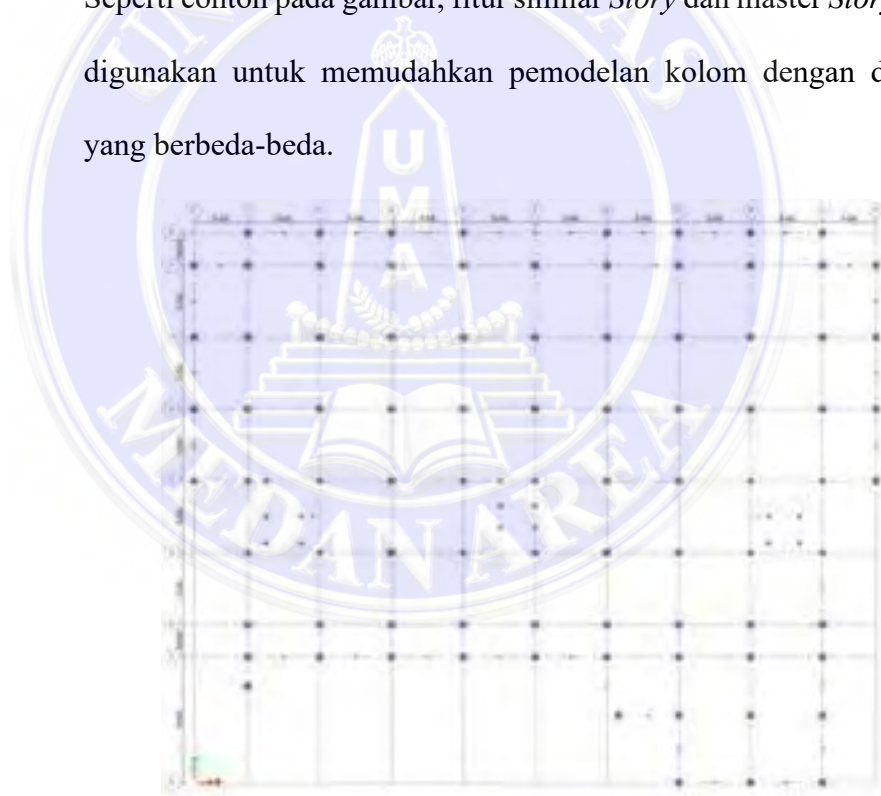
Proses pemodelan elemen struktur diawali dengan menggambar elemen kolom, kemudian dilanjutkan dengan balok dan terakhir pelat.

- a. Pembuatan elemen kolom dilakukan dengan memilih *Set View* , kemudian pada *toolbar* sebelah kiri klik *Quick Draw Columns*. Setelah itu akan muncul kotak dialog *Properties of Object*. Pada bagian *moment releases*, pilih opsi *continuous* karena kolom bersifat monolit dan menerus sepanjang ketinggiannya.



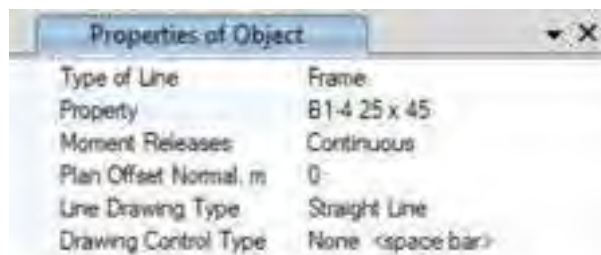
Gambar 21 *Property of Object* untuk Kolom (ETABS V18, 2025)

- b. Selanjutnya, klik kolom di bagian kiri atas lalu tarik hingga ke pojok kanan bawah untuk menentukan posisi kolom yang akan digambar. Seperti contoh pada gambar, fitur similar *Story* dan master *Story* dapat digunakan untuk memudahkan pemodelan kolom dengan dimensi yang berbeda-beda.



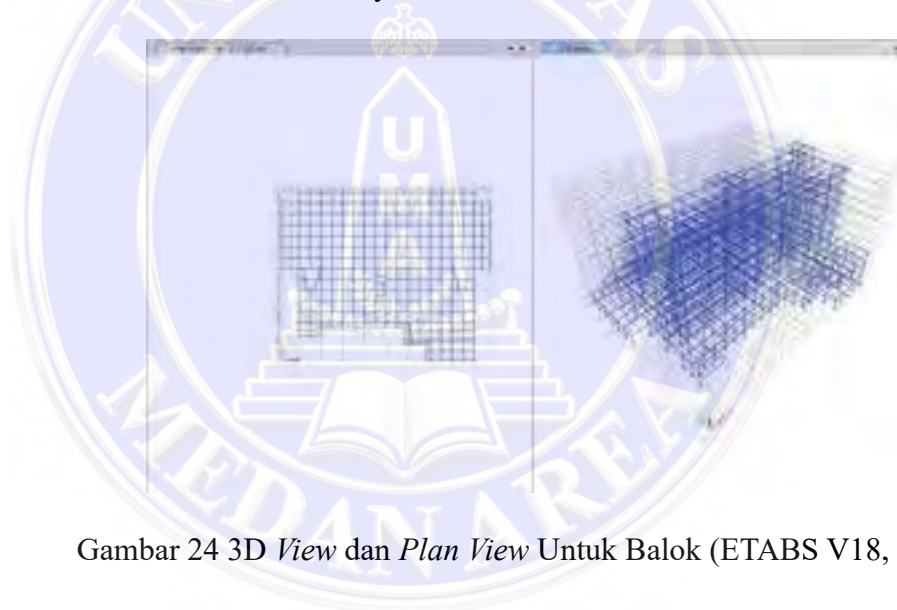
Gambar 22 Penggambaran Elemen Kolom (ETABS V18, 2025)

- c. Pemodelan elemen balok dilakukan dengan cara yang serupa dengan kolom, yaitu melalui pilihan *Quick Draw Beams* pada *toolbar* sebelah kiri.



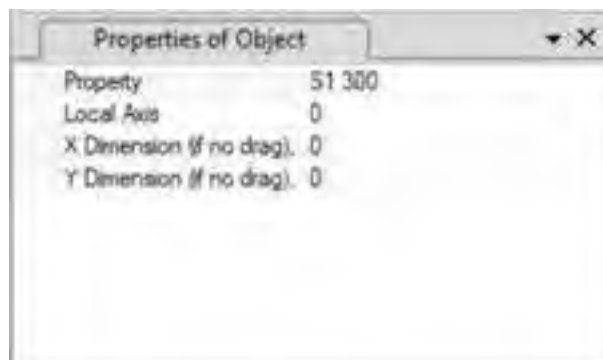
Gambar 23 *Property of Object* Untuk Balok (ETABS V18, 2025)

- d. Untuk mempercepat pemodelan elemen yang sama, fitur *Edit* → *Replicate* (Ctrl+R) dapat dimanfaatkan untuk menyalin elemen tersebut ke lantai lainnya.

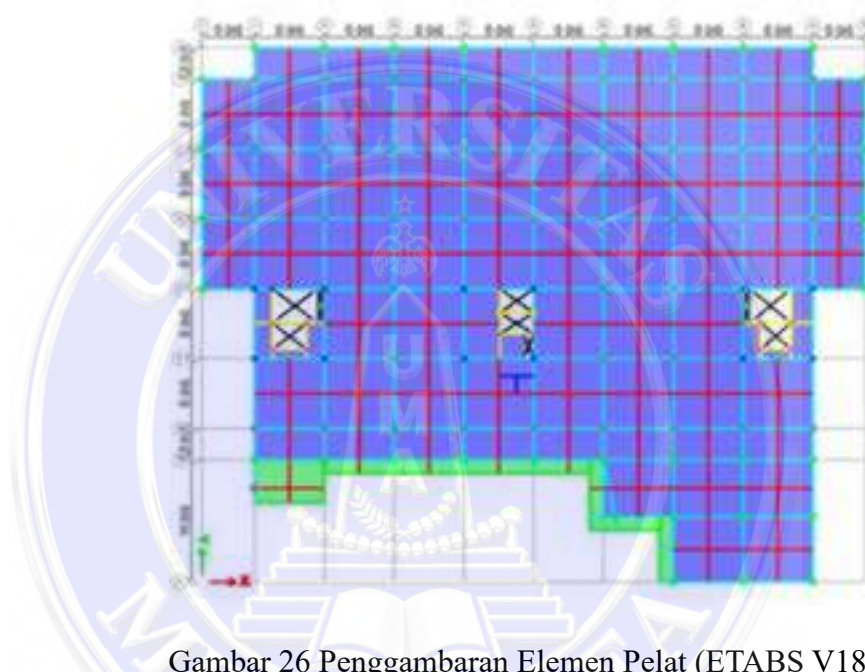


Gambar 24 *3D View* dan *Plan View* Untuk Balok (ETABS V18, 2025)

- e. Pemodelan elemen pelat dapat dilakukan dengan memilih *Quick RectangularFloor*. Setelah itu akan muncul kotak dialog *Properties of Object*. Selanjutnya, klik titik pada A3 dan kemudian pilih area yang akan digambar.



Gambar 25 *Property of Object* Untuk Pelat (ETABS V18, 2025)



Gambar 26 Penggambaran Elemen Pelat (ETABS V18, 2025)

- f. Pemodelan perletakan struktur dilakukan dengan mengubah tampilan ke *plan view* pada *Base Z = 0*, kemudian blok seluruh *Joint*. Setelah itu pilih *Assign* → *Joint* → *Restraints*, lalu pilih *Fast Restraints* jika menggunakan perletakan sendi, dan klik *Apply*.



Gambar 27 Joint Assignment (ETABS V18, 2025)

6. Pembebanan Pada Elemen Struktur

Pemberian beban pada struktur yang telah dihitung kemudian dimasukkan ke dalam model menggunakan program ETABS melalui tahapan berikut:

- a. Untuk mendefinisikan beban Statik yang bekerja pada struktur, buka menu *Define* → *Load Pattern*, kemudian tambahkan jenis beban seperti beban mati (DL), beban mati tambahan (SIDL), dan beban hidup (LL), sebagaimana terlihat pada Gambar 28.



Gambar 28 Define Static Load Pattern (ETABS V18, 2025)

- b. Untuk memasukkan beban mati pada balok, pilih balok yang akan diberi beban, lalu buka *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*. Pada

bagian *Load Pattern Name* pilih DL, kemudian isi jarak beban pada kolom *Trapezoidal Loads Distance* dan masukkan nilai bebannya pada kolom *Load*, seperti ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29 *Input Beban Mati Pada Balok (ETABS V18, 2025)*

- c. Untuk memberikan beban hidup pada balok, pilih balok yang akan diberi beban, lalu buka *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*. Pada bagian *Load Pattern Name* pilih LL, kemudian isi jarak beban pada *Trapezoidal Loads Distance* dan masukkan nilai bebannya pada kolom *Load*, sebagaimana terlihat pada Gambar 30.



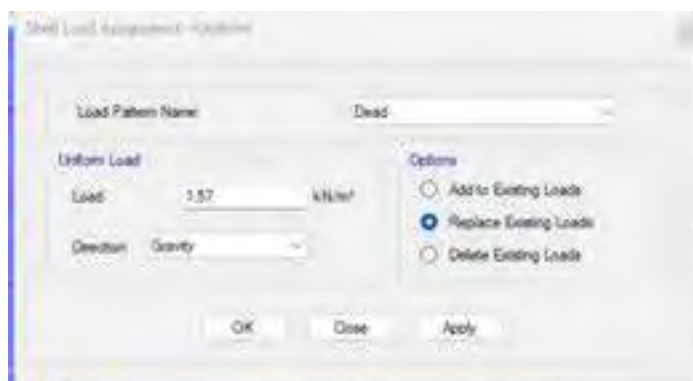
Gambar 30 *Input Beban Hidup Pada Balok (ETABS V18, 2025)*

- d. Untuk memasukkan beban mati tambahan akibat dinding, pilih balok-balok yang menjadi tumpuan dinding mulai dari lantai *Basement* hingga *Atap Lift*. Setelah balok dipilih, buka *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*, kemudian pada *Load Pattern Name* pilih *SIDL* dan masukkan nilai bebannya pada bagian *Uniform Load*, seperti ditunjukkan pada Gambar 31.



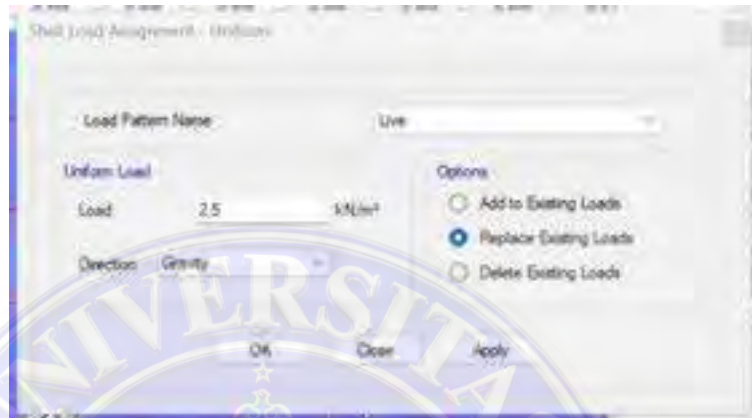
Gambar 31 *Input* Beban Mati Tambahan Pada Balok (ETABS V18, 2025)

- e. Untuk memberikan beban mati pada pelat, pilih pelat yang akan dibebani, lalu buka *Assign* → *Shell Loads* → *Uniform*. Pada *Load Pattern Name* pilih *DL*, kemudian isi nilai bebannya pada bagian *Uniform Load*, seperti terlihat pada Gambar 32.



Gambar 32 *Input* Beban Mati Pada Pelat (ETABS V18, 2025)

- f. Untuk memasukkan beban hidup pada pelat, pilih pelat yang akan diberi beban, kemudian buka *Assign* → *Shell Loads* → *Uniform*. Pada *Load Pattern Name* pilih LL, lalu masukkan nilai bebannya pada bagian *Uniform Load*, seperti ditampilkan pada Gambar 33.



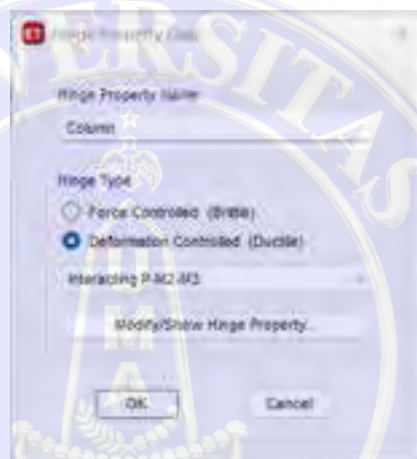
Gambar 33 *Input* Beban Hidup Pada Pelat (ETABS V18, 2025)

7. Pendefinisian *Hinges*

Langkah berikutnya adalah mendefinisikan properti sendi plastis sesuai standar ATC-40. Di ETABS, proses ini dilakukan melalui menu *Define* → *Section Properties* → *Frame/Wall Nonlinear Hinges*. Tambahkan properti baru dengan nama Beam dan jenis sendi M3 untuk balok, lalu buat salinannya dan ubah menjadi Column dengan jenis sendi P-M2-M3 untuk kolom. Contohnya ditunjukkan pada Gambar 34 dan 35.

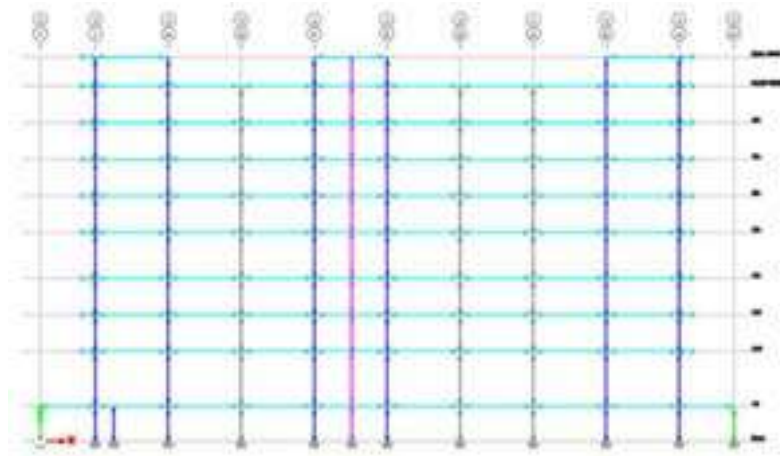


Gambar 34 *Hinges Property* Balok (ETABS V18, 2025)



Gambar 35 *Hinges Property* Kolom (ETABS V18, 2025)

Setelah properti sendi plastis dibuat, tahap berikutnya adalah memasangkannya pada elemen balok dan kolom di titik-titik kritis. Caranya: Select → *Properties* → *Frame Section* → pilih balok, kemudian buka *Assign* → *Frame* → *Hinges* dan masukkan nilai 0,1 serta 0,9 untuk membagi area tumpuan dan lapangan. Setelah itu klik OK. Proses yang sama dilakukan untuk kolom, seperti terlihat pada Gambar 36.

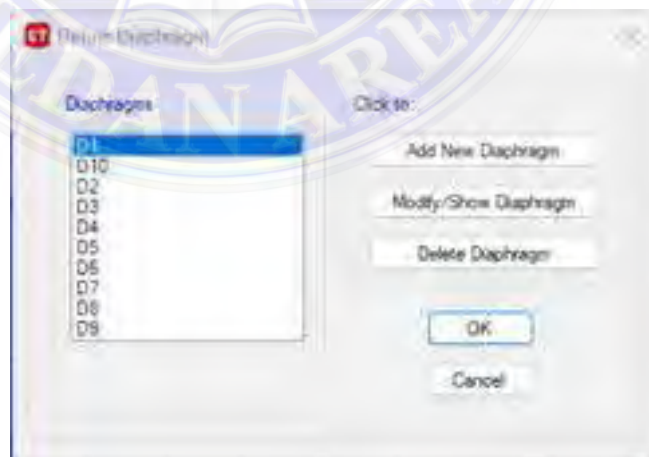


Gambar 34 Pendefenisian *Hinges* Kolom dan Balok (ETABS V18, 2025)

8. Pemberian *Diaphragms*

Pelat diasumsikan sebagai *diaphragm* kaku agar bersifat monolit, sehingga ketika bangunan menerima beban *Lateral*, pelat, balok, dan kolom dapat bergerak secara bersamaan.

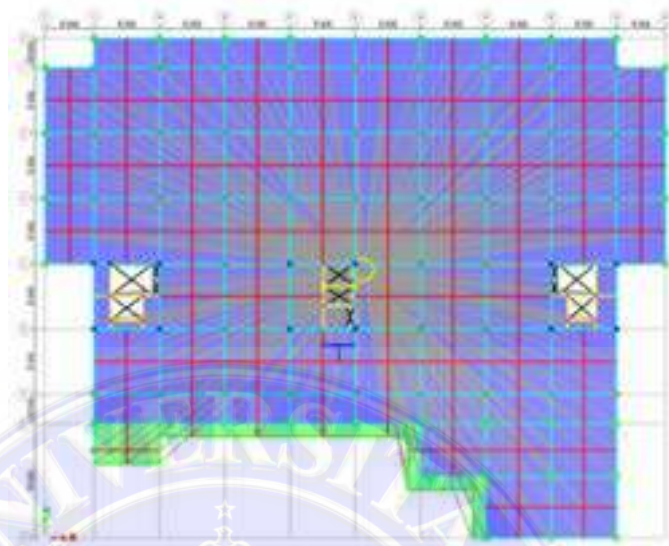
- a. Langkahnya dilakukan dengan membuka *Define* → *Diaphragms* → *Add New Diaphragms*, kemudian pada bagian *Rigidity* pilih *Rigid* dan klik OK. Setelah itu buat *Diaphragm* dengan nama D1 hingga D10.



Gambar 35 *Diaphragms* (ETABS 18, 2025)

- b. Pengaturan *diaphragm* dilakukan dengan memilih seluruh elemen pelat, lalu membuka *Assign* → *Shell* → *Diaphragms*. Pada bagian

Assignments, pilih D1 untuk lantai 1, dan lakukan hal yang sama untuk lantai-lantai berikutnya hingga lantai 10 (atap lift).



Gambar 36 *Input Diaphragms* (ETABS V18, 2025)

9. Pembebanan *Lateral*

Pola beban *Lateral* ditetapkan berdasarkan distribusi gaya gempa pada pusat massa setiap lantai. Beban tersebut dimasukkan ke dalam *Load Pattern* dengan nama *Lateral-X* dan *Lateral-Y* sesuai arah pembebanan. Beban *Lateral* diberikan secara bertahap (*incremental Static Load*) hingga struktur mencapai simpangan target.

