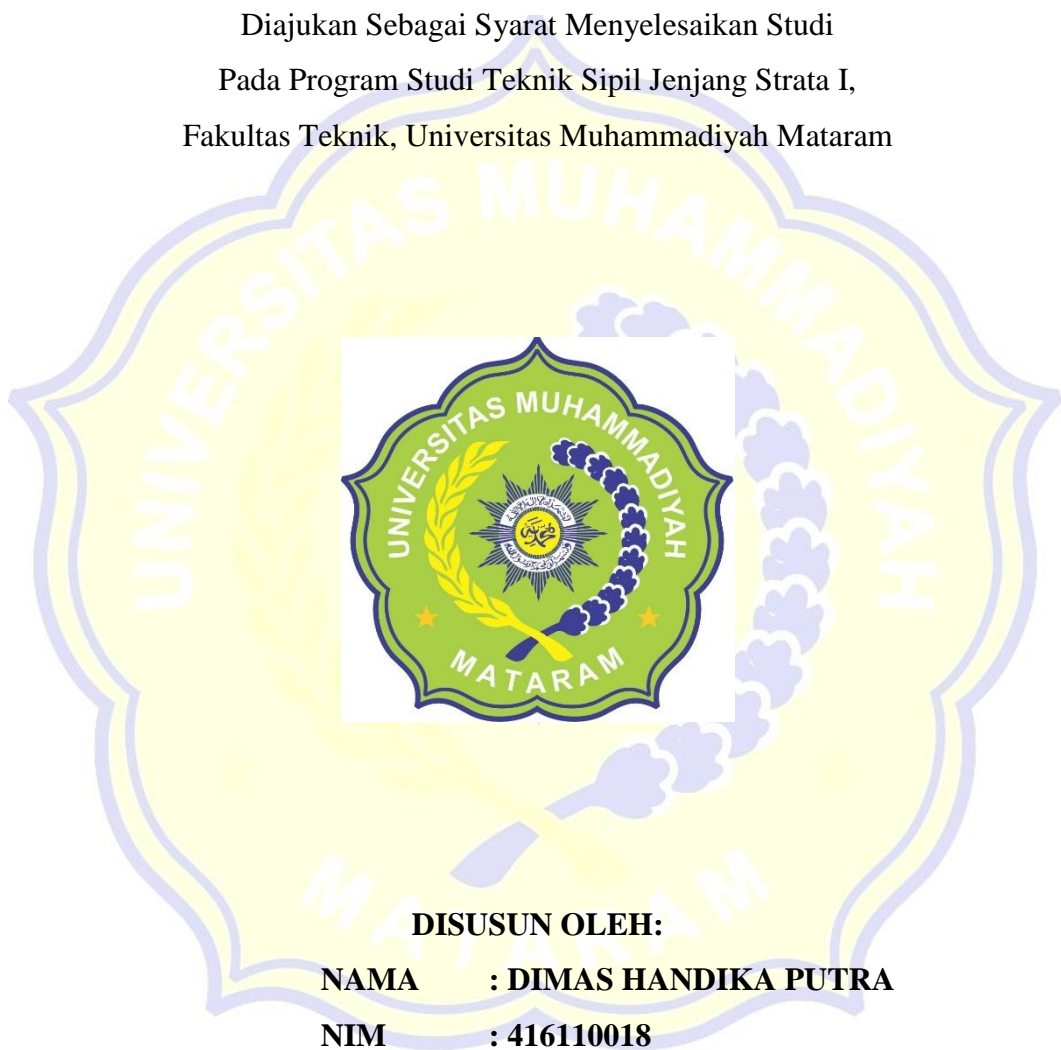


SKRIPSI

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM
DENGAN MENGGUNAKAN PORTAL BAJA DAN *INVERTED-V*
*BRACED***

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I,
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH:

NAMA : DIMAS HANDIKA PUTRA

NIM : 416110018

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

2022

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
SKRIPSI**

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM
DENGAN MENGGUNAKAN PORTAL BAJA DAN *INVERTED-V BRACED***

Disusun Oleh:

DIMAS HANDIKA PUTRA

416110018

Mataram, 23 Januari 2022

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Eng., Hariyadi, ST., MSc.Eng.

NIDN.0027107301



Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT.

NIDN.0820098001

Mengetahui,

Universitas Muhammadiyah Mataram

Fakultas Teknik

Dekan,



Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT.

