

**ANALISIS *PUSHOVER* PADA STRUKTUR GEDUNG
PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPPD
MEDAN UTARA**

SKRIPSI

OLEH:

**EDWARD BANJARNAHOR
228110073**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 19/12/24

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 (repositorv.uma.ac.id)19/12/24

**ANALISIS *PUSHOVER* PADA STRUKTUR GEDUNG
PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPPD
MEDAN UTARA**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

**EDWARD BANJARNAHOR
228110073**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis *Pushover* Pada Struktur Gedung Proyek Pembingmas
Gedung Kantor UPPD Medan Utara
Nama : Edward Banjarnahor
NPM : 228110073
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



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



Edy Sanjatin, S.T., M.T
Dekan



Edy Sanjatin, S.T., M.T
K. Program Studi

Tanggal Lulus: 01 Agustus 2024

HALAMAN 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 sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 01 Agustus 2024



Edward Banjarnahor
228110073

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

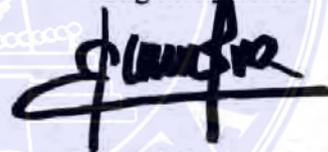
Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Edward Banjarnahor
NPM : 228110073
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Nonexclusive Royalty Free-Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: Analisis *Pushover* Pada Struktur Gedung Proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti Noneklusif 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 : 01 Agustus 2024

Yang menyatakan



Edward Banjarnahor

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lumban Nahot Desa Parsingguran II Kecamatan Pollung Kabupaten Humbang Hasundutan Provinsi Sumatera Utara dari Ayah Mangadar Banjarnahor dan Ibu Labora Sihombing. Penulis merupakan putra ke 6 dari 8 bersaudara. Tahun 2015 Penulis lulus dari SMA N 1 Pollung dan pada tahun 2019 lulus dari Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan selanjutnya pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan penulis bekerja di salah satu perusahaan BUMN karya PT. Waskita Karya (persero) Tbk. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan kantor UPT Samsat Medan Selatan Jl. Sisingamangaraja kota Medan.



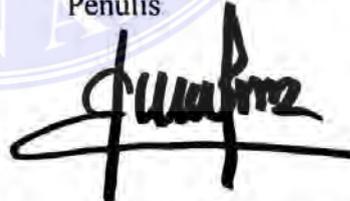
KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga laporan skripsi ini berhasil diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area dengan judul "**Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara**". Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, Selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng. Supriatno, ST., MT., Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.
3. Ibu Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T., Selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing yang telah mengarahkan saya dan memberikan solusi dalam pembuatan skripsi.
5. Kedua orang tua beserta keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa pada saat proses penulisan skripsi
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memperlancar dalam penulisan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini bisa memberikan banyak manfaat untuk dunia Pendidikan terutama dalam bidang Teknik Sipil.

Medan, 01 Agustus 2024
Penulis



(Edward Banjarnahor)

ABSTRAK

Kota Medan merupakan salah satu daerah yang beresiko terjadinya gempa bumi yang sangat berdampak pada kerusakan struktur bangunan gedung. Struktur bangunan gedung kantor UPPD Medan Utara yang terdiri dari 5 lantai dengan tinggi 17,65 m yang berada di kota Medan ini telah dilakukan simulasi untuk menganalisis kemampuan gedung pada saat dikenai beban gempa dengan metode analisis *static nonlinear pushover* menggunakan bantuan *software* SAP2000. Tujuan dari penelitian ini untuk memperlihatkan hasil kurva *pushover* untuk mengetahui hubungan *base share* dengan *displacement* yang dihasilkan dan untuk mengetahui perilaku dan kriteria kinerja struktur dari hasil analisa *pushover*. Hasil dari analisis *running software* SAP2000 telah memperlihatkan kurva *pushover* maka untuk arah X didapatkan *base share* 8.788,018 kN dengan *displacement* 55 mm dan untuk arah Y dicapai *base share* 16.833,457 kN dengan *base share* 20,33 mm. Berdasarkan analisis data pada saat terbentuknya sendi plastis pada kolom dan balok *running* SAP2000 bahwa struktur tersebut berperilaku baik karena perilaku struktur masuk pada level *Immediate Occupancy* (IO) artinya tidak mengalami kerusakan yang berarti pada elemen struktur dan masih jauh dibawah level *Collpase Prevention* (CP). Berdasarkan analisis data ATC -40 didapatkan hasil nilai total *drift ratio* arah -X sebesar 0,00312 dan total *drif ratio* arah -Y sebesar 0,001152 maka nilai maksimum total *drif ratio* < 0,01 sehingga ditarik kesimpulan bahwa level kinerja struktur masuk dalam kategori *immediate Ouccupancy* (IO) yang berarti bahwa gedung tersebut aman saat terjadi gempa dan terjadi kerusakan kecil namun tidak berarti pada elemen struktur serta gedung dapat segera untuk difungsikan.

Kata kunci: *pushover, immediate occupancy, ATC-40*

ABSTRACT

Medan City is one of the areas at risk of earthquakes, which significantly impact building structure damage. The building structure of the UPPD Medan Utara office, which consists of five floors with a height of 17.65 m and is located in Medan, has been simulated to analyze the building's performance when subjected to earthquake loads using the nonlinear static pushover analysis method with the assistance of SAP2000 software. The purpose of this research was to display the pushover curve to understand the correlation between base shear and the resulting displacement and to determine the behavior and performance criteria of the structure from the pushover analysis results. The results of the SAP2000 software analysis showed the pushover curve, where for the X direction, a base shear of 8,788.018 kN with a displacement of 55 mm was obtained, and for the Y direction, a base shear of 16,833.457 kN with a base shear of 20.33 mm was achieved. Based on the data analysis, when plastic hinges formed on the columns and beams, SAP2000 software indicated that the structure performed well, as it fell within the Immediate Occupancy (IO) level, meaning no significant damage occurred to the structural elements and was far below the Collapse Prevention (CP) level. According to the ATC-40 data analysis, the total drift ratio for the -X direction was 0.00312, and for the -Y direction, it was 0.001152. The maximum total drift ratio was <0.01 , concluding that the structural performance level fell within the Immediate Occupancy (IO) category, meaning the building is safe during an earthquake, with minor, insignificant damage to structural elements, and the building can be immediately used.

Keywords: Pushover, Immediate Occupancy, ATC-40



DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Gempa Bumi	6
2.1.1 Defenisi Gempa Bumi.....	6
2.1.2 Proses Terjadinya Gempa Bumi.....	6
2.1.3 Jenis dan Klasifikasi Gempa	8
2.2. Analisis Gaya Gravitasi.....	10
2.2.1 Beban Mati (DL).....	10
2.2.2 Beban Hidup (LL).....	12
2.3. Beban Gempa Statik Ekuivalen.....	13
2.3.1 Kriteria Perancangan dalam Klasifikasi Kelas Situs.....	13
2.3.2 Parameter Percepatan Batuan Dasar	14
2.3.3 Menentukan koefisien Situs, Fa dan Fv	15
2.3.4 Menentukan Parameter Respon Spektrum Desain.....	16
2.3.5 Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan.....	17
2.3.6 Kategori Desain Seismik.....	19
2.3.7 Sistem Rangka Pemikul Momen.....	20
2.3.8 Spektrum Respons Desain.....	22
2.3.9 Waktu Getar Alami Struktur	24
2.3.10 Gaya Geser Dasar (Gaya Lateral Ekuivalen)	25
2.3.11 Gaya Vertikal dan Horizontal Gempa Statik Ekuivalen.....	27

	2.3.12 Faktor Beban dan Kombinasi Beban.....	28
	2.4 Analisis <i>Pushover</i>	29
	2.4.1 Metode Spektrum Kapasitas Mengacu Pada ATC-40 ..	30
	2.4.2 Metode Koefisien Perpindahan Mengacu FEMA 356 .	33
	2.4.3 Skema Sendi Plastis.....	35
	2.5 Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu	36
BAB III.	METODOLOGI PENELITIAN	38
	3.1. Deskripsi Penelitian.....	38
	3.1.1 Lokasi Penelitian	38
	3.1.2 Perkiraan Waktu Penelitian	38
	3.1.3 Pendekatan Penelitian.....	38
	3.1.4 Pemodelan Struktur Bangunan dengan SAP2000	39
	3.2. Parameter Analisis.....	40
	3.2.1 Data Gedung Penelitian	40
	3.2.2 Data Material.....	40
	3.2.3 Dimensi Struktur.....	41
	3.3. Analisis <i>Pushover Nonlinear</i> pada Studi Kasus	42
	3.3.1 Penetapan Beban Hidup.....	42
	3.3.2 Perhitungan Beban Mati Tambahan	43
	3.3.3 Berat Bangunan	43
	3.3.4 Beban Gempa Statik Ekuivalen.....	54
	3.3.5 Gaya Lateral (Gaya Geser Seismik)	51
	3.3.6 Langkah-langkah Pemodelan Struktur	56
	3.3.7 Pemodelan Sendi Plastis	65
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	66
	4.1. Hasil Analisis <i>Pushover</i>	66
	4.1.1 Kurva <i>Pushover</i> Arah X	66
	4.1.2 Kurva <i>Pushover</i> Arah Y	70
	4.1.3 Skema Sendi Plastis Arah X.....	72
	4.1.4 Skema Sendi Plastis Arah Y	73
	4.1.5 <i>Story Displacement</i> Arah X dan Y	74
	4.1.6 <i>Story Drift</i> Arah X dan Y	77
	4.1.7 Maksimum <i>Story Ratio</i>	79
	4.2 Analisis ATC -40	81
	4.2.1 Analisis Pada Arah X	81
	4.2.2 Analisis Pada Arah Y	82
BAB IV	KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
	5.1.Kesimpulan	84
	5.2.Saran	85
	DAFTAR PUSTAKA	86
	LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1	Beban mati berdasarkan bahan bangunan 11
Tabel 2	Beban hidup pada lantai gedung..... 13
Tabel 3	Klasifikasi kelas situs 14
Tabel 4	Koefisien situs, F_a 16
Tabel 5	Koefisien situs, F_v 16
Tabel 6	Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa 17
Tabel 7	Faktor Keutamaan Gempa 19
Tabel 8	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek 20
Tabel 9	Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik 21
Tabel 10	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung 24
Tabel 11	Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x 25
Tabel 12	Level Kinerja Bangunan..... 31
Tabel 13	Batasan <i>Ratio Drift</i> 33
Tabel 14	Perilaku struktur Sendi Plastis..... 36
Tabel 15	Perbedaan dengan Peneliti terdahulu 36
Tabel 16	Ukuran dimensi pondasi 41
Tabel 17	Ukuran dimensi sloof digunakan..... 41
Tabel 18	Ukuran dimensi kolom yang digunakan..... 41
Tabel 19	Ukuran dimensi balok yang digunakan 42
Tabel 20	Ukuran dimensi plat yang digunakan 42
Tabel 21	Beban mati (QDL) pelat lantai 1 – 5 43
Tabel 22	Beban mati (QDL) pelat atap..... 43
Tabel 23	Beban mati tambahan dinding pada balok..... 43
Tabel 24	Berat Gedung lantai 1 44
Tabel 25	Berat Gedung lantai 2 45
Tabel 26	Berat gedung lantai 3 46
Tabel 27	Berat gedung lantai 4 47
Tabel 28	Berat Gedung Lantai 5 49
Tabel 29	Hasil Pengujian Sondir 50
Tabel 30	Distribusi gaya gempa static ekuivalen bangunan perlantai..... 55
Tabel 31	<i>Step</i> analisis <i>pushover</i> arah-X..... 69
Tabel 32	<i>Step</i> analisis <i>pushover</i> arah Y 71
Tabel 33	<i>Story displacement</i> arah X dan Y (SAP2000 v 14) 75
Tabel 34	<i>Story drift</i> arah X dan Y (SAP2000 v 14) 77
Tabel 35	Maksimum <i>story ratio</i> (SAP2000 v 14) 78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1	Peta percepatan spectrum respons 0,2 detik dengan 5 % di batuan dasar (SB) terlampaui 2% dalam 50 tahun 15
Gambar 2	Peta percepatan spectrum respons 1,0 detik redaman 5 % di batuan dasar (SB) terlampaui 2 % dalam 50 tahun 15
Gambar 3	Spektrum respons desain 23
Gambar 4	Analisa <i>Pushover</i> 29
Gambar 5	Lokasi Penelitian 38
Gambar 6	Diagram Alir 39
Gambar 7	<i>Grid</i> denah bangunan 56
Gambar 8	Jenis material 57
Gambar 9	Dimensi <i>frame & area sections</i> 57
Gambar 10	Pemodelan <i>frame sections</i> 58
Gambar 11	Mode 1 dan mode 2 58
Gambar 12	Penginputan pembebanan 59
Gambar 13	Input <i>load force X</i> dan <i>Y</i> 59
Gambar 14	<i>Diafragma</i> 60
Gambar 15	<i>Restraints</i> 60
Gambar 16	<i>Hingers</i> kolom dan balok 61
Gambar 17	Lateral X statik <i>nonlinear</i> 62
Gambar 18	Lateral Y statik <i>nonlinear</i> 62
Gambar 19	<i>Deformed</i> arah X 63
Gambar 20	<i>Deformed</i> arah Y 63
Gambar 21	Kurva <i>pushover X</i> 63
Gambar 22	Kurva <i>pushover Y</i> 62
Gambar 23	Pemodelan <i>shape case pushover X</i> 64
Gambar 24	Pemodelan <i>shape case pushover Y</i> 65
Gambar 25	Kurva <i>pushover</i> arah -X 68
Gambar 26	Model 3D analisis <i>pushover</i> arah -X 69
Gambar 27	Model 3D analisis <i>pushover</i> arah -Y 70
Gambar 28	Kurva <i>pushover</i> arah - Y 70
Gambar 29	<i>Push step</i> ke-7 Arah-X 73
Gambar 30	<i>Push step</i> 16 arah -Y 74
Gambar 31	Kurva <i>story displacement</i> arah X 75
Gambar 32	Kurva <i>story displacement</i> arah Y 76
Gambar 33	Kurva <i>story drift</i> arah X 77
Gambar 34	Kurva <i>story drift</i> arah X 78
Gambar 35	Kurva maksimum <i>story ratio</i> arah X 79
Gambar 36	Kurva maksimum <i>story ratio</i> arah Y 80

DAFTAR NOTASI

α	= Rasio kekakuan paska leleh
ATC	= <i>Applied technology council</i> (pedoman level kerusakan)
C0	= Koefisien faktor bentuk
C2	= Efek <i>piching</i>
C _d ^c	= Faktor pembesaran defleksi
C _m	= Faktor massa efektif
C _s	= Koefisien respons seismik yang ditentukan
C _t & x	= Nilai parameter periode pendekatan
C _U	= Koefisien untuk Batasan atas
C _{vx}	= Faktor distribusi vertikal
D	= Beban mati
DC	= <i>Damage control</i>
E	= Beban gempa
F _a	= Periode pendek
FEMA	= <i>Federal emergency management agency</i> (tingkat kinerja struktur)
F _i	= Bagian gaya geser dasar seismik
F _v	= Periode 1 detik
F _x	= Distribusi gaya seismic lateral
G	= Percepatan gravitasi 9,81 m/det ²
H	= Ketebalan
H _i	= Tinggi bangunan tiap lantai
H _i , h _x	= Tinggi dasar sampai tingkat I atau x
h _n	= Batasan sistem struktur
H _n	= Tingkat tertinggi struktur
I _e	= Faktor keutamaan gempa
IO	= <i>Immediate occupancy</i>
K	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur
L	= Beban hidup
LS	= <i>Life safety</i>
MCE _R	= Resiko tertarget

m^d	= Batasan tinggi struktur
NC	= <i>Not considered</i>
\bar{N}	= Nilai hasil test penetrasi standar rata-rata
\bar{N}_{ch}	= Nilai hasil test penetrasi standar rata-rata
PI	= Indeks plastisitas
PP	= <i>Performance point</i>
R	= Beban air hujan
R	= Koefisien modifikasi respons
R	= Rasio kuat elastik
R^a	= Koefisien modifikasi respons
S_1	= Percepatan batuan dasar periode 1 detik
S_a	= Akselerasi respon spektrum
SA	= Batuan Keras
S_a	= Spektrum respons percepatan desain
SB	= Batuan
SC	= Tanah keras sangat padat dan batuan lunak
SD	= Tanah sedang
S_{D1}	= percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik
S_{Di}	= Kategori desain seismik percepatan pada periode 1 detik
S_{DS}	= percepatan spektral desain untuk perioda pendek
SE	= Tanah lunak
SF	= Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik
SM_1	= Respn spektral 1 detik
S_{MS}	= Respon spektrum periode pendek
S_s	= Percepatan batuan dasar
SS	= Struktur stabilti
\bar{s}_u	= Kuat geser niralir rata-rata
$\bar{s}\bar{u}$	= Kuat geser niralir (kecepatan gelombang geser)
T	= Periode waktu
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_c	= Mode periode 1 dan 2
T_e	= Waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi inelastik

T_L	= Peta transisi periode Panjang
T_{max}	= Peride maksimum
T_o	= Periode lebih kecil
T_s	= Parameter periode pendek/periode 1 detik
T_S	= Waktu getar karakteristik
T_{SF}	= Hambatan lekat
V	= Gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (kN)
V	= Respons seismik dikali berat seismic efektif
V_x	= Distribusi horizontal gaya geser
V_y	= Gaya geser pada saat leleh
\bar{v}_s	= Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata
W	= Beban angin
W	= Berat seismik efektif
w	= Kadar air
W	= Total beban mati
w_1, w_x	= Bagian berat seismik efektif total
W_i	= Berat perlantai bangunan gedung
Ω_o^b	= Faktor kuat leboh sistem

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Layout Balok	88
Lampiran 2 Layout Kolom.....	93
Lampiran 3 Layout Plat Lantai	98
Lampiran 4 Detail Kolom, Balok dan Plat Lantai.....	103
Lampiran 5 Gambar Potongan Bangunan Gedung	108
Lampiran 6 Hasil Pengujian Sondir	116



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara geografis Indonesia sebagian besar berada dalam kawasan bencana, bencana alam gempa bumi di Indonesia disebabkan oleh pengaruh dari pertemuan tiga lempeng dunia yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara, lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan dan lempeng Pasifik yang bergerak dari timur ke barat, akibatnya menyebabkan penekanan pada lapisan bawah bumi yang mengakibatkan Negara kepulauan Indonesia memiliki morfologi yang bergunung-gunung dan relief yang relatif kasar (Dedi, 2015). Indonesia terletak didua jalur pegunungan aktif di dunia yaitu sirkum Pasifik dan sirkum Mediterania dimana sirkum pasifik meliputi kepulauan di bagian utara Sulawesi dan sebagian wilayah Maluku Utara dan sirkum Mediterania terbagi menjadi dua bagian yaitu busur dalam yang masih aktif dan busur luar yang sudah tidak aktif, busur dalam di Indonesia mencakup gunung api yang terdapat pada bagian daratan Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Lombok, Nusa Tenggara, Flores, dan sebagian Pulau Sulawesi dan berakhir di Laut Banda. Busur luar sirkum mediterania di Indonesia mencakup di bagian barat Pulau Sumatera seperti mentawai, Sipora, Siberut, Nias, Enggano terus ke Pantai Selatan Jawa, dan Kepulauan Nusa Tenggara meliputi Pulau Sumba, dan Pulau Rote (Sindhu, 2015).

Daerah Sumatera Utara merupakan salah satu daerah di Indonesia yang beresiko terjadinya gempa ditandai dengan adanya aktivitas gunung Sinabung yang merupakan gunung api aktif yang terletak di daratan tinggi Karo, Kabupaten Karo (Wahyunia, 2021), sehingga evaluasi kinerja struktur bangunan di daerah

Sumatera Utara akibat beban lateral gempa sangat diperlukan untuk memastikan bahwa bangunan tersebut berperilaku dengan baik saat terjadi gempa bumi. Penulis tertarik dalam mendalami dan memahami metode ini dengan manfaat untuk menerapkan pengetahuan tersebut dalam lingkungan seperti bangunan-bangunan yang berada di kota Medan, dalam hal ini penulis memilih lokasi penelitian yaitu bangunan gedung lima lantai gedung kantor UPPD Medan Utara yang terletak di daerah Kota Medan dengan fungsi bangunan gedung yang dianalisis adalah sebagai tempat parkir kendaraan kantor. Dengan demikian melakukan re-evaluasi kinerja seismik terhadap struktur bangunan merupakan pengembangan ilmu pengetahuan dibidang teknik sipil bagian struktur gedung untuk memahami lebih banyak tentang metode ini serta bagaimana untuk mitigasi terhadap bencana alam (Laresi, 2018).

Perkembangan teknologi sangat membantu untuk perencanaan dan analisis terhadap kinerja struktur bangunan terhadap beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan, teknologi yang tersedia untuk analisis ini misalnya dengan menggunakan program SAP2000 dan ETABS yang bertujuan untuk menyerderhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan, oleh sebab itu penulis menggunakan bantuan program SAP2000 untuk mengkaji dan membahas *output* yang dihasilkan program tersebut (Subramani, 2016). Konsep terbaru dalam rekayasa gempa adalah *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE), PBEE terbagi menjadi dua bagian yaitu *Performance Based Seismic Design* (PBSD) dan *Performance Based Seismic Evaluation* (PBSE), evaluasi PBSE salah satunya dengan analisis nonlinear *pushover* (Affandi, 2020). Dokumen ATC-40 digunakan sebagai indikator untuk beberapa pertimbangan kinerja struktur saat

dikenai beban lateral, dokumen ATC-40 penulis gunakan untuk sebagai acuan pertimbangan kondisi kerusakan (*damage states*) sebagai level kinerja struktur (Kurniati, 2019).

Dalam perencanaan beban gempa dalam suatu struktur bangunan perlu dilakukan analisis dengan beberapa metode salah satunya yaitu metode analisis *pushover*, analisis *pushover* ini bertujuan untuk mengetahui apakah bangunan tersebut mampu menahan beban gempa atau beban lateral dan menganalisis supaya tidak terjadi kerusakan berat pada komponen elemen struktur tersebut karena prinsip bangunan tahan gempa adalah boleh terjadi kerusakan pada bangunan tersebut, tetapi tidak dengan elemen strukturnya (Zebua, 2020). Analisis *pushover* adalah suatu analisis *static nonlinear*, dimana gaya horizontal statis diberikan pada pusat massa bangunan yang besarnya secara berangsur-angsur ditingkatkan sampai struktur mencapai batas atau kondisi runtuh (Manalip, 2014). Analisis *pushover* dengan menggunakan analisis statik nonlinear maka dapat mengetahui keruntuhan bangunan yang disebabkan karena gempa atau biasa dikenal dengan analisis beban dorong statik dengan pembebanan lateral pada struktur yang ditingkatkan secara bertahap sampai mencapai titik keruntuhan tertentu (Pebrina, 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang didapat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil *output* kurva *pushover* pada struktur bangunan tersebut?
2. Bagaimana perilaku dan kinerja struktur gedung saat terjadi gempa?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Memperlihatkan kurva kapasitas untuk mengetahui hubungan *base share* dengan *displacement* yang dihasilkan.
2. Mengetahui perilaku dan kriteria kinerja struktur dari hasil analisa *pushover*.

1.4. Batasan Penelitian

Dalam analisis *pushover* ini permasalahan dibatasi dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Struktur gedung yang dianalisis berfungsi sebagai Gedung parkir kendaraan kantor berupa mobil minibus dan sepeda motor, terdiri dari 5 lantai dengan tinggi gedung 17,65 m.
2. Struktur gedung merupakan gedung beton bertulang yang beraturan, struktur daktail penuh, terletak di kota Medan dengan wilayah gempa 3 dengan kondisi tanah keras.
3. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang, meliputi:
 - a. Struktur portal beton bertulang
 - b. Pelat lantai & ramp beton bertulang
 - c. Atap dengan pelat dak
 - d. Komponen non struktural seperti lift dan tangga
4. Pembebanan meliputi:
 - a. Beban mati (berat sendiri struktur)
 - b. Beban hidup (fungsi gedung sesuai dengan SNI 1727:2013)
 - c. Beban lateral (berupa beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019)

- d. Peta sumber bahaya akibat gempa yang digunakan adalah peta sumber gempa tahun 2017
 - e. Peraturan pembebanan berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-1989)
5. Kriteria kinerja menggunakan dokumen ATC-40
 6. Perilaku struktur dianalisis dengan menggunakan metode *pushover* dengan bantuan program *software* SAP2000

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan sebagai berikut:

1. Memahami dan mendalami program SAP2000 dari hasil *output* analisis *pushover* suatu struktur bangunan sehingga bangunan tetap mampu bertahan saat terjadi bencana gempa.
2. Menambah pengetahuan tentang informasi kriteria kinerja dan perilaku struktur bangunan akibat beban lateral sehingga analisis ini dapat digunakan untuk pedoman perencanaan struktur bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada baik untuk melakukan mitigasi bencana gempa serta untuk perencanaan bangunan tahan gempa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gempa Bumi

2.1.1 Defenisi Gempa Bumi

Gempa bumi didefenisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi yang sifatnya secara tiba-tiba, akibat adanya sumber gaya, baik yang bersumber dari alam maupun ikut campur tangan manusia (Nilam, 2018). Gempa bumi merupakan getaran atau gelombang yang terjadi pada permukaan bumi baik akibat fenomena alam maupun buatan manusia (Imam, 2023).