- a. Langkahnya dilakukan dengan membuka menu *Define* → *Load Pattern* → *Add New Load*, kemudian beri nama *Lateral-X* untuk arah X dan *Lateral-Y* untuk arah Y. Pada bagian *Load Type*, pilih jenis *Other*



Gambar 37 *Define Load Pattern Lateral X dan Y* (ETABS V18, 2025)

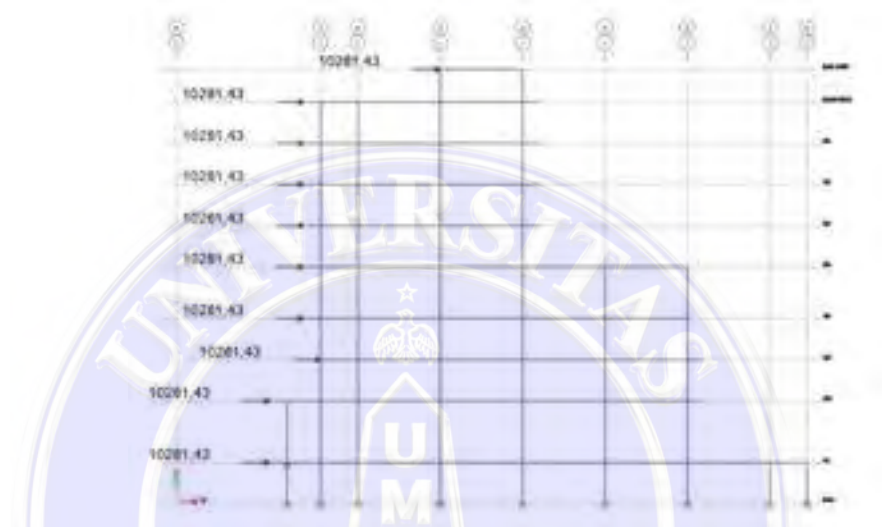
- b. Setelah *Load Pattern Lateral-X* dan *Lateral-Y* dibuat, langkah selanjutnya adalah memberi beban *Lateral* pada model. Tujuannya agar tiap lantai menerima gaya dorong sesuai pusat massa (CM) dan berat lantainya. Dengan langkah – langkah pemberian sebagai berikut :

Untuk pemberian beban arah X, pilih *node* paling luar yang akan didorong ke arah X, kemudian buka *Assign* → *Joint Loads* → *Force*. Pilih *Load Pattern Lateral-X* dan masukkan besar beban sesuai distribusi gempa yang proporsional terhadap berat lantai. Lakukan hal ini pada semua tingkat, dari lantai dasar hingga atap.



Gambar 38 *Input Lateral Load Arah-X* (ETABS V18, 2025)

Untuk pemberian beban *Lateral* arah Y, pilih *node* terluar yang akan didorong ke arah Y, kemudian buka *Assign* → *Joint Loads* → *Force*. Pilih *Load Pattern Lateral-Y* dan masukkan nilai beban sesuai distribusi gaya gempa yang proporsional dengan berat tiap lantai. Terapkan pada seluruh tingkat, mulai dari lantai dasar hingga atap.



Gambar 39 Input Lateral Load Arah-Y (ETABS V18, 2025)

10. Setting Pushover Analysis

Tahap terakhir adalah membuat *Load Cases* untuk analisis *pushover*. Melalui menu *Define* → *Load Cases*, dibuat dua kasus yaitu *Pushover-X* dan *Pushover-Y*. Pengaturannya meliputi pemilihan jenis analisis *Nonlinear Static (Pushover)*, penentuan control *displacement* pada *node* di tingkat atap, penggunaan pola beban POA-X dan POA-Y, serta penetapan target *displacement* berdasarkan ATC-40 atau SNI 1726:2019. Contohnya ditunjukkan pada Gambar 42, 43, dan 44.



Gambar 40 Define Static Load Cases (ETABS V18, 2025)

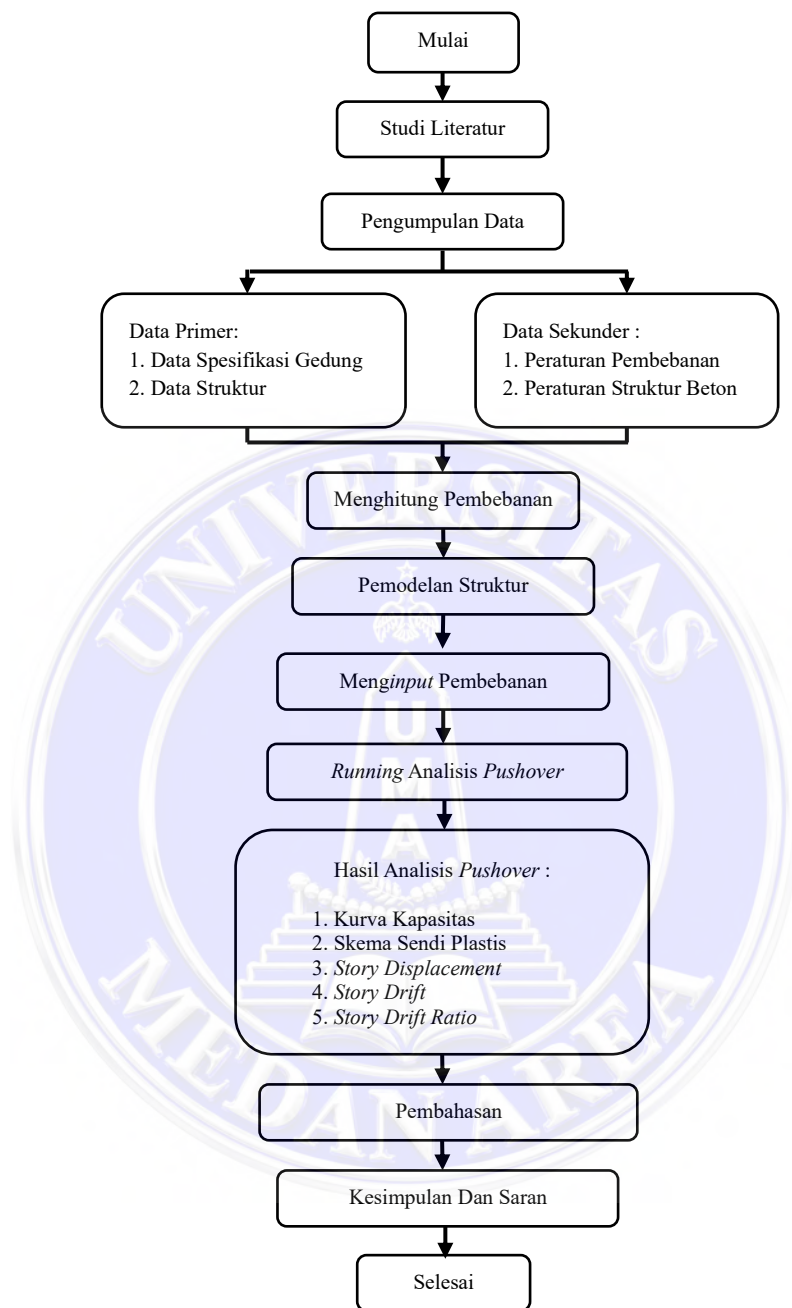


Gambar 41 Setting Final Pushover Arah-X (ETABS V18, 2025)



Gambar 42 Setting Final Pushover Arah-Y (ETABS V18, 2025)

3.6 Kerangka Berfikir



Gambar 45 Diagram Alir Penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa pada arah X struktur mampu menahan kapasitas geser maksimum sebesar 25096,56 kN dengan simpangan puncak 0,157507 m, di mana pada tahap awal pembebanan hubungan antara *Base shear* dan perpindahan masih bersifat linier yang menandakan perilaku elastis, kemudian berangsur berubah menjadi nonlinier seiring meningkatnya beban *Lateral*. Sementara itu, pada arah Y diperoleh kapasitas geser maksimum sebesar 15494,58 kN dengan simpangan maksimum 0,116117 m, yang menunjukkan bahwa meskipun kapasitas geser arah Y lebih rendah, deformasi yang terjadi relatif lebih kecil. Dengan demikian, struktur pada arah X memiliki kecenderungan mengalami deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan arah Y.

Hasil evaluasi *Story displacement* menunjukkan bahwa perpindahan maksimum terjadi pada lantai teratas, dengan nilai sebesar 157.742 mm pada arah X dan 116.544 mm pada arah Y yang menandakan arah X lebih sensitif terhadap perpindahan *Lateral*. Sementara itu, analisis *Story drift ratio* menghasilkan nilai maksimum sebesar 0,376% untuk arah X dan 0,344% untuk arah Y. Kedua nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas 1% sesuai dengan kriteria *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan ATC-40.

Dengan demikian, kinerja struktur dapat diklasifikasikan pada *level Immediate Occupancy (IO)*. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan tetap aman untuk digunakan pascagempa, dengan kerusakan yang sangat minimal dan tidak memengaruhi fungsi utamanya. Selain itu, nilai *displacement*, *drift*, dan *drift ratio* masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 dan ATC-40, sehingga struktur dinilai

layak secara seismic. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan tetap berada dalam kondisi aman dan masih dapat segera difungsikan setelah gempa, tanpa memerlukan perbaikan yang berarti.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian evaluasi dinamik gempa pada struktur gedung bertingkat dengan metode *pushover* menggunakan perangkat lunak ETABS, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dipertimbangkan

1. Walaupun struktur telah memenuhi kriteria kinerja seismik pada *level Immediate Occupancy*, arah X perlu mendapat perhatian khusus karena menunjukkan deformasi yang lebih besar dibandingkan arah Y. Oleh karena itu, pemantauan secara berkala pada arah tersebut penting dilakukan guna memastikan kinerja struktur tetap terjaga.
2. Untuk meminimalkan pengaruh gaya gempa terhadap struktur, disarankan penerapan sistem peredam energi, seperti *Base isolator* atau *viscous damper*. Penggunaan sistem ini dapat menekan perpindahan *Lateral* yang berlebihan sekaligus meningkatkan kemampuan disipasi energi saat gempa terjadi.
3. Penambahan dinding geser (*shear wall*) pada lokasi-lokasi kritis dapat meningkatkan kekakuan *Lateral* bangunan dan menekan deformasi akibat beban *Lateral*.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi beban gempa, termasuk skenario gempa dengan intensitas yang lebih tinggi, guna memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kapasitas maksimum struktur.

5. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi beban gempa, termasuk skenario gempa dengan intensitas yang lebih tinggi, guna memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kapasitas maksimum struktur. Dan Selain analisis Statik nonlinier *pushover*, penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan penggunaan analisis dinamik nonlinier *time history* agar *respons* struktur terhadap riwayat gempa aktual dapat dipahami secara lebih rinci.



DAFTAR PUSTAKA

- Aranta, S. D., Irawati, I. S., Teknik, D., Mada, U. G., & Yogyakarta, J. G. (2025). *RUMAH SAKIT DENGAN METODE PUSHOVER Structure Performance Evaluation of the Design of a Hospital Building Using the Pushover Method*. 20.
- Bernardus, Valencia J. M., Ronny E. Pandaleke, B. D. H. (2025). Evaluasi Kinerja Gedung Rumah Sakit 3 Lantai Di Kotamobagu Dengan Metode Analisis Pushover. *Valencia J. M. Bernardus; Ronny E. Pandaleke; Banu D. Handono; Marthin D. J. Sumajow*, 23(91).
- Chalif, F. Al. (2024). Pengaruh Arah Sudut Datang Gerakan Tanah Akibat Gempa Terhadap Kerusakan Struktur Bangunan Toko (Studi Kasus). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 4, 64–72.
- Christianto, D., Leman, S., Tanika, A. N., Sutanto, M. K., & Marcella, V. (2021). *EDUKASI DAN MITIGASI GEMPA PADA BANGUNAN*. 417–422.
- Hutubessy, V. R. R. (2022). Evaluasi Kinerja Stgstruktur Gedung Bpjs Kesehatan Cabang Ambon Terhadap Gempa Dengan Metode Pushover. *Journal Agregate*, 1(1), 108–122.
- Kumar, N., Sil, A., Mariappan, M., Choudari, S., Patva, V., Kumar, A., & Malokar, A. A. Performance-Based Evaluation Techniques for Seismic Vulnerability Assessment of Reinforced Concrete Structures.
- Nascimbene, R., Bianchi, F., & Brunesi, E. (2025). *A Global Performance-Based Seismic Assessment of a Retrofitted Hospital Building Equipped with Dissipative Bracing Systems*. 1–23.
- Nasution, I., & Fauzan, M. (2024). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan Pushover Analysis*. 09(02), 199–210. <https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.199-210>.
- Nugraha, H. (2021). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APSLC UGM dengan Metode Analisis Pushover sesuai Peraturan SNI-1726-2019. Tugas Akhir.
- Nur, D., Intan, F., Susanti, E., & Istiono, H. (n.d.). *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Perikanan Dan Kelautan Unair Surabaya Dengan Metode Pushover Analysis Dewi*. 1, 18–29.
- Nurhidayatullah, E. F., & Ardiyanto, D. (2025). *Seismic Performance Study of Multi-storey Building Structures with Nonlinear Time History Analysis Method*. 9(1).
- Pangestu, B. R., Suksmono, A. K., & Wibowo, M. A. (2024). Evaluasi Performa

Struktural Gedung Fakultas Mipa Universitas Jenderal Soedirman Terhadap Gempa Dengan Metode Analisis Pushover. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 73. <https://doi.org/10.30595/civeng.v5i2.21735>.

Pratama, A. F., & Zameeruddin, M. (2024). Evaluation of Reinforced Concrete Structural Performance under Earthquake Loads Based on Nonlinear Analysis in Lombok. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 2(3), 86-92.

Ragat Aji Mustofa, Bayzoni, Hasti Riakara Husni, M. I. (2023). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Pushover (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)*. 12(1), 27–38.

Rahayu, T., Nasution, Z., & Karnawati, D. (2022). Regional zonation based on seismic vulnerability using local site effect analysis and potential damage to the city of Medan (North Sumatra , Indonesia) due to earthquake. *Geoenvironmental Disasters*. <https://doi.org/10.1186/s40677-022-00227-0>.

Rizki, F., & Pamungkas, P. (2021). Analisis Kinerja Struktur Pada Konstruksi Baja dan Konstruksi Beton Bertulang Dengan Analisa Pushover Statik Non-Linear Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Hotel Santika, Batam). *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 64–76. <https://doi.org/10.37253/jcep.v2i1.729>.

Syahira, M. S., & Jamal, A. U. (2023). *Evaluasi kinerja struktur atas pada desain gedung perkantoran menggunakan analisis pushover berdasarkan atc-40 terhadap beban gempa level besar (maximum considered earthquake, risk targeted) Maritza*. 3(1), 40–51.

Urba, A. (n.d.). *Report 070202*.

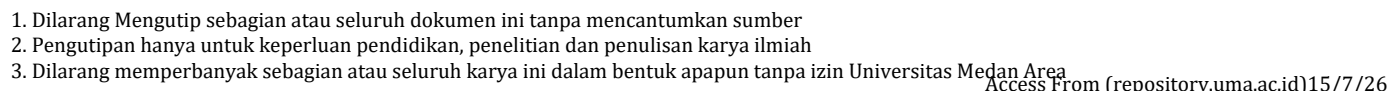
ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California: Seismic Safety Commission of California.

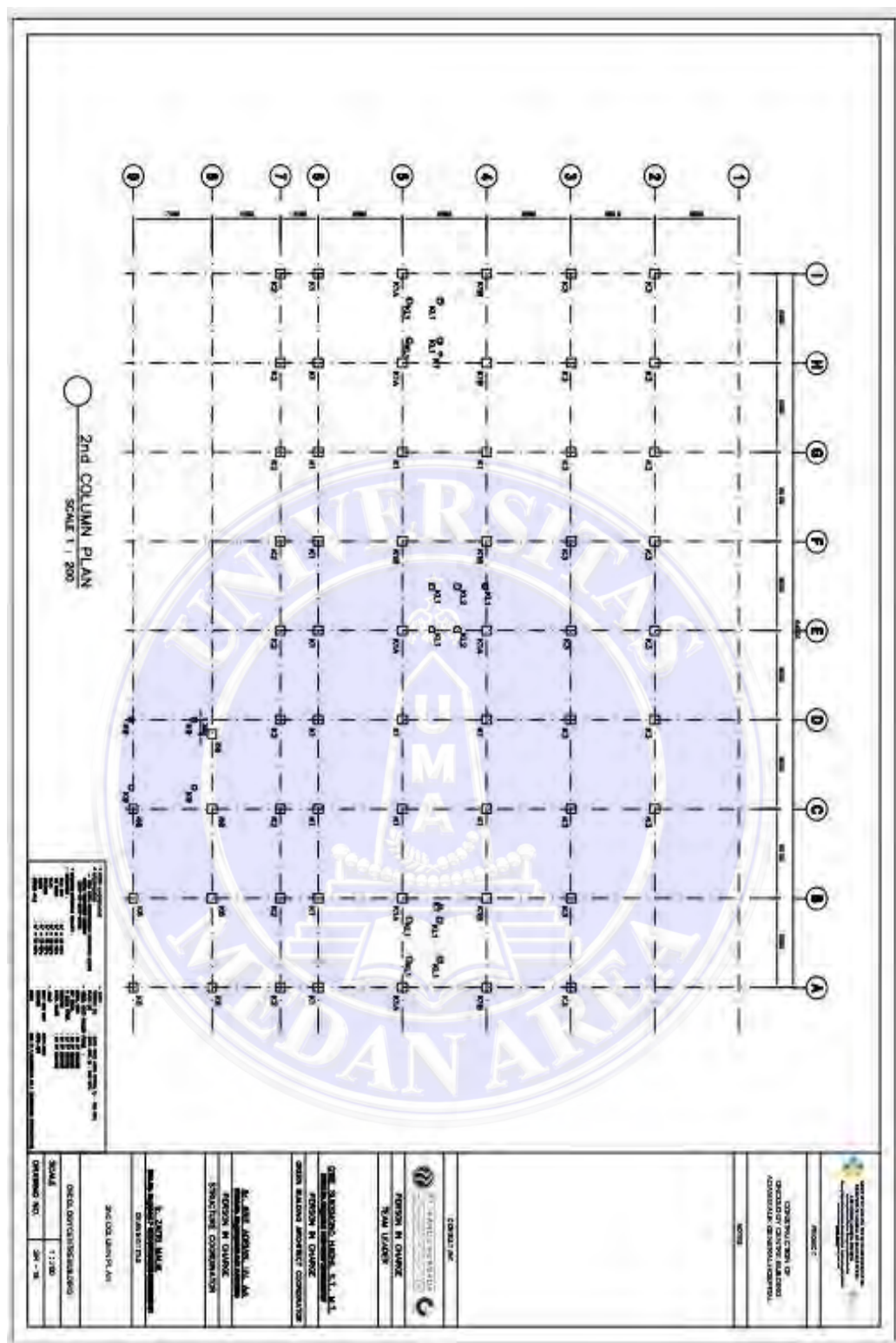
SNI 1726-2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