NIDN.0824017501

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI**

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM
DENGAN MENGGUNAKAN PORTAL BAJA DAN *INVERTED-V BRACED***

Disusun Oleh:

DIMAS HANDIKA PUTRA


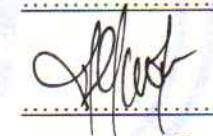
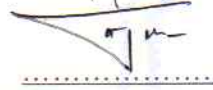
416110018

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada hari : Senin, 31 Januari 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

- | | | |
|----------------|---------------------------------------|---|
| 1. Penguji I | : Dr. Eng., Hariyadi, ST., MSc.Eng. |  |
| 2. Penguji II | : Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT. |  |
| 3. Penguji III | : Titik Wahyuningsih, ST., MT. |  |

Mengetahui,

Universitas Muhammadiyah Mataram

Fakultas Teknik

Dekan,



Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT.

NIDN.0824017501

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Dengan ini:

1. Skripsi yang berjudul
“Redesain Struktur Gedung Hotel Golden Tulip Mataram Dengan Menggunakan Portal Baja Dan *Inverted-V Braced*”. Ini merupakan hasil karya tulis asli yang saya ajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Semua sumber yang saya gunakan dalam penulisan skripsi tersebut telah saya cantumkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Jika dikemudian hari terbukti bahwa karya saya tersebut bukti hasil karya tulis asli saya atau jiplakan dari orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Mataram, 31 januari 2022

Yang membuat pernyataan



(Dimas Handika Putra)

NIM.416110018



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DIMAS HANDIKA PUTRA
 NIM : 416110018
 Tempat/Tgl Lahir : MATARAM, 14 MARET 1998
 Program Studi : TEKNIK SIPIL
 Fakultas : TEKNIK
 No. Hp : 087 855 466 256
 Email : dimas10andika@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

REDESAIN STRUKTUR BUDING HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM
 DENGAN MENGGUNAKAN PORTAL BAJA DAN INVERTED-Y BRACED

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 47%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, Jum'at, 04 - Maret - 2022

Penulis



DIMAS HANDIKA PUTRA
 NIM. 416110018

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos.,M.A.
 NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DIMAS HANDIKA PUTRA
 NIM : 416110018
 Tempat/Tgl Lahir : MATARAM, 14 MARET 1998
 Program Studi : TEKNIK SIPIL
 Fakultas : TEKNIK
 No. Hp/Email : 087 855 466 256
 Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

REDESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM
 DENGAN MENGGUNAKAN PORTAL BAJA DAN INVERTED-V BRACED

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.
 Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, Jum'at, 04-Maret-2022
 Penulis

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



DIMAS HANDIKA PUTRA
 NIM. 416110018



Iskandar, S.Sos.,M.A.
 NIDN. 0802048904

MOTO HIDUP

“Dan janganlah kamu berjalan di muka bumi ini dengan sombong, karena sesungguhnya kamu sekali-kali tidak dapat menembus bumi dan sekali-kali kamu tidak akan sampai setinggi gunung.”

(QS. Al-‘Isrā’: 37)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Masa depan hanya tersenyum bagi mereka yang melihatnya dengan optimism”

(Vinicius Jr)



KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “Redesain Struktur Gedung Hotel Golden Tulip Mataram Dengan Menggunakan Portal Baja dan *Inverted V-braced*” ini dapat diselesaikan sebagaimana mestinya. Tugas akhir ini merupakan syarat untuk memenuhi jenjang pendidikan Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Arsyad Ghani., Mpd., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. M. Islamy Rusyda, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Agustini Ernawati., M.Tech., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc., Eng., selaku Dosen Pembimbing I.
5. Maya Saridewi P., ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II.
6. Seluruh staf dan pegawai sekretariat Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangannya dan masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu pendapat serta saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk kelancaran penelitian dan penyempurnaan penulisan selanjutnya. Akhir kata semoga karya ini bias bermanfaat bagi pembacanya.

Mataram, 31 Januari 2022

Penulis

Dimas Handika Putra

NIM.416110018

PERSEMBAHAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir/skripsi sebagai sayarat kelulusan.