2.1.2 Proses Terjadinya Gempa Bumi

Proses terjadinya gempa bumi dipicu oleh beberapa proses baik alami dan juga akibat proses buatan manusia, dan proses terjadinya gempa bumi ini ada beberapa proses sebagai berikut (Suharjanto, 2018):

1. Gempa bumi disebabkan akibat pelepasan energi dari tekanan oleh aktivitas lempeng bumi yang bergerak yang mengakibatkan tekanan tersebut semakin lama bergerak akibat energi tersebut maka semakin membesar sampai hingga mencapai titik tertinggi atau titik jenuh kemampuan lempeng itu sendiri menahan tekanan energi yang terjadi sehingga tekanan energi tersebut menimbulkan pergeseran disetiap ujung lempengnya.
2. Gempa bumi disebabkan oleh pergerakan magma dari perut bumi yang bergerak disepanjang jalur magma dimana energi akibat pergerakan

magma ini menimbulkan getaran hingga ke permukaan bumi. Magma yang terus bergerak dari perut bumi akan terus bergerak sepanjang jalur magma sampai menemukan jalur untuk erupsi dan akibat pergerakan magma ini maka akan menimbulkan terjadinya letusan gunung berapi yang akan mengeluarkan magma, abu vulkanik, air panas, pasir dan bebatuan sehingga gelombang getaran ini disebut sebagai akibat aktivitas vulkanik gunung berapi.

3. Gempa bumi akibat pergerakan tanah atau bebatuan yang biasa disebut dengan longsor, pergerakan tanah atau bebatuan ini biasa terjadi didaerah pegunungan atau relif dan kontur tanahnya sangat kasar ditandai dengan bentuk tebing yang sangat dalam dan curam. Faktor terjadinya pergerakan tanah atau bebatuan ini bisa jadi dari akibat pergerakan dari dalam lempeng bumi sehingga menimbulkan getaran hingga ke permukaan bumi maka mengakibatkan longsor.
4. Gempa juga bisa disebabkan akibat menurunnya permukaan tanah baik karena alami atau akibat buatan dan campur tangan manusia. Penurunan tanah dengan volume besar bisa saja diakibatkan oleh faktor rongga yang berada bagian mantel bumi sehingga suatu saat dengan waktu yang sangat lama titik permukaan rongga ini mengalami penurunan yang mengakibatkan amblasnya permukaan tanah secara skala besar. Penurunan tanah juga bisa juga akibat aktivitas manusia misalnya, akibat penggalian atau penambangan minyak, material padat dan gas dengan volume yang sangat besar sehingga kerak yang menahan rongga penambangan ini tidak mampu untuk bertahan sehingga menimbulkan

gerakan penurunan tanah yang sangat besar. Akibat dari pergerakan tanah ini maka terjadi getaran atau seismik sehingga menimbulkan getaran dipermukaan bumi.

5. Gempa bumi juga bisa disebabkan akibat getaran yang disebabkan oleh aktivitas ledakan nuklir, aktivitas industri, aktivitas alat pengeboran, aktivitas kendaraan dan aktivitas kecelakaan baik misalnya ledakan industri ataupun gas bumi. Akibat dari aktivitas tersebut maka terjadi pergerakan dipermukaan bumi sehingga menimbulkan getaran yang walaupun dengan skala kecil
6. Gempa bumi juga bisa disebabkan oleh aktivitas benda angkasa misalnya seperti meteor yang jatuh kepermukaan bumi atau benda lain berupa benda angkasa seperti satelit buatan manusia yang suatu saat jatuh dan menabrak permukaan bumi, akibat tumbukan benda angkasa tersebut maka terjadi getaran dititik permukaan bumi sehingga menimbulkan kerusakan akibat dari aktivitas benda angkasa tersebut.

2.1.3 Jenis dan Klasifikasi Gempa

Jenis gempa bumi dikelompokkan berdasarkan beberapa jenis yaitu menurut proses terjadinya, menurut episentrum, menurut kedalaman episentrum, menurut jarak episentrum dan menurut lokasi episentrum (Nilam, 2018).

1. Jenis gempa menurut proses terjadinya

Jenis gempa bumi menurut proses terjadinya diklasifikasikan menjadi beberapa jenis baik dalam kategori tektonik, vulkanik, gempa bumi longsor, gempa bumi tumbukan, gempa bumi buatan yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Gempa tektonik merupakan gempa bumi yang terjadi akibat kenaikan dan penurunan litosfer mengakibatkan patahan pada kulit bumi dikarenakan tumbukan dari beberapa lempeng bumi.
 - b. Gempa vulkanik merupakan gempa bumi akibat aktivitas magma yang bergerak dari perut bumi dan melakukan erupsi di gunung berapi.
 - c. Gempa bumi longsor merupakan gempa bumi akibat dari adanya runtuh pada lapisan kerak bumi biasanya runtuh terjadi di pegunungan atau tebing yang sangat curam
 - d. Gempa bumi tumbukan merupakan gempa bumi akibat gaya gravitasi bumi yang akan menarik setiap benda yang berada disekitarnya misalnya akibat tumbukan meteor dan benda angkasa lainnya.
 - e. Gempa buatan merupakan gempa yang terjadi akibat aktivitas manusia misalnya karena ledakan nuklir atau aktivitas industri lainnya.
2. Jenis gempa menurut bentuk episentrum

Gempa bumi berdasarkan bentuk episentrumnya diklasifikasikan dengan beberapa bentuk sebagai berikut:

- a. Gempa sentral yaitu gempa yang episentrumnya berbentuk titik
 - b. Gempa linear yaitu gempa yang episentrumnya berbentuk garis
3. Jenis gempa menurut kedalaman hiposentrumnya
- Gempa bumi diklasifikasikan juga berdasarkan kedalaman hiposentrumnya dengan klasifikasi sebagai berikut:

- a. Gempa bumi dalam yaitu gempa bumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum > 300 km di bawah permukaan bumi.
 - b. Gempa bumi menengah yaitu gempa bumi yang terjadi dengan kedalaman hiposentrum berkisar antara 60 km sampai dengan 300 km berada di bawah permukaan bumi.
 - c. Gempa bumi dangkal yaitu gempa bumi dengan kedalaman hiposentrumnya < 60 km di bawah permukaan bumi.
4. Jenis gempa menurut jarak episentrum (pusat gempa)

Gempa bumi diklasifikasikan berdasarkan jarak episentrum dengan klasifikasi sebagai berikut:

- a. Gempa sangat jauh merupakan gempa bumi dengan klasifikasi episentrumnya > 10.000 km dari pusat pencatat gempa
 - b. Gempa jauh merupakan gempa bumi dengan jarak episentrum berada diantara 10.000 km dari pusat stasiun pencatat gempa
 - c. Gempa lokal merupakan gempa bumi yang diklasifikasikan dengan jarak episentrum < 10.000 km dari stasiun pencatat gempa
5. Jenis gempa menurut lokasi episentrum

Gempa bumi berdasarkan lokasi episentrum diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Gempa daratan merupakan gempa yang lokasi episentrumnya berada di daratan permukaan bumi.
- b. Gempa lautan merupakan gempa dengan lokasi episentrumnya berada di lautan yang berpotensi untuk terjadinya gelombang permukaan air laut.

2.2. Analisis Gaya Gravitasi

2.2.1 Beban Mati (DL)

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPIUG, 1983). Besar beban mati berdasarkan bahan bangunan untuk bangunan gedung tersebut dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. 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
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

Lanjutan – Tabel 1. Beban mati berdasarkan bahan bangunan (PPIUG,1983 tabel 2.1)

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 genting 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

2.2.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian suatu gedung dan didalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air ke dalam beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa dan beban khusus (PPIUG 1983), dalam perencanaan struktur bangunan gedung maka menentukan besar nilai beban hidup pada suatu gedung sangatlah diperlukan guna untuk mendapatkan hasil perencanaan yang sangat baik dan maksimal supaya bangunan tidak runtuh ketika digunakan, maka besar beban hidup pada lantai Gedung dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban hidup pada lantai gedung (PPIUG: 1983 tabel 3.1)

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
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

2.3. Beban Gempa Statik Ekuivalen

Analisis statik terdiri dari metode analisis statik ekuivalen dan analisis statik *pushover*, analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa dengan gaya-gaya statik yang ekuivalen (Halimatusadiyah, 2022).

2.3.1 Kriteria Perancangan dalam Klasifikasi Kelas Situs

Klasifikasi suatu kelas situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik suatu bangunan dipermukaan tanah atau penentuan besaran percepatan

gempa puncak dari batuan dasar kepermukaan tanah untuk suatu situs seperti yang ditampilkan pada Tabel 3, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu (SNI 1726, 2019).

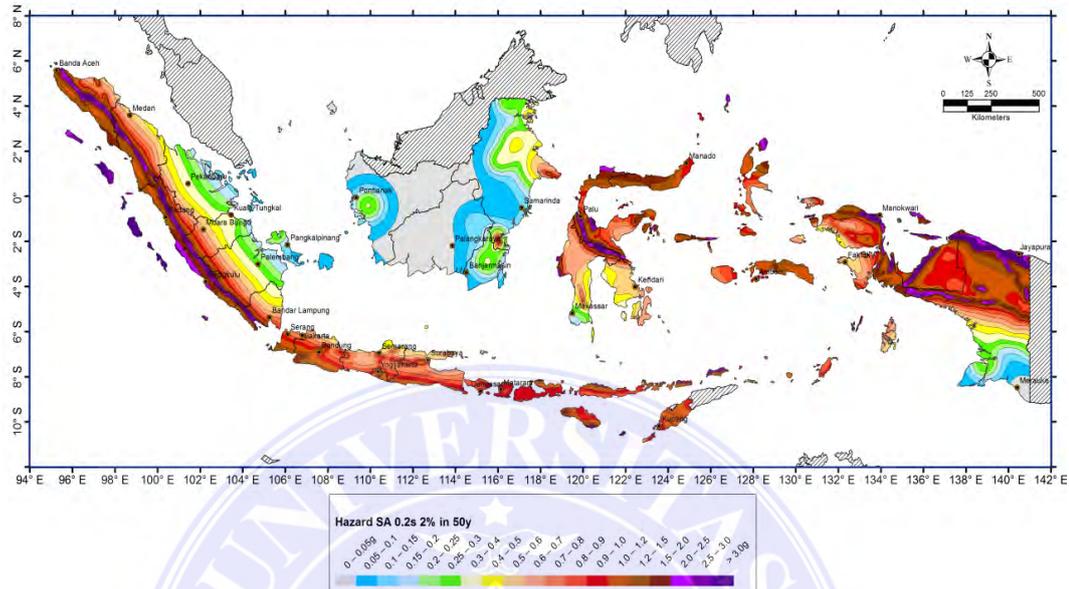
Tabel 3. Klasifikasi kelas situs (SNI:2019 tabel 5)

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 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $P_I > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa <p>setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung 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 		

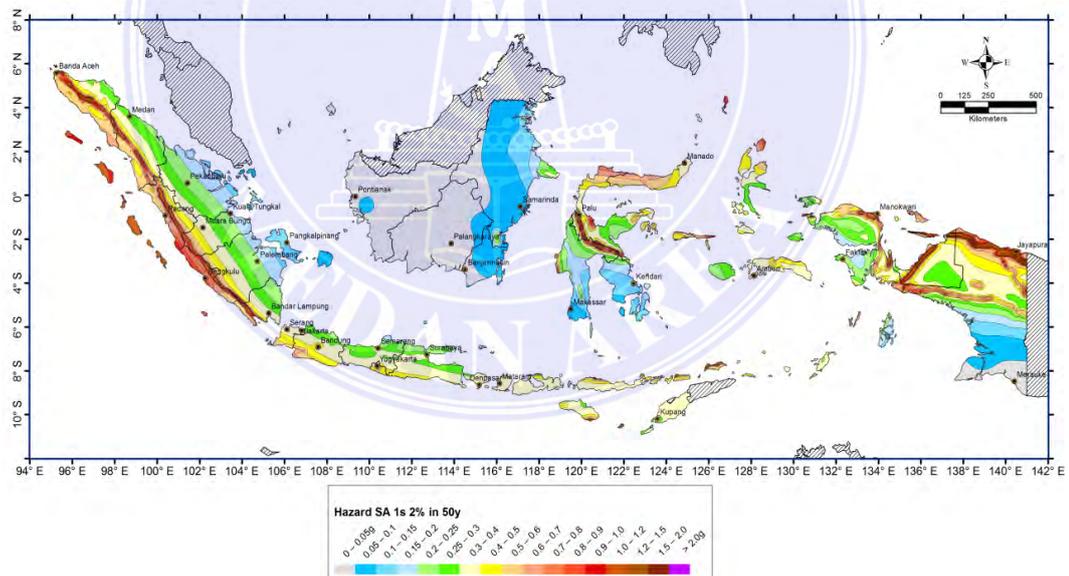
2.3.2 Parameter Percepatan Batuan Dasar

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta pada Gambar 1 dan 2 sebagai indikator gerak tanah seismik 2% terlampaui dalam 50 tahun (2% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan

gravitasi. Untuk nilai S_s dan S_1 dilihat pada gambar berikut (Peta sumber dan bahaya gempa, 2017).



Gambar 1. Peta percepatan spektrum respons 0,2 detik dengan 5 % di batuan dasar (SB) terlampaui 2% dalam 50 tahun (Peta sumber dan bahaya gempa 2017)



Gambar 2. Peta percepatan spektrum respons 1,0 detik redaman 5 % di batuan dasar (SB) terlampaui 2 % dalam 50 tahun (peta sumber dan bahaya gempa 2017)

2.3.3 Menentukan Koefisien Situs, F_a dan F_v

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1

detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut ini (SNI 1726, 2019).

Tabel 4. Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2019 tabel 6)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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

Catatan:

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

Tabel 5. Koefisien situs, F_v (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1,0$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

2.3.4 Menentukan Parameter Respon Spektrum Desain

Parameter respon spektrum pada perioda pendek (S_{MS}), pada persamaan 1 berikut

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

Percepatan respon spectrum pada perioda 1 detik (S_{M1}), pada persamaan 2 berikut

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

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}), persamaan 3

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

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik (S_{D1}), persamaan 4

$$S_{D1} = \frac{2}{3} SM_1 \quad (4)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

2.3.5 Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e , khusus untuk struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori (SNI 1726-2019). Untuk menentukan risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. 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	I
- Fasilitas sementara	
- Gudang penyimpanan	
- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam Kategori II, III, IV.	

Lanjutan - Tabel 6. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019 tabel 3)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>kategori risiko I, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan termasuk tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pentipan anak - Penjara - Bangunann untuk Orang Jompo 	III
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	
<p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 sat keadaan darurat 	

Lanjutan - Tabel 6. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019 tabel 3)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Kategori risiko struktur bangunan harus menentukan faktor keutamaan gempa dengan menggunakan nilai sesuai dengan kategori risiko yang sudah ditetapkan dalam suatu perhitungan untuk menentukan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini (SNI 1726, 2019).

Tabel 7. 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

2.3.6 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik, struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan kedalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T (SNI 1726:2019) dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9 berikut.

Tabel 8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019 tabel 8)

Niai 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 9. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019 tabel 9)

Niai 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
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

2.3.7 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur dimana komponen struktur balok, kolom, dan joint-joint menahan gaya-gaya melalui aksi lentur, geser, dan aksial (Honarto, 2019). Menurut (Karisoh, 2019) sistem rangka pemikul momen terbagi tiga bagian yaitu sebagai berikut:

1. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) adalah sistem yang memiliki daktilitas terbatas dan hanya cocok di daerah resiko gempa rendah.
2. Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) adalah sistem yang memiliki tingkat daktilitas sedang dan digunakan di daerah dengan tingkat risiko gempa sedang, diharapkan sistem ini mampu menahan gaya-gaya yang lebih khususnya kolom agar dapat menahan geser, pendetailan harus sesuai dengan yang disyaratkan oleh badan standarisasi nasional untuk perencanaan struktur tahan gempa.

3. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem yang memiliki tingkat daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa tinggi, prinsip dari sistem ini yaitu *strong* kolom *weak* beam, tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan yang khusus.

Kombinasi sistem struktur dalam arah yang berbeda maka sistem pemikul gaya yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu *orthogonal* struktur, bila sistem berbeda digunakan masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9 berikut (SNI 1726:2019).

Tabel 9. Faktor R , C_d , dan Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019 tabel 12)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_o^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Sistem rangka pemikul momen								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 $\frac{1}{2}$	T	T	T	T	T
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	TI	TI
Rangka baja pemikul momen biasa	3 $\frac{1}{2}$	3	3	T	TI	TI	T	T
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 $\frac{1}{2}$	T	TI	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 $\frac{1}{2}$	T	T	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 $\frac{1}{2}$	T	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 $\frac{1}{2}$	T	T	T	T	T
Rangka baja beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 $\frac{1}{2}$	T	T	TI	TI	TI

Lanjutan - Tabel 9. Faktor R, Cd, dan Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019 tabel 12).

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_o^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
Sistem rangka pemikul momen				B	C	D	E ^e	F ^f
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	T	T	T	T	T
Rangka baja beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	T	T	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	$5\frac{1}{2}$	B	B	30	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit	3	3	$2\frac{1}{2}$	T	TI	TI	TI	TI
Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	$3\frac{1}{2}$	3^o	$3\frac{1}{2}$	10	10	10	10	10

2.3.8 Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifikasi situs digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan dibawah ini (SNI 1726, 2019):

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_o , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan 4 berikut ini.

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

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ,
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_1 , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 5 berikut ini.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (5)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 6 berikut ini.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (6)$$

Keterangan:

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

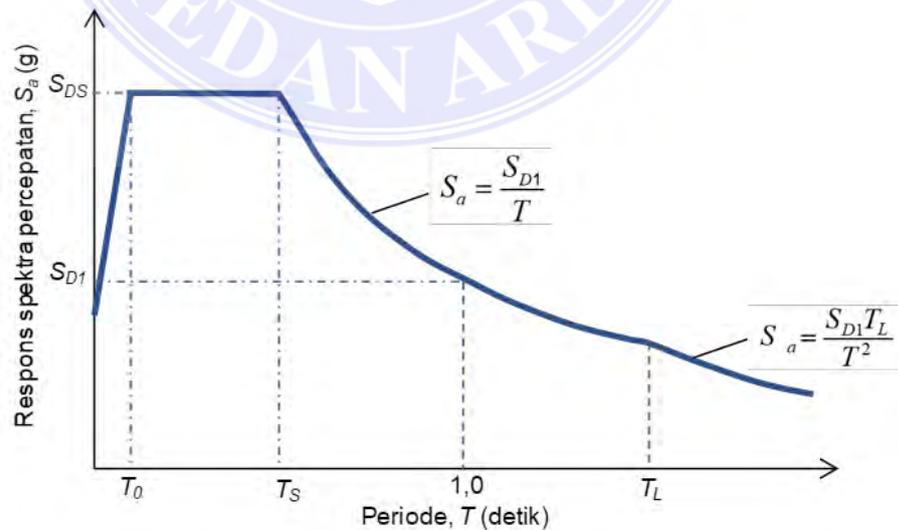
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

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 yang ditunjukkan gambar pada Gambar 3 berikut (SNI 1726, 2019) terlihat pada Gambar 3 berikut ini.



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

2.3.9 Waktu Getar Alami Struktur

Periode fundamental struktur T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji, juga tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan T_a , yang ditentukan, sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur T diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan T_a . (SNI 1726:2019), dengan koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dijelaskan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726:2019 tabel 17)

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

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut (SNI 1726, 2019):

$$T_a = C_t h \frac{x}{n} \quad (2.7)$$

Keterangan:

H_n adalah ketinggian struktur (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dan nilai periode pendekatan dijelaskan Tabel 11 berikut, H_n dapat ditentukan mulai dari titik elevasi lantai 0 pada suatu struktur bangunan sampai dengan titik paling tinggi pada lantai gedung atau atap bangunan.

Tabel 11. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2019 tabel 18)

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku 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

Untuk menghitung hasil periode maksimum (T_{max}) dengan persamaan 8 berikut ini (SNI 1726:2019):

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \quad (8)$$

Dari hasil analisis menggunakan program *software* maka kita akan mendapatkan nilai T_c dengan mode 1 dan T_c dengan 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 $T = T_a$

2.3.10 Gaya Geser Dasar (Gaya Lateral Ekuivalen)

Untuk menentukan nilai koefisien respon seismik dapat dihitung nilainya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut 9, 10, 11, 12, 13 berikut ini.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (9)$$

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 perlu melebihi,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \frac{R}{L_e}} \quad (10)$$

Syarat 2 apabila $T > T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi,

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \frac{R}{L_e}} \quad (11)$$

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

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{L_e}} \quad (12)$$

C_s harus lebih dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} l_e \geq 0 \quad (13)$$

Keterangan

Dimana l_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

Gaya geser dasar seismik V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 14 berikut (SNI 1726:2019):

$$V = C_s W \quad (14)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan

W = berat seismik efektif

2.3.11 Gaya Vertikal dan Horizontal Gempa Statik Ekuivalen

Distribusi vertikal gaya seismik lateral, F_x , (kN) di seberang tingkat harus ditentukan dari persamaan 15 dan 16 berikut (SNI 1726:2019):

$$F_x = C_{vx}V \quad (15)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (16)$$

Keterangan

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

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

Distribusi horizontal gaya geser tingkat desain seismik semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan 17 dan 18 berikut (SNI 1726:2019):

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (17)$$

$$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum w_i h_i^k} V \quad (18)$$

Keterangan:

F_i = adalah bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke i (kN)
gaya horizontal gempa tiap lantai

W_i = berat perlantai bangunan gedung tiap lantai

H_i = tinggi (m) bangunan tiap lantai

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur 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 nilai $0,5 < T < 2,5$; $k = 2$

Waktu getar alami apabila perlu di interpolasi maka harus ditentukan dengan perhitungan hasil interpolasi linear.

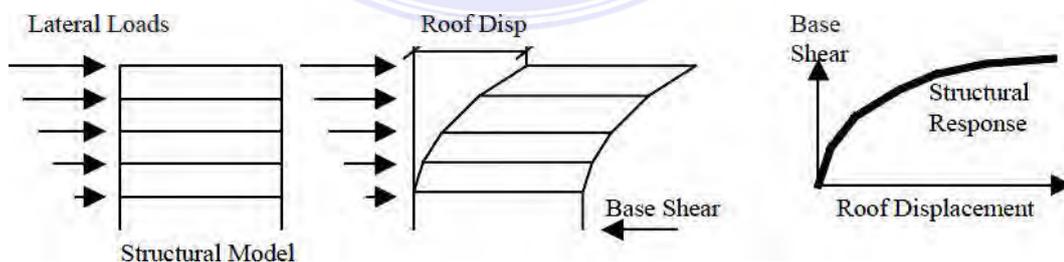
2.3.12 Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Berdasarkan SNI 2847, 2019 Kekuatan perlu U dinyatakan dalam bentuk beban-beban terfaktor, momen dan gaya-gaya dalam terkait. Beban terfaktor ini sudah ditetapkan oleh peraturan pembebanan yang berlaku. Kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh terfaktor. Kombinasi beban yang menentukan desain adalah yang memberikan nilai maksimum dari kombinasi beban hidup (L), beban hidup beban mati (D), beban gempa (E), beban angin (W), maupun beban air hujan (R) (Gunawan, 2021). Faktor beban dan kombinasi beban dalam analisis *pushover* yang digunakan adalah turunan dari kombinasi beban yang dimodifikasi dari beban kombinasi yang bersifat *linear* menjadi *nonlinear* berdasarkan SNI 2487:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung beberapa kombinasi beban tersebut diantaranya:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L$
6. $0,9 D + 1,0 W$
7. $0,9 D + 1,0 E$

2.4 Analisis Pushover

Analisis *pushover* merupakan perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elasto plastis yang sampai mencapai kondisi diambang keruntuhan (Mamesah, 2014). Analisis *pushover* selanjutnya akan menampilkan kurva hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan perpindahan titik acuan pada atap (D) dimana kurva *pushover* ini dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Tujuan analisis *pushover* untuk mengetahui perkiraan gaya maksimum dan perkiraan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian elemen struktur yang mengalami kritis dan hasil analisis ini dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya dan juga dapat digunakan sebagai modal untuk perencanaan tahan gempa untuk struktur bangunan yang akan direncanakan seperti apda Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Analisa *Pushover* (Titono, tesis FT UI)

Dalam melakukan analisis *pushover* ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik kontrol sebagai memonitor besarnya perpindahan pada struktur kemudian rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar ini dijadikan untuk mendapatkan kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* dari distribusi gaya inersia yang ekuivalen dengan berbagai pola distribusi gaya lateral, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya, kita perlu membuat beberapa pola pembebanan lateral karena sifat gempa yang tidak pasti untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Untuk mendapatkan estimasi besarnya target perpindahan maka titik kontrol didorong sampai target tertentu, yaitu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol sudah berada pada target perpindahan yang merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja.