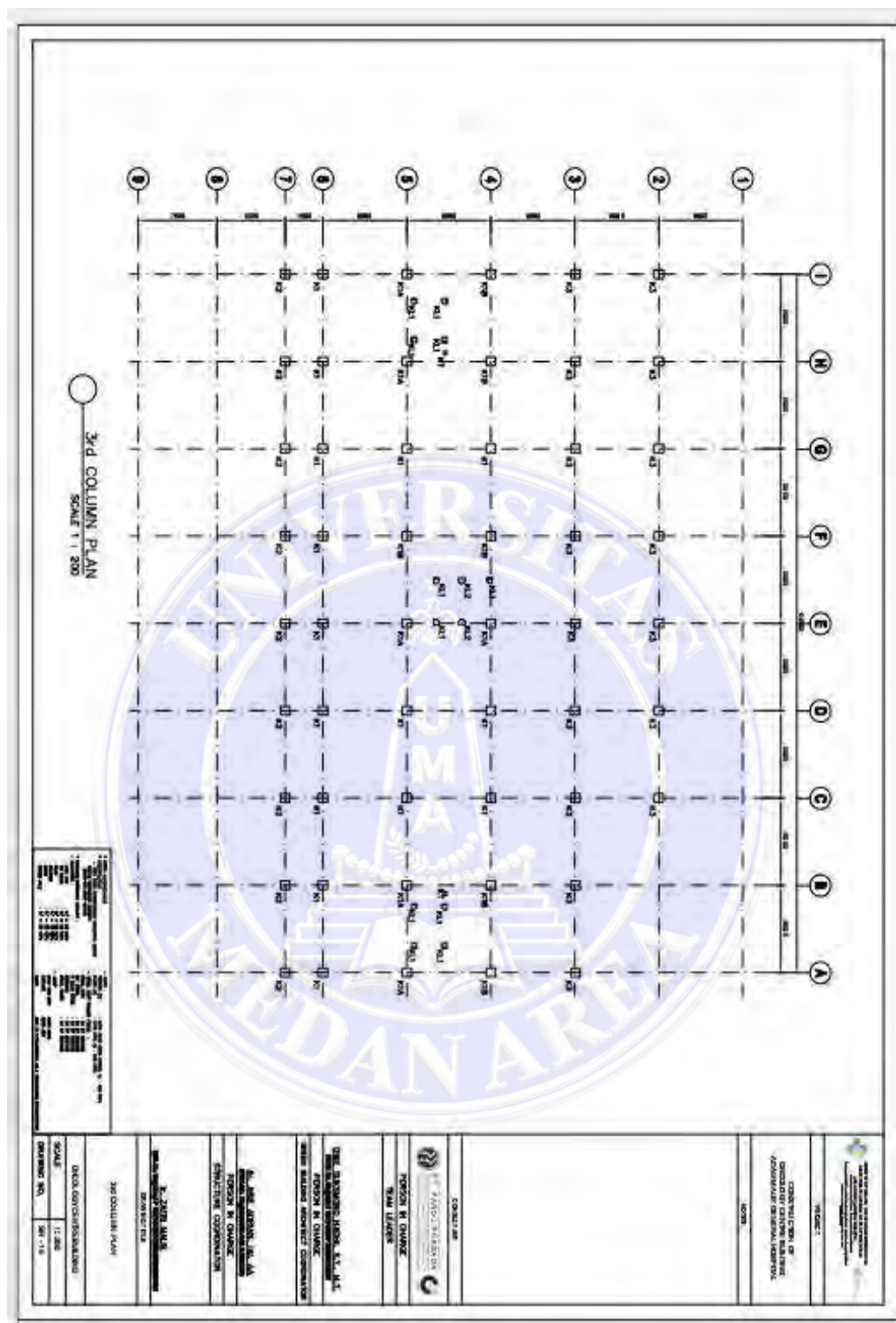


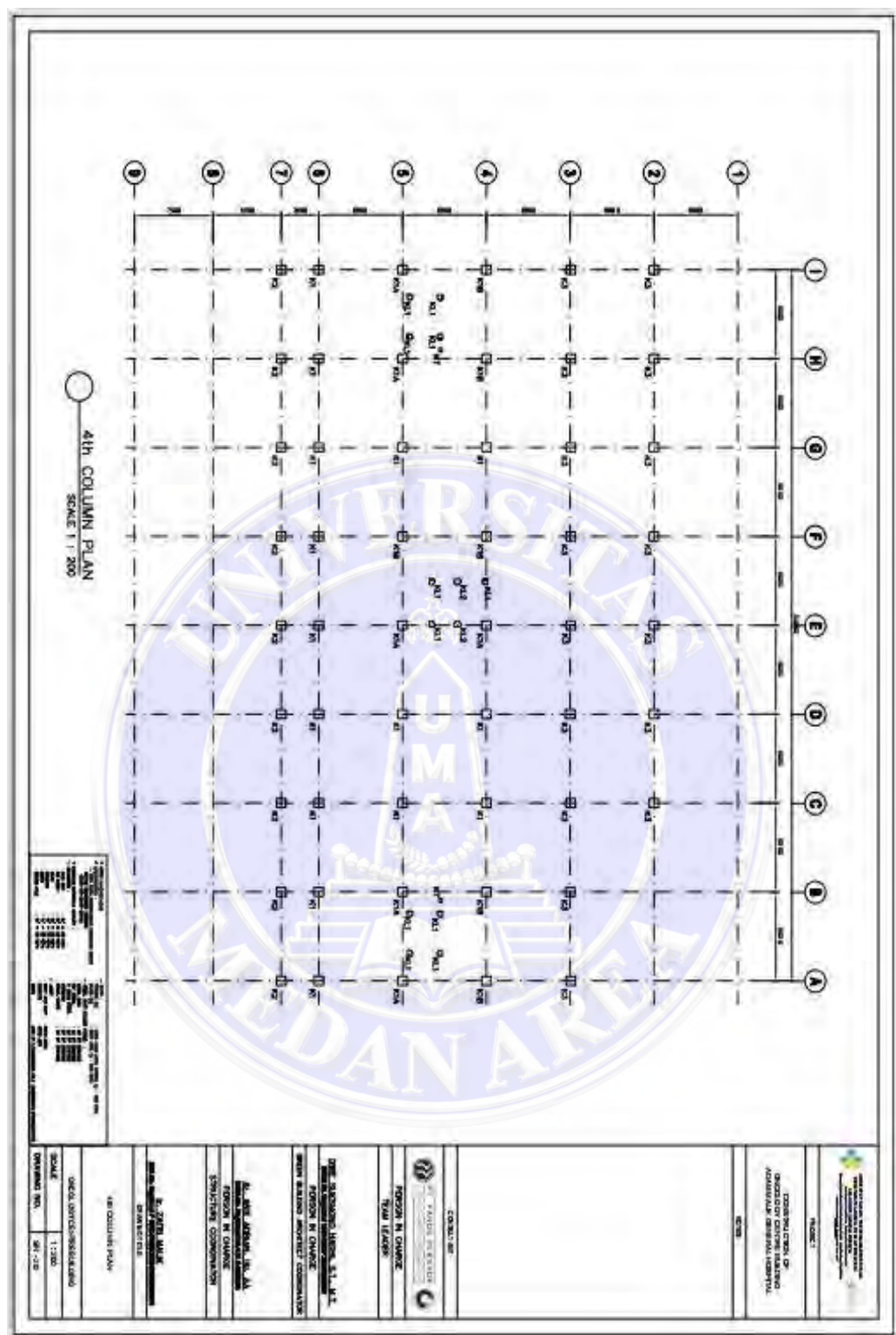
LAMPIRAN

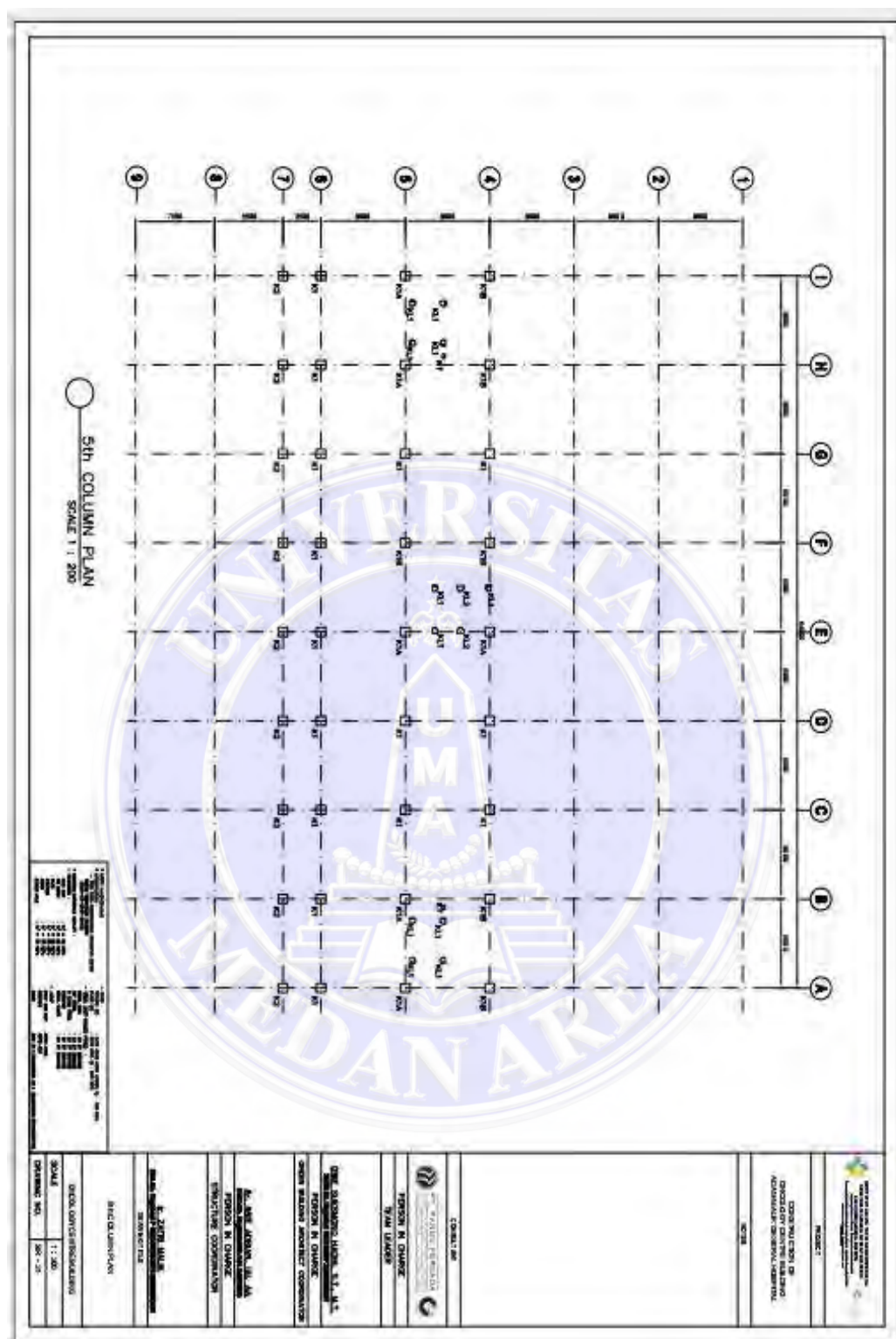
Lampiran 1 (Kolom)