Atas izin Allah SWT saya persembahkan karya ini kepada:

1. Ibu dan Bapak, yang sangat saya hormati, saya cintai dan saya banggakan, terimakasih atas semua dukungan, doa dan harapan baik materi maupun rohani, saya ucapkan sekali lagi Terimakasih untuk semuanya.
2. Keluarga besarku, adik, paman, bibi dan semuanya yang telah memberi dukungan agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini sehingga saya bias mendapatkan gelar serjana.
3. Ibu dan Bapak Dosen yang telah membimbing dan mendidik saya dari awal perkuliahan sampai akhir perkuliahan, terima kasih banyak.
4. Kepada sahabatku Juliadi Fathurrahman yang telah meminjamkan laptop untuk saya gunakan selama mengerjakan skripsi/ tugas akhir ini.
5. Kepada semua teman di suicide squad kelas A dan juga teman-teman di bawah alpukat, yang telah mendukung dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan laporan tugas akhir/skripsi ini, terima kasih.

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan pergeseran tiba-tiba dari lapisan tanah di bawah permukaan bumi. Ketika pergeseran terjadi timbul getaran yang disebut gelombang seismik. Sebagai negara kepulauan yang terletak pada daerah pertemuan empat lempeng tektonik menyebabkan Indonesia mendapat ancaman gempa bumi yang cukup tinggi. Sampai saat ini manusia belum bisa memprediksi kapan terjadinya dan seberapa kuat gempa tersebut, Oleh karena itu perencana struktur dituntut untuk mendisain struktur yang mampu menahan gaya lateral yang ditimbulkan akibat gempa, salah satunya dengan menambahkan pengaku lateral (*bracing*) pada elemen struktur portal.

Salah satu jenis sistem rangka baja yang digunakan dalam perencanaan ulang struktur gedung hotel golden tulip mataram adalah Sistem Rangka Bresing Konsentris (*concentrically braced frames*). Namun demikian, Sistem ini memiliki kekakuan yang besar pada sistem CBF yang mengakibatkan deformasi yang terjadi pada struktur lebih terbatas sehingga daktilitas struktur CBF lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem struktur baja lainnya. Perencanaan struktur di sesuaikan dengan peraturan-peraturan yang ada, seperti SNI 1726-2019, SNI 1729-2020 dan beberapa peraturan SNI lainnya. Dalam perencanaan dan analisa struktur kali ini menggunakan metode LRFD dengan bantuan program aplikasi SAP2000v14.

Hasil dari perencanaan ulang struktur gedung hotel golden tulip, didapatkan struktur utama kolom menggunakan profil baja KC 800x300x14x26, untuk balok melintang menggunakan profil baja WF 500x300x11x18 sedangkan untuk balok memanjang menggunakan profil baja WF 600x300x14x23 untuk bresing menggunakan profil WF 300x300x11x17. Sambungan yang digunakan ada dua penyambung yakni baut dengan mutu A325 dengan diameter 7/8 in (22.225 mm) dan sambungan las *fillet* menggunakan elektroda 7014 dengan ketebal las 8 mm dan 10 mm. *Base plate* menggunakan ukuran 1000mm x 1000mm dengan ketebalan 60 mm dan jumlah angkur 3 di masing-masing sisinya dengan diameter angkur 7/8 in.

Kata kunci: *Analisa Portal Baja Bresing Konsentris, Inverted V-Braced Frames*

ABSTRACT

As an archipelagic country at the junction of four tectonic plates, Indonesia confronts a significant risk of earthquakes. An earthquake occurs when the soil layer beneath the earth's surface shifts suddenly. When a transition occurs, vibrations known as seismic waves are produced. Humans have not been able to forecast when or how strong the earthquake will be until now. As a result, structural designers must build structures that can withstand the earthquake's lateral stresses, including adding lateral braces (bracing) to the portal's structural parts. The concentrically braced frames system was one of the steel frame systems utilized to remodel the Golden Tulip Mataram hotel building construction.

In comparison to other steel structure systems, the CBF structure has less flexibility. On the other hand, the CBF system has a significant stiffness, resulting in less structure deformation. Existing regulations, such as SNI 1726-2019, SNI 1729-2020, and various SNI regulations, are incorporated into the structural planning. The LRFD approach is used in conjunction with the SAP2000v16 application program to plan and analyze the structure. The redesign of the golden tulip hotel building structure obtained the main structure of the column using KC steel profiles 800x300x14x26, for transverse beams using WF 500x300x11x18 steel profiles while for longitudinal beams using WF 600x300x14x23 steel profiles for braces using WF 300x300x11x17 profiles. Two connections are used, namely bolts with quality A325 with a diameter of 7/8 in (22,225 mm) and fillet welded connections using 7014 electrodes with a weld thickness of 8 mm and 10 mm. The base plate uses a size of 1000mm x 1000mm with a thickness of 60 mm and the number of anchors three on each side with an anchor diameter of 7/8.