2.4.1 Metode Spektrum Kapasitas yang Mengacu pada ATC-40

Metode spektrum kapasitas (*capacity spectrum method*) menyajikan dua grafik yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya berada dilevel atap bangunan) serta spektrum *demand* yang menggambarkan besarnya tuntutan kinerja akibat gempa dengan periode ulang tertentu. Target perpindahan diperoleh melalui titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan *spectrum demand*. Kinerja bangunan berdasarkan metode spektrum kapasitas ATC-40 memberikan indikator untuk mengatur dan melihat batas deformasi dengan nilai *drift* digunakan sebagai indikator kinerja struktur, dengan menggunakan persamaan

maksimum total *drift* =Dt/h dimana *displacement* nya dibagi dengan tinggi bangunan tersebut.

Sasaran kinerja pada dokumen ATC 40 memasukkan beberapa pertimbangan konsisi kerusakan (*damage ststes*) untuk beberapa level gerakan tanah, pada dokumen ATC 40 dapat digunakan sebagai acuan baik dalam melakukan desain atau perencanaan struktur maupun untuk mengevaluasi struktur yang sudah ada. Level kinerja bangunan pada ATC 40 dibagi menjadi 6 level kriteria kinerja struktur, paada pembagian level kinerja bangunan ATC 40 disajikan pada Tabel 12 brikut ini.

Tabel 12. Level kinerja bangunan (Dokumen ATC-40)

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

Berdasarkan tabel diatas bahwa dokumen ATC 40 adalah sebagai pedoman untuk menentukan level kinerja suatu struktur bangunan gedung dan penjelasan lebih lanjut kinerja struktur menurut ATC 40 sebagai berikut:

1. *Immediate Occupancy*, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi, karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana

gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

2. *Damage control*, SP-2: Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 100%
3. *Life Safety*, SP-3: Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa, komponen-komponen struktur utama tidak runtuh dan bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
4. *Limited Safety*, SP-4: Kondisi bangunan tidak sebaik level *safety* dan tidak seburuk level *structural stability*, termasuk ketika level *life safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
5. *Structural Stability*, SP-5: Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah, terjadi kerusakan pada struktur dan non struktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan
6. *Not Considered*, SP-6: Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

ATC 40 memberikan batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi pada *performance point* (PP) dalam rangka mengevaluasi kinerja struktur daktail dengan analisis *static nonlinear*. Parameter yang digunakan adalah

maksimum *total drift* dan maksimum *inelastic drift*. Batasan *ratio drift* atap dimana hasilnya didapat dari hasil pembagian antar besar nilai *displacement* dari hasil *running* SAP2000 dengan tinggi total maksimum struktur bangunan gedung dan sesuai dengan ATC 40 disajikan pada tabel 13 berikut ini.

Tabel 13. Batasan *ratio drift* atap (ATC 40, 1996: bab 11.3.3)

Parameter	<i>Performance Level</i> (tingkat kinerja struktur)			
	<i>IO</i>	<i>Damage Control</i>	LS	<i>Structural Stability</i>
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	$0,33 \frac{v_i}{p_i}$
Maksimum <i>Inelastik Drift</i>	0,005	0,005 s.d 0,015	<i>No limit</i>	<i>No limit</i>

2.4.2 Metode Koefisien Perpindahan yang Mengacu pada FEMA 356

Metode koefisien perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) adalah metode prosedur *statis nonlinear* yang terdapat dalam dokumen FEMA 356 dengan penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respon *elastis linear* dari sistem SDOF yang setara dengan faktor koefisien C0, C1, C2 dan C3 sehingga dihitung dengan target perpindahan dengan persamaan 19, 20 berikut.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (19)$$

Dimana:

Te = waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi *inelastic*

C0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang

pertama yang (*first mode participation factor*) atau berdasarkan tabel FEMA 365

C_1 = faktor modifikasi yang yang menghubungkan perpindahan *inelastic* maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon *elastic linear* 1.0 untuk $T_e \geq T_S$ dan $[1,0 + (R - 1) T_S/T_e]/R$ untuk $T_e < T_S$

T_S = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan

R = rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (20)$$

S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi *bilinier*

W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi

C_m = faktor massa efektif yang diambil tabel 3.1 dari FEMA 356

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek *pinching* dari hubungan beban-beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan dari FEMA 356

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi *statistic* analisa riwayat waktu *nonlinier* dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan *engineering judgement*, dimana perilaku hubungan gaya geser dasar-lendutan pada kondisi *pasca* leleh kekakuannya gaya geser dasar-lendutan pada kondisi *pasca* leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku *pasca* lelehnya negatif (kurva menurun) maka dihitung dengan persamaan 21 berikut ini.

$$C_3 = 1.0 + \frac{\alpha(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (21)$$

α = rasio kekakuan *pasca* leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva linier waktu getar efektif

G = percepatan gravitasi 9,81 m/det²

2.4.3 Skema Sendi Plastis

Struktur akan memulai sendi plastis yang diakibatkan momen yang terjadi pada struktur lebih besar daripada momen elemen setelah dilakukannya analisis *pushover*. Pada saat beban yang bekerja pada struktur relatif kecil maka momen yang bekerja pada penampang masih dalam keadaan elastis, namun jika beban yang bekerja ditingkatkan secara bertahap maka dapat mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang akan mencapai keadaan plastis. Pada program SAP2000 keadaan sendi plastis pada elemen struktur ditunjukkan dalam bentuk warna, dimana tiap warna menunjukkan kondisi sendi plastis yang berbeda.

Keterangan mengenai sendi plastis sesuai warna dalam program SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 14 berikut ini:

Tabel 14. Perilaku struktur berdasarkan warna titik sendi plastis

Keterangan	Penjelasan
B	Menunjukkan Batasan linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada elemen struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadinya gempa
LS	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkatan sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi struktur masih memiliki ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP	Tidak terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan dari struktur berkurang banyak
C	Batasan maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan oleh struktur gedung
D	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir mengalami keruntuhan
E	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan mengalami keruntuhan atau <i>collapse</i> .

2.5 Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu

Perbedaan analisis penulis atau evaluasi struktur gedung bertingkat menggunakan metode analisis *pushover* dengan peneliti terdahulu ditampilkan pada Tabel 15 berikut.

Tabel 15. Perbedaan dengan peneliti terdahulu

No	Pencipta jurnal	Judul artikel	Perbedaan
1	Rizqullah, 2023	Evaluasi struktur gedung bertingkat banyak akibat alih fungsi dengan analisis <i>pushover</i>	Objek bangunan yang diteliti adalah gedung mall 8 lantai sedangkan penulis objek bangunan yang ditinjau adalah gedung parkir 5 lantai
2	Yulinda 2018	Analisis <i>pushover</i> terhadap ketidakberaturan struktur gedung universitas 9 lantai	Objek bangunan yang ditinjau adalah gedung universitas 9 lantai sedangkan penulis objek bangunan yang ditinjau adalah gedung parkir 5 lantai

Lanjutan - Tabel 15. Perbedaan dengan peneliti terdahulu

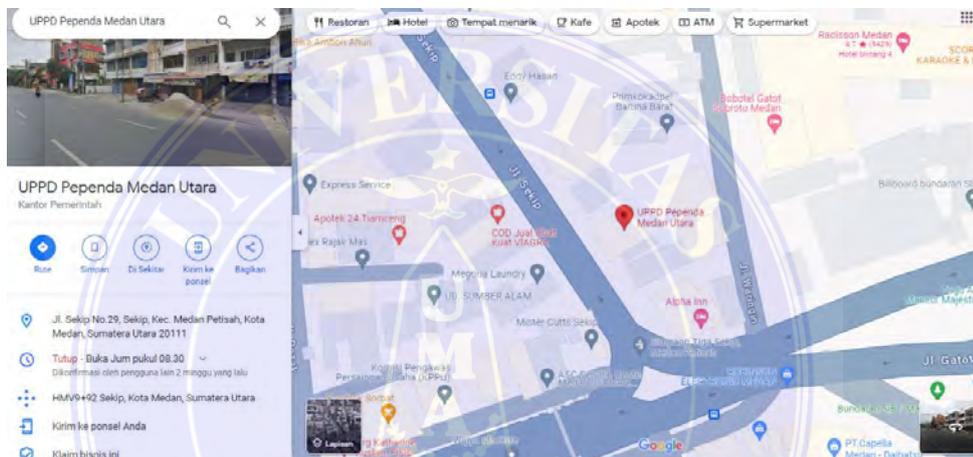
3	Febriana, 2016	Analisis <i>pushover</i> untuk <i>performance based design</i> (studi kasus gedung B program teknologi informasi dan ilmu komputer univeristas brawijaya)	Objek yang ditinjau adalah gedung universitas 13 lantai sedangkan penulis objek bangunan yang ditinjau adalah gedung parkir 5 lantai
4	Dermawan, 2020	Evaluasi simpangan pada bangunan bertingkat beton bertulang berdasarkan analisis <i>pushover</i> dengan metode ATC-40	Objek yang diteliti adalah gedung sekolah 6 lantai sedangkan penulis objek bangunan yang ditinjau adalah gedung parkir 5 lantai
5	Kabul, 2021	Evaluasi kinerja struktur bangunan tinggi dengan analisis <i>pushover</i> menggunakan aplikasi pemodelan struktur	Objek yang diteliti adalah gedung apartemen 25 lantai sedangkan penulis meneliti gedung parkir 5 lantai

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Proyek pembangunan gedung kantor UPPD Medan Utara berlokasi di Jl. Sekip No. 29, Kelurahan Sekip, Kecamatan Medan Petisah, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara 20111, lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Lokasi penelitian (Google Maps, 2024)

3.1.2 Perkiraan Waktu Penelitian

Perkiraan waktu penelitian yang digunakan peneliti untuk penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal surat keterangan izin penelitian dikeluarkan dalam kurun waktu kurang lebih satu bulan dimana 1 minggu untuk pengumpulan data dan 3 minggu pengolahan data.

3.1.3 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan metode analisis data kuantitatif, dimana data berupa angka, data yang sudah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan bantuan *software* SAP2000 V.14. Dalam penelitian ini

menggunakan analisis *pushover* metode kurva kapasitas, analisis mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, ATC-40 dan FEMA356.

3.1.4 Pemodelan Struktur Bangunan dengan SAP2000

Tahapan pemodelan struktur dan analisis struktur dengan SAP2000 yang dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Diagram alir penelitian (Analisis peneliti, 2024)

3.2 Parameter Analisis

3.2.1 Data Gedung Penelitian

Data informasi proyek pembangunan gedung adalah sebagai berikut:

1. Nama Bangunan : Gedung Kantor UPPD Medan Utara
2. Fungsi Bangunan : Kantor dan Parkiran
(yang ditinjau gedung parkir)
3. Jumlah Tingkat : Kantor 2 lantai dan parkir 5 lantai
(yang ditinjau parkir 5 lantai)
4. Material Struktur : Struktur Beton Bertulang
5. Kontraktor Pelaksana : PT. BETESDA MANDIRI
6. Konsultan Pengawas : PT. Transima Citra Indo Consultant

3.2.2 Data Material

Data material pada proyek pembangunan gedung ini adalah sebagai berikut:

1. Mutu Beton
Mutu beton yang dipakai untuk komponen struktur mulai dari pondasi *bored pile*, *pile cap*, sloof, kolom, balok, pelat lantai dan dak atap digunakan mutu beton ($f'c$) = 26, 4 MPa.
2. Mutu Baja
Mutu baja yang dipakai untuk BJTS 400 MPa dan BJTP 240 MPa

Data material struktur bangunan gedung parkir kantor UPPD Medan Utara didapatkan dari hasil uji laboratorium Teknik Sipil baik mutu beton dan mutu baja tulangan dan diupload nantinya ke program SAP2000 berdasarkan hasil dari data uji laboratorium tersebut.

3.2.3 Dimensi Struktur

1. Pondasi

Dimensi pondasi pada struktur bangunan tersebut berdasarkan data lapangan ditampilkan pada Tabel 16 berikut.

Tabel 16. Ukuran dimensi pondasi (Data lapangan, 2024)

Bored pile	D40 – L.EF 11.35	d8 – 150, d8-150, 26.4 MPa
Pile Cap	150 x 150 x 40	d19-110, 26.4 MPa

2. Sloof

Dimensi Sloof pada struktur bangunan tersebut berdasarkan data lapangan ditampilkan pada Tabel 17 berikut.

Tabel 17. Ukuran dimensi sloof digunakan (Data lapangan, 2024)

Sloof I	35 x 45	10d16, d8 – 150, 26.4 MPa
Sloof II	20 x 30	6d10, d6 – 150, 26.4 MPa

3. Kolom

Dimensi kolom pada struktur bangunan tersebut berdasarkan data lapangan ditampilkan pada Tabel 18 berikut.

Tabel 18. Ukuran dimensi kolom yang digunakan (Data Lapangan, 2024)

Lt 1	K1	50 x 70, 28d19, d8-150, 26.4 MPa
	KP	15 x 15, 4d10, d6-150, 26.4 MPa
Lt 2	K2	50 x 70, 25d19, d8-150, 26.4 MPa
	KPI	15 x 15, 4d13, d8-150, 26.4 MPa
Lt 3	K3	50 x 50, 23d19, d8-150, 26.4 MPa
	KPI	15 x 15, 4d13, d8-150, 26.4 MPa
Lt 4	K3	50 x 50, 23d19, d8-150, 26.4 MPa
	KPI	15 x 15, 4d13, d8-150, 26.4 MPa
Lt 5	KPI	15 x 15, 4d13, d8-150, 26.4 MPa

4. Balok

Balok dalam struktur bangunan tersebut menggunakan balok struktur beton bertulang yang terdiri dari balok induk dan balok anak dan untuk

dimensi balok struktur gedung ditampilkan pada Tabel 19 berikut.

Tabel 19. Ukuran dimensi balok yang digunakan (Datalapangan, 2024)

Lt 2	B1	40 x 75, 18d16, d8-120, 16d16, d8-150, 26.4 MPa
	B2	30 x 50, 16d16, d8-120, 14d16, d8-150, 26.4 MPa
Lt 3	B1	40 x 75, 18d16, d8-120, 16d16, d8-150, 26.4 MPa
	B2	30 x 50, 16d16, d8-120, 14d16, d8-150, 26.4 MPa
Lt 4	B1	40 x 75, 18d16, d8-120, 16d16, d8-150, 26.4 MPa
	B2	30 x 50, 16d16, d8-120, 14d16, d8-150, 26.4 MPa
Lt 5	B1	40 x 75, 18d16, d8-120, 16d16, d8-150, 26.4 MPa
	B2	30 x 50, 16d16, d8-120, 14d16, d8-150, 26.4 MPa

5. Pelat

Dimensi pelat pada struktur bangunan tersebut berdasarkan data lapangan ditampilkan pada Tabel 20 berikut.

Tabel 20. Ukuran dimensi pelat yang digunakan (Data lapangan, 2024)

Lt 2	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
Lt 3	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
Lt 4	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
Lt 5	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
	Pelat Lantai	0.15, d10-120, 26.4 MPa
	Pelat DAG	0.12, d10-150, 26.4 MPa

3.3 Analisis *Pushover Nonlinear* pada Studi Kasus

3.3.1 Penetapan Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup untuk gedung parkir kantor UPPD Medan utara ditetapkan berdasarkan SNI 1727:2020 tabel 4.3-1 yang mengatur tentang beban hidup terdistribusi merata minimum, L_0 dan beban hidup terpusat minum, maka beban hidup ditetapkan berdasarkan fungsinya dan untuk garasi/parkir mobil penumpang saja (lihat pasal 4.10) adalah 1.92 kN/m^2 dan beban hidup untuk atap datar digunakan $0,96 \text{ kN/m}^2$.

3.3.2 Perhitungan Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Perhitungan beban mati tambahan pada pelat lantai gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 21 berikut ini.

Tabel 21. Beban mati (QDL) pelat lantai 1 – 5 (SNI 1727:2020)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
Pelat lantai	0,15	24	3,6
Spesi	0,02	21	0,42
Pasir	0,03	16	0,48
Plafond dan penggantung		0,2	0,2
ME		0,25	0,25
QDL			4,95

Perhitungan beban mati (QDL) pada pelat atap pada gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 22 berikut ini.

Tabel 22. Beban mati (QDL) pelat atap (SNI 1727:2020)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
Pelat atap dak	0,12	24	2,88
Plafond dan penggantung		0,2	0,2
ME		0,25	0,25
Lapis kedap air	0,002	19	0,04
QDL			3,37

Perhitungan beban mati tambahan dinding balok pada gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 23 berikut ini.

Tabel 23. Beban mati tambahan dinding pada balok (SNI 1727:2020)

Beban	Tinggi dinding (kN/m ³)	Tinggi balok (m)	Bj dinding/tembok (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
Balok BI	1,6	0,75	2	1,70
Balok B2	1,6	0,50	2	2,20

3.3.3 Berat Bangunan

Berat gedung pada bangunan tersebut dihitung mulai dari lantai 1 sampai dengan lantai 5 menggunakan bantuan excel dan Perhitungan berat bangunan dapat dilihat pada Tabel 24, 25, 26, 27, 28 berikut ini.

Tabel 24. Berat gedung lantai 1 (Data lapangan, 2024)

Jenis Struktur	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)	Panjang (L) (m)	Jumlah	BJ (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
Beban Mati PL1	5		7	2	4.95	346.50
Beban Mati PL2	3		7	2	4.95	207.90
Beban Mati PL3	3.5		8	4	4.95	554.40
Beban Mati PL4	4		4	10	4.95	792.00
Beban Mati PL5	4		7	14	4.95	1940.40
Beban Mati PL6	8	8	8	1	4.95	316.80
Beban Mati PL7	8		4	6	4.95	950.40
Beban Mati PL8	5	7		1	4.95	86.63
Beban Mati PL9	4		5	1	4.95	99.00
Beban Mati PL10	3		4	1	4.95	23.80
BI-1	0.4	0.75	8	30	24	1728.00
BI-2	0.4	0.75	7	14	24	705.60
BI-3	0.4	0.75	4	9	24	259.20
BI-4	0.4	0.75	8.54	1	24	61.49
BI-5	0.4	0.75	10.99	1	24	79.13
B2-1	0.3	0.5	8	5	24	144.00
B2-2	0.3	0.5	3	2	24	21.60
B2-3	0.3	0.5	7	9	24	226.80
B2-4	0.3	0.5	4	6	24	86.40
BL.I	0.25	0.4	2	4	24	19.20
K1	0.5	0.8	3.2	32	24	983.04
Kp	0.15	0.15	3.2	31	24	53.57
KL.I	0.25	0.25	3.2	2	24	9.60
KLI.I	0.25	0.75	3.2	2	24	28.80
KL.2	0.15	0.25	3.2	2	24	5.76
Dinding BI-1			8	8	1.70	108.80
Dinding BI-2			7	5	1.70	59.50
Dinding BI-3			4	2	1.70	13.60
Dinding BI-4			8.54	1	1.70	14.52
Dinding BI-5			10.99	1	1.70	18.68
Beban Hidup PL1	5		7	2	1.92	134.40
Beban Hidup PL2	3		7	2	1.92	80.64
Beban Hidup PL3	3.5		8	4	1.92	215.04
Beban Hidup PL4	4		4	10	1.92	307.20
Beban Hidup PL5	4		7	14	1.92	752.64
Beban Hidup PL6	8	8	8	1	1.92	122.88
Beban Hidup PL7	8		4	6	1.92	368.64

Lanjutan-Tabel 24. Berat gedung lantai 1 (Data lapangan, 2024)

Jenis	Lebar (b)	Tinggi (h)	Panjang (L)	Jumlah	BJ	Total
Struktur	(m)	(m)	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ²)
Beban Hidup PL8	5	7		1	1.92	33.60
Beban Hidup PL9	4		5	1	1.92	38.40
Beban Hidup PL10	3		4	1	1.92	11.68
			Σ berat (Wi) lantai 1			12,010.23

Tabel 25. Berat gedung lantai 2 (Data lapangan, 2024)

Jenis	Lebar (b)	Tinggi (h)	Panjang (L)	Jumlah	BJ	Total
Struktur	(m)	(m)	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ²)
Beban Mati PL1	5		7	2	4.95	346.50
Beban Mati PL2	3		7	2	4.95	207.90
Beban Mati PL3	3.5		8	4	4.95	554.40
Beban Mati PL4	4		4	10	4.95	792.00
Beban Mati PL5	4		7	14	4.95	1940.40
Beban Mati PL6	8	8	8	1	4.95	316.80
Beban Mati PL7	8		4	6	4.95	950.40
Beban Mati PL8	5	7		1	4.95	86.63
Beban Mati PL9	4		5	1	4.95	99.00
Beban Mati PL10	3		4	1	4.95	23.80
BI-1	0.4	0.75	8	30	24	1728.00
BI-2	0.4	0.75	7	14	24	705.60
BI-3	0.4	0.75	4	9	24	259.20
BI-4	0.4	0.75	8.54	1	24	61.49
BI-5	0.4	0.75	10.99	1	24	79.13
B2-1	0.3	0.5	8	5	24	144.00
B2-2	0.3	0.5	3	2	24	21.60
B2-3	0.3	0.5	7	9	24	226.80
B2-4	0.3	0.5	4	6	24	86.40
BL.I	0.25	0.4	2	4	24	19.20
K2	0.5	0.7	3.2	32	24	860.16
Kp	0.15	0.15	3.2	18	24	31.10
KL.I	0.25	0.25	3.2	2	24	9.60
KLI.I	0.25	0.75	3.2	2	24	28.80
KL.2	0.15	0.25	3.2	2	24	5.76
Dinding BI-1			8	8	1.70	108.80

Lanjutan-Tabel 25. Berat gedung lantai 2 (Data lapangan, 2024)

Jenis	Lebar (b)	Tinggi (h)	Panjang (L)	Jumlah	BJ	Total
Struktur	(m)	(m)	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ²)
Dinding BI-2			7	5	1.70	59.50
Dinding BI-3			4	2	1.70	13.60
Dinding BI-4			8.54	1	1.70	14.52
Dinding BI-5			10.99	1	1.70	18.68
Beban Hidup PL1	5		7	2	1.92	134.40
Beban Hidup PL2	3		7	2	1.92	80.64
Beban Hidup PL3	3.5		8	4	1.92	215.04
Beban Hidup PL4	4		4	10	1.92	307.20
Beban Hidup PL5	4		7	14	1.92	752.64
Beban Hidup PL6	8	8	8	1	1.92	122.88
Beban Hidup PL7	8		4	6	1.92	368.64
Beban Hidup PL8	5	7		1	1.92	33.60
Beban Hidup PL9	4		5	1	1.92	38.40
Beban Hidup PL10	3		4	1	1.92	11.68
			Σ berat (Wi) lantai 2			11,864.89

Tabel 26. Berat gedung lantai 3 (Data lapangan, 2024)