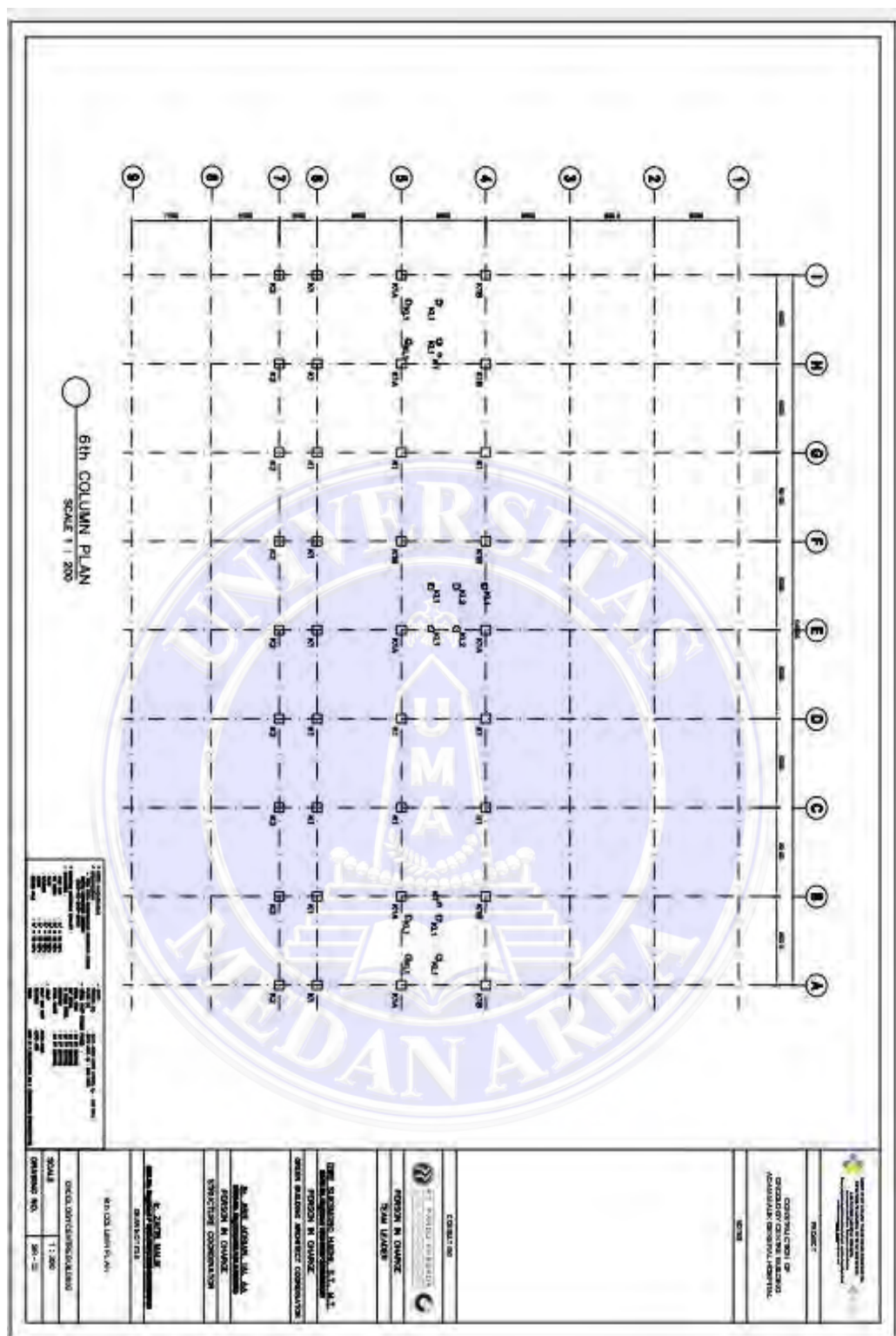


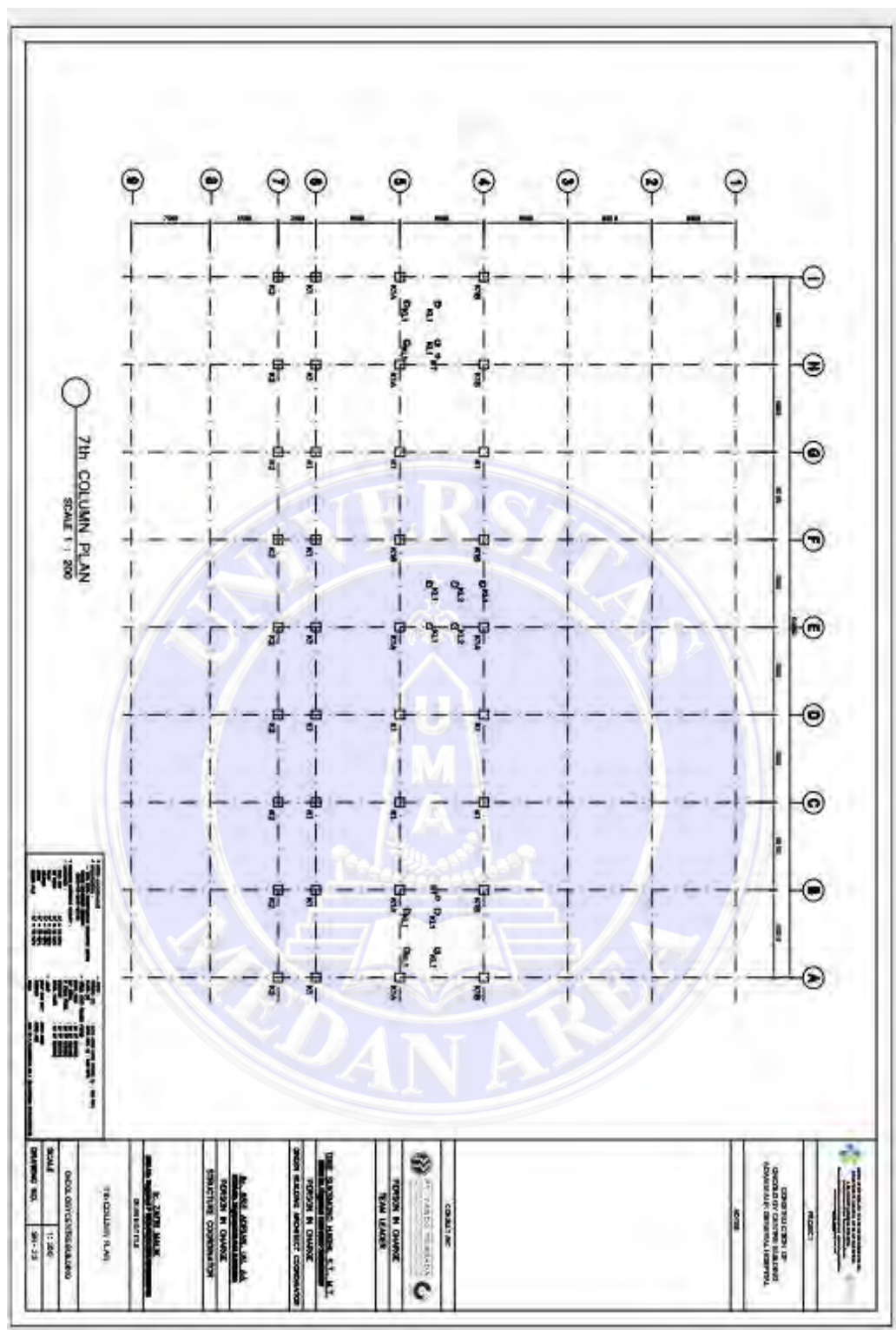


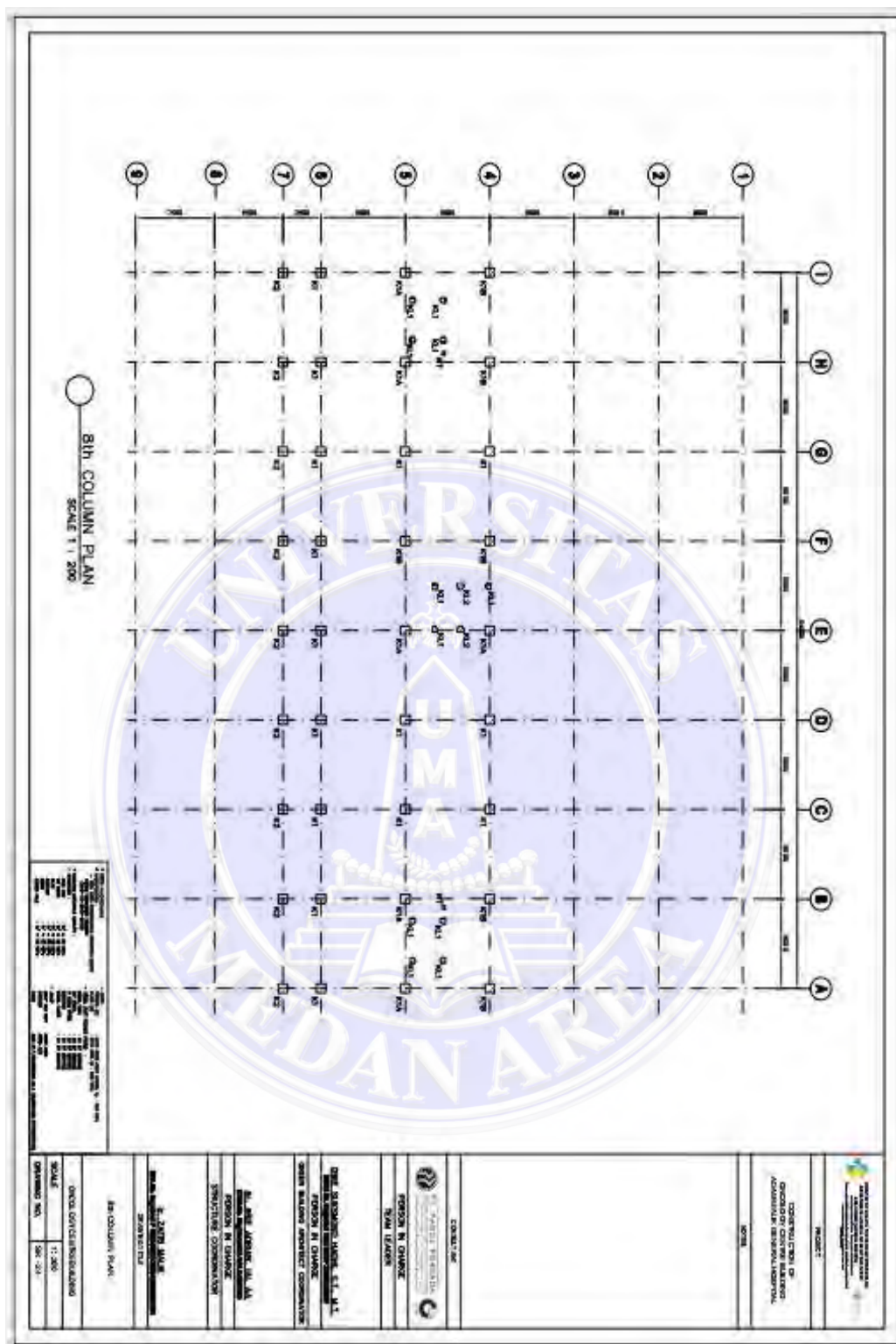


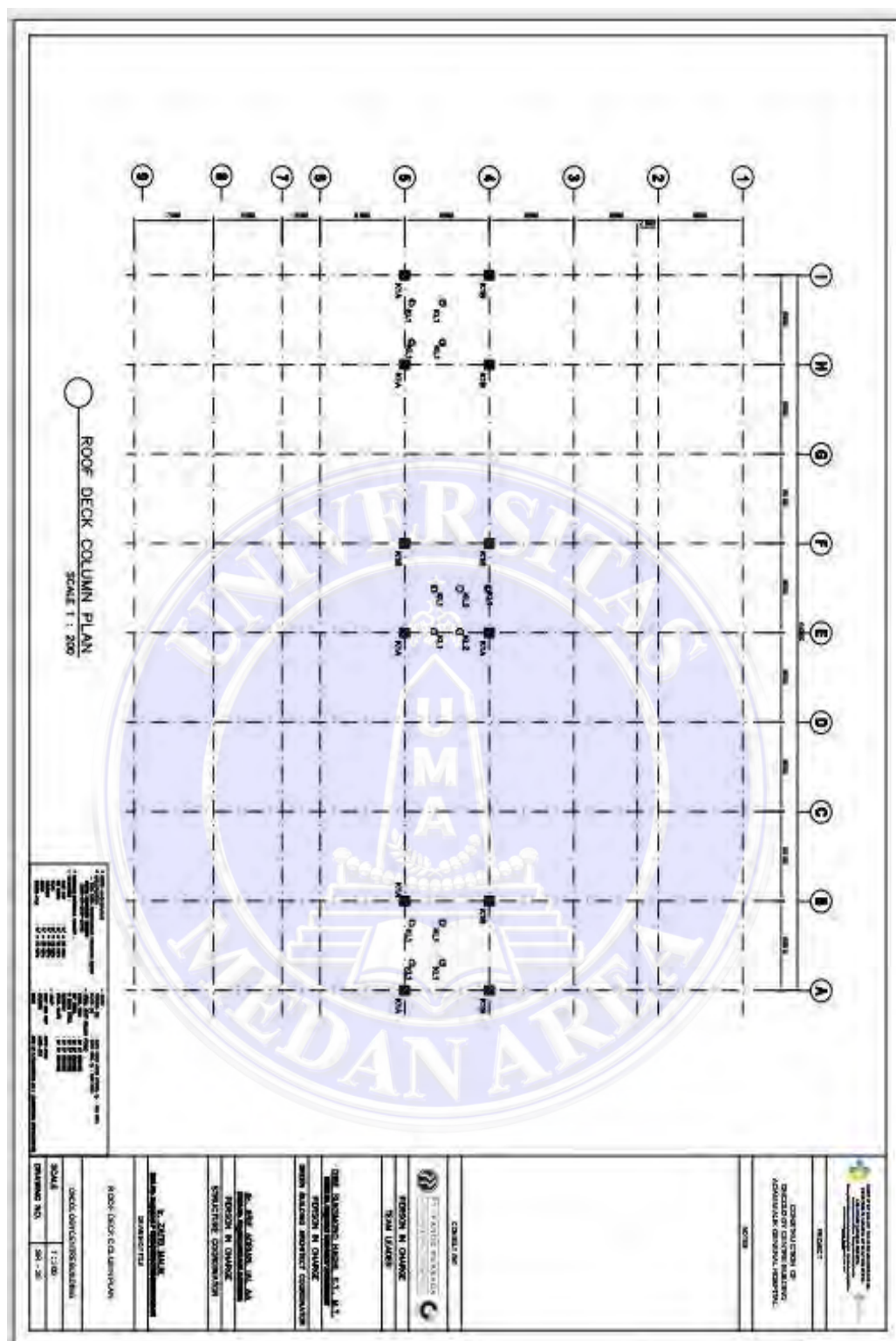


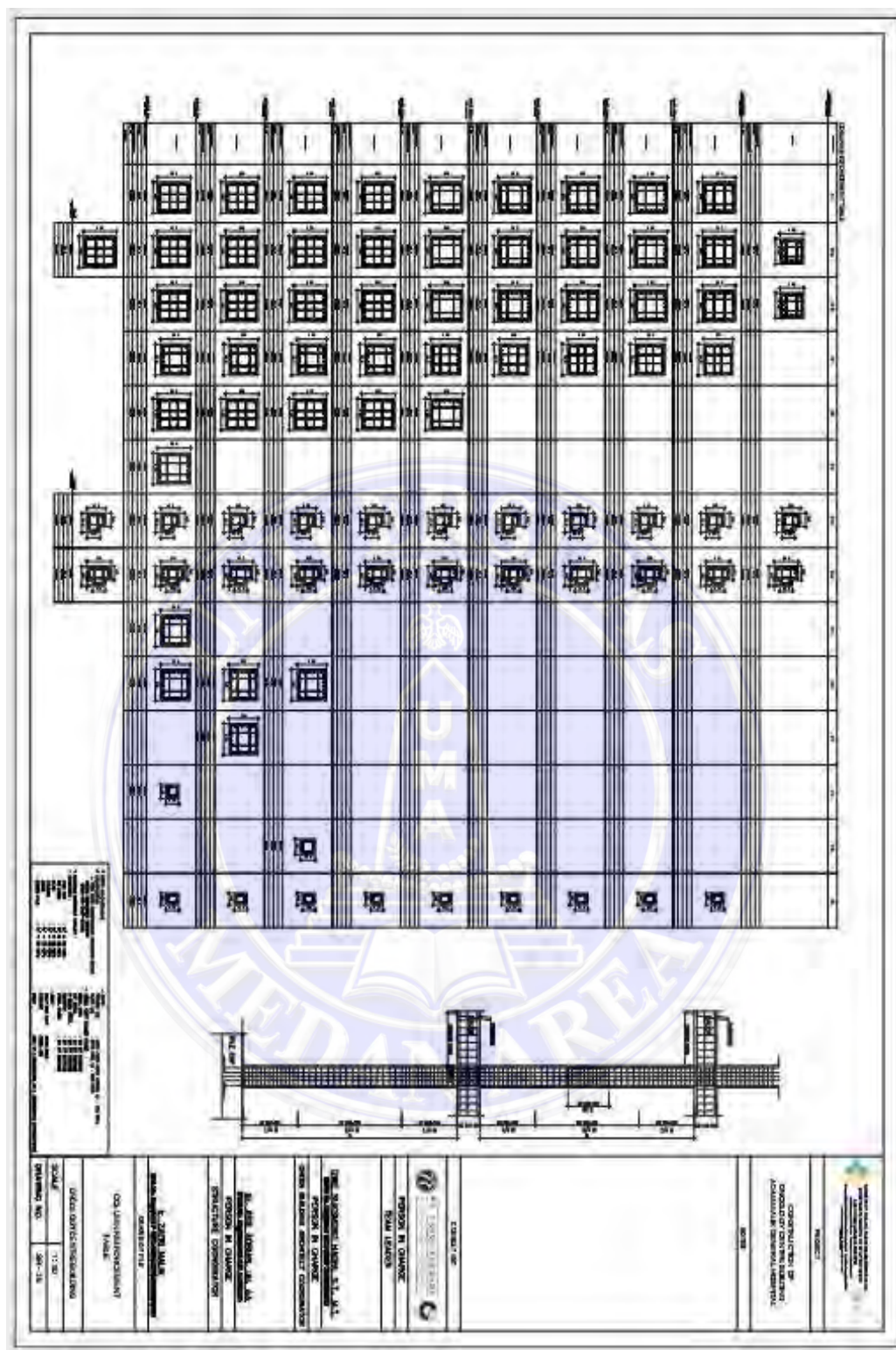