Keywords: Concentric Braced Steel Portal Analysis, Inverted V-Braced Frame

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
P3B

KEPALA
UPT P3B
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM



Humaira, M.Pd
NIDN. 0803048601

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR SUSUNAN DEWAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
MOTO HIDUP	vii
KATA PENGANTAR	viii
PERSEMBAHAN	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR NOTASI	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Pembebanan	7
2.2.1 Beban mati	7

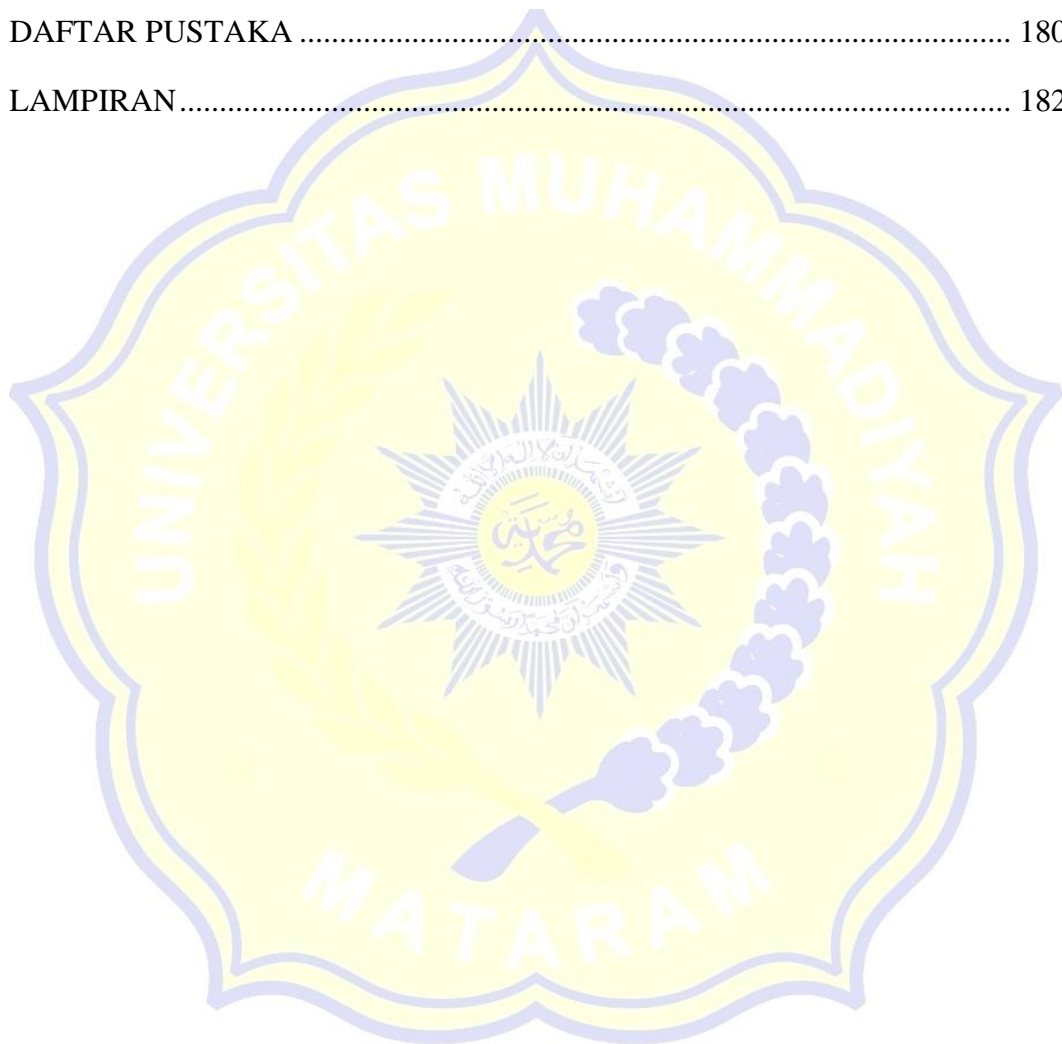
2.2.2	Beban hidup	8
2.3	Beban Gempa	9
2.3.1	Analisis beban dinamik <i>response spectrume</i>	9
2.3.2	Analisis beban gempa statik ekivalen	10
2.3.3	Klasifikasi situs tanah	10
2.3.4	Koefisien amplifikasi getaran	10
2.3.5	Parameter percepatan respon spectra	11
2.3.6	Parameter percepatan respon desain	12
2.3.7	Periode fundamental	12
2.3.8	Faktor keutamaan	12
2.3.9	Kategori desain seismik	13
2.3.10	Sistem penahan gaya seismik	14
2.3.11	Periode Fundamental pendekatan	14
2.3.12	Koefisien respon seismik	15
2.3.13	Gaya geser dasar (V)	16
2.3.14	Skala gaya	16
2.3.15	Distribusi gaya gempa	16
2.4	Kombinasi Pembebanan	17
2.5	Perencanaan Analisis Struktur	18
2.5.1	<i>Metode load resistance and factor design (lrfd)</i>	18
2.5.2	Perancangan stabilitas – SNI 1729-2020	19
2.6	Perencanaan Struktur Komposit Pelat Lantai	21
2.6.1	Sifat-sifat mekanis beton bertulang	21
2.6.2	Batasan desain pelat satu arah	21
2.7	Perencanaan Batang Tarik	27
2.7.1	Batas kelangsingan	28
2.7.2	Kuat tarik nominal	28
2.8	Perencanaan Batang Tekan	29
2.8.1	Perencanaan akibat gaya tekan	29
2.8.2	Perbandingan kelangsingan	29
2.8.3	Gaya tekuk elastic	29