Jenis	Lebar (b)	Tinggi (h)	Panjang (L)	Jumlah	BJ	Total
Struktur	(m)	(m)	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ²)
Beban Mati PL1	5		7	2	4.95	346.50
Beban Mati PL2	3		7	2	4.95	207.90
Beban Mati PL3	3.5		8	4	4.95	554.40
Beban Mati PL4	4		4	10	4.95	792.00
Beban Mati PL5	4		7	14	4.95	1940.40
Beban Mati PL6	8	8	8	1	4.95	316.80
Beban Mati PL7	8		4	6	4.95	950.40
Beban Mati PL8	5	7		1	4.95	86.63
Beban Mati PL9	4		5	1	4.95	99.00
Beban Mati PL10	3		4	1	4.95	23.80
BI-1	0.4	0.75	8	30	24	1728.00
BI-2	0.4	0.75	7	14	24	705.60
BI-3	0.4	0.75	4	9	24	259.20
BI-4	0.4	0.75	8.54	1	24	61.49
BI-5	0.4	0.75	10.99	1	24	79.13
B2-1	0.3	0.5	8	5	24	144.00

Lanjutan-Tabel 26. Berat gedung lantai 3 (Data lapangan, 2024)

Jenis Struktur	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)	Panjang (L) (m)	Jumlah	BJ (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
B2-2	0.3	0.5	3	2	24	21.60
B2-3	0.3	0.5	7	9	24	226.80
B2-4	0.3	0.5	4	6	24	86.40
BL.I	0.25	0.4	2	4	24	19.20
K3	0.5	0.5	3.2	32	24	614.40
Kp	0.15	0.15	3.2	22	24	38.02
KL.I	0.25	0.25	3.2	2	24	9.60
KL.I	0.25	0.75	3.2	2	24	28.80
KL.2	0.15	0.25	3.2	2	24	5.76
Dinding BI-1			8	8	1.70	108.80
Dinding BI-2			7	5	1.70	59.50
Dinding BI-3			4	2	1.70	13.60
Dinding BI-4			8.54	1	1.70	14.52
Dinding BI-5			10.99	1	1.70	18.68
Beban Hidup PL1	5		7	2	1.92	134.40
Beban Hidup PL2	3		7	2	1.92	80.64
Beban Hidup PL3	3.5		8	4	1.92	215.04
Beban Hidup PL4	4		4	10	1.92	307.20
Beban Hidup PL5	4		7	14	1.92	752.64
Beban Hidup PL6	8	8	8	1	1.92	122.88
Beban Hidup PL7	8		4	6	1.92	368.64
Beban Hidup PL8	5	7		1	1.92	33.60
Beban Hidup PL9	4		5	1	1.92	38.40
Beban Hidup PL10	3		4	1	1.92	11.68
			Σ berat (Wi)			
			Lantai			
			3			11,626.04

Tabel 27. Berat gedung lantai 4 (Data lapangan, 2024)

Jenis Struktur	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)	Panjang g (L) (m)	Jumlah	BJ (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
Beban Mati PL1	5		7	2	4.95	346.50
Beban Mati PL2	3		7	2	4.95	207.90
Beban Mati PL3	3.5		8	4	4.95	554.40
Beban Mati PL4	4		4	10	4.95	792.00
Beban Mati PL5	4		7	14	4.95	1940.40
Beban Mati PL6	8	8	8	1	4.95	316.80

Lanjutan-Tabel 27. Berat gedung lantai 4 (Data lapangan, 2024)

Jenis	Lebar (b)	Tinggi (h)	Panjang (L)	Jumlah	BJ	Total
Struktur	(m)	(m)	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ²)
Beban Mati PL7	8		4	6	4.95	950.40
Beban Mati PL8	5	7		1	4.95	86.63
Beban Mati PL9	4		5	1	4.95	99.00
Beban Mati PL10	3		4	1	4.95	23.80
BI-1	0.4	0.75	8	30	24	1728.00
BI-2	0.4	0.75	7	14	24	705.60
BI-3	0.4	0.75	4	9	24	259.20
BI-4	0.4	0.75	8.54	1	24	61.49
BI-5	0.4	0.75	10.99	1	24	79.13
B2-1	0.3	0.5	8	5	24	144.00
B2-2	0.3	0.5	3	2	24	21.60
B2-3	0.3	0.5	7	9	24	226.80
B2-4	0.3	0.5	4	6	24	86.40
BL.I	0.25	0.4	2	4	24	19.20
K3	0.5	0.5	3.2	32	24	614.40
Kp	0.15	0.15	3.2	22	24	38.02
KL.I	0.25	0.25	3.2	2	24	9.60
KLI.I	0.25	0.75	3.2	2	24	28.80
KL.2	0.15	0.25	3.2	2	24	5.76
Dinding BI-1			8	8	1.70	108.80
Dinding BI-2			7	5	1.70	59.50
Dinding BI-3			4	2	1.70	13.60
Dinding BI-4			8.54	1	1.70	14.52
Dinding BI-5			10.99	1	1.70	18.68
Beban Hidup PL1	5		7	2	1.92	134.40
Beban Hidup PL2	3		7	2	1.92	80.64
Beban Hidup PL3	3.5		8	4	1.92	215.04
Beban Hidup PL4	4		4	10	1.92	307.20
Beban Hidup PL5	4		7	14	1.92	752.64
Beban Hidup PL6	8	8	8	1	1.92	122.88
Beban Hidup PL7	8		4	6	1.92	368.64
Beban Hidup PL8	5	7		1	1.92	33.60
Beban Hidup PL9	4		5	1	1.92	38.40
Beban Hidup PL10	3		4	1	1.92	11.68
				Σ berat (Wi) lantai 4		11,626. 04

Tabel 28. Berat gedung lantai 5 (Data lapangan, 2024)

Jenis Struktur	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)	Panjang (L) (m)	Jumlah	BJ (kN/m ³)	Total (kN/m ²)
Beban Mati PL1	5		7	2	4.95	346.50
Beban Mati PL2	3		7	2	4.95	207.90
Beban Mati PL3	3.5		8	4	4.95	554.40
Beban Mati PL4	4		4	10	4.95	792.00
Beban Mati PL5	4		7	14	4.95	1940.40
Beban Mati PL6	8	8	8	1	4.95	316.80
Beban Mati PL7	8		4	6	4.95	950.40
Beban Mati PL8	5	7		1	4.95	86.63
Beban Mati PL9	4		5	1	4.95	99.00
Beban Mati PL10	3		4	1	4.95	23.80
BI-1	0.4	0.75	8	2	24.00	115.20
B2-1	0.3	0.5	4	2	24	28.80
BL.I	0.25	0.4	2	4	24	19.20
K4	0.4	0.4	3.2	3	24	36.86
Kp	0.15	0.15	3.2	40	24	69.12
KL.I	0.25	0.25	3.2	2	24	9.60
KL.I	0.25	0.75	3.2	2	24	28.80
KL.2	0.15	0.25	3.2	2	24	5.76
Beban Hidup PL1	5		7	2	1.92	134.40
Beban Hidup PL2	3		7	2	1.92	80.64
Beban Hidup PL3	3.5		8	4	1.92	215.04
Beban Hidup PL4	4		4	10	1.92	307.20
Beban Hidup PL5	4		7	14	1.92	752.64
Beban Hidup PL6	8	8	8	1	1.92	122.88
Beban Hidup PL7	8		4	6	1.92	368.64
Beban Hidup PL8	5	7		1	1.92	33.60
Beban Hidup PL9	4		5	1	1.92	38.40
Beban Hidup PL10	3		4	1	1.92	11.68
				Σ berat (Wi) lantai		
				5		7,696.29

3.3.4 Beban Gempa Statik Ekuivalen

Kriteria perancangan untuk gedung yang beralamat di Jl. Sekip No.33

Kota Medan ditetapkan kondisi tanah keras (SC) dengan berdasarkan data hasil

penetrasi sondir didapat dari TSF berada di angka $> 200 \text{ kg/cm}^2$ maka disimpulkan bahwa tanah kondisi sangat padat (keras) dan dijelaskan pada Tabel 29 berikut.

Tabel 29. Hasil pengujian sondir (Data Lapangan, 2023)

Titik sondir	Kedalaman (m)	Jumlah hambatan lekat (TSF) (kg/cm)
S-1	12.20	379
S-2	13.00	300
S-3	18.00	520

Dimana tingkat kepadatan relatif dari lapisan tanah berdasarkan data lapangan bahwa:

TSF (kg/cm ²) = 0-16	: Sangat lepas
TSF (kg/cm ²) = 16 – 40	: Lepas
TSF (kg/cm ²) = 40 -120	: Sedang
TSF (kg/cm ²) = 120 – 200	: Padat
TSF (kg/cm ²) > 200	: Sangat Padat (Keras)

Perhitungan beban gempa statik ekuivalen pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, untuk menentukan parameter percepatan batuan dasar yaitu S_s (pada periode pendek dan S_1 (pada periode 1 detik) berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa bumi 2017.

Peta spektrum respons percepatan priode 0,2 detik (S_s) dengan 5% dibatuan dasar (S_B) untuk probalitas terlampaui 2% dalam 50 tahun maka:

$$S_s = 0,6 - 0,7 \text{ g digunakan } S_s = 0,7 \text{ g}$$

Peta spektrum respons percepatan periode 1,0 detik (S_1) dengan redaman 5% dibatuan dasar (S_B) untuk probalitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.

$$S_1 = 0,3 - 0,4 \text{ g digunakan } S_1 = 0,4 \text{ g}$$

Menentukan koefisien situs, F_a dan F_v , berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 6 maka,

F_a adalah faktor amplikasi periode pendek 0,2 detik, maka:

$$S_s = 0,7 \text{ g}$$

$$\text{Kondisi tanah} = \text{Keras (SC)}$$

$$F_a = 1,2$$

Untuk menentukan faktor amplifikasi periode pendek 1,0 detik berdasarkan SNI

1726:2019 tabel 7, maka:

$$S_1 = 0,4 \text{ g}$$

$$\text{Kondisi tanah} = \text{Tanah keras (SC)}$$

$$F_v = 1,50$$

Dalam menentukan parameter respon spektrum desain spektrum respons percepatan dipermukaan,

Parameter respon spectrum pada periode pendek (SM_s)

$$\begin{aligned} SM_s &= F_a \times S_s \\ &= 1,2 \times 0,7 \text{ g} \\ &= 0,84 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter respon spektrum pada periode 1 detik (SM_1)

$$\begin{aligned} SM_1 &= F_v \times S_1 \\ &= 1,5 \times 0,4 \text{ g} \\ &= 0,6 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter percepatan spektral untuk periode pendek (SD_s)

$$SD_s = 2/3 SM_s$$

$$= 2/3 \times 0,84$$

$$= 0,56 \text{ g}$$

Parameter percepatan spektral desain periode 1 detik (SD_1)

$$SD_1 = 2/3 \times SM_1$$

$$= 2/3 \times 0,6 \text{ g}$$

$$= 0,4 \text{ g}$$

Menentukan kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 3 maka kategori resiko bangunan yang ditinjau adalah II (gedung perkantoran dan parkir) dan faktor keutamaan gempa (I) adalah 1,0, kategori desain seismik adalah D (SNI 1726:2019 tabel 12), dan ditetapkan sistem struktur adalah sistem struktur rangka beton pemikul momen khusus maka koefisien modifikasi respon (R) adalah 8,0 (SNI 1726:2019 tabel 12).

Membuat spektrum respon desain (SNI 1726:2019)

$$\begin{aligned} T_o &= 0,2 \times (SD_1/SD_s) \\ &= 0,2 \times (0,4 \text{ g} / 0,56 \text{ g}) \\ &= 0,14 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= SD_1/SD_s \\ &= 0,4 \text{ g} / 0,56 \text{ g} \\ &= 0,71 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$T_L = 20 \text{ detik (SNI 1726:2019 halaman 238)}$$

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.4 ditetapkan:

Untuk $T < T_o$, S_a diambil dari persamaan: $S_a = S_{DS} \times (0,4 + (0,6 \times T/T_o))$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, S_a diambil dari persamaan: $S_a = S_{Ds}$

Untuk $T_s \leq T \leq T_L$, S_a diambil dari persamaan: $S_a = S_{D1}/T$

Untuk $T > T_L$ S_a diambil dari persamaan: $S_a = S_{D1} \times T_L/T^2$

Menghitung waktu getar alami struktur berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 17 dan tabel 18 dengan diketahui jumlah lantai pada gedung yang ditinjau adalah 5 lantai dengan tinggi per lantai 3,2 m, tinggi total (h) 17,65 m dan sistem struktur adalah rangka beton pemikul momen khusus, maka:

$$S_{D1} = 0,40 \text{ g}$$

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$C_u = 1,4$$

Waktu getar (periode) alami struktur (T) untuk arah x dan y:

$$T_a = C_t \times (h^x)$$
$$= 0,0466 \times (17,65^{0,9})$$

$$= 0,61 \text{ detik}$$

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 0,61$$

$$= 0,86 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 maka didapatkan nilai T_c 1 (mode 1) = 0,39 detik dan nilai T_c 2 (mode 2) = 0,37 detik. Untuk syarat periode struktur (T) yang digunakan Jika $T_c > T_{max}$ maka gunakan $T = T_{max}$, jika $T_a \leq T_c \leq T_{max}$ maka gunakan $T = T_c$ (terbesar) dan jika $T_c < T_a$ maka gunakan $T = T_a$, maka T yang dipakai adalah 0,61 detik.

3.3.5 Gaya Lateral (Gaya Geser Seismik)

Dalam menentukan gaya geser dasar berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1, bahwa untuk menentukan nilai koefisien respon seismik (C_s) dilakukan dengan 3 cara dan digunakan nilai terbesar ditentukan dengan hasil berikut:

$$\begin{aligned} C_s &= S_{DS} \times (R/I) \\ &= 0,56 \times (8/1) \\ &= 0,070 \end{aligned}$$

Syarat 1 apabila $T \leq T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi:

$$\begin{aligned} C_s \text{ max} &= S_{D1}/(T \times (R/I)) \\ &= 0,40 \text{ g} / (0,61 \times (8/1)) \\ &= 0,082 \end{aligned}$$

Syarat 2 apabila $T > T_L$, maka C_s tidak perlu melebihi:

$$\begin{aligned} C_s \text{ max} &= (S_{D1} \times T_L)/(T^2) \times (R/I) \\ &= 0,41 \text{ g} \times 20 / (0,61^2) \times (8/1) \\ &= 2,687 \end{aligned}$$

Syarat 3 untuk nilai $S_1 \geq 0,6 \text{ g}$, maka C_s harus lebih dari:

$$\begin{aligned} C_s \text{ min} &= (0,5 \times S_1)/(R/I) \\ &= (0,5 \times 0,40)/(8/1) \end{aligned}$$

$$= 0,025$$

Maka C_s pakai = 0,070

Untuk menentukan gaya geser dasar (V) maka kita harus terlebih dahulu mengetahui berat dari bangunan tersebut dan dari perhitungan berdasarkan data dari lapangan maka berat total (W_t) 54,823 kN maka besar nilai gaya geser dasar (V) ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0,07 \times 54.823 \text{ kN} \\ &= 3.838 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menghitung gaya horizontal gempa statik ekuivalen (F_i) berdasarkan SNI 1727:2019 pasal 7.8.3, dimana nilai k berdasarkan hasil interpolasi adalah 1,06. Maka hasil perhitungan gaya gempa statik ekuivalen bangunan per lantai ditampilkan pada Tabel 30 berikut:

Tabel 30. Distribusi gaya gempa statik ekuivalen bangunan per lantai

Lantai (i)	W_i (kN)	H_i (m)	H_i^k (m)	$H_i^*(H_i^k)$ (kNm)	F_i (kN)
5	7.696	17,5	20.779	159.920	1.097
4	11.626	12,3	14.299	166.238	1.141
3	11.626	9,1	10.389	120.786	829
2	11.865	5,9	6.563	77.869	534
1	12.010	2,7	2.866	34.419	236
	Jumlah			559.232	3.838

Kontrol: $V = F_i = 3.838 = 3.838$

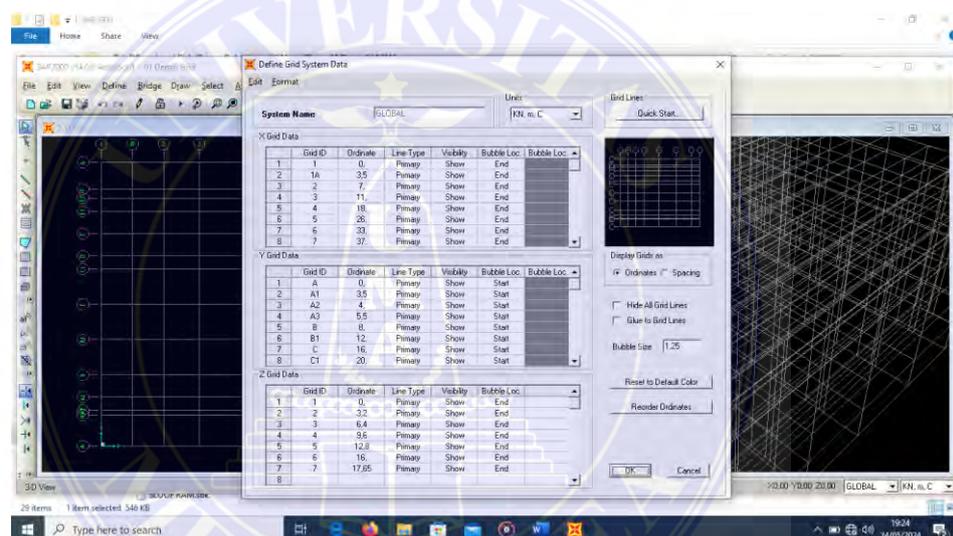
Maka besar gaya geser yang digunakan (V) adalah 3.838 kN

3.3.6 Langkah-Langkah Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dalam hal ini menggunakan aplikasi SAP2000, dan langkah-langkah pemodelan struktur adalah sebagai berikut:

- a. Membuat *grid* pada SAP2000 sesuai denah bangunan

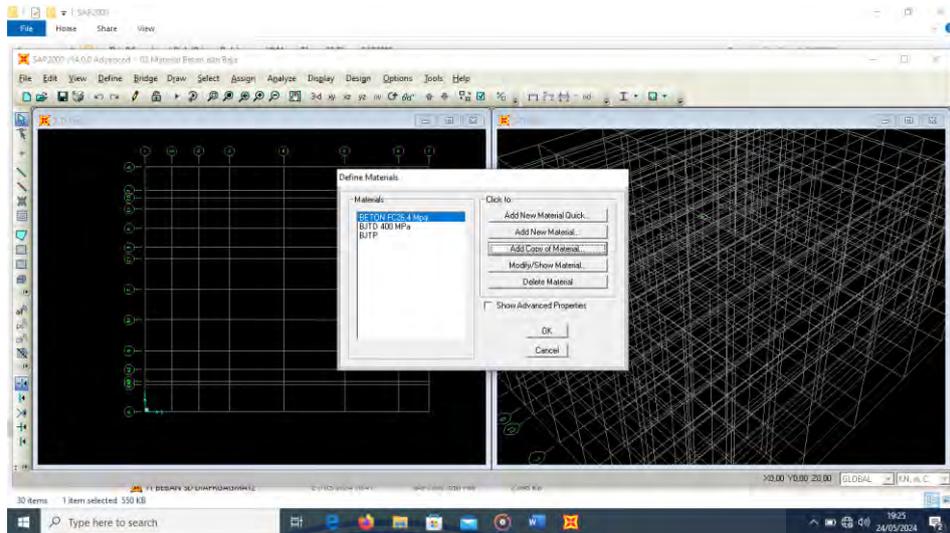
Membuat *grid* denah pada SAP2000 merupakan langkah pertama dalam penginputan data untuk analisis program dimulai dari *edit grid* data kemudian penginputan *grid* data x, y dan z sesuai dengan data lapangan dan dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. *Grid* denah bangunan (SAP2000 V 14)

- b. Penginputan jenis material

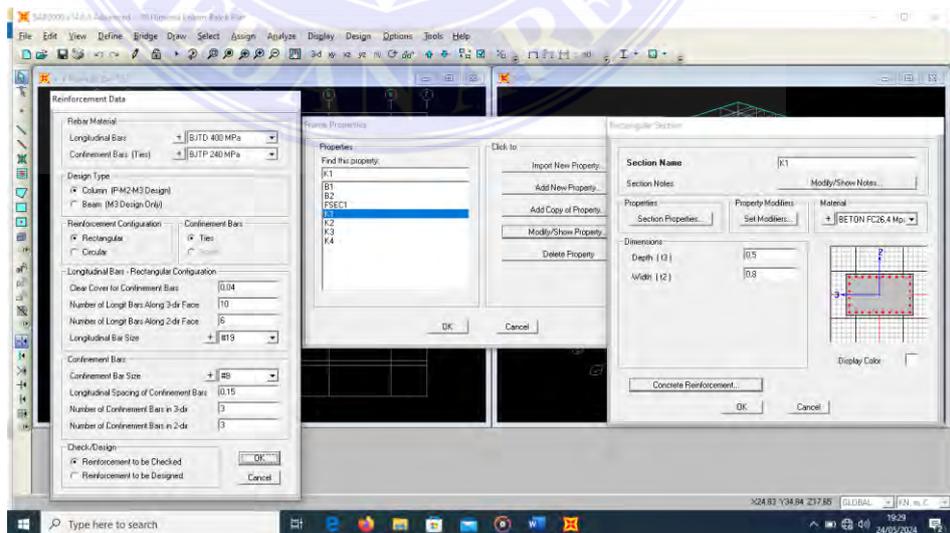
Jenis material yang di input sesuai data lapangan yaitu material beton bertulang dengan langkah *define-add new material* kemudian input jenis material untuk beton dengan f_c 26,4 Mpa untuk baja tulangan ulir dengan BJTD 400 MPa yang digunakan untuk tulangan induk pada kolom dan balok dan plat lantai dan baja tulangan polos dengan BJTP240 MPa yang digunakan untuk Sengkang untuk struktur kolom dan balok yang dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini.



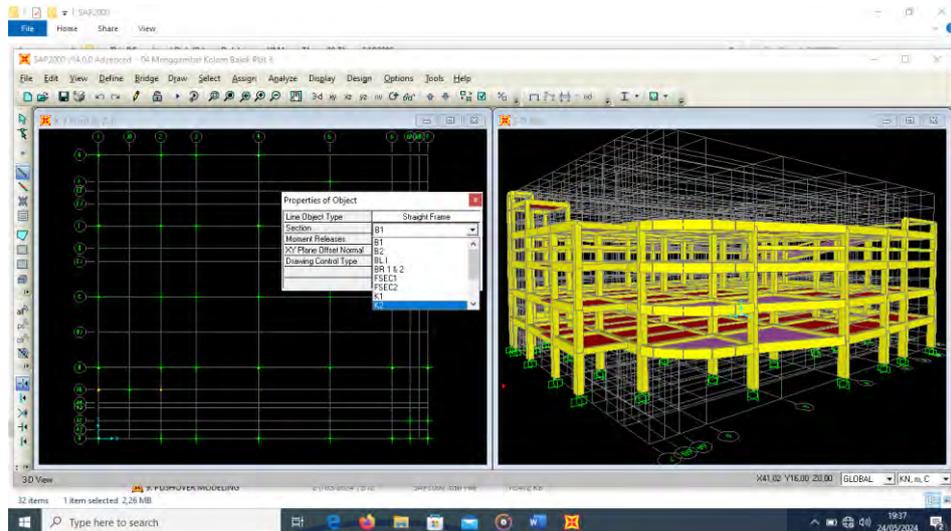
Gambar 8. Jenis material (SAP2000 V 14)

c. Mendefinisikan dan Pemodelan *frame* kolom, balok dan pelat

Mendefinisikan *frame* kolom, balok dan pelat yaitu penginputan data berupa dimensi pada setiap elemen struktur dan jumlah tulangan sesuai dengan data lapangan dengan langkah *define-frame sections* dan area *sections* dapat dilihat pada Gambar 9, kemudian dilanjutkan dengan pemodelan atau penggambaran *section properties* mengikuti *grid* denah yang dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



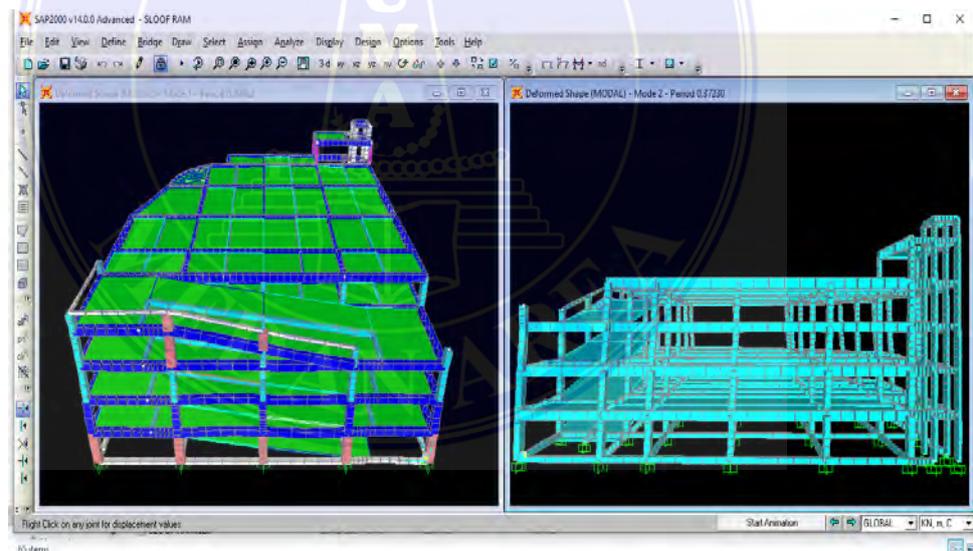
Gambar 9. Dimensi *frame* & area *sections* (SAP2000 v 14)



Gambar 10. Pemodelan *frame sections* (SAP2000 v 14)

d. Running Mode 1 dan 2

Hasil *run analysis* struktur maka didapatkan nilai mode satu 0,399 dan mode dua 0,37 seperti pada Gambar 11 berikut ini.