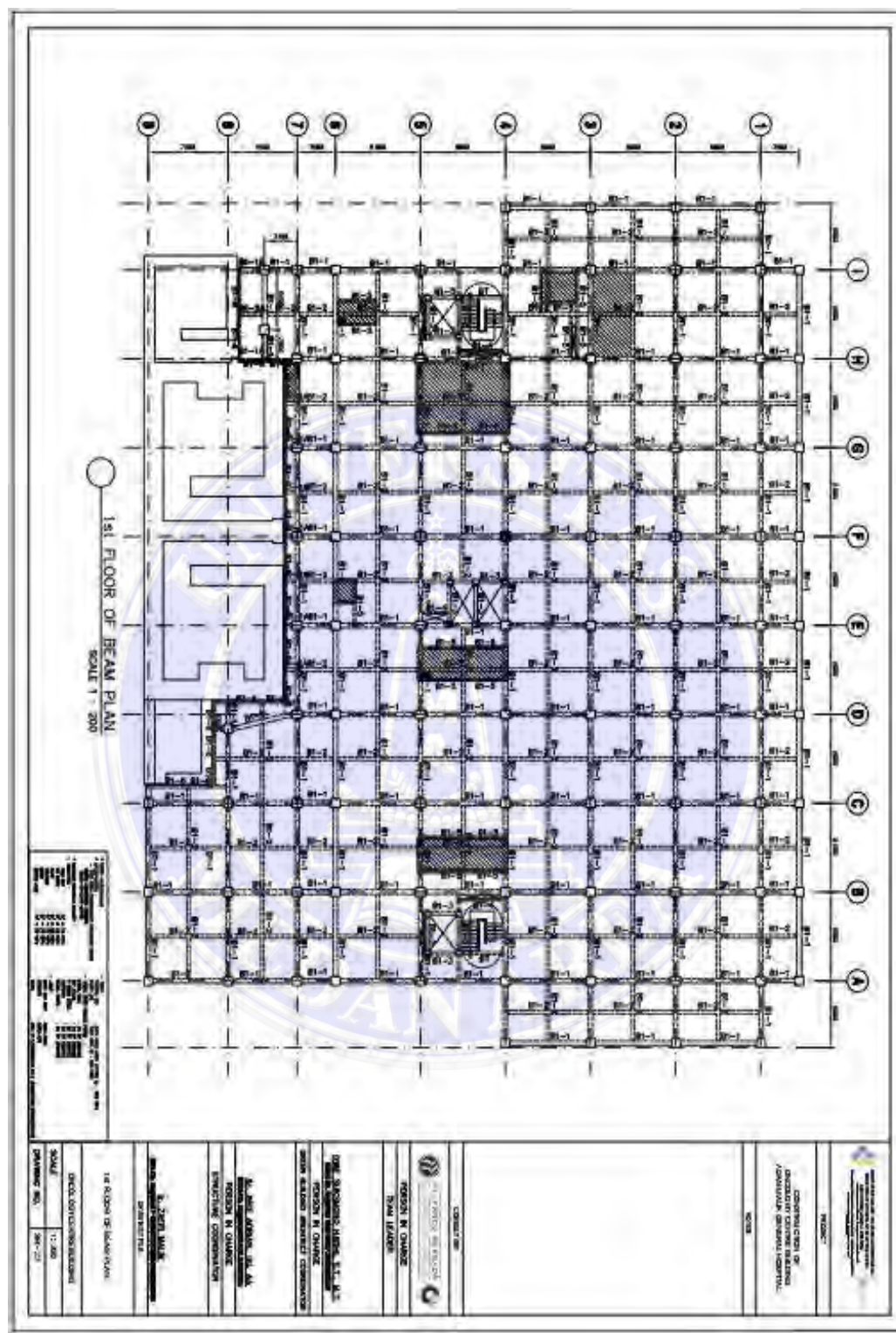


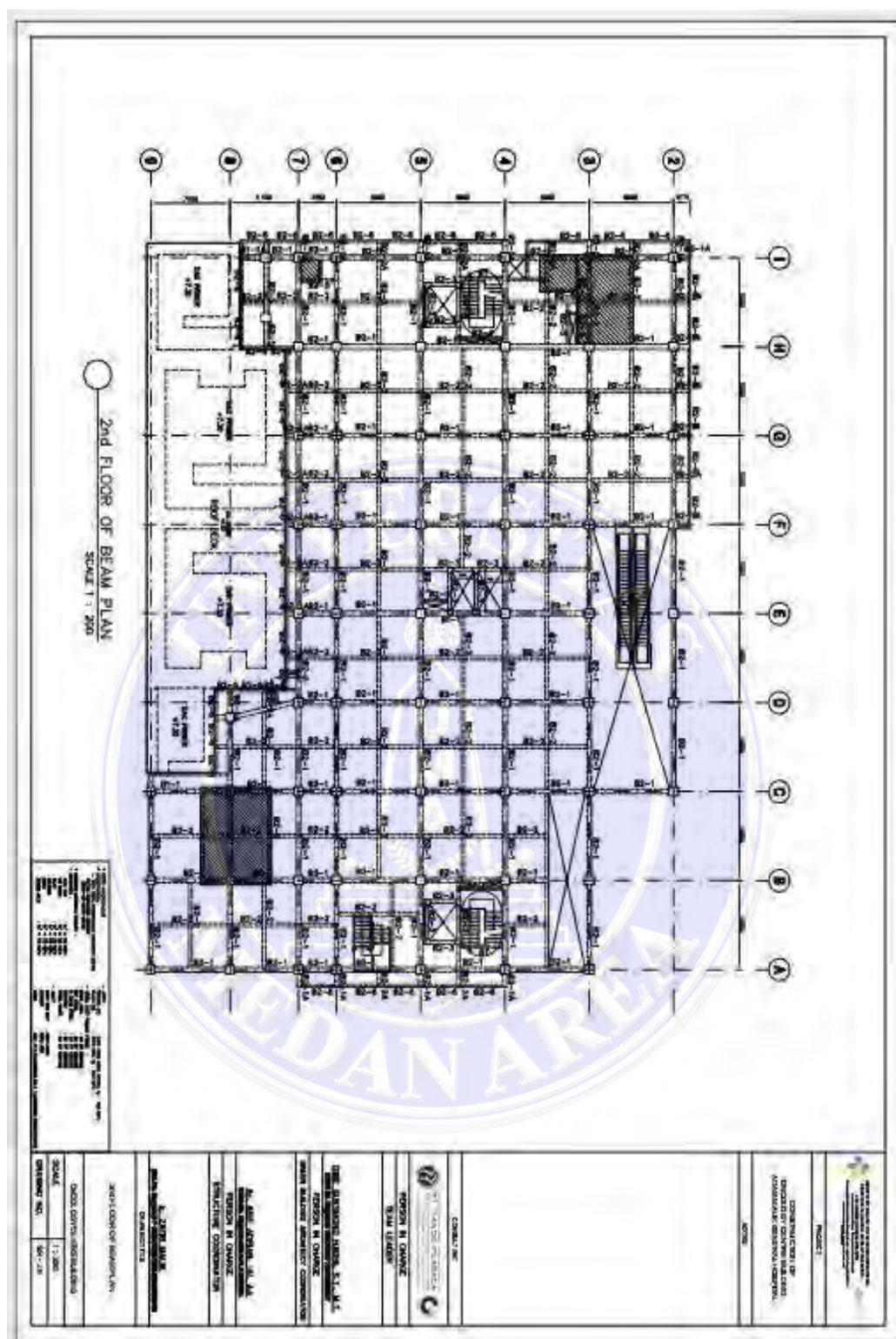


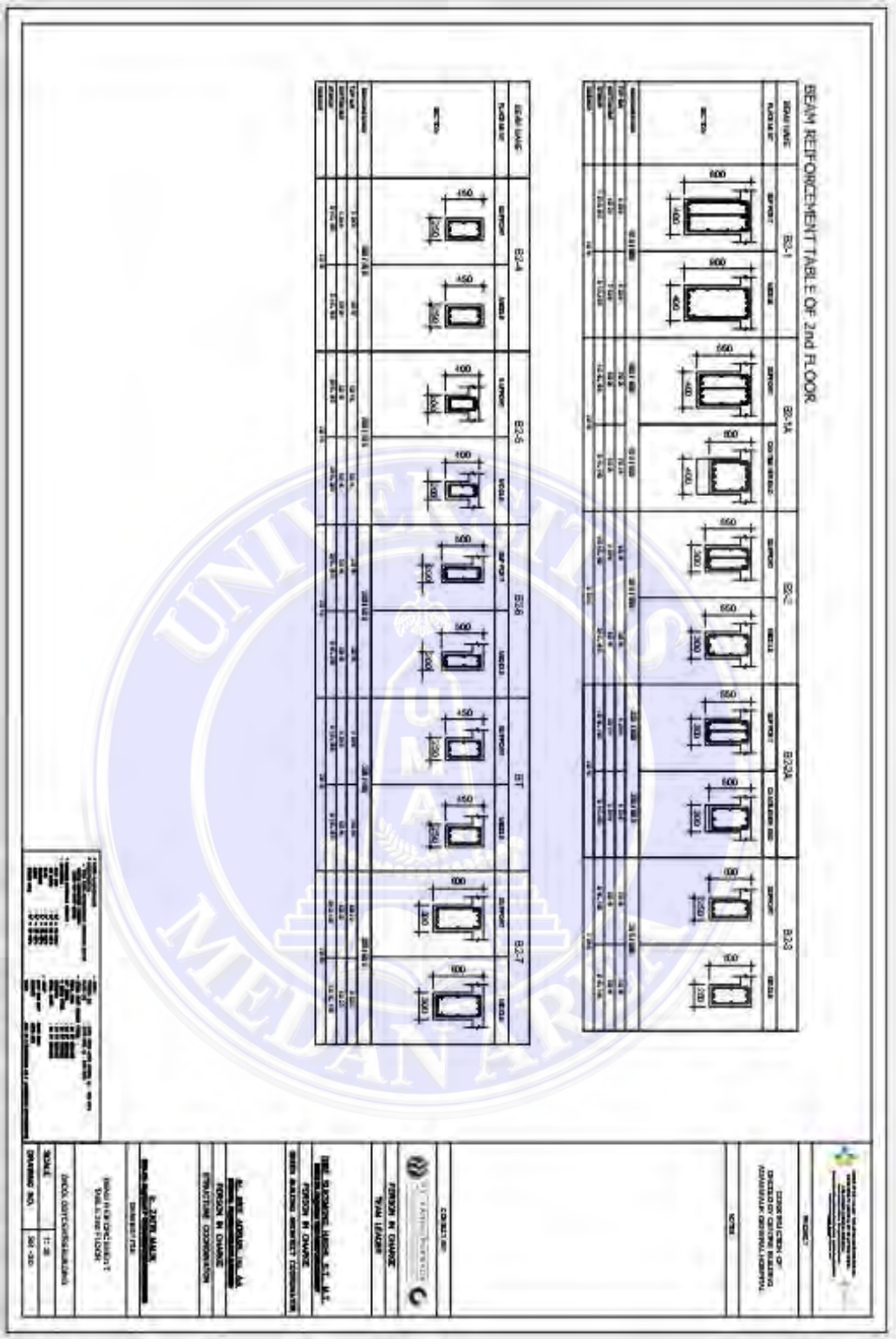


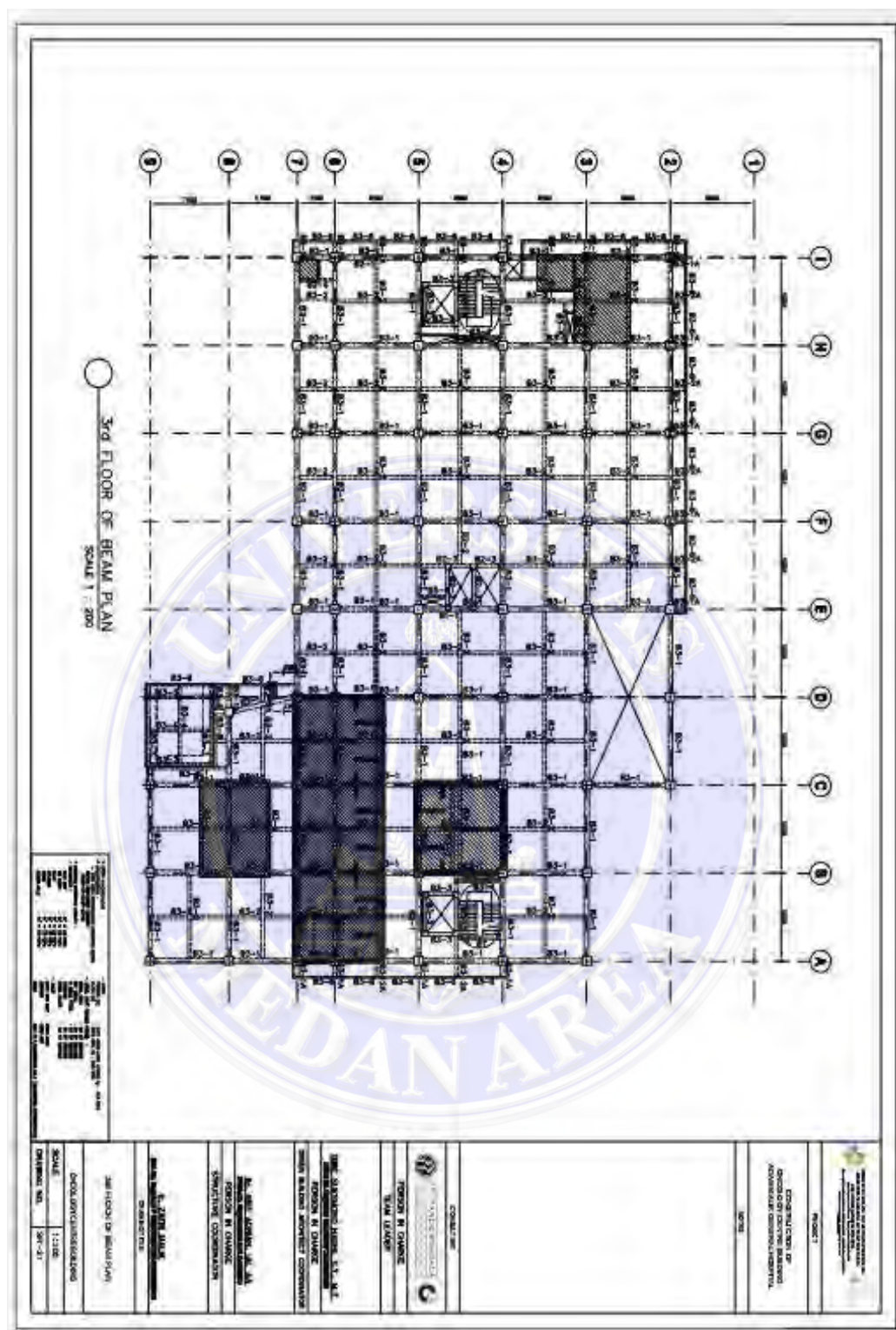


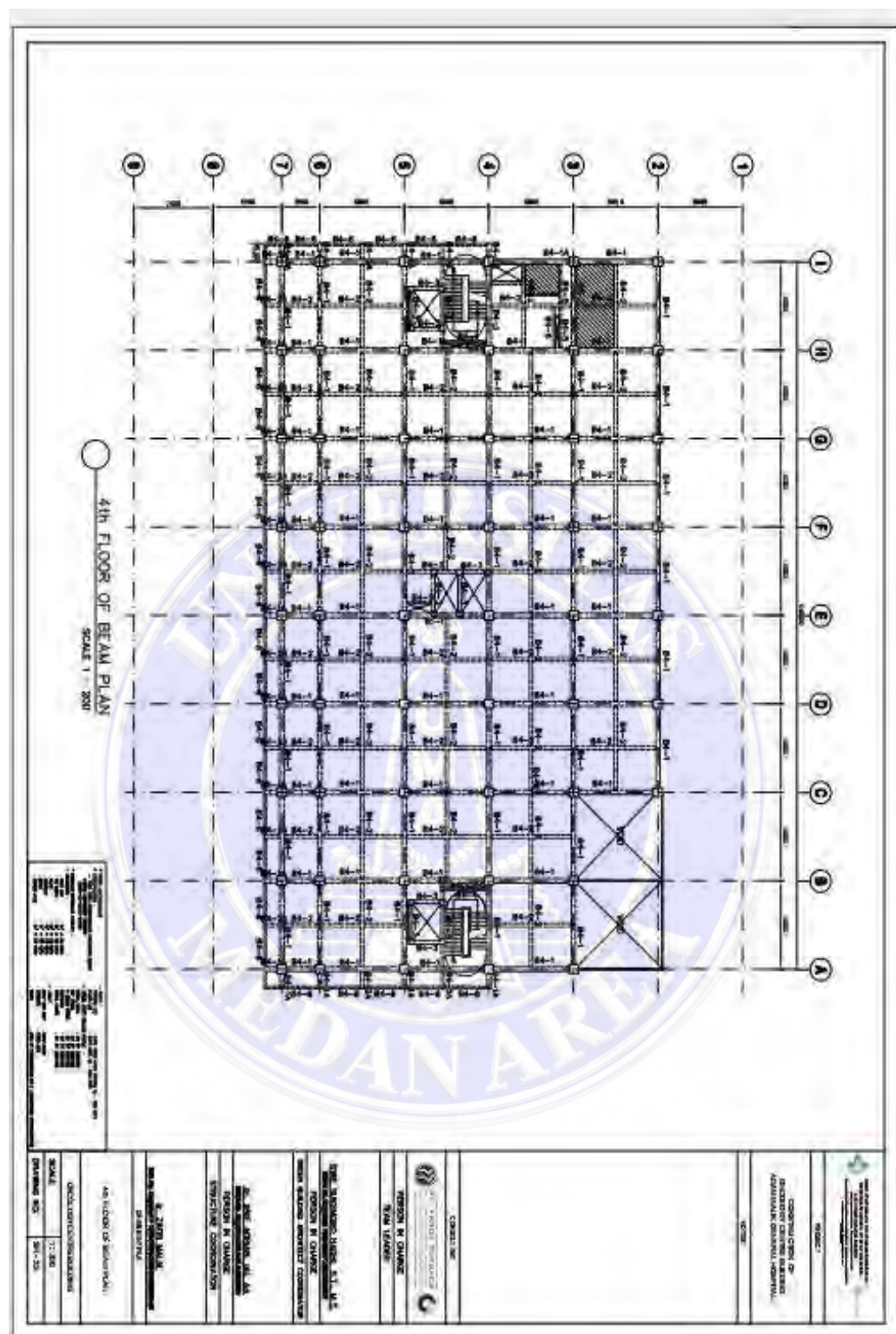
Lampiran 2 (Balok)