2.8.4	Daya dukung nominal komponen struktur tekan.....	30
2.8.5	Momen untuk komponen struktur tak-bergoyang	30
2.8.6	Momen untuk komponen struktur bergoyang	31
2.8.7	Persamaan interaksi aksial-momen	32
2.9	Perencanaan Batang portal (Balok-Kolom)	34
2.9.1	Batasan momen.....	38
2.9.2	Batas lendutan.....	38
2.9.3	Penampang kompak.....	41
2.9.4	Penampang tak – kompak.....	41
2.9.5	Analisis plastis.....	42
2.9.6	Kuat lentur nominal penampang pengaruh tekuk lateral....	42
2.9.7	Kuat geser	44
2.9.8	Kuat geser nominal.....	44
2.9.9	Metode interaksi geser dan lentur.....	44
2.10	Sambungan.....	45
2.10.1	Sambungan baut mutu tinggi.....	45
2.10.2	Tata letak baut	48
2.10.3	Perhitungan siku penyambung atas dan bawah	49
2.10.4	Perhitungan jumlah baut pada sambungan	50
2.10.5	Sambungan las <i>fillet</i>	51
2.10.6	Sambungan pelat dasar (<i>base plate</i>)	53
2.11	Pondasi.....	57
2.11.1	Pondasi <i>bored pile</i>	57
2.11.2	<i>Poer (Pile cap)</i>	59
BAB III METODELOGI PENELITIAN		63
3.1	Deskripsi Struktur	63
3.2	Data Perencanaan	65
3.2.1	Data umum bangunan.....	65
3.3	Preliminary Desain dan Pembebanan.....	65
3.3.1	Preliminary desain	65
3.3.2	Pembebanan.....	65

3.3.3	Beban mati	65
3.3.4	Beban hidup	66
3.3.5	Beban gempa	66
3.3.6	Kombinasi pembebanan	66
3.4	Tahap perencanaan	66
3.4.1	Analisa respon spectrum Membuka <i>website</i> PUSKIM	66
3.4.2	Perencanaan pelat	71
3.4.3	Perencanaan balok	72
3.4.4	Perencanaan kolom	72
3.4.5	Perencanaan sambungan	72
3.4.6	Perencanaan pondasi	73
3.5	Bagan Alir	74
BAB IV HASIL DAN PERENCANAAN		76
4.1	Umum	76
4.2	Data Perencanaan	76
4.2.1	Material struktur	76
4.2.2	Pradimensi dimensi komponen struktur	76
4.3	Pembebanan struktur	80
4.3.1	Perhitungan beban mati	80
4.3.2	Perhitungan beban hidup	81
4.3.3	Perhitungan beban gempa	81
4.4	Perencanaan pelat	89
4.4.1	Perhitungan penulangan pelat lantai $3,65 \times 6$ m	89
4.4.2	Perhitungan pelat lantai bondek	96
4.5	Perencanaan Balok	98
4.5.1	Data perencanaan	98
4.5.2	Cek klasifikasi penampang	99
4.5.3	Cek kuat lentur balok	100
4.5.4	Cek kuat geser balok	102
4.5.5	Lendutan	102
4.6	Perencanaan Kolom	103