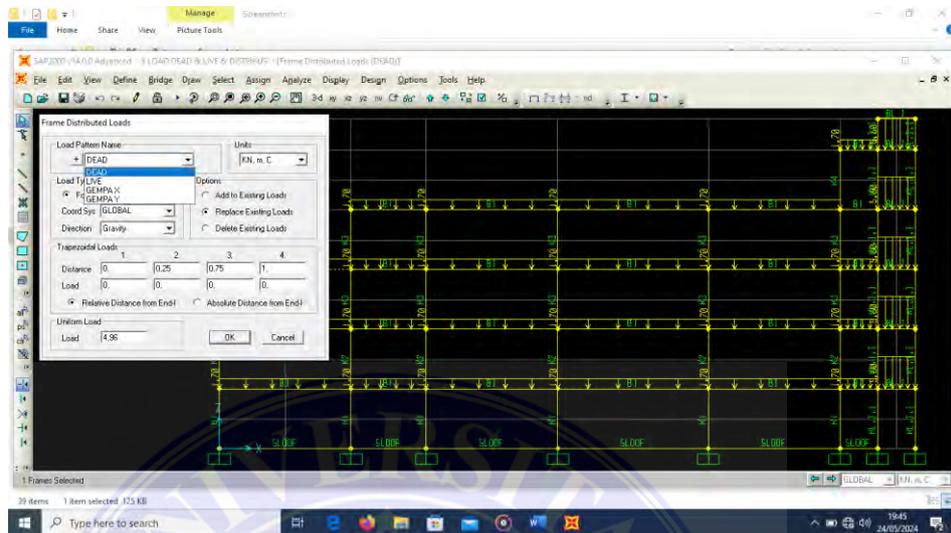


Gambar 11. Mode 1 dan mode 2 (SAP2000 v 14)

e. Pengimpunan beban mati dan beban hidup pada balok dan pelat

Beban yang di input dengan langkah *define-load patterns* untuk elemen gedung yaitu pada pelat lantai yaitu beban mati dan beban hidup, sedangkan beban pada pelat atap yaitu beban mati tambahan dan beban hidup, serta beban pada balok yaitu beban distribusi atau beban mati

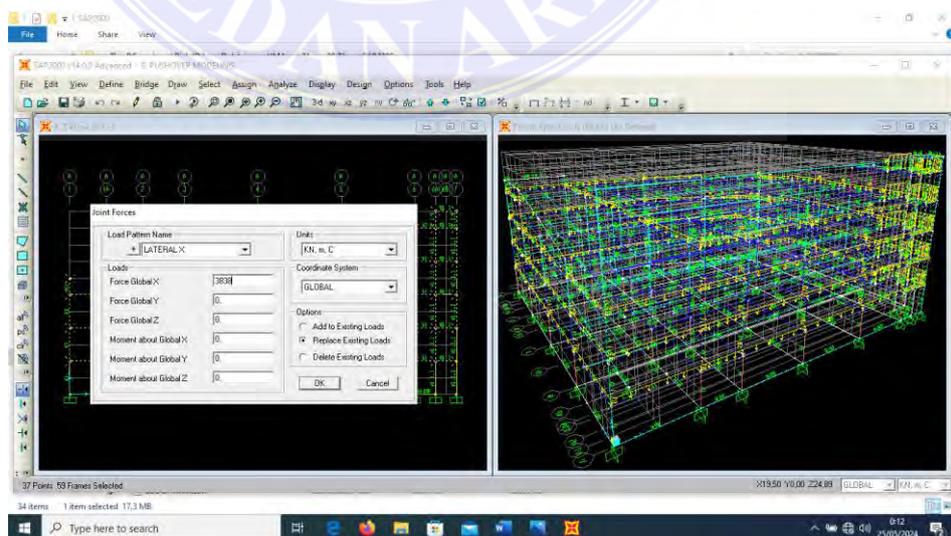
merata dengan langkah *assign-frame loads* dan *area loads* yang dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Penginputan pembebanan (SAP2000 v 14)

f. Penginputan beban lateral arah X dan arah Y pada *joint*

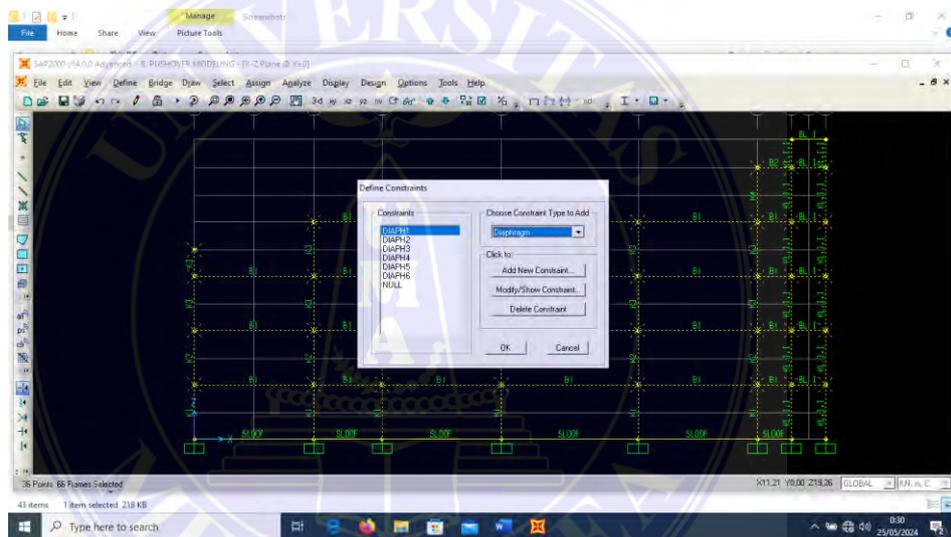
Beban lateral arah X dan arah Y sesuai dengan hasil perhitungan pembebanan kemudian diinput dengan langkah *assign-joint load pattern* selanjutnya *input load force global* arah X dan arah Y pada *joint* yang dapat dilihat pada Gambar 13 berikut ini.



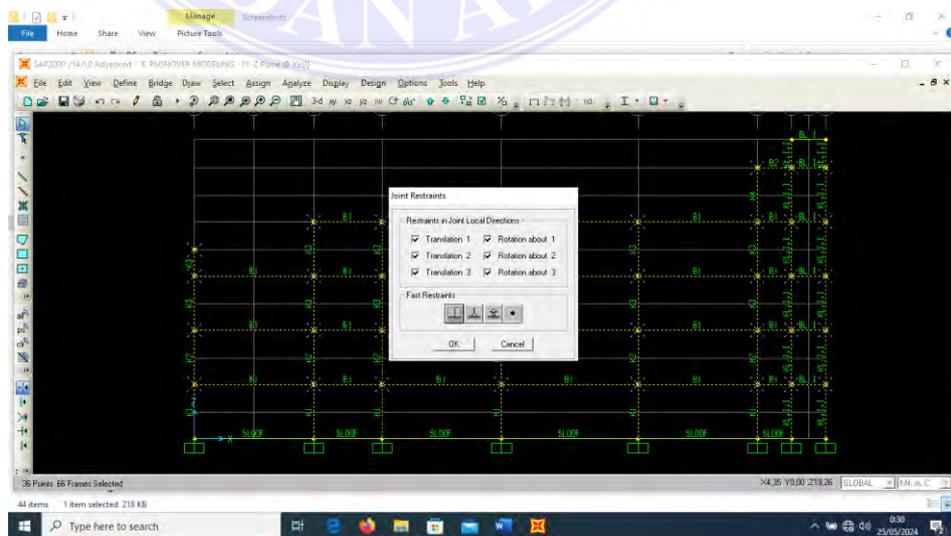
Gambar 13. Input *load force* X dan Y (SAP2000 v 14)

g. Membuat *constraints dan restraints*

Pemodelan struktur gedung harus menetapkan diafragma pada setiap lantai gedung dengan langkah menandai seluruh titik pada masing-masing lantai selanjutnya dilakukan langkah *define-joint constraints* terlihat pada Gambar 14 dan juga untuk menetapkan restraints jepit harus disesuaikan dengan data yang telah didapatkan dari lapangan dengan langkah menandai titik pada pondasi yang selanjutnya pilih *assign-joint-restraints* yang terlihat pada Gambar 15 berikut.



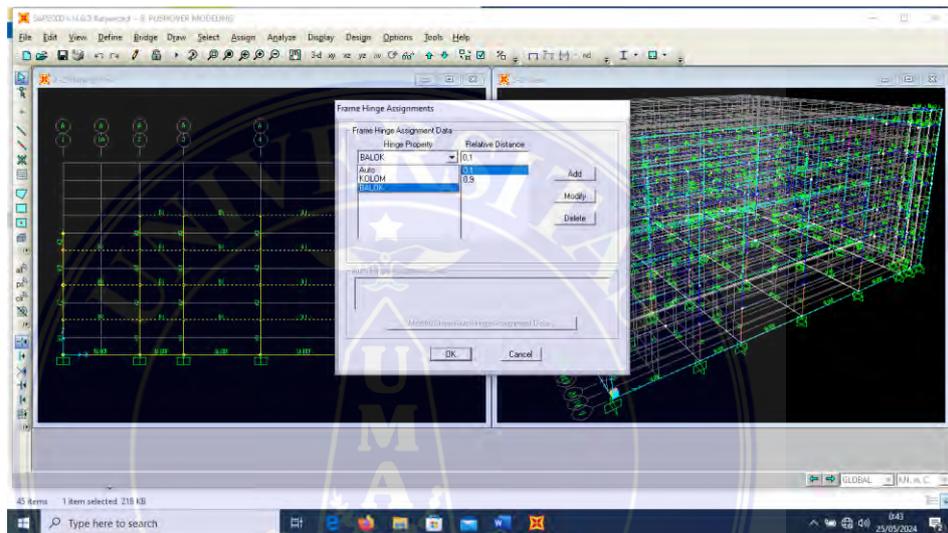
Gambar 14. *Diafragma* (SAP2000 v 14)



Gambar 15. *Restraints* (SAP2000 v 14)

h. *Hingers* pada balok dan kolom (Sendi plastis)

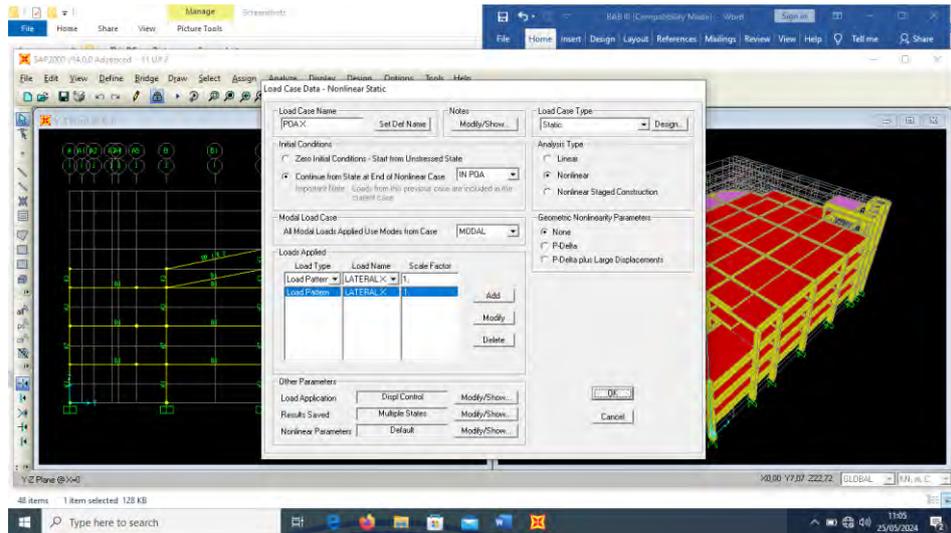
Hingers pada balok dan kolom harus ditentukan terlebih dahulu dengan langkah *define-hingers properties* kemudian *add new* untuk kolom dan balok selanjutnya *select* masing-masing balok dan kolom selanjutnya *assign-frame-hingers* dengan *add* nilai 0,1 dan 0,9 untuk masing-masing kolom dan balok seperti pada Gambar 16 berikut.



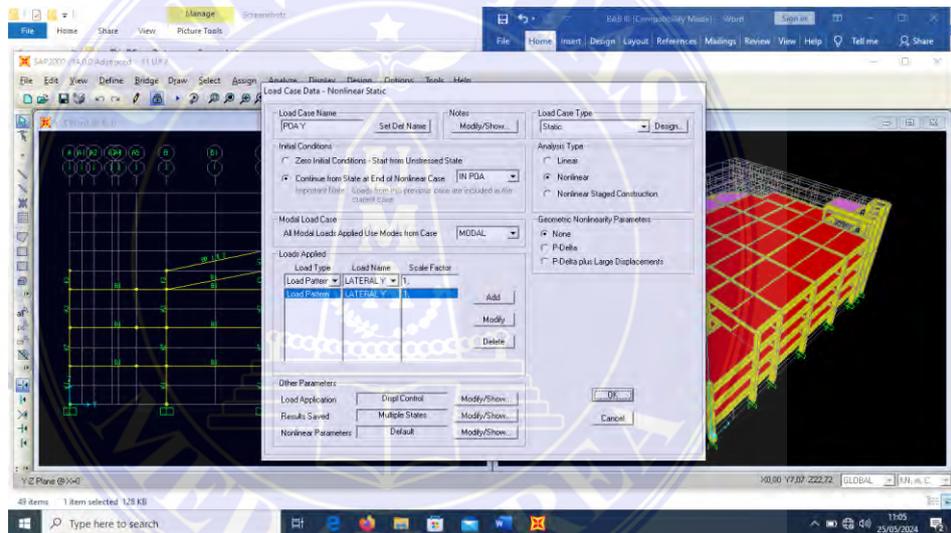
Gambar 16. *Hingers* kolom dan balok (SAP2000 v 14)

i. *Nonlinear load case* arah X dan Y

Untuk mengubah *load case static linear* menjadi *static nonlinear* langkah pertama yang diubah yaitu pada *define-load patterns* beban lateral x dan y diubah menjadi tipe *other* kemudian pada bagian *define-load case* beban yang ada pada *load patterns tipe load case* diubah menjadi *static nonlinear* dengan *initial conditions* dipilih sebagai *continue from state at and of nonlinear case* dengan *load case tipe static* kemudian dipilih *add* untuk dilanjutkan lateral x dan pada bagian *modify/show* diterapkan *control* sesuai dengan persyaratan yang digunakan pada analisis yang dapat dilihat seperti pada Gambar 16 dan Gambar 17 berikut ini.



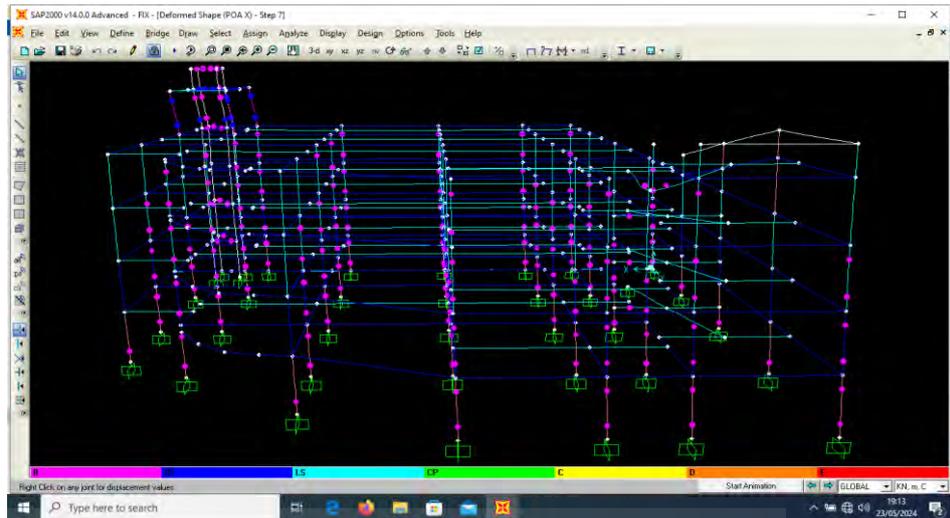
Gambar 17. Lateral X statik *nonlinear* (SAP2000 v 14)



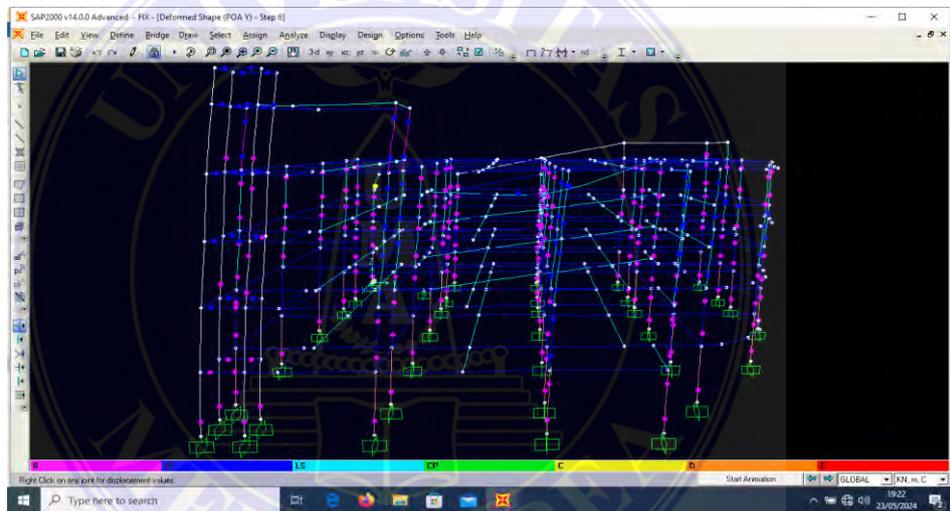
Gambar 18. Lateral Y statik *nonlinear* (SAP2000 v 14)

j. *Running program*

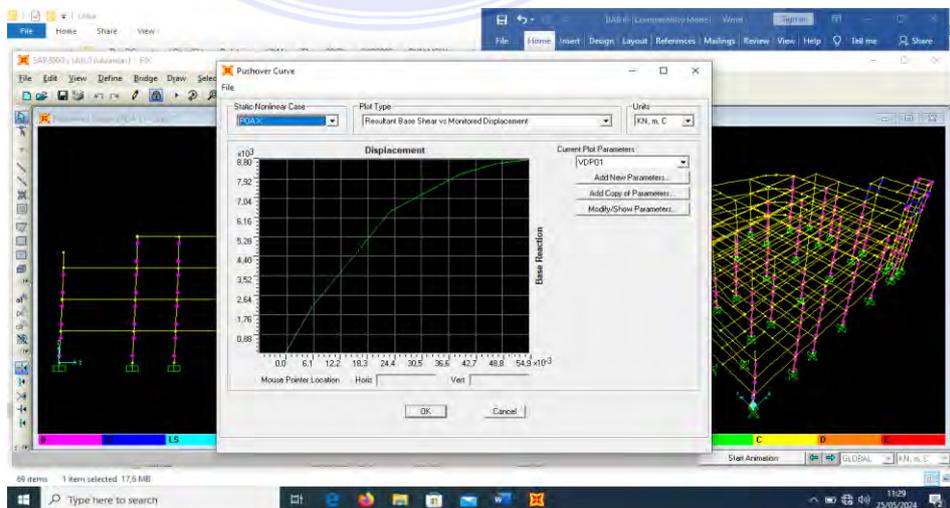
Tahap akhir pada analisis program yaitu *running program* dengan langkah *analyze-set loads to running* maka hasil output dari *running* SAP2000 yaitu data tabel *deformed shape X* dan *Y* dengan jumlah step masing-masing lateral statik *nonlinear* terlihat pada Gambar 19 dan Gambar 20 dan hasil *output curve pushover static nonlinearer X* dan *Y* terlihat pada Gambar 21 dan Gambar 22 berikut.



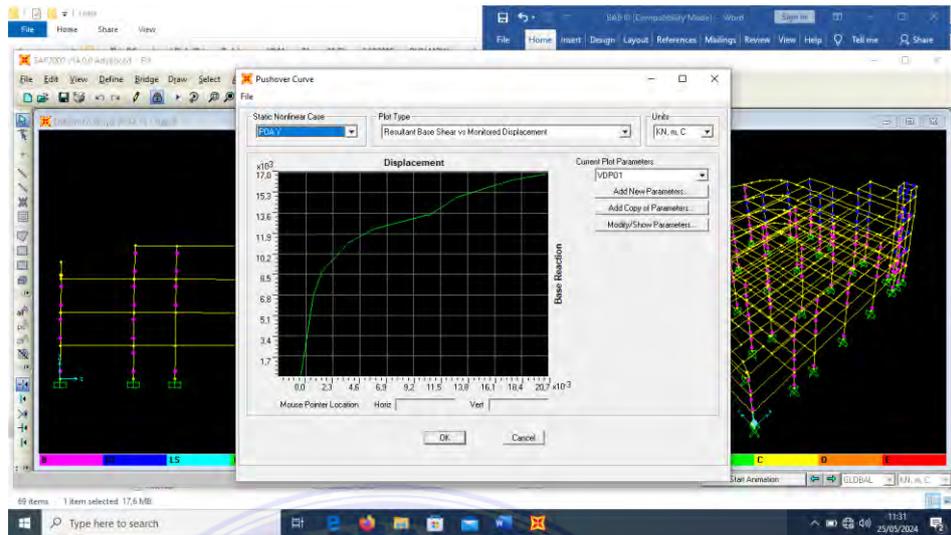
Gambar 19. Deformed arah X (SAP2000 v 14)



Gambar 20. Deformed arah Y (SAP2000 v 14)



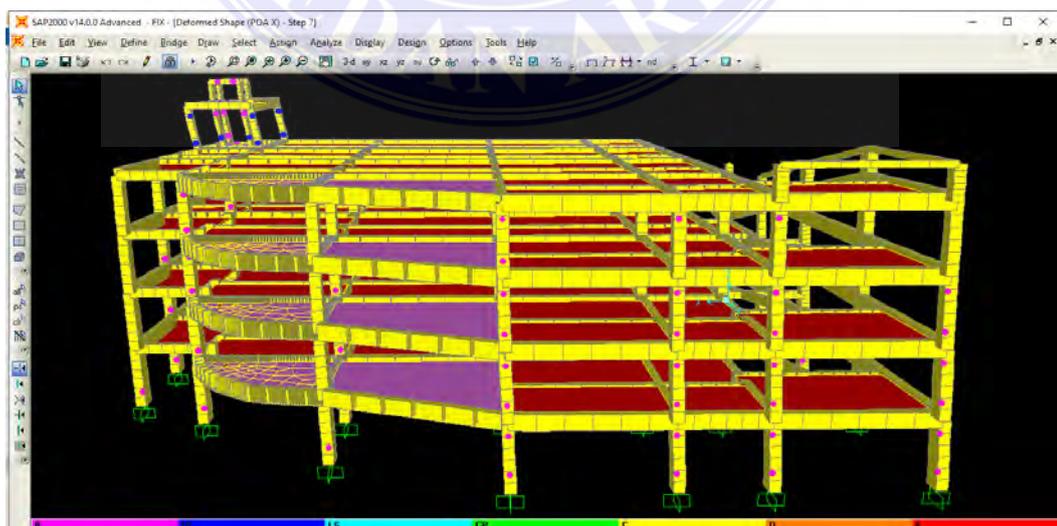
Gambar 21. Kurva pushover X (SAP2000 v 14)