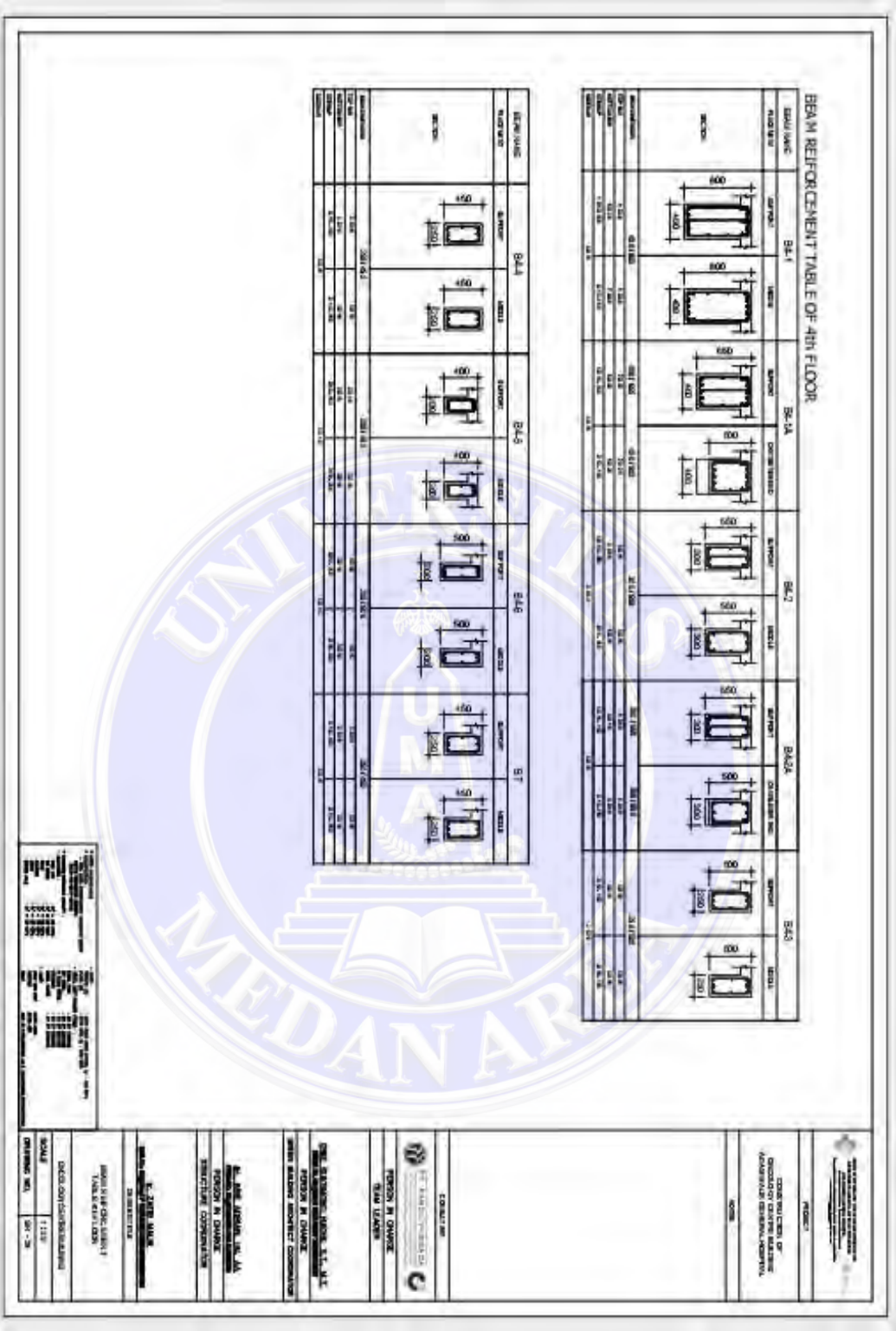


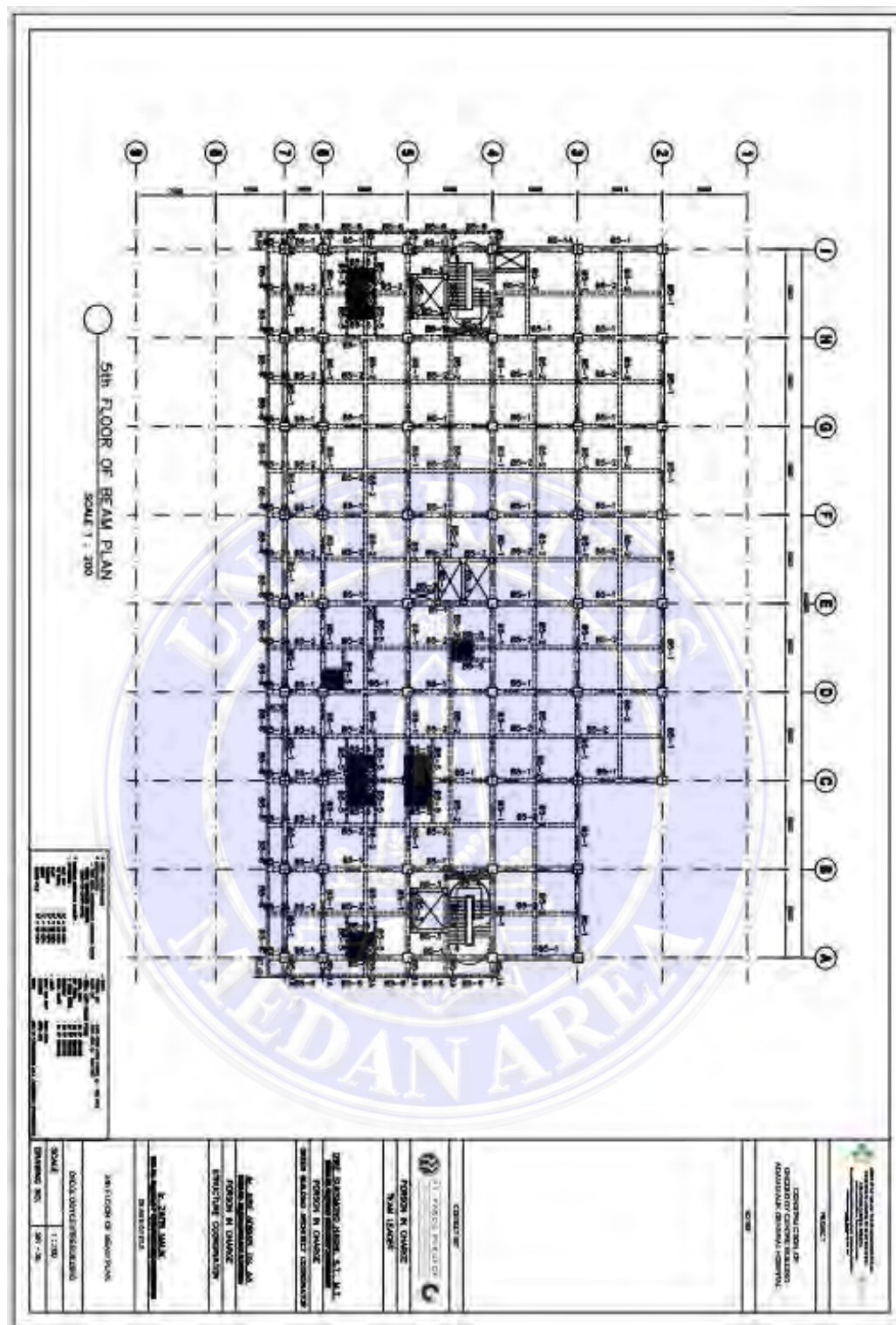


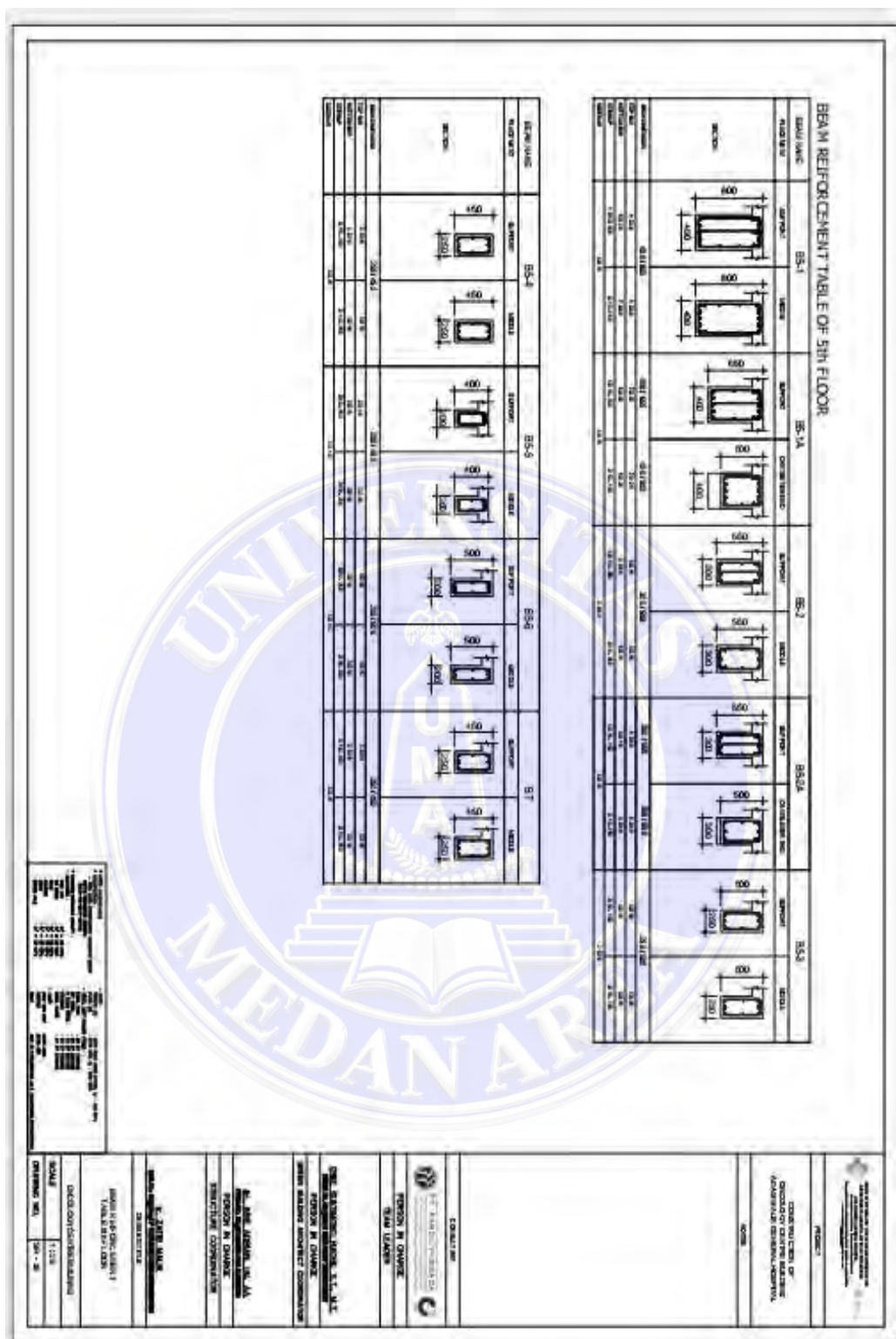


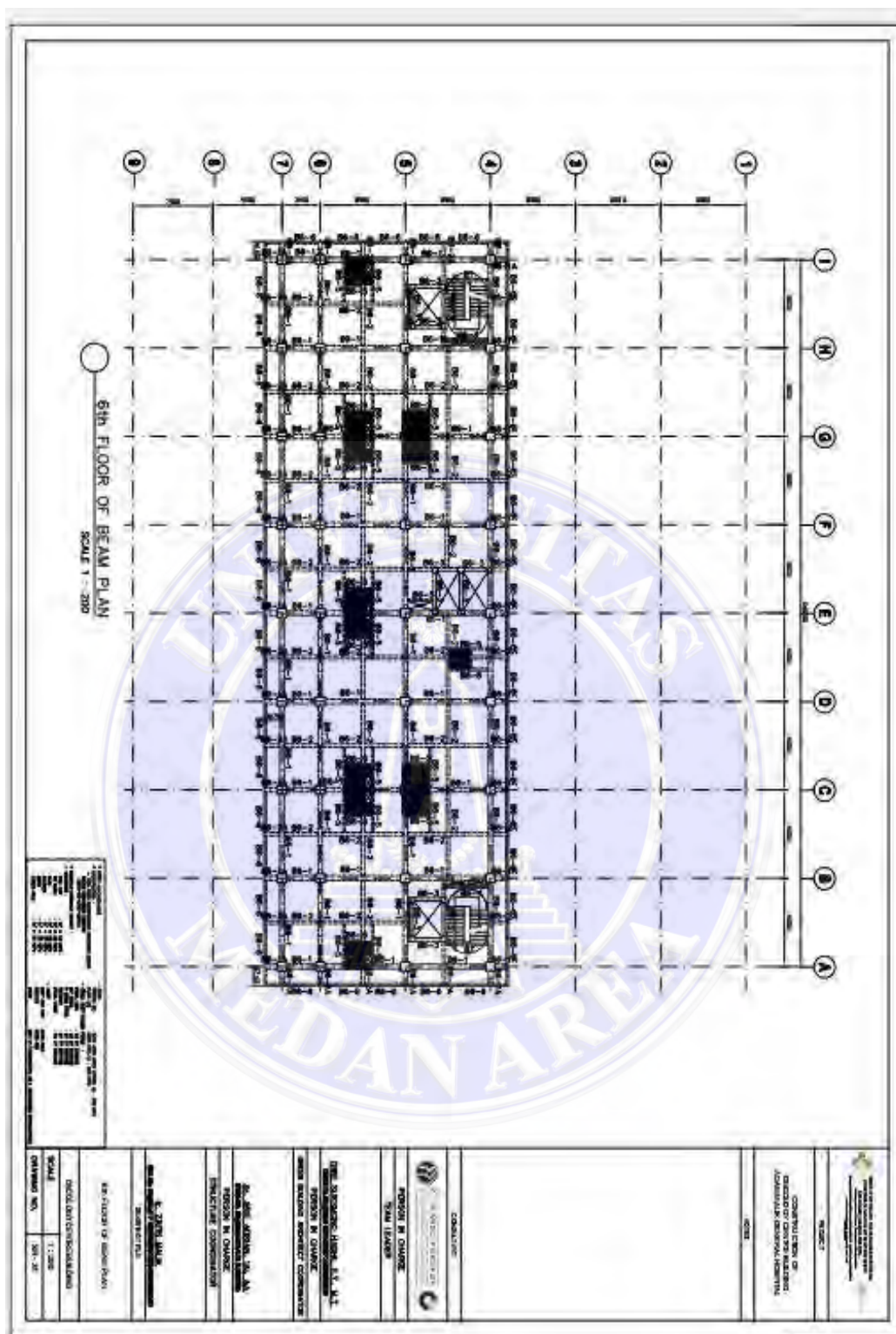


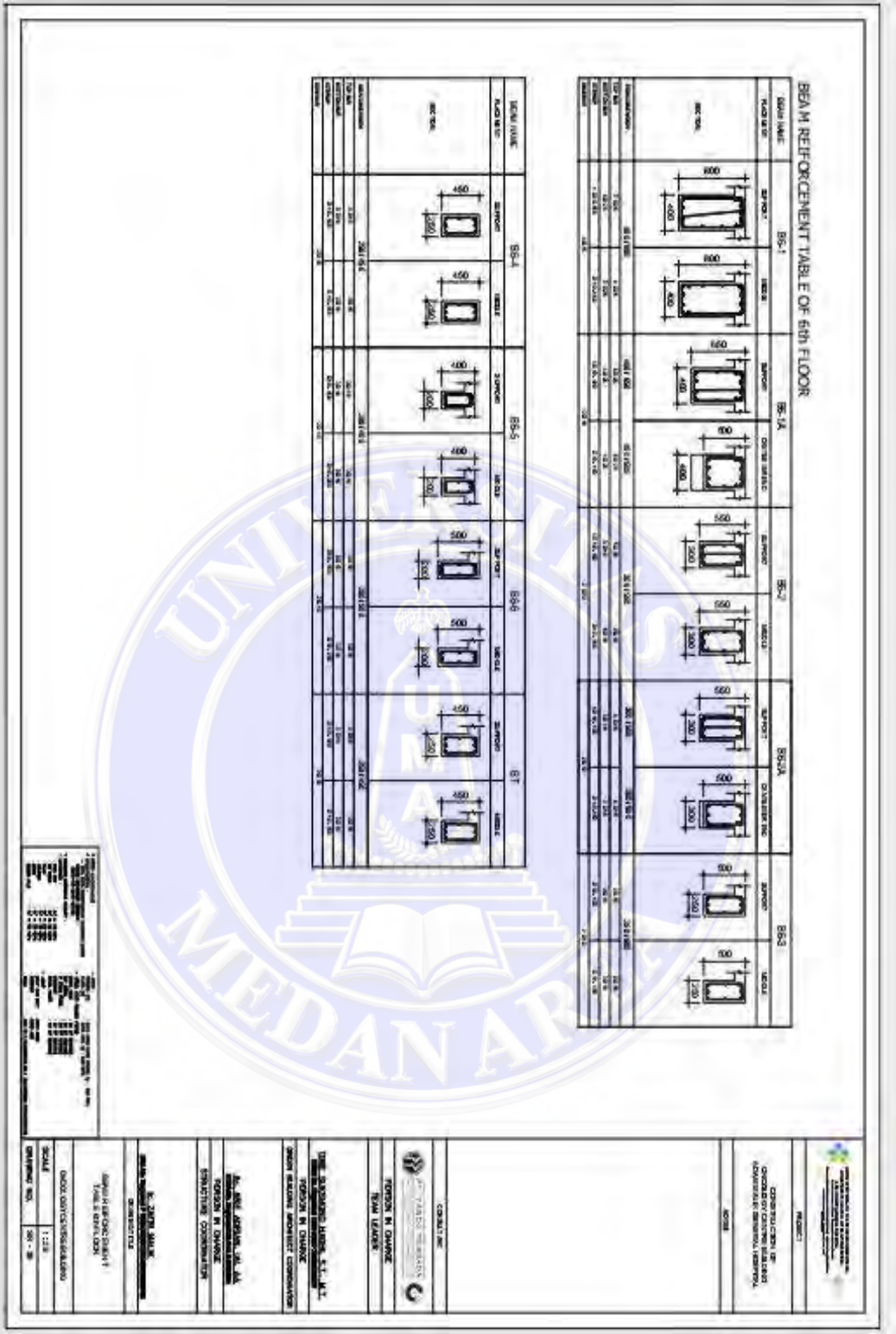


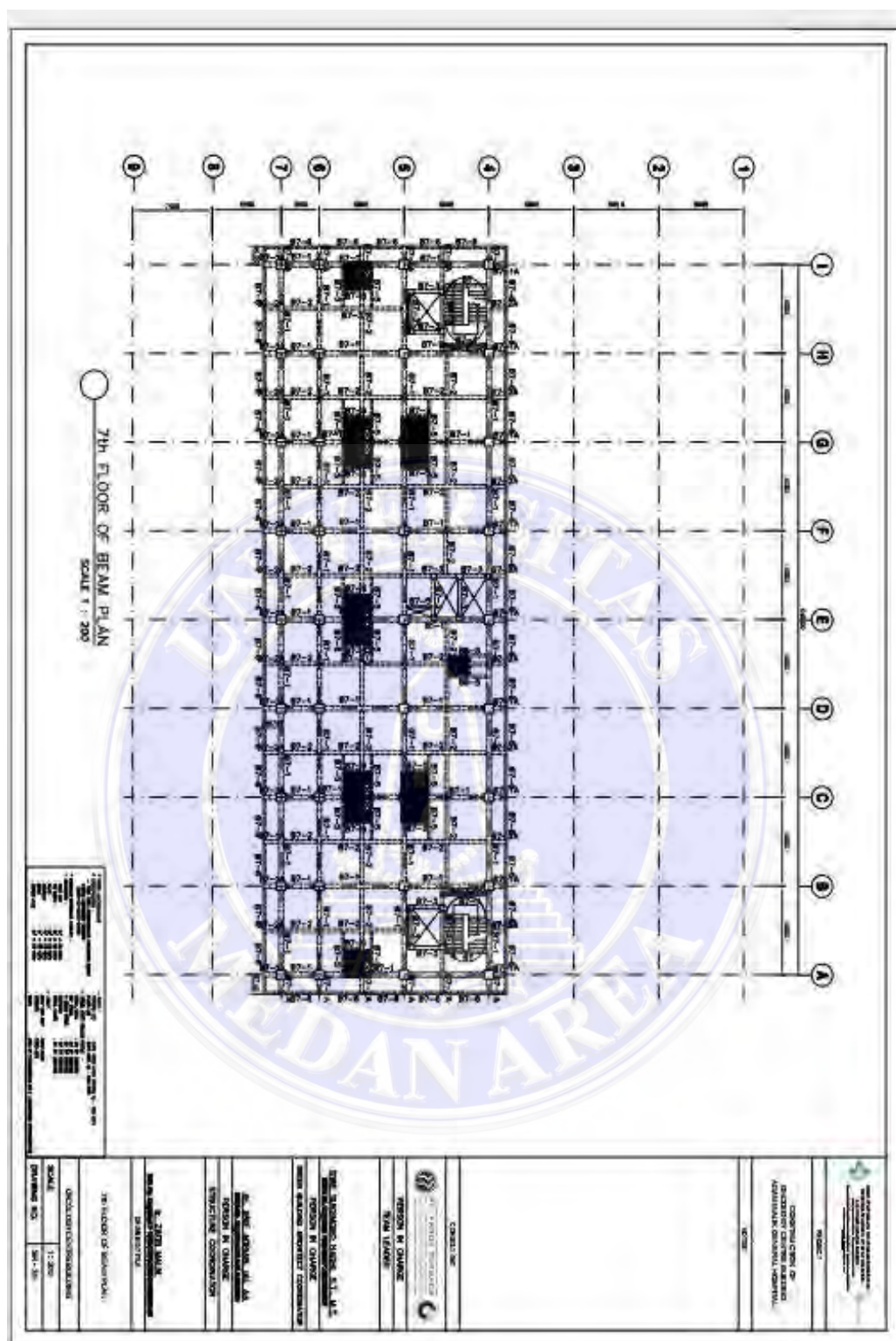


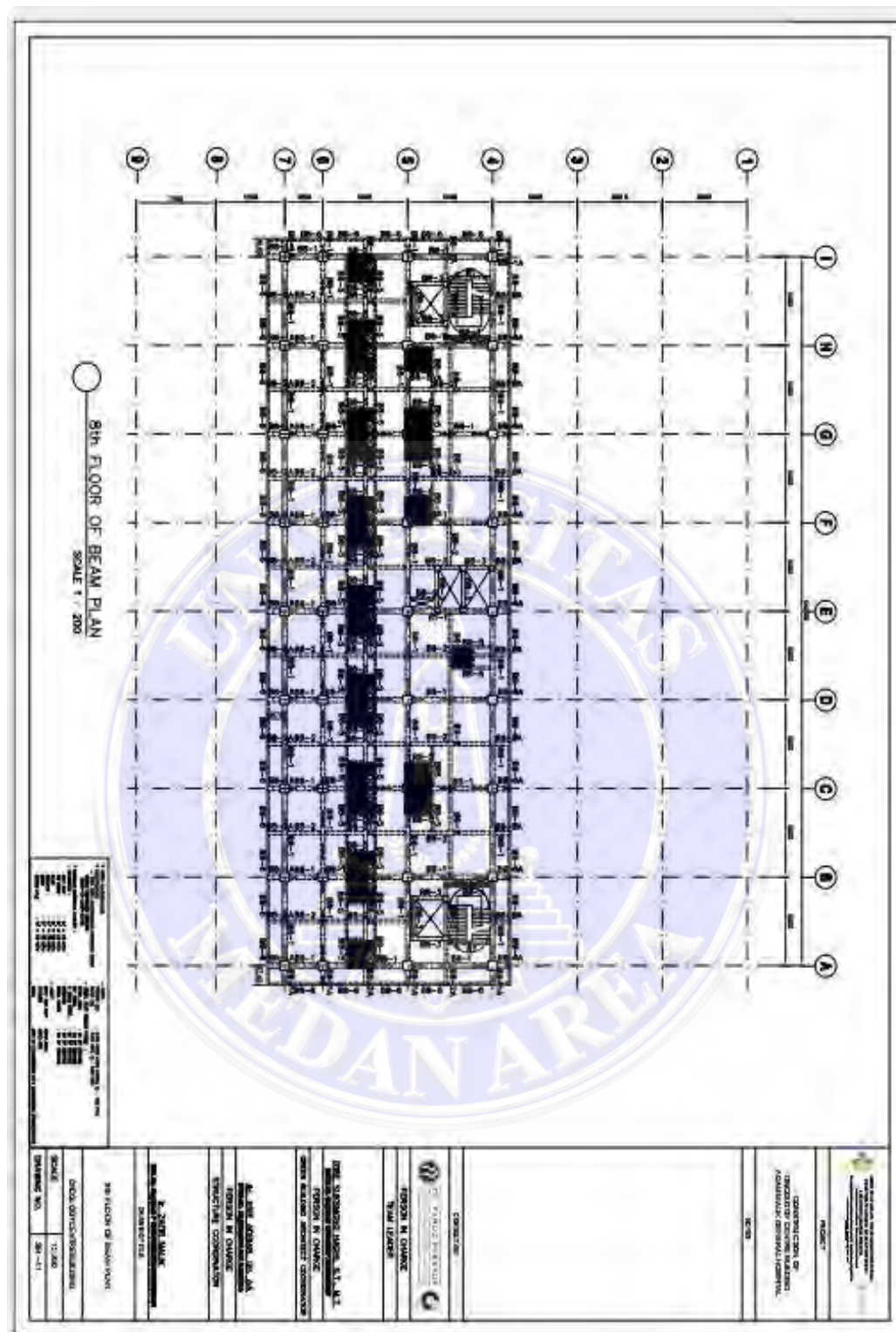


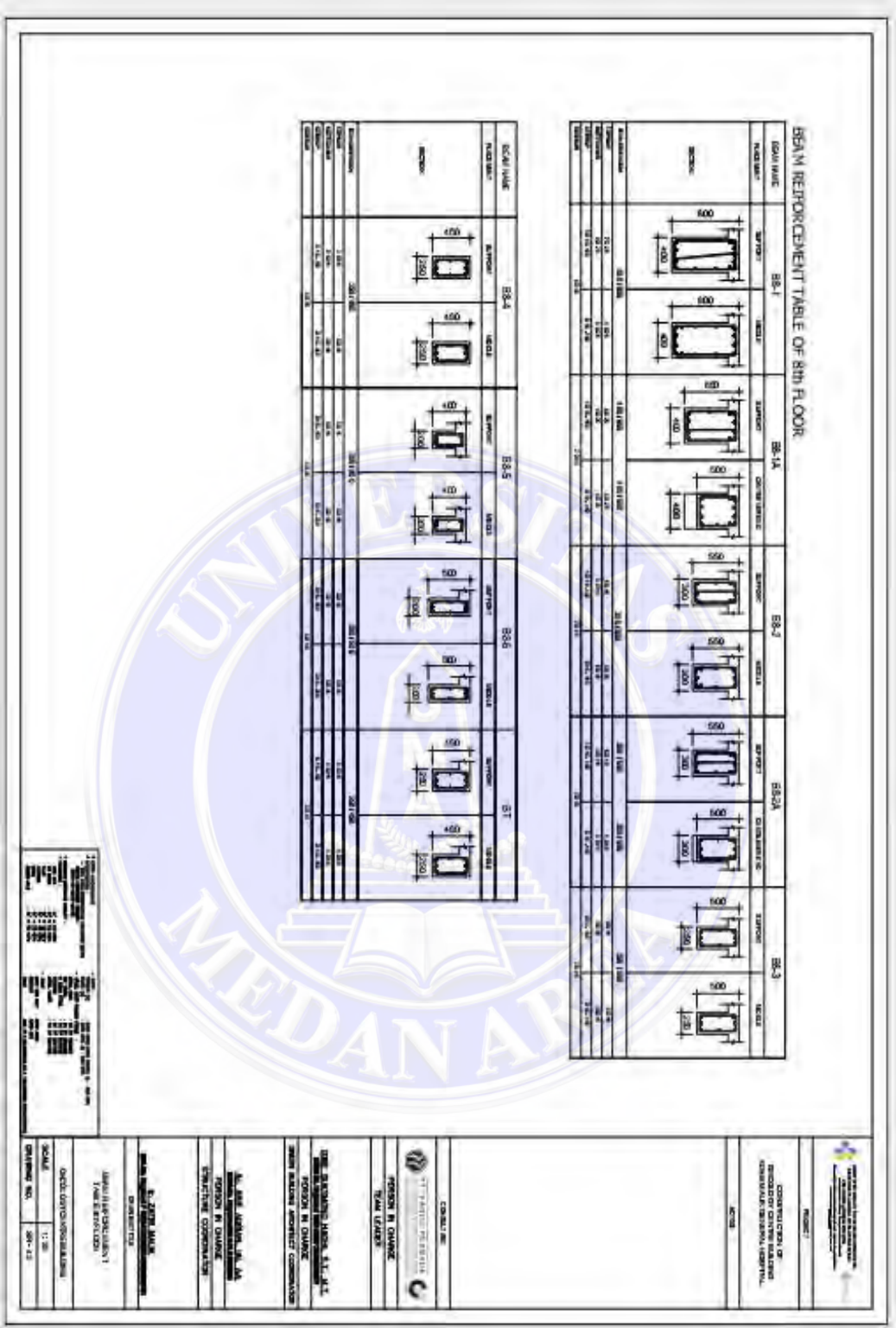