4.6.1	Data perencanaan.....	103
4.6.2	Cek kelangsingan penampang kolom	104
4.6.3	Menentukan Panjang efektif kolom (KL).....	105
4.6.4	Cek tegangan kritis tekuk puntir.....	107
4.6.5	Cek kuat tekan nominal kolom.....	108
4.6.6	Cek kekompakan penampang	109
4.6.7	Kapasitas geser kolom	110
4.6.8	Interaksi gaya aksial dan momen lentur	110
4.7	Perencanaan Bresing (Batang Tekan)	111
4.7.1	Data perencanaan.....	111
4.7.2	Cek kelangsingan penampang	111
4.7.3	Kontrol tekuk lateral	112
4.7.4	Kontrol tekan penampang.....	113
4.8	Perencanaan Bresing (Batang Tarik)	116
4.9	Perencanaan Sambungan.....	117
4.9.1	Sambungan bresing-balok induk-kolom.....	117
4.9.2	Sambungan bresing-bresing	129
4.9.3	Sambungan balok-kolom	135
4.9.4	Sambungan kolom-kolom.....	144
4.9.5	Perhitungan plat dasar (<i>base plate</i>)	149
4.9.6	Perhitungan kolom pedestal.....	156
4.10	Perencanaan Pondasi	160
4.10.1	Data tanah	160
4.10.2	Daya dukung pondasi tiang <i>bored pile</i>	162
4.10.3	Perhitungan daya dukung tiang tunggal	162
4.10.4	Tahanan gesek tiang	162
4.10.5	Menghitung berat tiang.....	164
4.10.6	Jumlah tiang yang dibutuhkan.....	164
4.10.7	Efisiensi kelompok tiang	165
4.10.8	Beban maksimum setiap tiang pada kelompok tiang	166
4.10.9	Penulangan <i>bored pile</i>	167