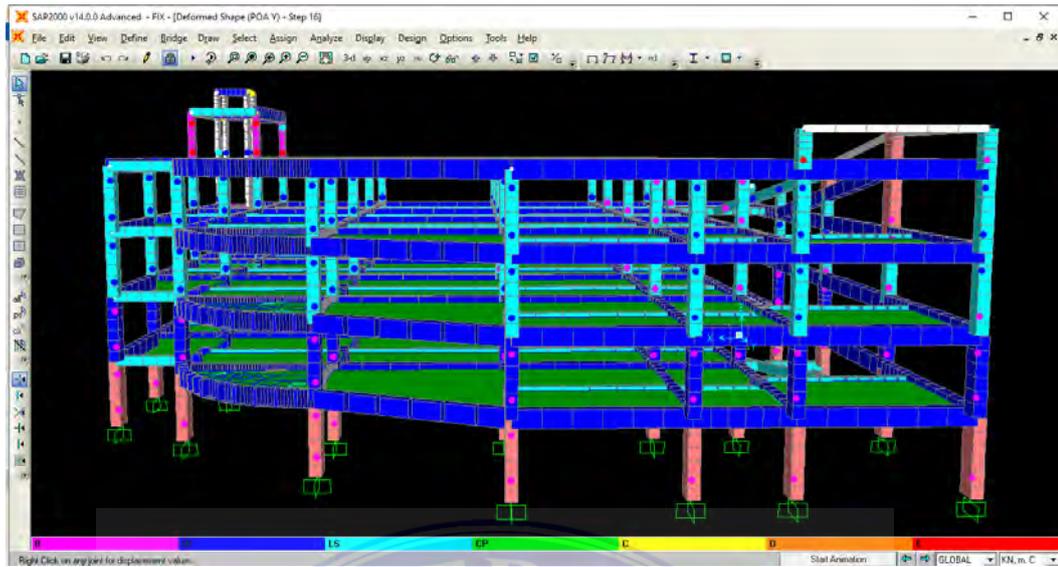
Gambar 22. Kurva *pushover* Y (SAP2000 v 14)

3.3.7 Pemodelan Sendi Plastis

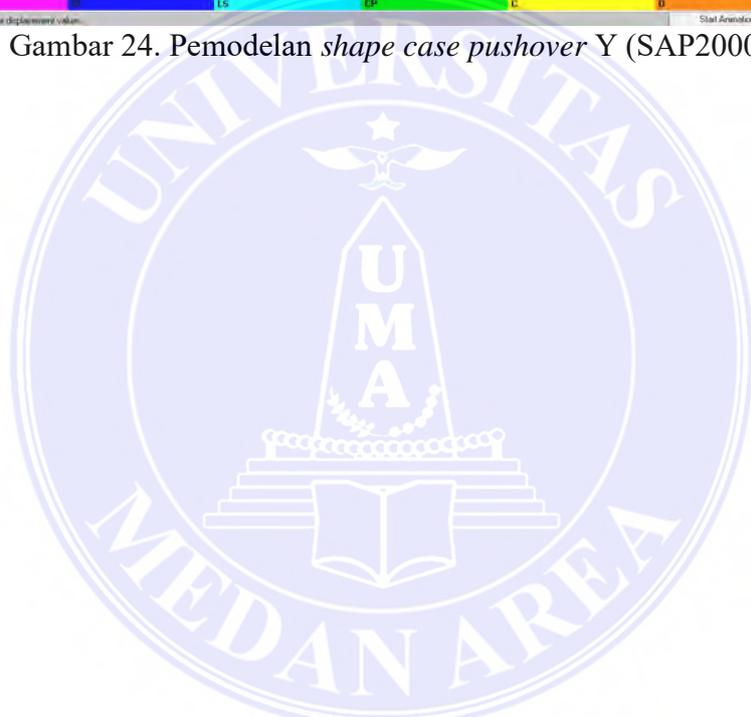
Dalam hal ini struktur harus berperilaku *beam sawy mechanisn* artinya ketika struktur dikenai beban lateral, balok akan mengalami leleh pada ujung-ujungnya terlebih dahulu, dan kemudian balok tersebut diikuti dengan kelelahan pada bagian atas kolom serta pada dinding geser dibagian atas tampak pada Gambar 22 dan Gambar 23 terdapat indikator warna *deformed shape* yang dihasilkan setiap *step* pada masing-masing *pushover* analisis X dan Y berikut.



Gambar 23. Pemodelan *shape case pushover* X (SAP2000 v 14)



Gambar 24. Pemodelan *shape case pushover Y* (SAP2000 v 14)



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

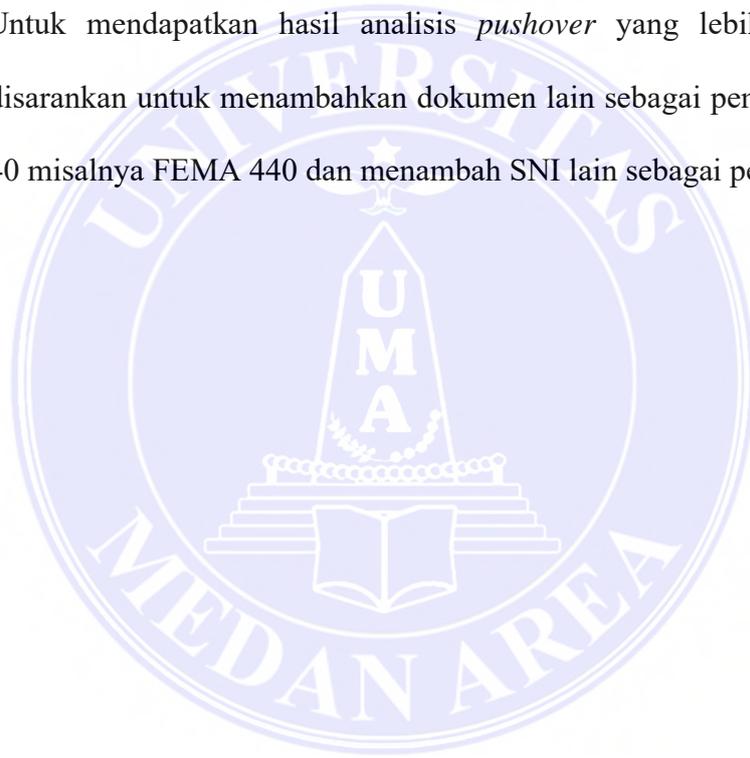
Setelah dilakukan analisis *pushover* terhadap kinerja struktur bangunan gedung beton bertulang pada bangunan gedung parkir kantor UPPD Medan Utara yang terdiri dari 5 lantai dengan tinggi gedung 17,65 m didapat kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil *running* analisis SAP2000 v 14 telah didapatkan hasil *output curve pushover* yang telah dibahas pada bab hasil dan pembahasan.
2. Perilaku struktur berdasarkan indikator warna sendi plastis, struktur gedung berperilaku “baik” dari hasil *running* analisis sendi plastis terdapat jumlah warna ungu pada arah -X lebih banyak dan jumlah warna biru pada arah -Y lebih banyak berarti perilaku struktur berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) dan kriteria kinerja struktur berdasarkan hasil analisis kurva *pushover* untuk arah -X nilai *displacement* maksimum sebesar 55 mm dengan *base shear* 8.788,018 kN dan arah -Y nilai *displacement* 20,33 mm dengan *base shear* 16.833,457 kN, maka hasil analisis data ATC-40 nilai maksimum total *drift ratio* untuk arah -X sebesar $0,00312 < 0,01$ dan arah -Y sebesar $0,001152 < 0,01$ masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) yang berarti bahwa bangunan aman pada saat terjadi gempa bumi dan gedung terjadi kerusakan kecil namun tidak berarti pada elemen struktur serta gedung dapat segera untuk difungsikan dan berdasarkan tingkat kinerja struktur gedung tersebut masih jauh dibawah *Collapse Prevention* (CP) dianggap aman dalam kondisi tersebut.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan lanjutan tentang penelitian analisis *pushover* diantaranya sebagai berikut:

1. Disarankan untuk analisis *pushover* menggunakan program *software* SAP2000 menggunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi agar dapat mempercepat dan memperkecil resiko kemungkinan gagal proses saat analisis *running* supaya mendapatkan hasil *output* yang lebih baik.
2. Untuk mendapatkan hasil analisis *pushover* yang lebih akurat maka disarankan untuk menambahkan dokumen lain sebagai pembanding ATC-40 misalnya FEMA 440 dan menambah SNI lain sebagai pembanding.



DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F.N. (2020). Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP2000. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRSDD)*, 9(1), 165-175.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726-2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus n Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1 (2). PP-676.
- Gunawan, I. P. A. S., Giatmajaya, I. W., & Wiryadi, I. G. G. (2021). Analisis dan Pemodelan Struktur Gedung Rumah Sakit Pada Wilayah Gempa Tinggi. *Jurnal Ilmiah Teknik Universitas Mahasarakswati Denpasar (JITUMAS)*, 1(1).
- Hardiyatmo, H. C. (2022). Rekayasa Gempa. Bandung: Gajah Mada University Pers.
- Hermon, Dedi. (2015). *Geografi Bencana Alam*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Halimatusadiyah, H., Srihandayani, S., & Desriyati, W. (2022). PERBANDINGAN ANALISIS GEMPA STATIK EKIVALEN KELAS SITUS TANAH KHUSUS DENGAN KELAS SITUS TANAH LUNAK BERDASARKAN SNI 1726-2019. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 7(2), 90-95.
- Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. E. (2019). Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2).
- Kurniati, D. (2019). Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Awana Condotel Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 6(1), 85-93.
- Kariso, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. E. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. *Jurnal Sipil Statik*, 6(6).
- Laresi, Y. T., Ihsan, M., & Alisjahbana, S. W. (2018). Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai. *Jurnal Infrastruktur*, 4(1), 53-63.
- Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2014). Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal sipil statik*, 2(4).

- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4).
- Niken, C. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur (Studi Kasus: The Venetian Tower). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD)*, 9(1), 177-188.
- Gempa Bumi (Studi Kasus: Gempa Bumi di Indonesia Tahun 2017).
- PPUBG 1987. Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Subramani, T., & Praburaj, R. (2016). Pushover Analysis of Retrofitted Reinforced Concrete Buildings by Using SAP. *METHODOLOGY*, 5(5).
- Sari, N. N. (2018). K-Affinity Propagation (K-AP) Clustering Untuk Klasifikasi
- Shindu, Yasinto. P. (2017). *Geografi*. Jakarta: Erlangga
- Wahyunia, Sri. (2021). Klasifikasi Jenis Gempa Dan Penentuan Hiposenter Gempa Vt Gunung Sinabung, Skripsi Geofisika, 2021
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020). Evaluasi Simpangan Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang berdasarkan Analisis Pushover dengan Metode ATC-40. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 3(2), 53-57.

BADAN PENGALAMAN PAJAK DAN RI (BP2RD)
PROVINSI SUMATERA UTARA

PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPD'D MEDAN UTARA

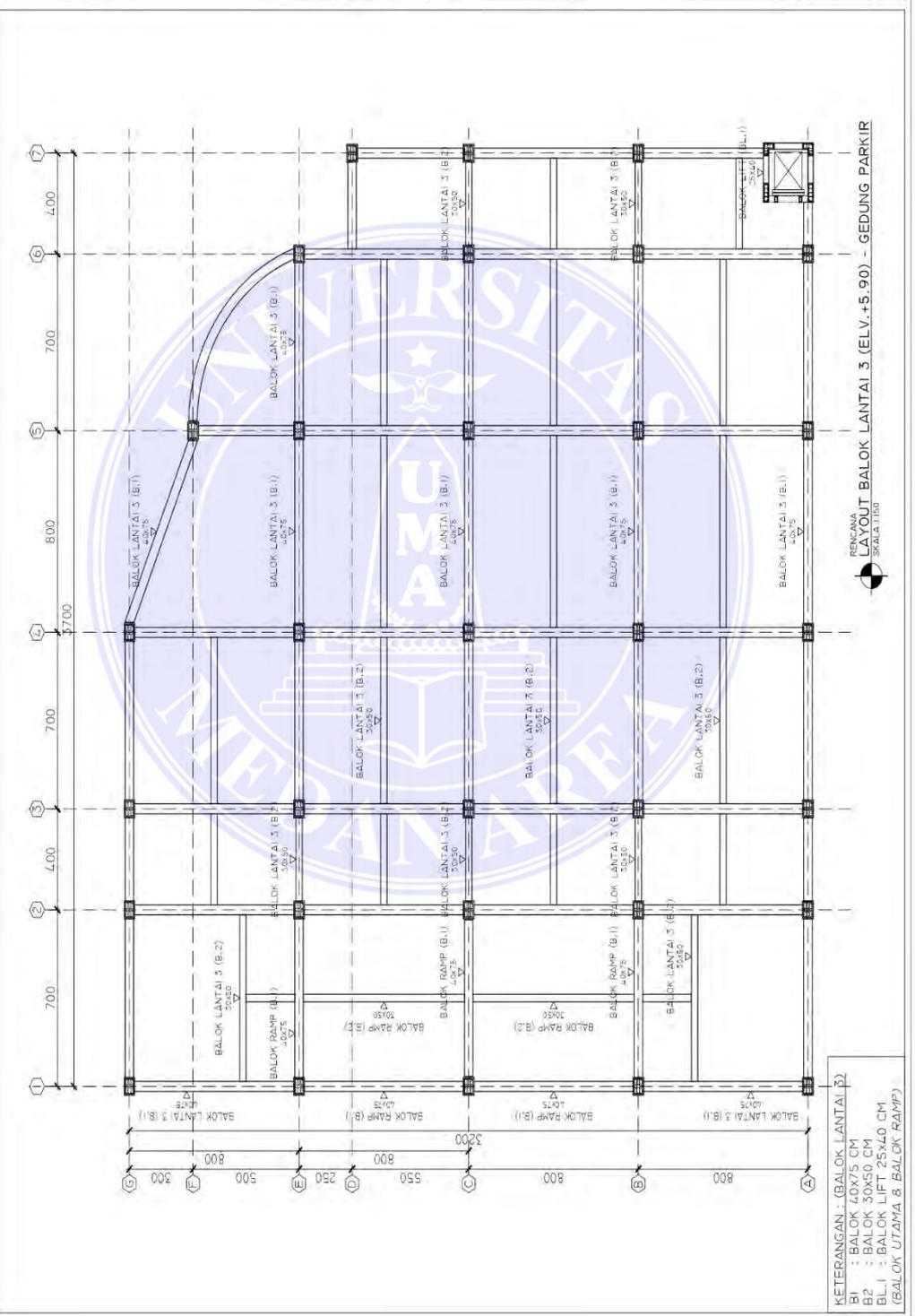
GAMBAR PERENCANAAN

KONSULTAN PERENCANAAN

CV. DWITARA
Jl. Cakrawala No.215 Medan

RENCANA LAYOUT BALOK LANTAI 3 (ELV. +5.90) - GEDUNG PARKIR

SKALA 1:100



BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN REVENUE DAERAH (BP2RD) PROVINSI SUMATERA UTARA
LEGENDA

NO. REV / TAMBAN	REVISI	DITAMBAH

PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPDD MEDAN UTARA

NOV. 2018
31.08.2018 NO. 29
KOTA MEDAN

GAMBAR PERENCANAAN

KEMENTERIAN PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN NASIONAL
BADAN PERENCANAAN KAWAN MUDA
KEMENTERIAN PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN NASIONAL
PROVINSI SUMATERA UTARA

SOPHIA LEBE MANSY (11.01.2018), SMP
RIZKA NIKI KURNIAWATI, SMP
NIP. 19720506 199803 1 004

PEJABAT PELAKSANA KEMENTERIAN PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN NASIONAL
BADAN PERENCANAAN KAWAN MUDA
PROVINSI SUMATERA UTARA

PL. SYAHRIAL NASUTION, S.SOS
NIP. 19690503 199103 1 006

KONSULTAN PERENCANAAN
WJW
CV. DWITAMA
JL. SUDIRTA NO. 235 MEDAN

DEWI WARDUNI, SE
M. HANIK, ST
JALAN SUDIRTA, 33
KORPRIKORPRI, KOTA MEDAN, ST. 471
INDONESIA

RENCANA LAYOUT BALOK LANTAI 5 (ELV. +12.30) - GEDUNG PARKIR

SKALA: 1:100

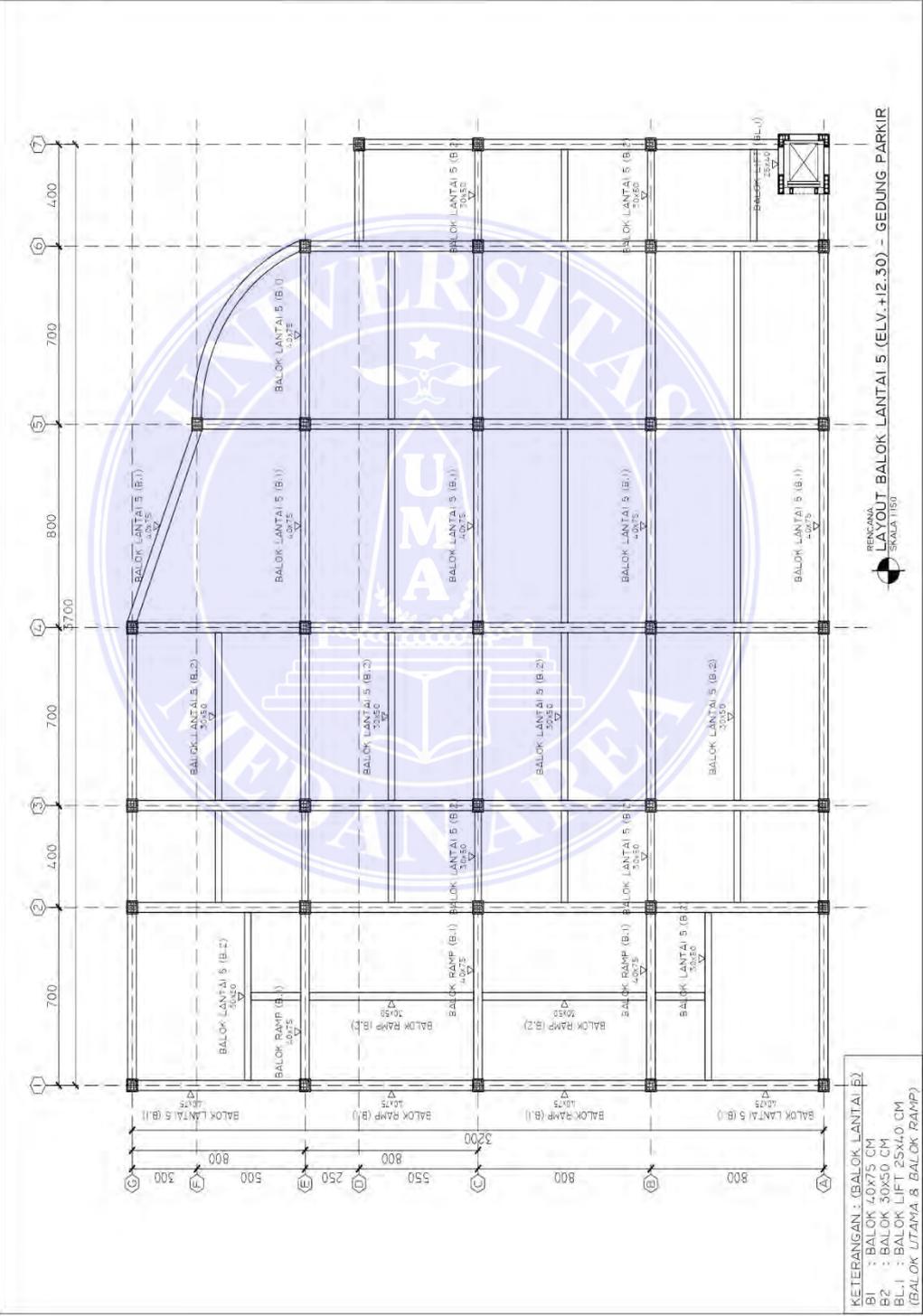
TANGGAL:

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

DISKIPULAN:

NO. 190

DP - AP



BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN RETENSI DAERAH (BP2RD) PROVINSI SUMATERA UTARA
LEGENDA

NO. REVISI	TARICAH	REVISI	DITUBUHAKAN

PROYEK: PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPPD MEDAN UTARA

LOKASI: JL. SEREP NO.29 BOTA REDMI

CONTOH: GAMBAR PERENCANAAN

PEKERJA: KUASA PERENCANA ANGGARAN BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN RETENSI DAERAH PROVINSI SUMATERA UTARA

PEKERJA: SOEJAL EBER, M.Engg, IRI, PIRALING, S.M.P. (NIP. 19720504 199803 1 004)

PEKERJA: PEZAWAT PERBUAT KONTAK (P.P.K.) BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN RETENSI DAERAH PROVINSI SUMATERA UTARA

PEKERJA: EL SYAHRIAL NASUTION, S.SOS (NIP. 19680503 1993 1 006)

KONSULTAN PERENCANAAN: CV. DWITAMA (NIP. 19700503 1993 1 006)

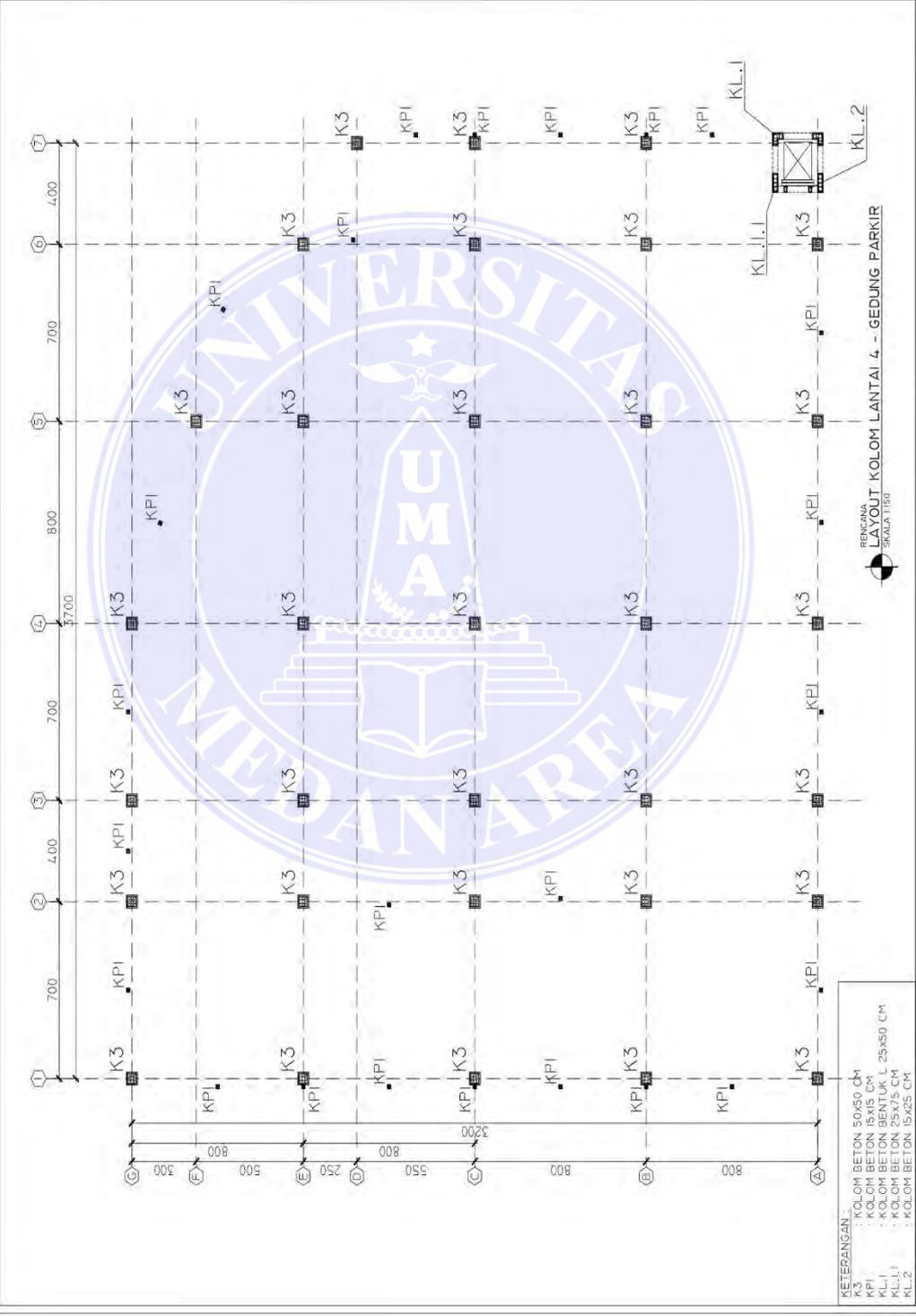
PEKERJA: DEWI WARSU, SE (NIP. 19700503 1993 1 006)