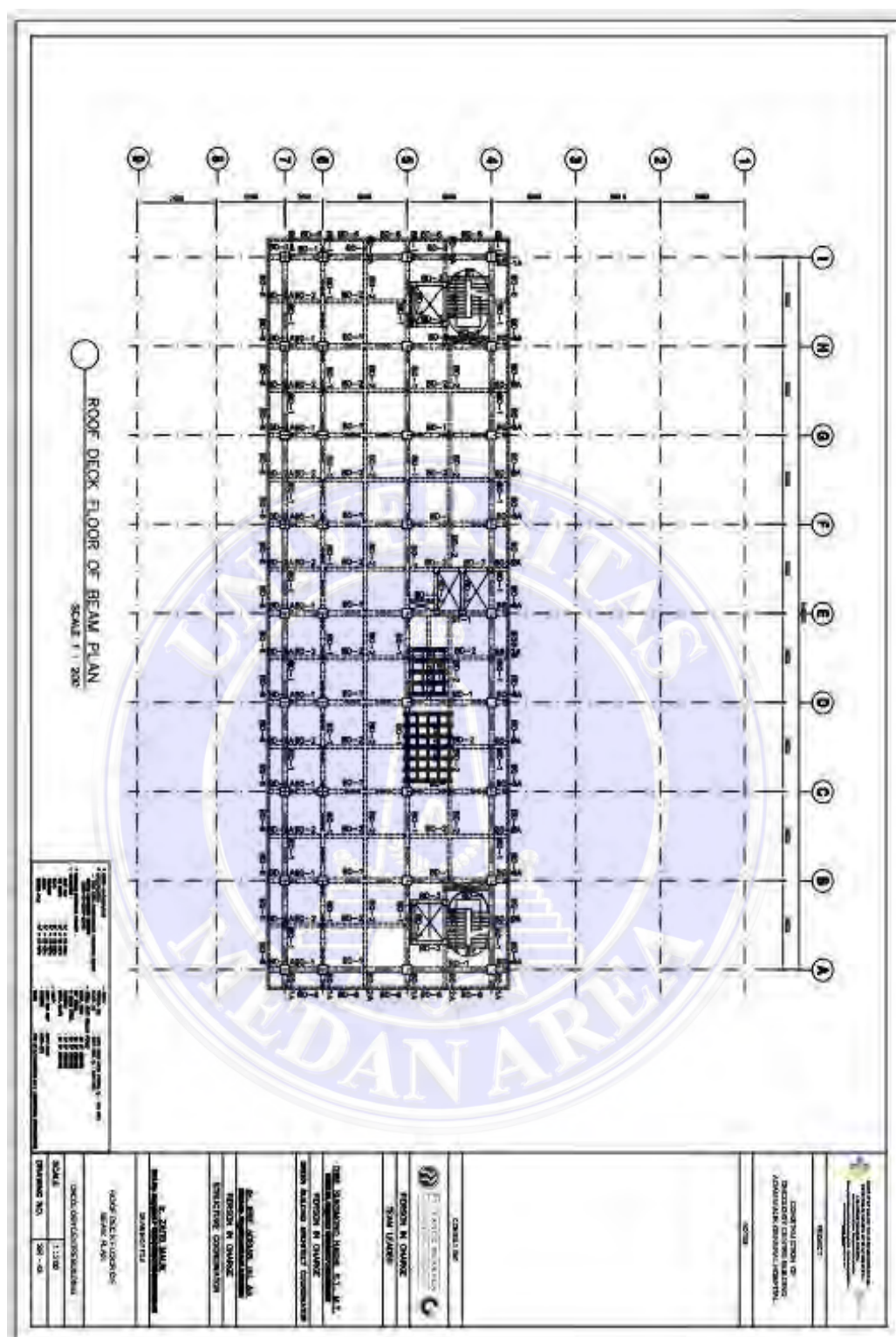


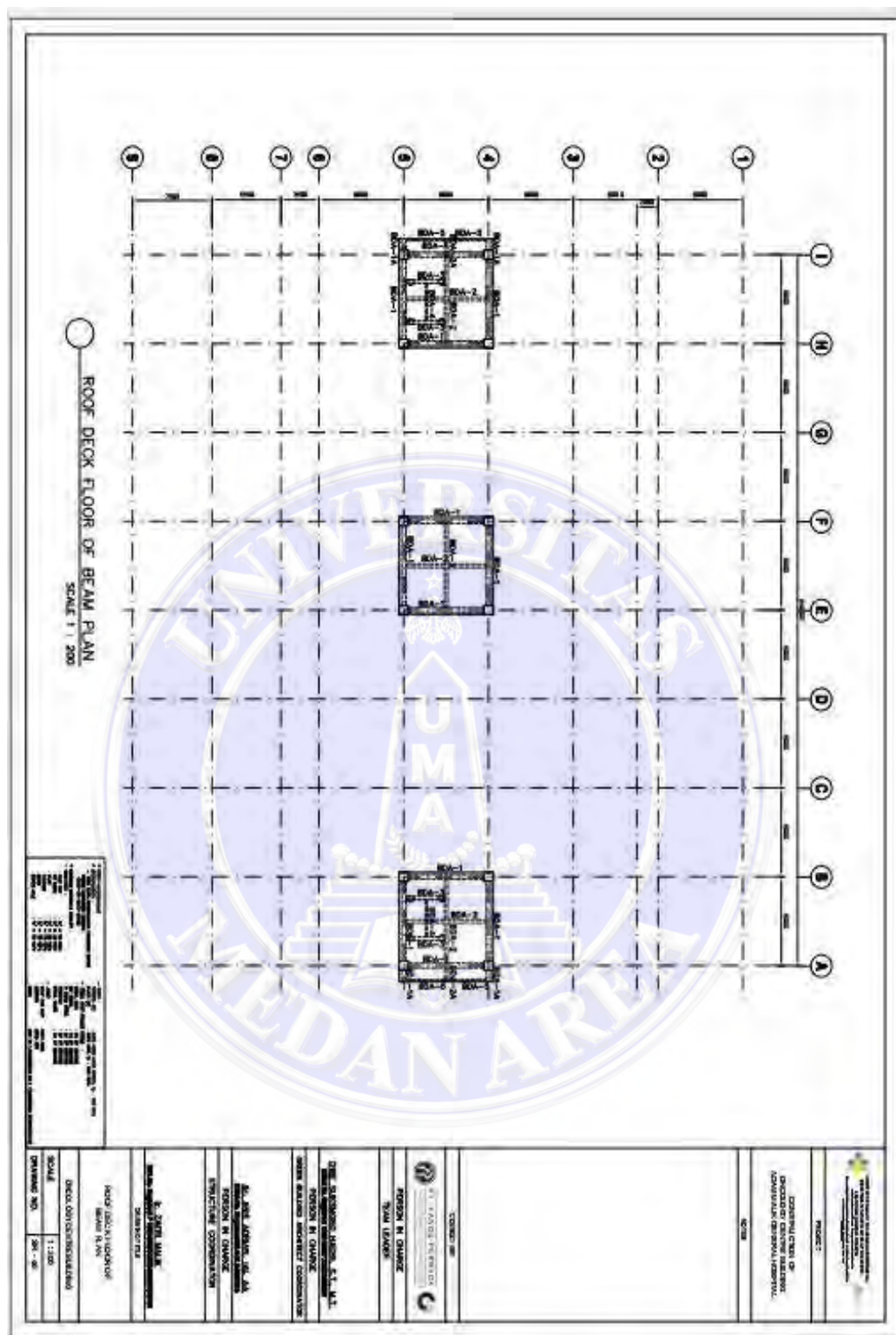




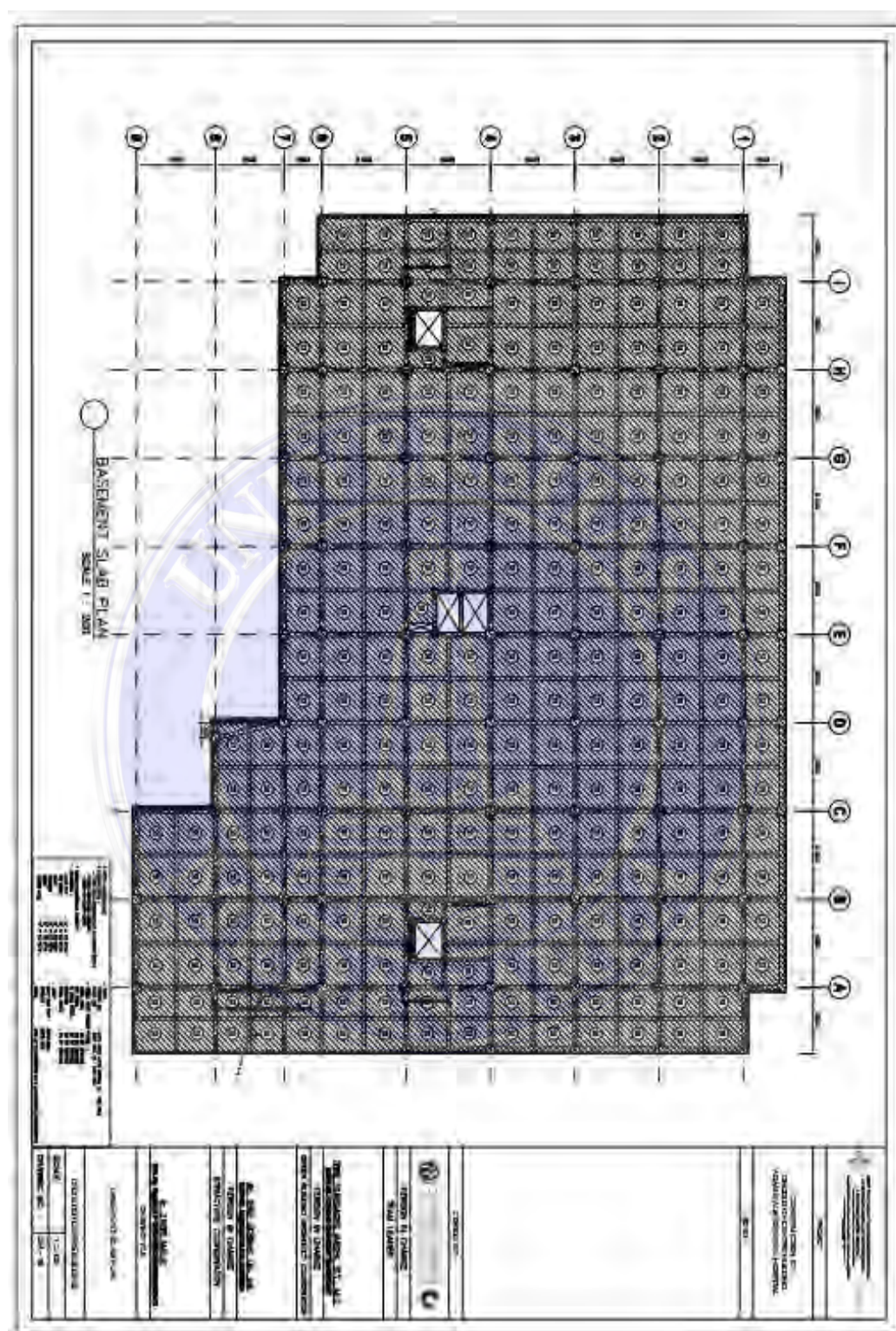


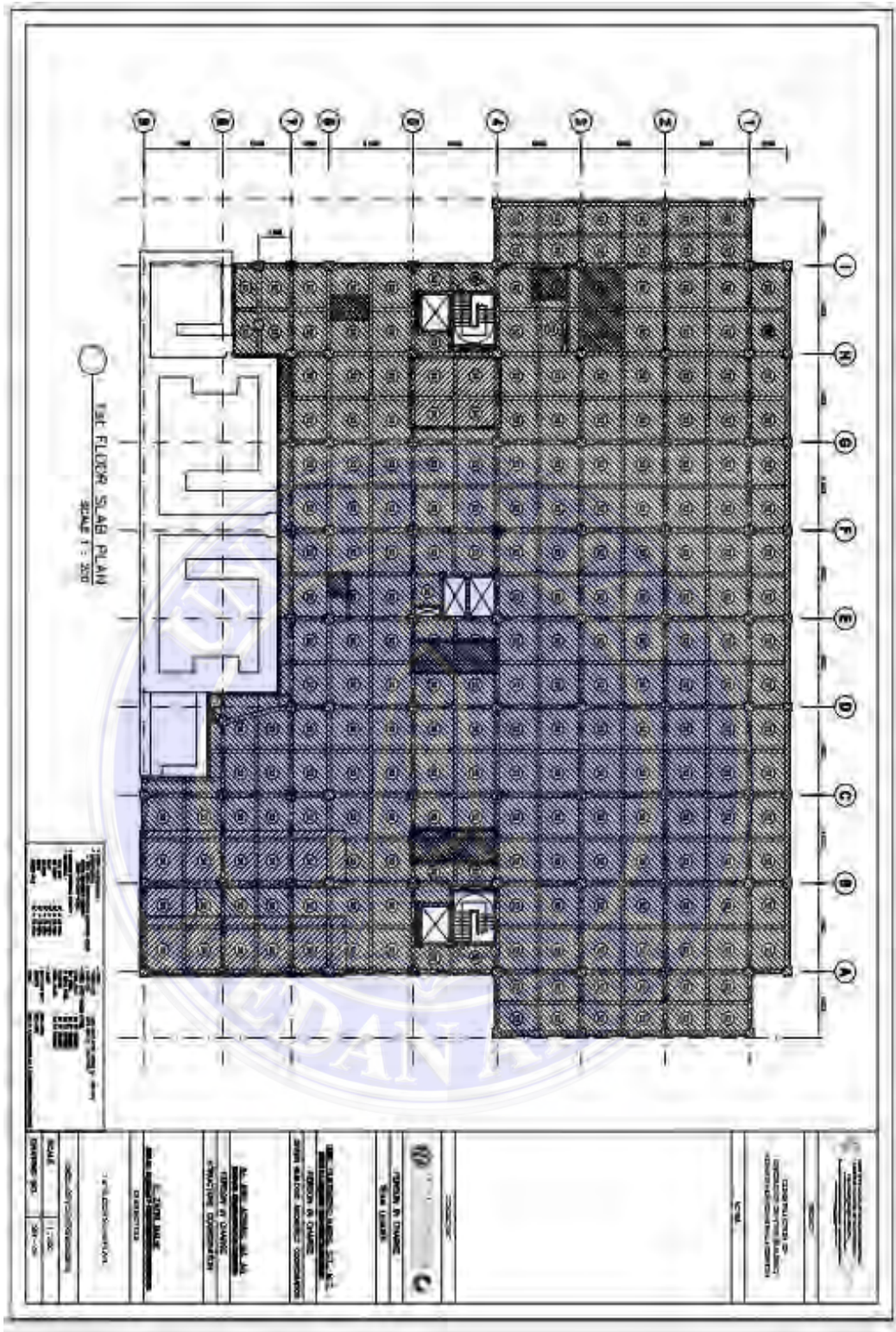


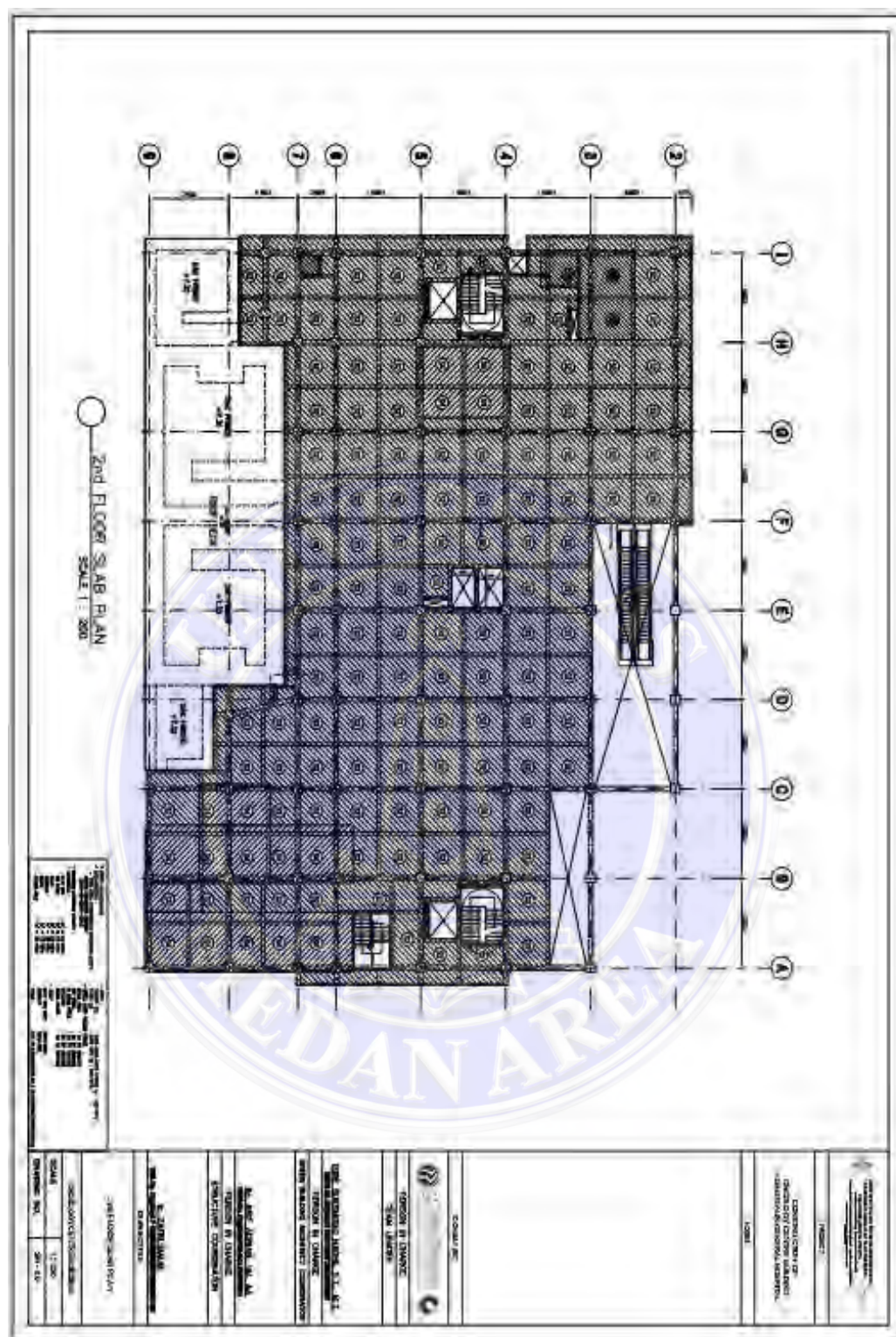


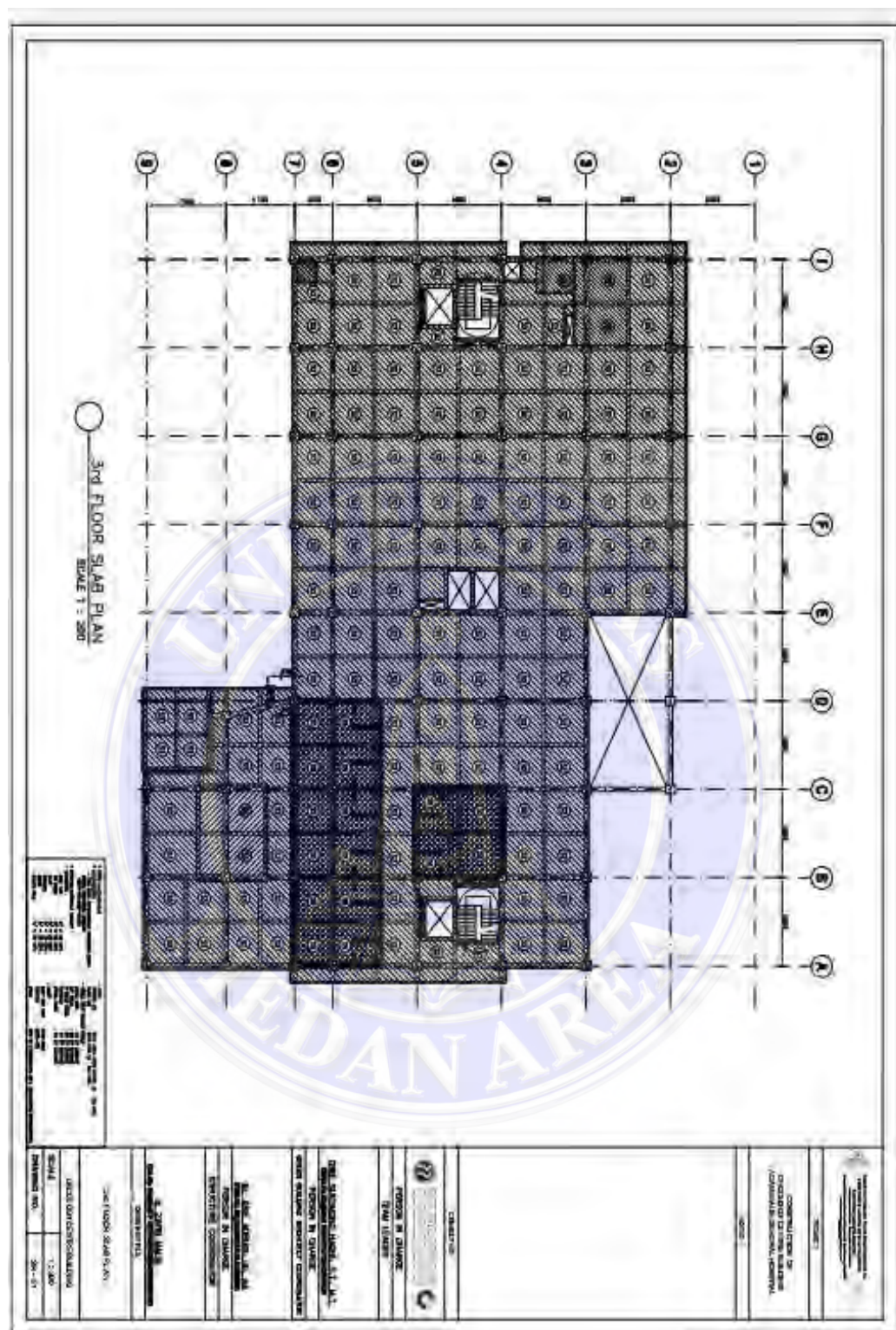


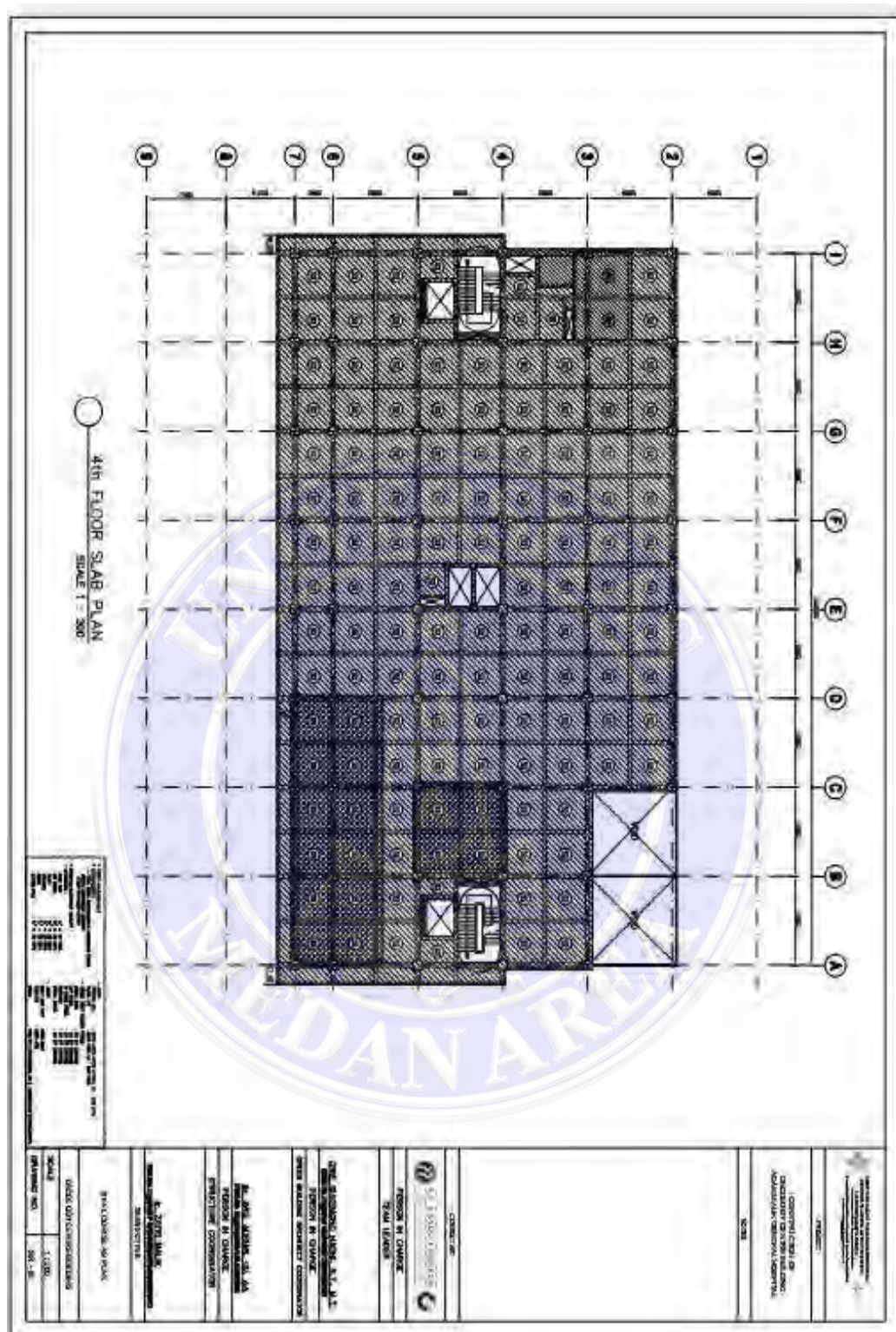
Lampiran 3 (Plat)