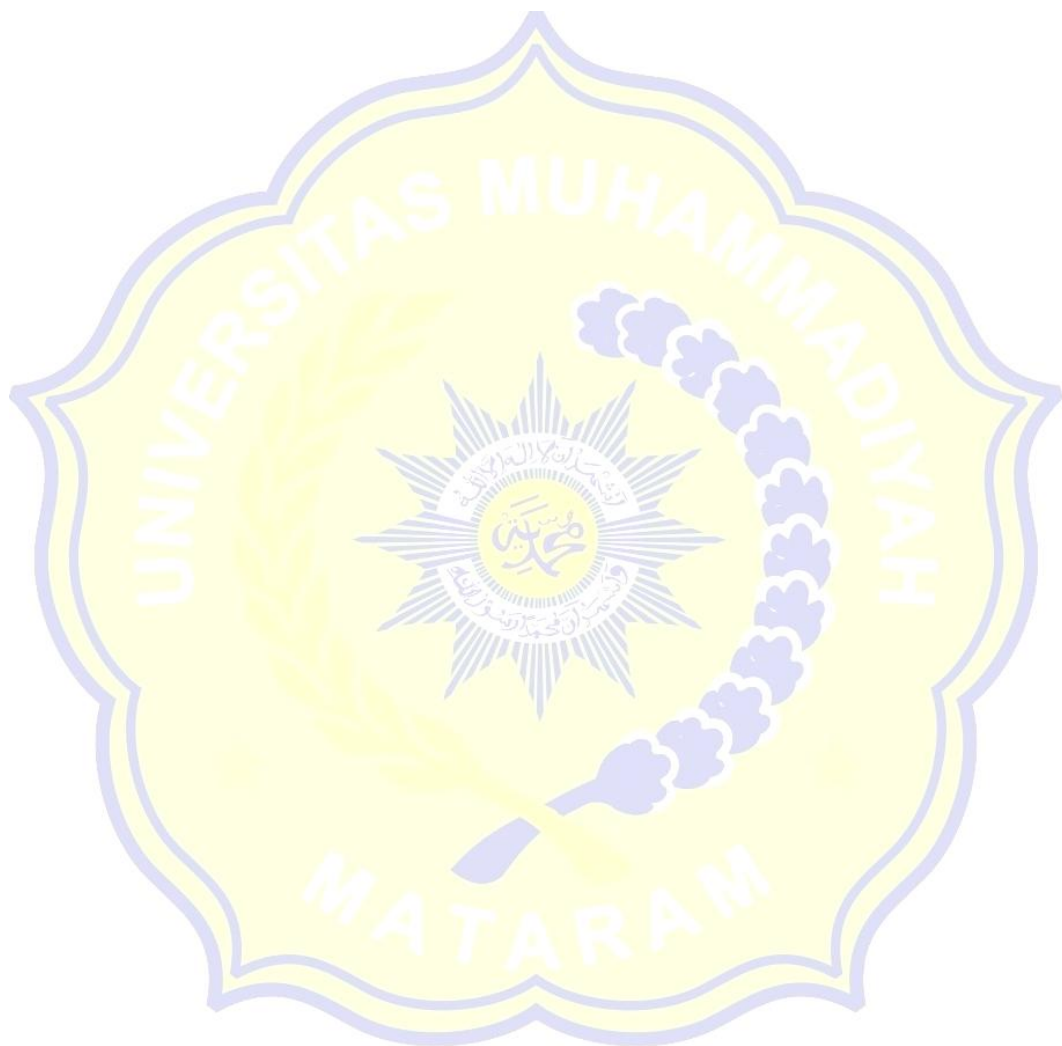
4.10.10 Tinjauan geser satu arah	171
4.10.11 Tinjauan geser dua arah	172
4.10.12 Penulangan <i>poer</i>	173
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	178
5.1 Kesimpulan	178
5.2 Saran.....	179
DAFTAR PUSTAKA	180
LAMPIRAN	182



DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung	8
Tabel 2-2 Beban hidup pada lantai gedung.....	9
Tabel 2-3 – Koefisien situs, F_a	11
Tabel 2-4 – Koefisien situs, F_v	11
Tabel 2-5 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung.....	13
Tabel 2-6 Faktor keutamaan gempa.....	13
Tabel 2-7 Kategori desain seismik respons percepatan pada periode pendek	13
Tabel 2-8 Kategori desain seismik berdasarkan percepatan periode 1 detik	14
Tabel 2-9 Faktor R , C_d , dan Ω_0 , untuk sistem pemikul gaya seismik	14
Tabel 2-10 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	15
Tabel 2-11 Ketebalan minimum pelat solid satu arah non-prategang.....	21
Tabel 2-12 Perhitungan lendutan izin maksimum	22
Tabel 2-13 $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang.....	22
Tabel 2-14 Sifat mekanis baja structural.....	38
Tabel 2-15 Batas lendutan maksimum ¹	39
Tabel 2-16 Faktor reduksi (ϕ) untuk keadaan kekuatan batas	39
Tabel 2-17 Rasio Tebal-terhadap-Lebar : Elemen Tekan	40
Tabel 2-18 Rasio Tebal-terhadap-Lebar : Elemen Tekan	41
Tabel 2-19 Momen kritis untuk tekuk lateral.....	42
Tabel 2-20 Bentang untuk pengekang lateral.....	43
Tabel 2-21 Kuat nominal baut dan batang berulir	46
Tabel 2-22 Prategang baut minimum, kN.....	46
Tabel 2-23 Jarak Tepi Minimum.....	48
Tabel 2-24 Ukuran Minimum Las filet	51
Tabel 4-1 Spektrum Respon (S_a)	84
Tabel 4-2 Berat Struktur Tiap Lantai	86
Tabel 4-3 Perhitungan Selisih periode (ΔT) setiap periode	87
Tabel 4-4 Perhitungan Selisih periode (ΔT) setiap periode	88
Tabel 4-5 Distribusi gaya seismik perlantai arah x	89
Tabel 4-6 Distribusi gaya seismik perlantai arah y.....	89