PEKERJA: KETUA WAKIL, ST (NIP. 19700503 1993 1 006)

PEKERJA: HENDRIK HENDRIK, ST, MT (NIP. 19700503 1993 1 006)

RENCANA LAYOUT KOLOM LANTAI 4 - GEDUNG PARKIR

SKALA	TARICAH	JUMLAH LEMBAR	HALAMAN
1/100		2P - 1P	0P - 1A



BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN REVENUE DAERAH (BP2RD) PROVINSI SUMATERA UTARA
LEGENDA

NO. REV	TAMBAHAN	REVISI	DIPERUBAH

PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPDD MEDAN UTARA

LOKASI: JL. SEREP NO.29 KOTA MEDAN

GAMBAR PERENCANAAN

SKALA: RUMAH PERINGGIAN ANGGARAN BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAERAH PROVINSI SUMATERA UTARA

SOPIRAN: SOTERILUBRIK MANSURY (PT. MUALUNG, SMD) RUMAH NO. 10010031004 NIP. 197905011998031004

PEJABAT PELAKSANA KEGIATAN: PEJABAT PELAKSANA KEGIATAN (P.P.K.) BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAERAH PROVINSI SUMATERA UTARA

PL. SYAHRIAL NASUTION, S.SOS NIP. 196905031991031006

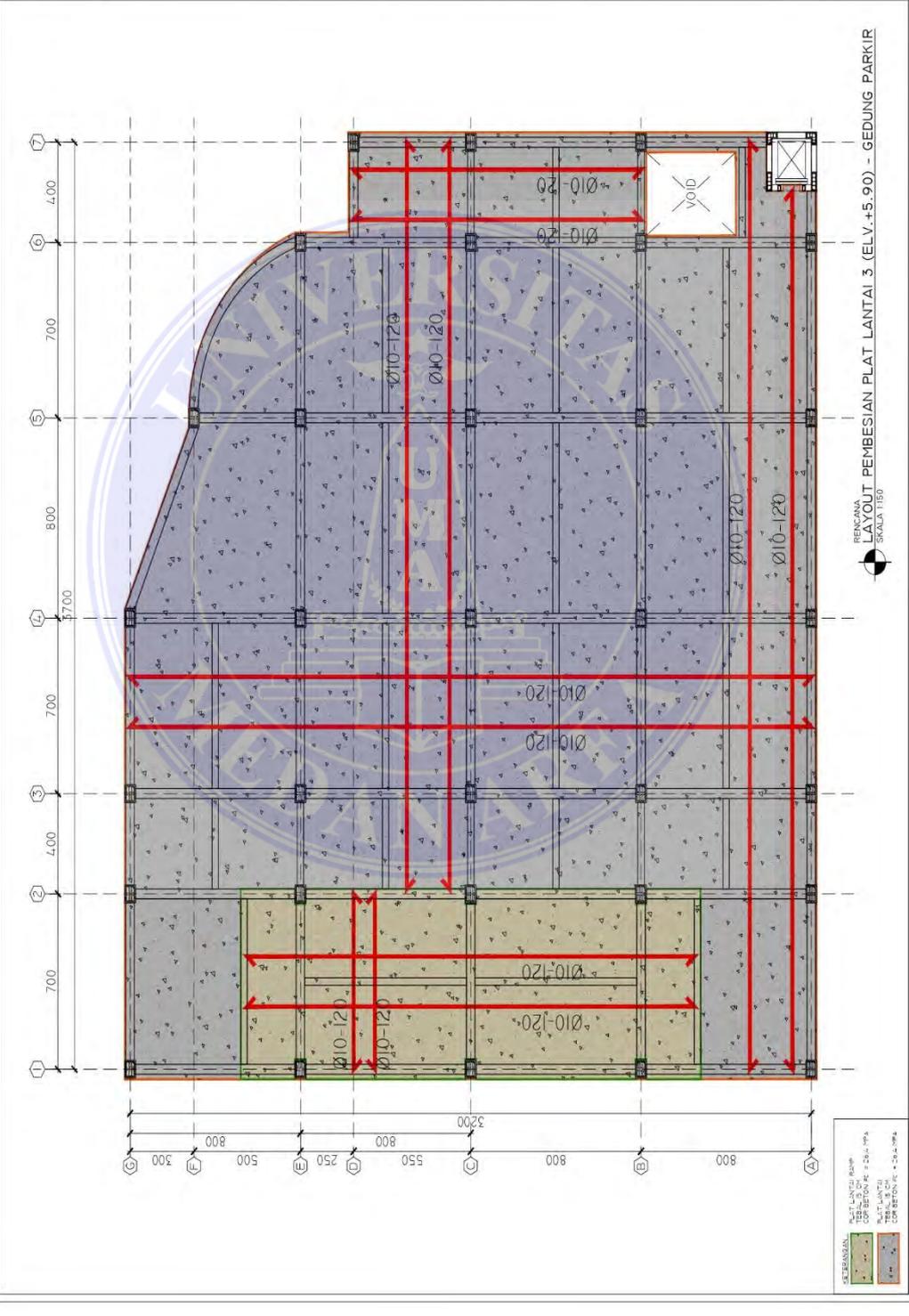
KONSULTAN PERENCANA
CV. DWITAMA JL. GUPURU NO. 235 PEGADAIAN

DEWI WARDU, SE
RUMAH NO. 10010031004 NIP. 197905011998031004

RENCANA LAYOUT PEMBESIAN PLAT LANTAI 3 (ELV. +5.90) GEDUNG PARKIR

SKALA: 1:150

DP - 55
DP - 117
DP - 55



BADAN PENGELOMPOK PAJAK DAN RETENSI DAERAH (BP2RD) PROVINSI SUMATERA UTARA
LEGENDA

NO. REV	TAMBAH	REVISI	DITREVISI

PARTIKEL
PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPDD MEDAN UTARA

USKAGE
JL. SEREP NO. 29
KOTA MEDAN

DISAIN
CAMBAR PERENCANAAN

REVISI
KUNSA PERENCANAAN ANGGARAN
BADAN PENGELOMPOK PAJAK DAN RETENSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA

SOPIRAN
SOPRAN EDEN, NAWA WY, KUALUNG, SMP
KOTA MEDAN
NIP. 19720503 199803 1 004

DISAIN
SOPRAN EDEN, NAWA WY, KUALUNG, SMP
KOTA MEDAN
NIP. 19720503 199803 1 004

PELAYAN PERBUAT KONTAK (P P K)
BADAN PENGELOMPOK PAJAK DAN RETENSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA

REVISI
R. SYAHRIAL NASUTION, S.SOS
NIP. 19680503 199103 1 006

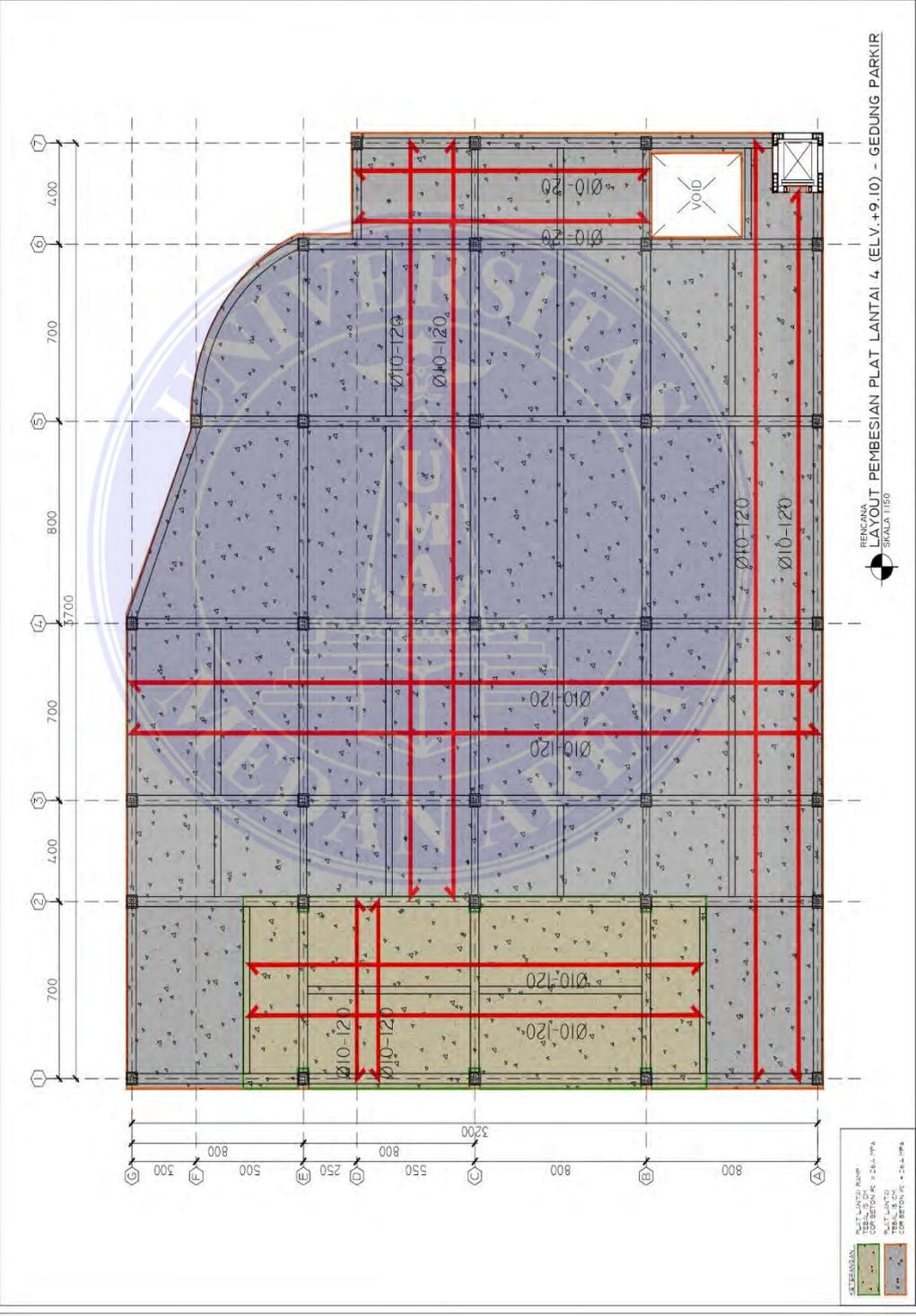
KONSULTAN PERENCANA
CV. DWITAWA
JL. GUPURU NO. 232 Medan

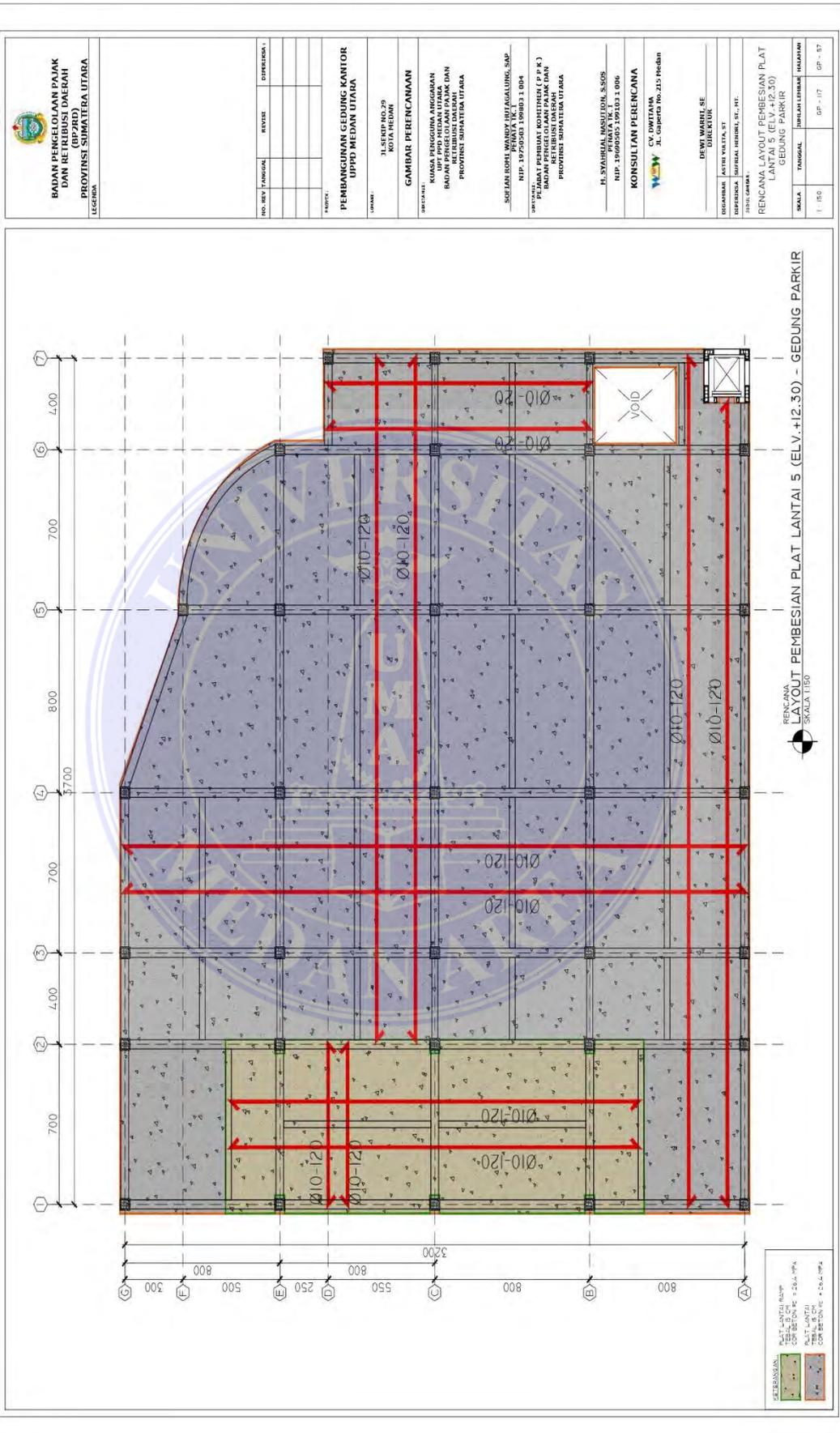
DISAIN
DEWI WARDI, SE
KOTA MEDAN

DISAIN
DEWI WARDI, SE
KOTA MEDAN

RENCANA LAYOUT PEMBESIAN PLAT LANTAI 4 (ELV. +9.10) GEDUNG PARKIR

SKALA	TAMBAH	JUMLAH LEMBAR	HALAMAN
1 : 150		GP - 1/7	GP - 5/6





<p>BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN REVISI DAERAH (BRPD) PROVINSI SUMATERA UTARA</p>		
LEGENDA		
NO. DESK / JAWABAN	REVISI	DISKRIPSI
<p>PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPPD MEDAN UTARA</p>		
<p>LOKASI: JL. SEKEP NO. 29 KOTA MEDAN</p>		
<p>GAMBAR PERENCANAAN</p>		
<p>NOVA KANAL KUNCA PENGUNJUKAN ANGGARAN BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN REVISI DAERAH PROVINSI SUMATERA UTARA</p>		
<p>SOFIAR, SORIN, NURAHY, RIZKI MUALIMUS, S.M.P. KUNCA PERENCANAAN KUNCA TEKNIK</p>		
<p>NOVA KANAL RUP. 10.700.000.1.00003.3.004</p>		
<p>PELAYAN PUBLIKASI KONSULTING (P.P.K.) BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN REVISI DAERAH KANTOR DAERAH PROVINSI SUMATERA UTARA</p>		
<p>R. SYAHRIAL, NASUDDIN, S.SOS RUP. 10.000.000.3.00003.3.006</p>		
<p>KONSULTAN PERENCANAAN</p>		
<p>CV. LUMITANA JL. Cempaka No. 210 Medan</p>		
<p>DEWI WARDI, SE KUNCA PERENCANAAN</p>		
<p>REVISI: 1 REVISI: 2 REVISI: 3 REVISI: 4 REVISI: 5 REVISI: 6 REVISI: 7 REVISI: 8 REVISI: 9 REVISI: 10</p>		
<p>RENCANA LAYOUT PERBESIAN PLAT LANTAI 5 (ELV. +12.30) GEDUNG PARKIR</p>		
SKALA	TANGGAL	URUTAN LEMBAR
1 : 150		05 - 17
		05 - 87

RENCANA LAYOUT PERBESIAN PLAT LANTAI 5 (ELV. +12.30) - GEDUNG PARKIR
SKALA 1:150

LEGENDA:

 PLAT LANTAI PERBESIAN
 PLAT LANTAI PERBESIAN
 PLAT LANTAI PERBESIAN
 PLAT LANTAI PERBESIAN

**BADAN PENGELOLAAN PAJAK
DAIRY KARYA WAREHOUS
PROVINSI SUMATERA UTARA**
LECEBOK

NO. REV	TARICAH	REVISI	DITERIMA

**PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR
UPPD MEDAN UTARA**

LOKASI: JL. SEP NO. 29
KOTA MEDAN

CAMBAR PERENCANAAN
KUALA PERENCANAAN ANGGARAN
BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAIRY
PROVINSI SUMATERA UTARA

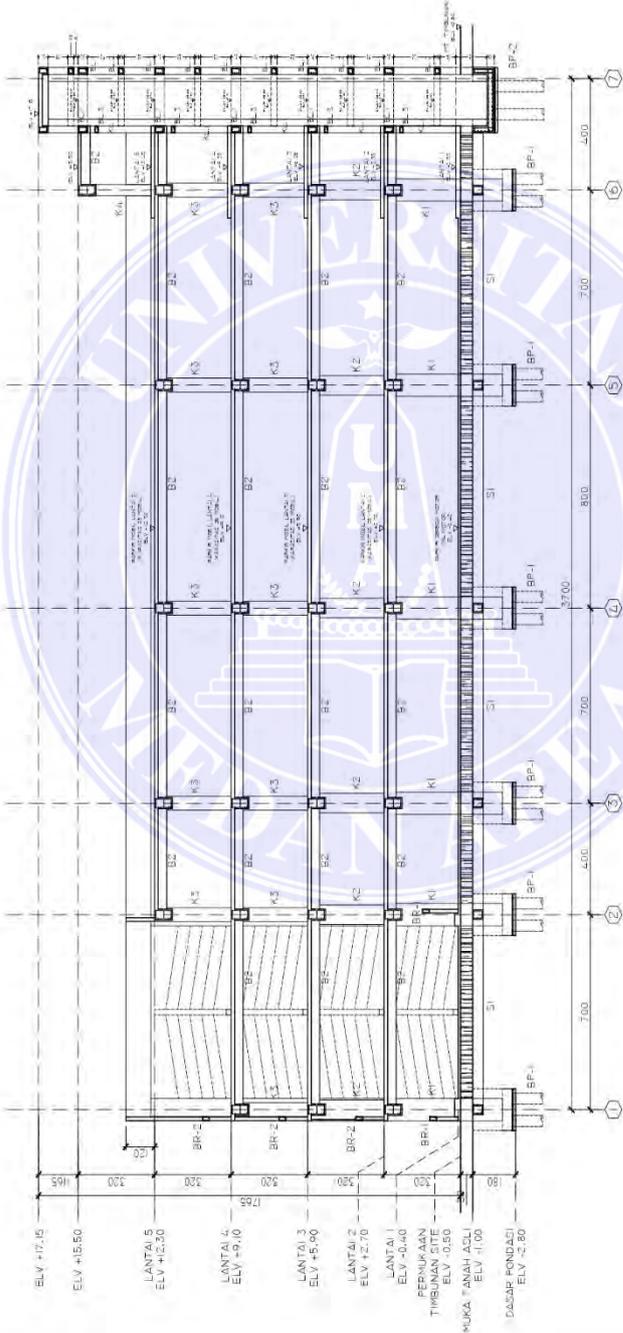
SEKSI BINA BANGUNAN, KEMENTERIAN PERENCANAAN
NIP. 197905011998031004

PEJABAT PELAKSANA KEMENTERIAN PERENCANAAN
BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAIRY
PROVINSI SUMATERA UTARA

KONSULTAN PERENCANAAN
CV. DWITAMA
JL. SUDARSO NO. 253 POGAN
MEDAN

RENCANA
POTONGAN A
GEDUNG PARKIR

SKALA	TANGKAL	URUTAN LEMBAR	JUMLAH
1:100		DP-117	DP-102



- LEJERANGKAN:**
- K1 : KOLOM BETON 50x50 CM
 - K2 : KOLOM BETON 50x50 CM
 - K3 : KOLOM BETON 50x50 CM
 - K4 : KOLOM BETON 40x40 CM
 - BR-1 : KOLOM PRAKRI (2) 15x15 CM
 - BR-2 : KOLOM BETON BENTUK L 25x50 CM
 - SL-1 : SLOOF 35x45 CM
 - SL-2 : SLOOF 40x75 CM
 - BE : BALOK 30x50 CM
 - BL-1 : BALOK LIFT 25x40 CM
 - BL-2 : BALOK 30x50 CM
 - DAK LIFT : BALOK 25x30 CM
 - BR-1 : BALOK RAILING 15x20 CM (LANTAI 1)
 - BR-2 : BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
 - BP-1 : BALOK PILE 30x40 CM, 4 TIANG, LIFT=100x8 M
 - BP-2 : BALOK PILE 30x40 CM, 4 TIANG, LIFT=100x8 M

RENCANA
POTONGAN A - GEDUNG PARKIR
SKALA 1:100

BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN RETRIBUSI DAERAH (BP2RD) PROVINSI SUMATERA UTARA

PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPPER MEYAN UTARA

GAMBAR PERENCANAAN

NO. REVISI / TANGGAL

REVISI

DIPERIKSA

REVISI

DIPERIKSA

NO. SKED NO. 20 KOTA MEDAN

KONSULTAN PERENCANAAN

CV. DWIJANA

Jl. Gajapati No. 215 Medan

DEWI WARSNI, SE

DIREKTUR

RENCANAAN FOTONGAN B GEDUNG PARKIR

SKALA

TANGGAL

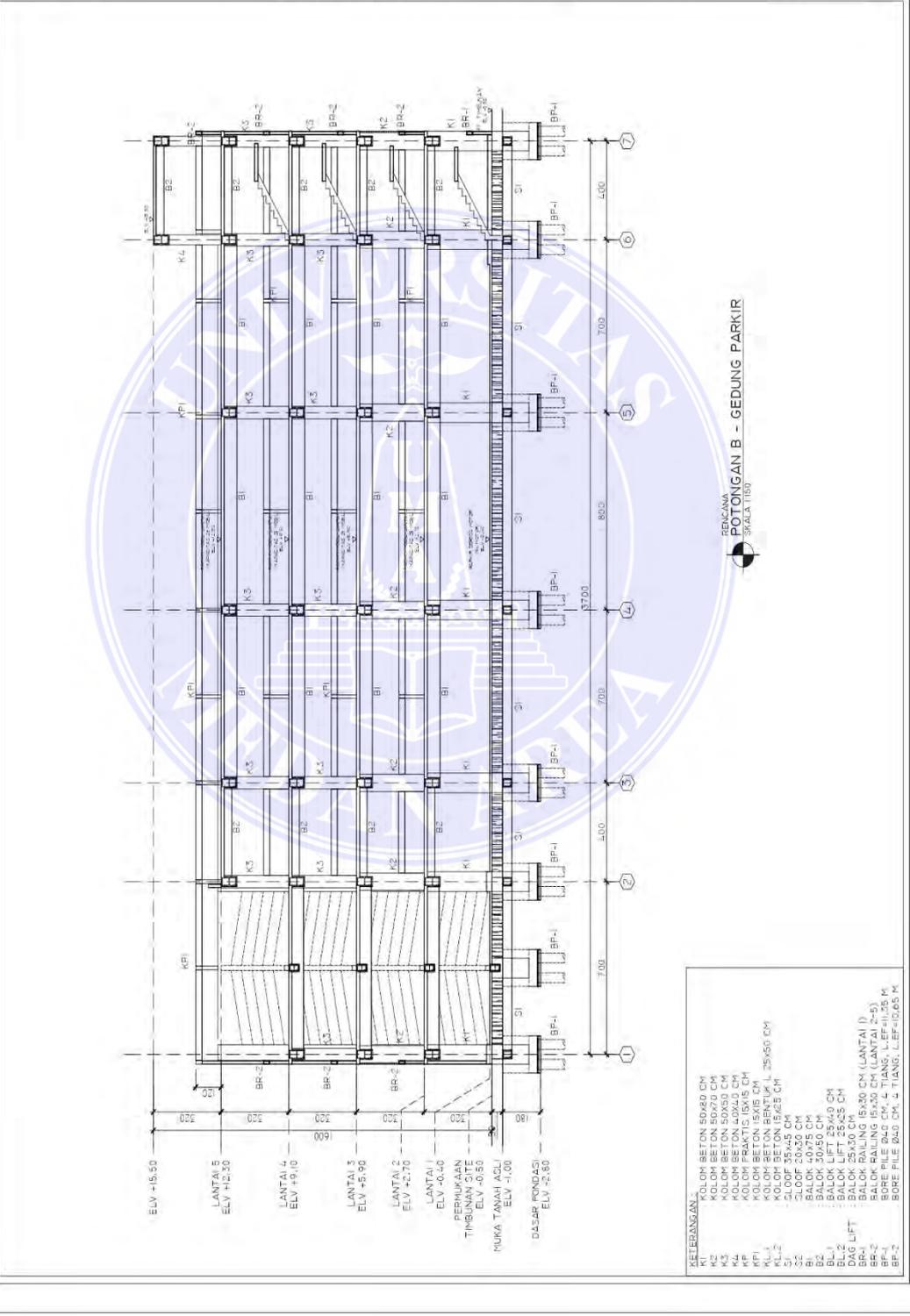
JARUM LEMBAR

MAKSIKUM

1 / 00

08 - 10

BP - 04





BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN RETRIBUSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA
LEGENDA

NO. REV.	FUNGSI	REVISI	DIREKSI/REVISI

PENGANTAR

PENBANGUNAN GEDUNG KANTOR UPD MEDAN UTARA

LOKASI: JL. SEKOP NO. 29
KOTA MEDAN

GAMBAR PERENCANAAN

PELAYAN: KUNSA PERKONSULTAN ANGGARAN
BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN RETRIBUSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA

PEKERJA: SOEJALABDI NASUTION, S.509
KAWA, M.T.