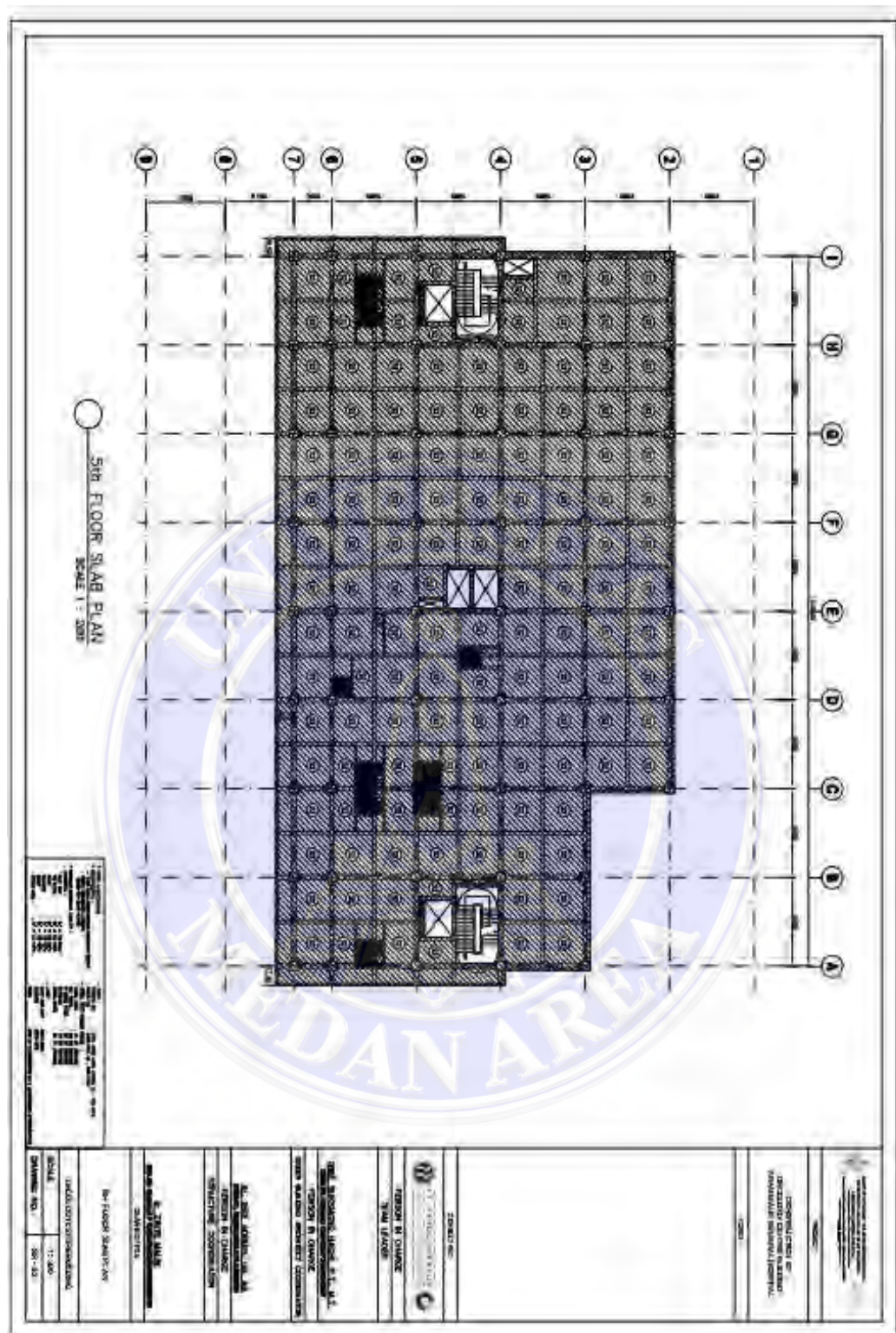


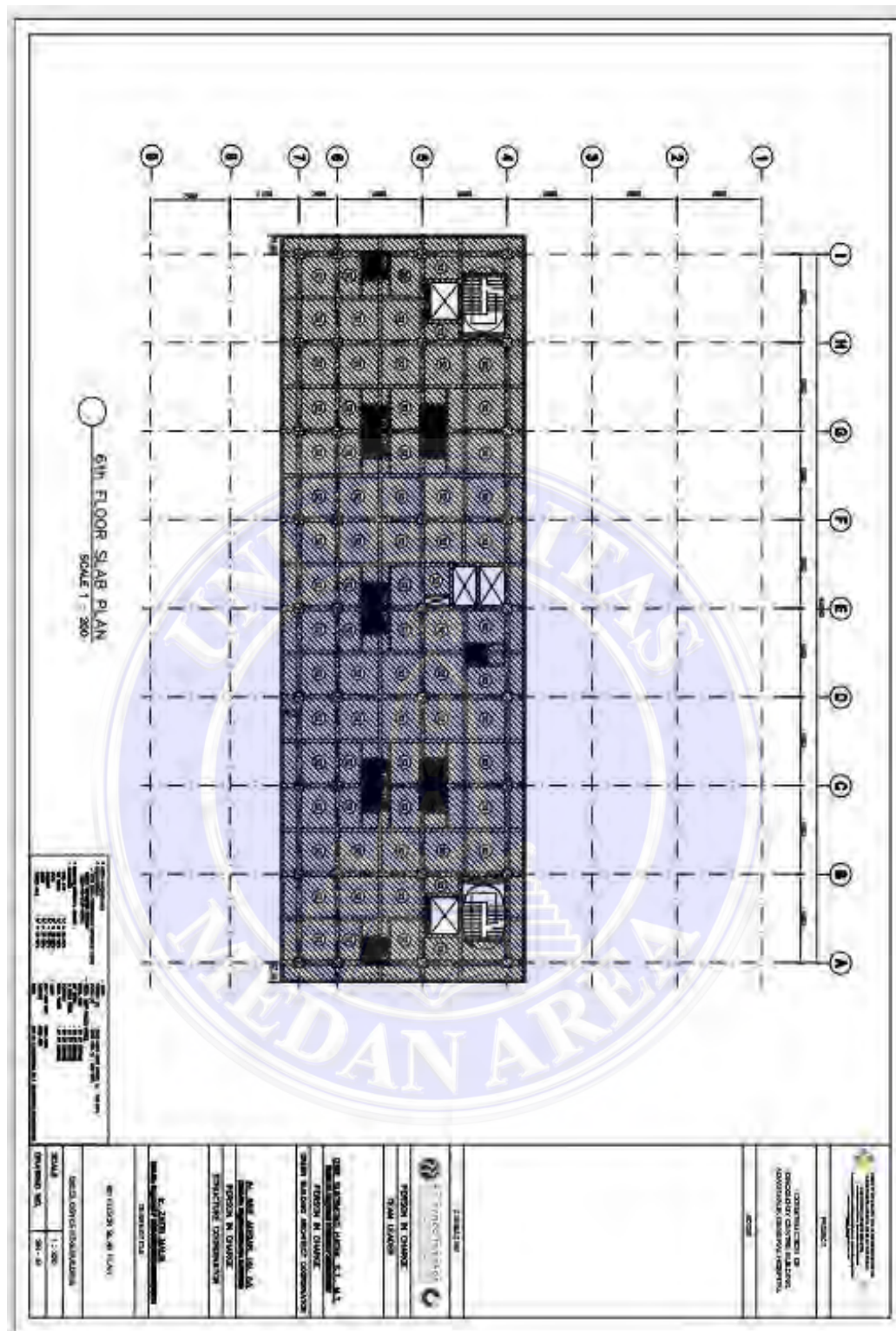


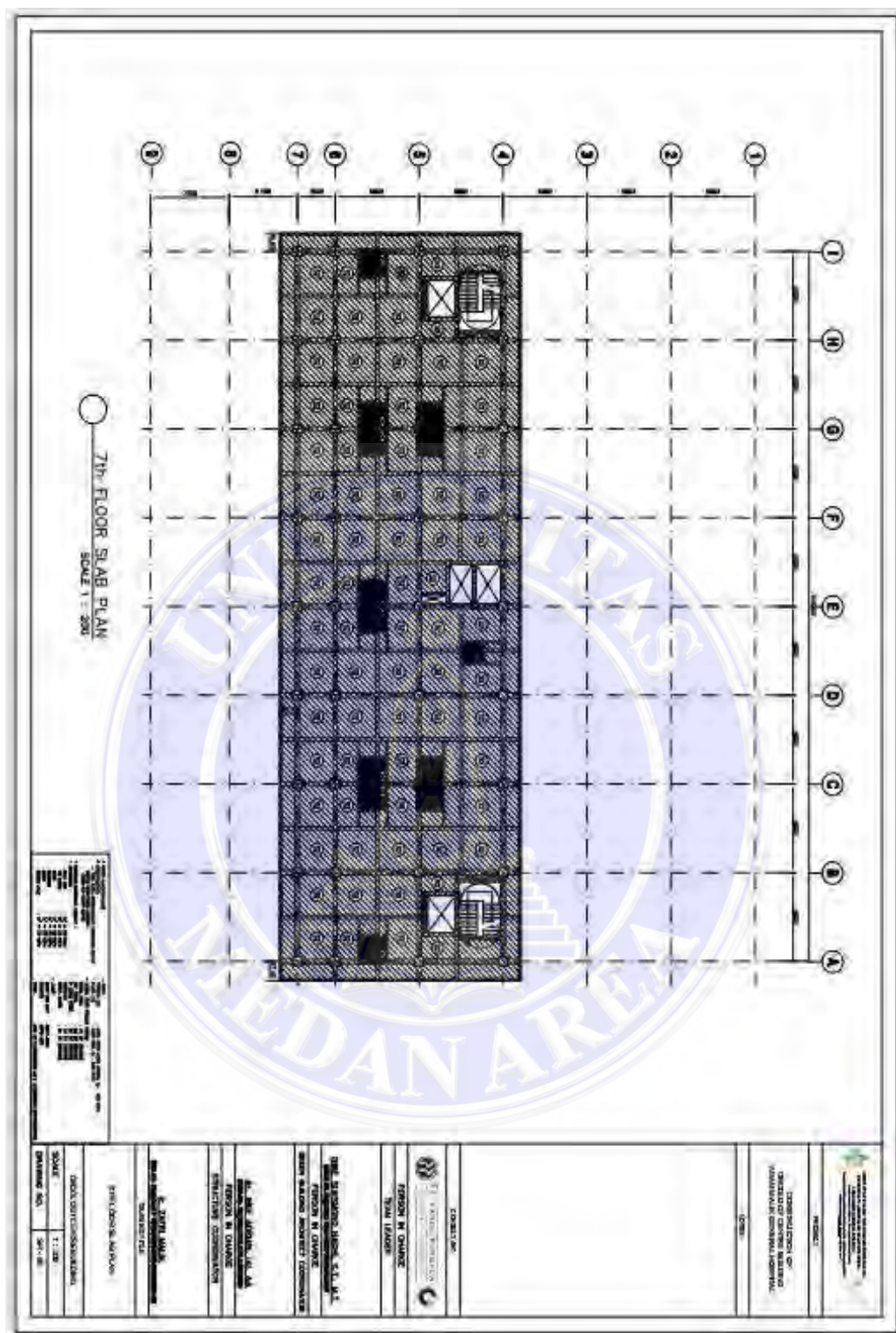


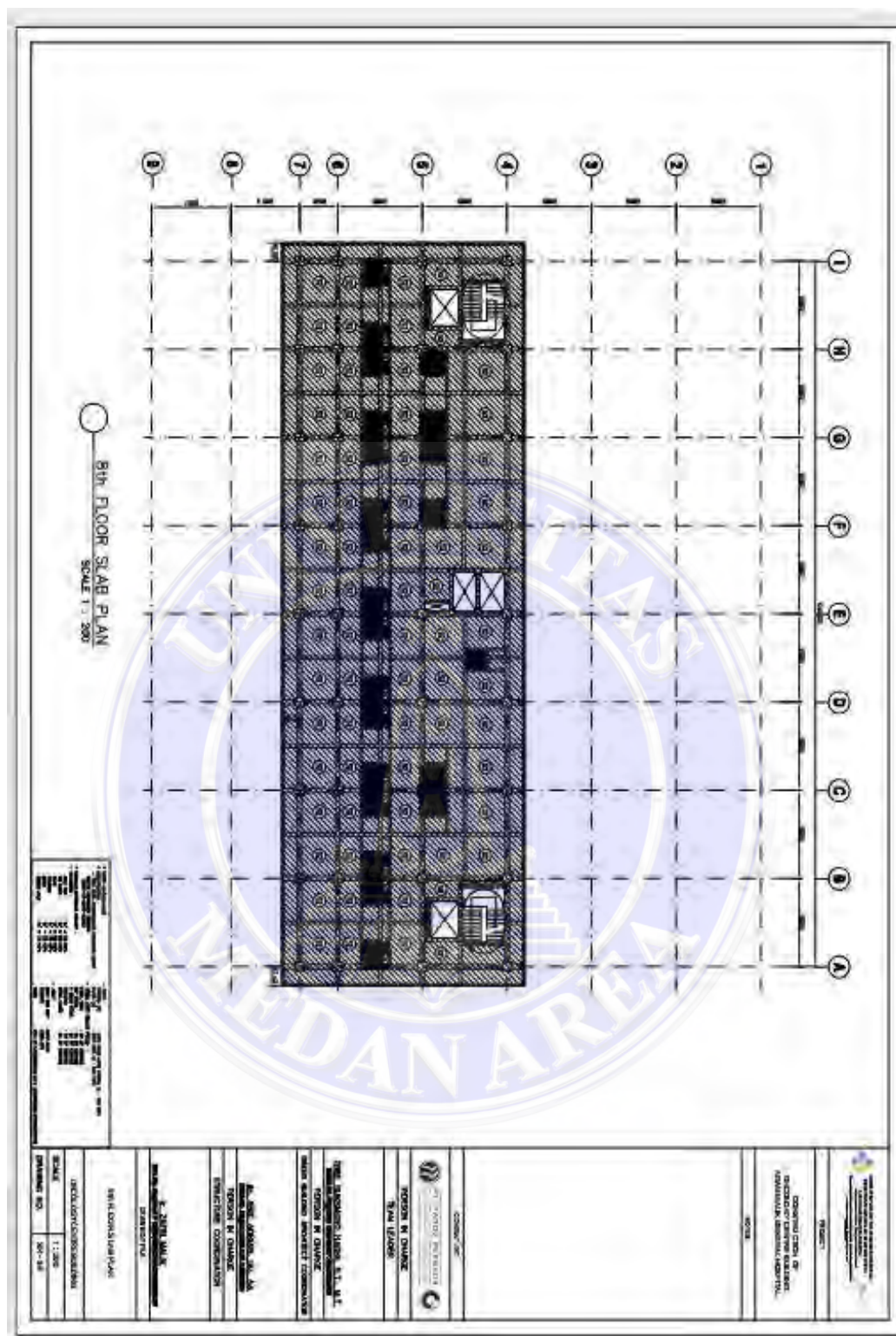


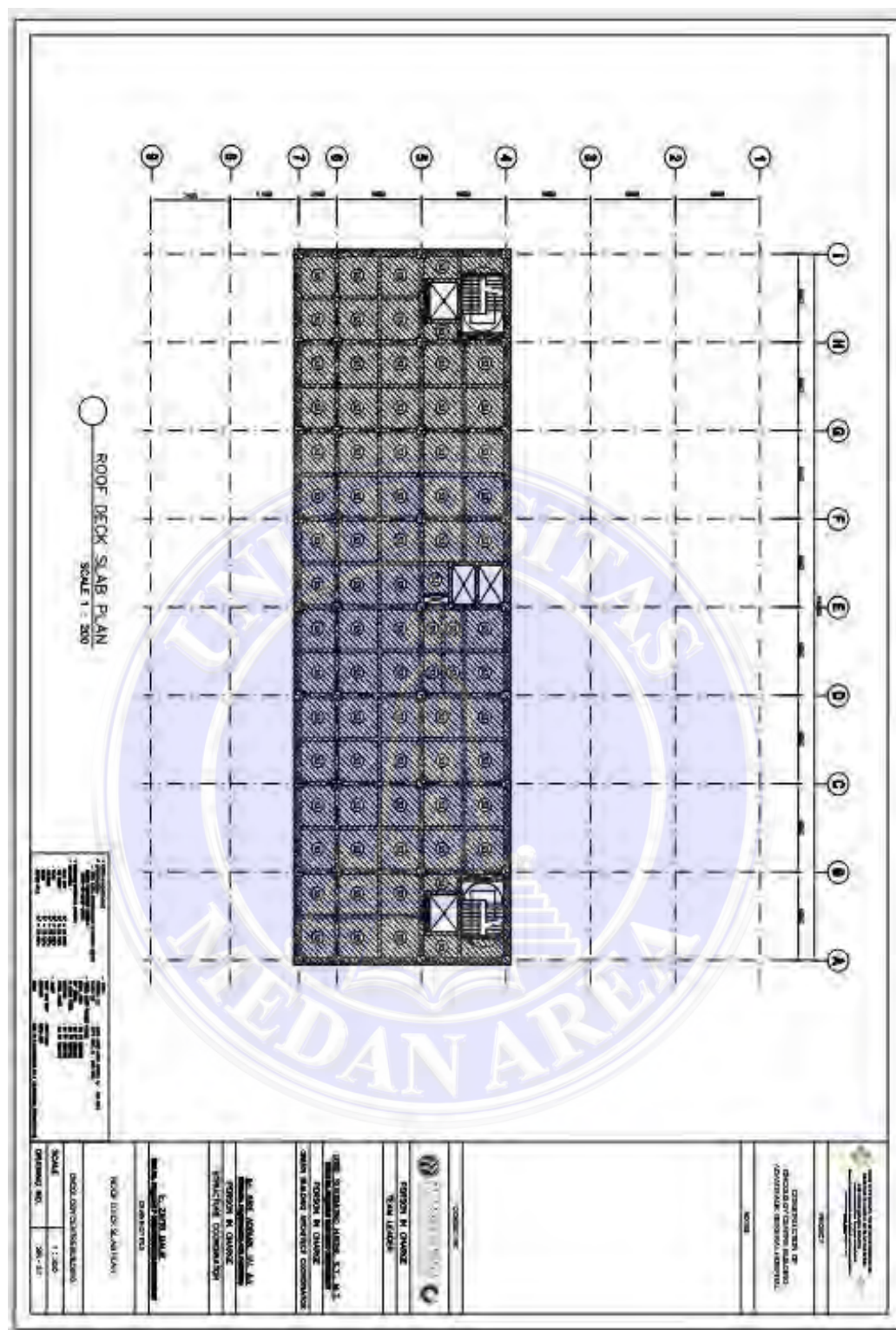


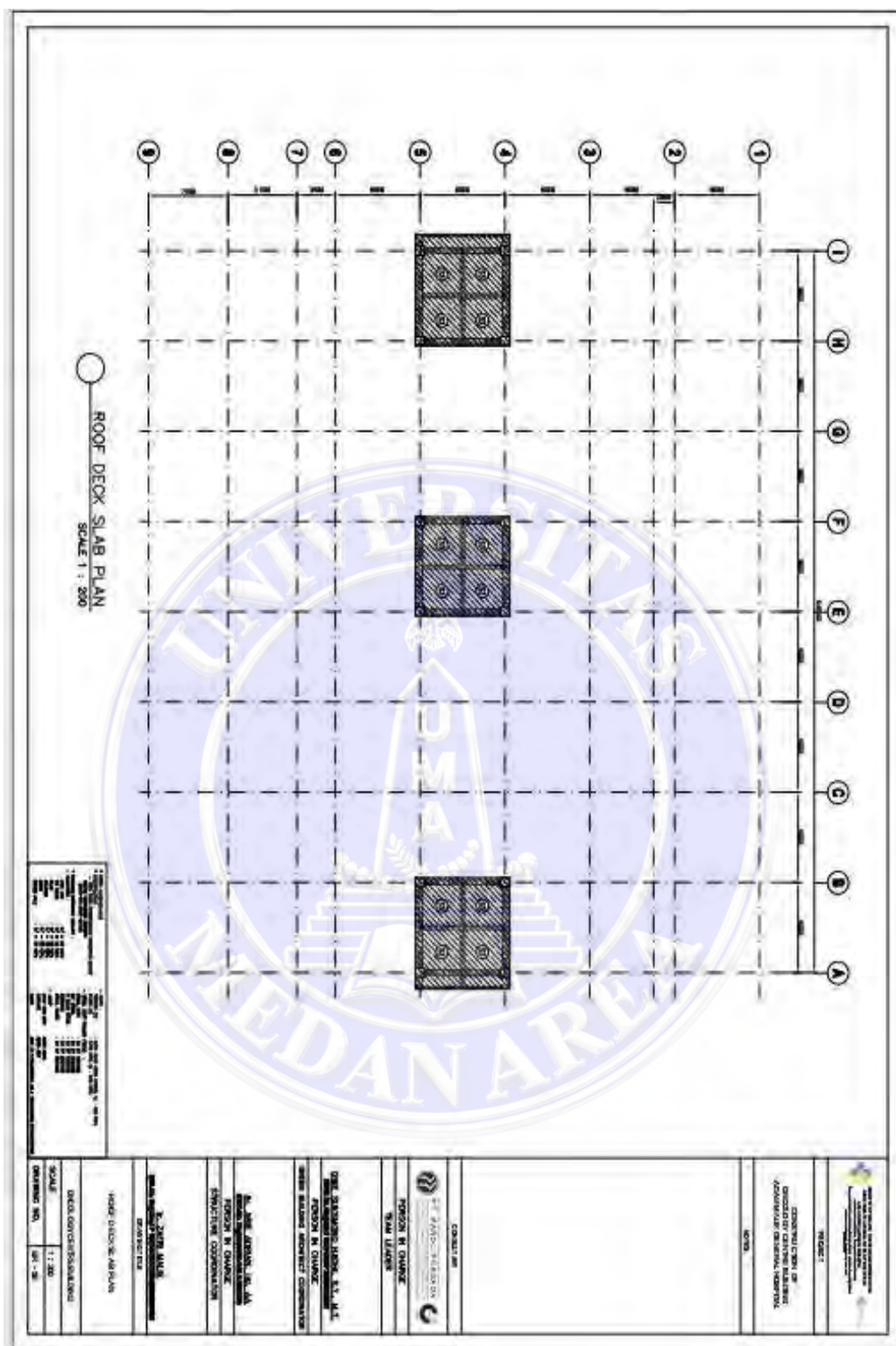


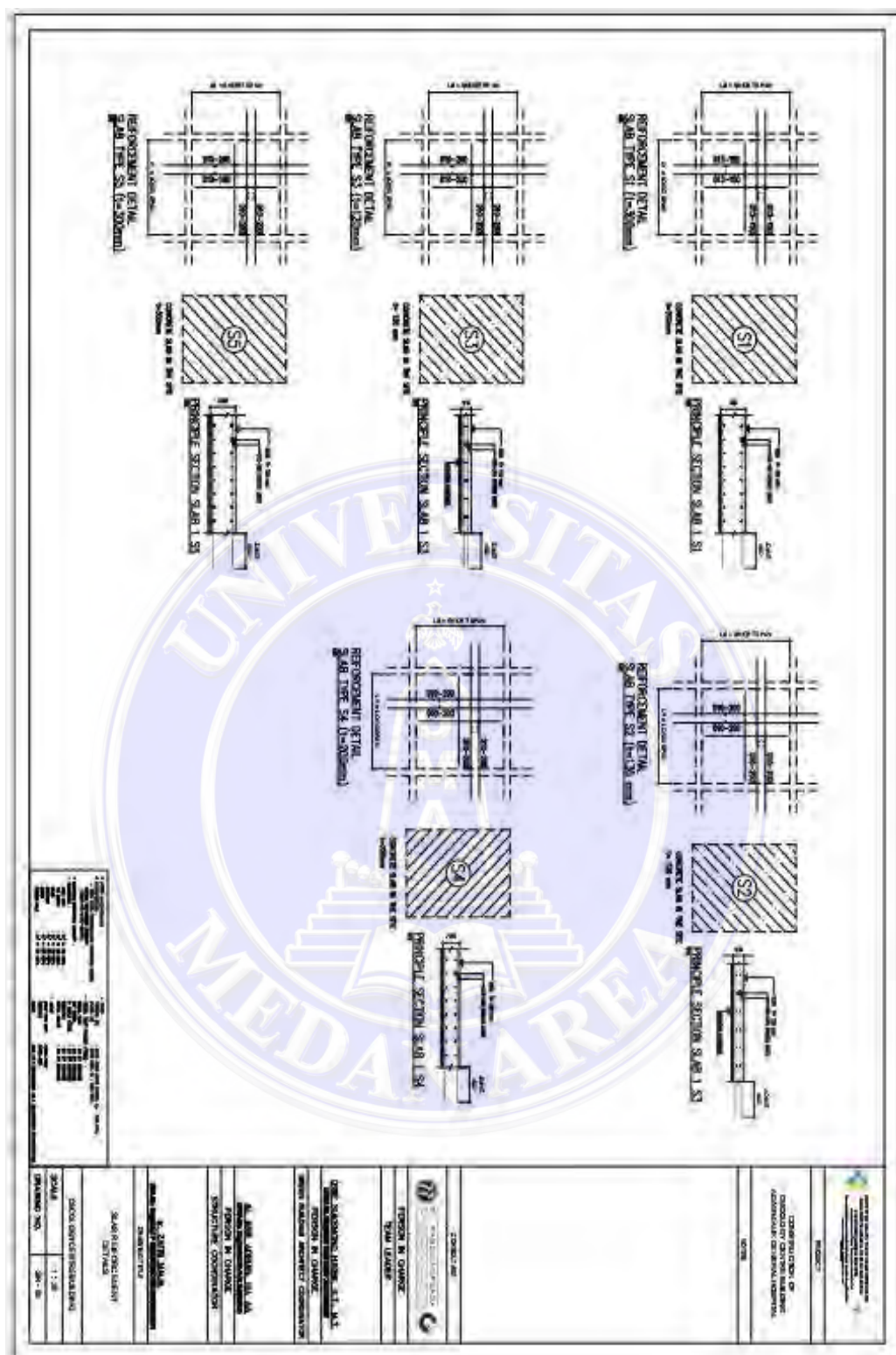












Lampiran 4 (Portal)