NO. SURTAH: R.P. 107/0043/1998/3.1.004

PELAYAN: PT. SWABIRAJA NASUTION, S.509
RIP. 10000502.300103.1.006

KONSULTAN PERENCANA

PEKERJA: CV. LAMITARA
JL. Lapangan Perintis 213 Medan

PEKERJA: DEWA MURNI, SE
JL. KEMUNINGAN, SE

PEKERJA: ACTA WARTA, ST

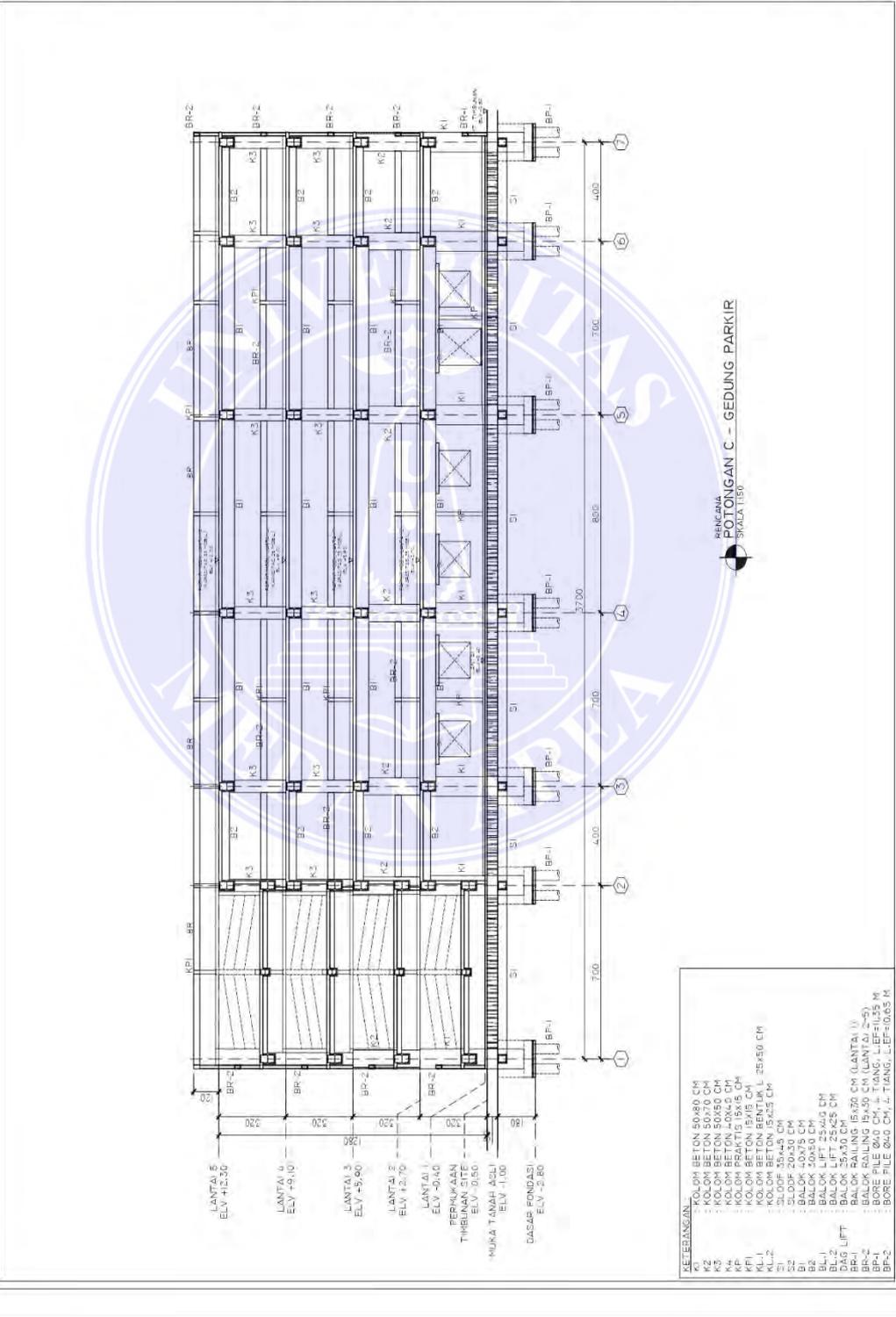
PEKERJA: SUFRIAN, HAFRIAN, HERNAL, ST, PT.

PEKERJA: TITIL, GABRIEL

RENCANA: RENCANA
GEDUNG PARKIR

SKALA: TANGGUL, DIMANJALINJARAN, NALANAN

NO. DOKUMEN: DP-11R DP-65



NO. REV	TAMBAH	REVISI	DISUSUN OLEH

PROJEK
**PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR
UPPER MEDIAN UTARA**

LOKASI
JL. SEBELA NO. 29
KOTA MEDIAN

GAMBAR PERENCANAAN
DIREKTORI
KEMENTERIAN PERENCANAAN
NAGARA
DIT. PPD MEDIAN UTARA
BADAN KANTOR DAERAH
RETRIBUSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA

**SOPIRAN BOKI WARDY HUTAGALUNG, S.M.P.
PRANATA, S.T.
RUP. 17.27.2010.1.0003.1.004**

**PEJABAT PELAKSANA KEMENTERIAN (P.P.K.)
DIREKTORAT PERENCANAAN
RETRIBUSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA**

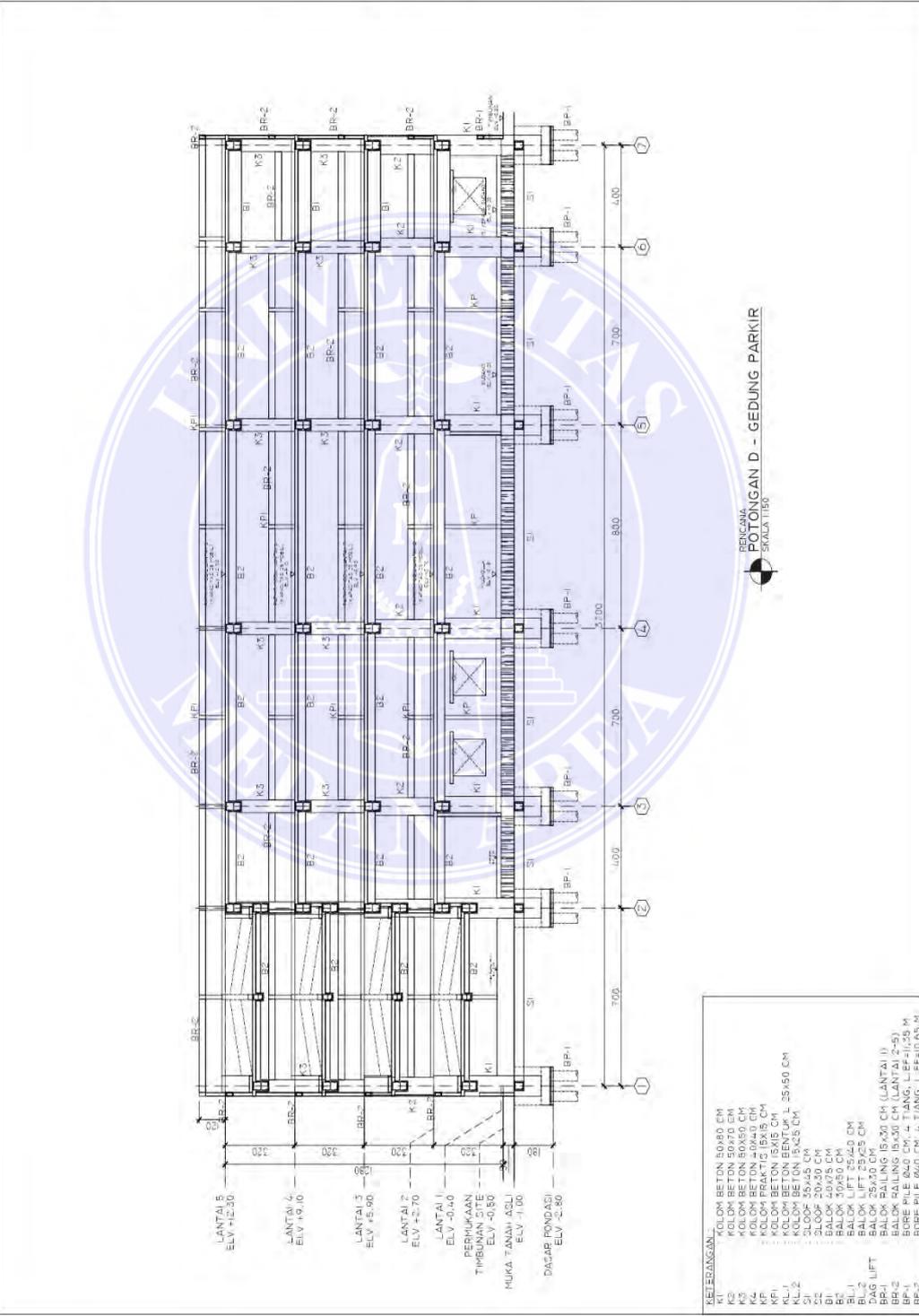
**H. SYAHRIEN, M.Sc., S.Sos.
NIP. 196905031991031006**

KONSULTAN PERENCANA
WYV
JL. SUDIRTA No. 215 Medan

**DEWI WARDI, BE
DIREKTUR**
**DEWI WARDI, BE
DIREKTUR**

**RENCANA
POTONGAN D
GEDUNG PARKIR**

SKALA	TAMBAH	JURUSAN/LOKASI	HALAMAN
1:150			08 - 17 / 08 - 46



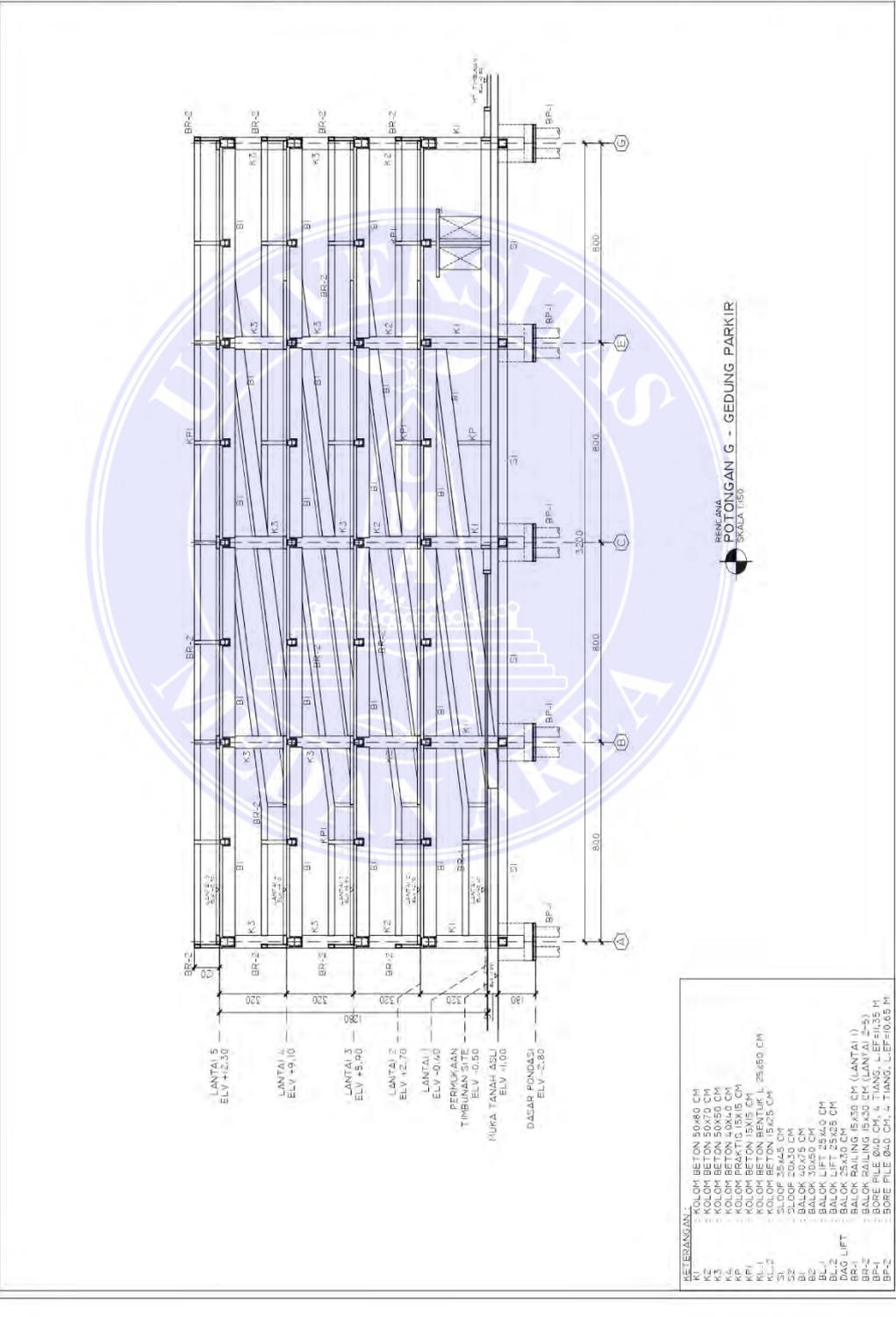
**RENCANA
POTONGAN D - GEDUNG PARKIR
SKALA 1:150**

KETERANGAN

K1	KOLOM BETON 50x60 CM
K2	KOLOM BETON 50x70 CM
K3	KOLOM BETON 50x50 CM
K4	KOLOM BETON 40x40 CM
K5	KOLOM BETON 40x50 CM
KF1	KOLOM BETON 15x15 CM
KL1	KOLOM BETON BENTUK L 35x50 CM
KL2	KOLOM BETON 15x25 CM
SL1	SLAB 30x30 CM
SL2	SLAB 30x30 CM
SL3	SLAB 30x30 CM
SL4	SLAB 30x30 CM
SL5	SLAB 30x30 CM
BR1	BALOK 20x25 CM
BR2	BALOK 20x25 CM
BR3	BALOK 20x25 CM
BR4	BALOK 20x25 CM
BR5	BALOK 25x10 CM
BR6	BALOK 25x10 CM
BR7	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 1)
BR8	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR9	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR10	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR11	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR12	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR13	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR14	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR15	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR16	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR17	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR18	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR19	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR20	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR21	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR22	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR23	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR24	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR25	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR26	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR27	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR28	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR29	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR30	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR31	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR32	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR33	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR34	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR35	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR36	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR37	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR38	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR39	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR40	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR41	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR42	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR43	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR44	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR45	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR46	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR47	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR48	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR49	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR50	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR51	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR52	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR53	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR54	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR55	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR56	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR57	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR58	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR59	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR60	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR61	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR62	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR63	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR64	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR65	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR66	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR67	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR68	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR69	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR70	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR71	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR72	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR73	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR74	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR75	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR76	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR77	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR78	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR79	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR80	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR81	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR82	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR83	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR84	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR85	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR86	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR87	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR88	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR89	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR90	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR91	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR92	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR93	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR94	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR95	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR96	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR97	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR98	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR99	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)
BR100	BALOK RAILING 15x30 CM (LANTAI 2-5)

NO. REVISI	AMBIKAL	REVISI	DIKIRIMKAN

PENGANGKUTAN



NO. RIBU / JANGKALAN	REVISI	DISTRIBUSI

PROJEK 1
**PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR
UPPD MEDAN UTARA**

LOKASI
JL. SEREPINDO 29
KOTA MEDAN

GAMBAR PERENCANAAN

SIKAPAH
KUNYA PERENCANAAN ANGGARAN
BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN
RETRIBUSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA

SOPAN BONTI WARDY HUTAGALUNG, S.P.
NIP. 19720503 199803 1 004

SIKAPAH PERHAT KOSMETER (C.P.P.K.)
BADAN PENGELOLAAN PAJAK DAN
RETRIBUSI DAERAH
PROVINSI SUMATERA UTARA

P. SYAHRIAL MASJUDION, S.SOS
NIP. 19600401 198303 1 006

KONSULTAN PERENCANA

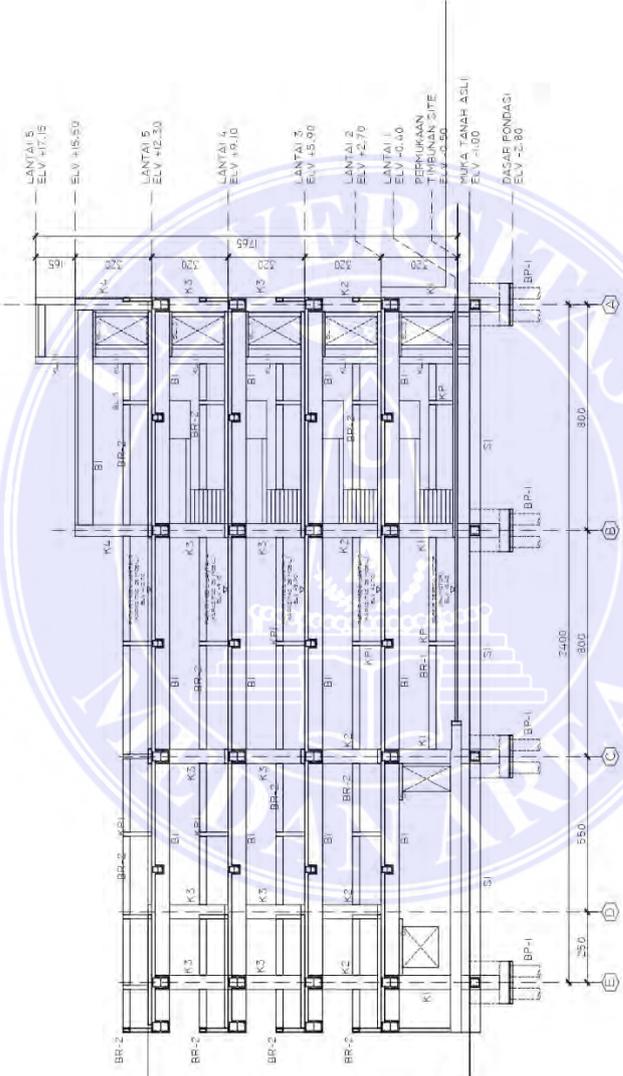
CV. DWITIANA
Jl. Cempura No. 215 Medan

DEWI WARMU, SE
DIREKTUR

INDONESIA
JALAN PASTIKA 31
PONDOKSI, KABUPATEN MEDAN, ST. PT.

RENCANA
POTONGAN H
GEDUNG PARKIR

NO. RIBU / JANGKALAN	REVISI	DISTRIBUSI



**RENCANA
POTONGAN H - GEDUNG PARKIR**
SKALA 1:150

DAFTAR BAHAN

K1	: KOLON BETON 50x80 CM
K2	: KOLON BETON 50x80 CM
K3	: KOLON BETON 50x50 CM
K4	: KOLON BETON 40x40 CM
K5	: KOLON PRAKTIS 15x15 CM
BR-1	: KOLON BETON 18x30 CM (LANTAI 1)
BR-2	: KOLON BETON 18x30 CM (LANTAI 2-5)
SL-1	: SLOOF 35x45 CM
SL-2	: SLOOF 20x25 CM
BZ	: BALOK 30x50 CM
BL-1	: BALOK LIFT 35x40 CM
EL-1	: BALOK 30x40 CM
EL-2	: BALOK 30x40 CM
BRP-1	: BALOK RALING 18x30 CM (LANTAI 1)
BRP-2	: BALOK RALING 18x30 CM (LANTAI 2-5)
BP-1	: BORE PILE 60x3 CM, 4 TIANG, LEF=1035 M
BRP-2	: BORE PILE 24x3 CM, 4 TIANG, LEF=1035 M

3.2 Daya Dukung Ijin Tanah Berdasarkan Hasil Sondir Test

Pengujian penetrasi kerucut statis atau pengujian sondir termasuk jenis alat penetrasi statis, alat pengujian berupa kerucut dengan diameter 3.57 cm atau luas penampang 100 mm².

Kerucut dihubungkan dengan batang besi, didalam besi pipa ada batang besi penekan atau gerakan gerigi dari hasil pemutaran dengan tangan, kecepatan penekanan mata konus 100 mm/detik dan pembacaan tahapan konus dilakukan dengan melihat manometer pengukurnya.

Beban dibagi dengan luas penampang konus merupakan tahanan kerucut statis, Cone resistant (CR).

Dari diagram tahanan konus yang dihasilkan, dari pengujian kerucut statis atau sondir, daya dukung tanah secara empiris dapat ditentukan.

Dari hasil pengujian sondir dilapangan dapat dihitung daya dukung ijin tanah untuk pondasi dangkal berdasarkan formula L. Heriminier dan Mayeerhof yaitu sbb :

$$q_i = q_c / 10 F_k$$

dimana :

q_i = Daya dukung ijin tanah

q_c = Perlawanan ujung (Cone Resistant)

F_k = Faktor keamanan --> $F_k = 2 \text{ s/d } 4$

IV. HASIL PENGUJIAN SONDIR

Dari hasil pembacaan manometer pada alat sondir yaitu perlawanan ujung konus (cone resistance) dengan symbol q_c dinyatakan dalam kg/cm² dan total perlawanan (total resistance) dinyatakan dalam kg/cm², maka dilakukan perhitungan hambatan lekat (skin friction) dengan symbol SF dinyatakan dalam kg/cm dan jumlah hambatan

lekat (total skin friction) dinyatakan dengan symbol TSF dinyatakan dalam kg/cm dan selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik sondir (graphic sondering test) yaitu hubungan perlawanan penetrasi konus dengan kedalaman dan hubungan jumlah hambatan lekat dengan kedalaman.

Berdasarkan hasil pengujian penetrasi sondir yaitu dari data perlawanan konus (q_c), tingkat kepadatan relatif dari lapisan tanah dapat diketahui yaitu sbb:

q_c (kg/cm^2) = 0 - 16 : Sangat lepas

q_c (kg/cm^2) = 16 - 40 : Lepas

q_c (kg/cm^2) = 40 - 120 : Sedang

q_c (kg/cm^2) = 120 - 200 : Padat

q_c (kg/cm^2) > 200 : Sangat Padat (keras)

Hasil pelaksanaan pengujian penetrasi sondir sebanyak 3 (tiga) titik dapat dilihat spt pada table berikut ini :

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Sondir

Titik Sondir	Kedalaman (m)	Perlawan Konus (q_c) (kg/cm^2)	jumlah hambatan lekat (TSF) (kg/cm)
--------------	------------------	--	--

S-1	12.20	220	379
S-2	13.00	230	300
S-3	18.00	203	520