Tabel 4-7 Titik berat plat buhul	124
Tabel 4-8 Hasil Uji N-SPT.....	161
Tabel 4-9 Perhitungan φ'	163
Tabel 4-10 Perhitungan $K_d \cdot t_g \delta$ tiap lapisan.....	163
Tabel 4-11 Perhitungan tahanan gesek tiang (Qs)	164



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Moment resisting frames	5
Gambar 2.2 <i>Concentrically braced frames</i>	6
Gambar 2.3 <i>Eccentrically braced frame</i>	7
Gambar 2.4 Spektrum respon desain	10
Gambar 2.5 Momen yang dipengaruhi efek P-delta	20
Gambar 2.6 Pendekatan momen	24
Gambar 2.7 Nilai kc untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal	33
Gambar 2.8 Nilai kc untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal	33
Gambar 2.9 Jarak dan jarak baut terhadap <i>flens</i> atas balok	49
Gambar 2.10 Pelat dasar (<i>Base Plate</i>) kolom baja.....	53
Gambar 2.11 Distribusi Tegangan segitiga akibat eksentrisitas kecil	54
Gambar 2.12 Desain <i>Base-plate</i> dengan beban tekan.....	55
Gambar 2.13 Distribusi tegangan segitiga akibat eksentrisitas besar	56
Gambar 2.14 Gaya geser pons pada <i>pilecap</i>	61
Gambar 3.1 Lokasi pembangunan Gedung hotel golden Tulip	63
Gambar 3.2 Denah lantai lima	64
Gambar 3.3 Potongan memanjang	64
Gambar 3.4 Lokasi desain spektra Indonesia.....	66
Gambar 3.5 Grafik spektral percepatan	67
Gambar 3.6 Grafik spektral percepatan tanah lunak, SE	67
Gambar 3.7 Tabel perhitungan percepatan tanah.....	68
Gambar 3.8 Memasukkan data respon spectrum	68
Gambar 3.9 Menentukan massa gedung	69
Gambar 3.10 Menentukan jenis analisis respon spectrum.....	69
Gambar 3.11 Memasukkan skala factor untuk kombinasi beban	70
Gambar 3.12 Menentukan <i>set analysis options</i>	71
Gambar 3.13 Analisis <i>Case To Run</i>	71
Gambar 3.14 Diagram Alir Perencanaan	75
Gambar 4.1 Penampang profil balok melintang	77
Gambar 4.2 Penampang profil balok memanjang.....	77

Gambar 4.3 Penampang profil baja WF.....	78
Gambar 4.4 Penampang profil baja WF.....	79
Gambar 4.5 Tipe pelat.....	80
Gambar 4.6 Peta desain spektra Hotel Golden Tulip Mataram	81
Gambar 4.7 Grafik respon (S_a)	84
Gambar 4.8 Penulangan pelat	96
Gambar 4.9 Pelat Lantai Bondek	97
Gambar 4.10 <i>Alignment Chart</i> untuk menghitung K arah x	105
Gambar 4.11 <i>Alignment Chart</i> untuk menghitung K arah y	106
Gambar 4.12 Plat siku	119
Gambar 4.13 Plat buhul.....	123
Gambar 4.14 Plat siku	125
Gambar 4.15 Detail sambungan bresing-balok-kolom	128
Gambar 4.16 Plat Siku	130
Gambar 4.17 Detail sambungan bresing-balok-kolom	135
Gambar 4.18 Detail sambungan balok-kolom	143
Gambar 4.19 Detail sambungan kolom-kolom	148
Gambar 4.20 Perencanaan Plat Dasar (<i>Base Plate</i>)	149
Gambar 4.21 Konfigurasi <i>base plate</i>	151
Gambar 4.22 Parameter desain <i>base plate</i>	151
Gambar 4.23 Gaya Pada <i>Base Plate</i>	152
Gambar 4.24 Sambungan <i>base plate</i>	156
Gambar 4.25 Penulangan kolom padestel.....	160
Gambar 4.26 Hasil Uji Nspt Sampai Kedalaman 21 m	161
Gambar 4.27 Jumlah tiang <i>Bored Pile</i> yang digunakan.....	167
Gambar 4.28 Tegangan geser 1 arah.....	171
Gambar 4.29 Tegangan geser 2 arah.....	172
Gambar 4.30 Penulangan <i>pile cap</i> dan <i>bored pile</i>	177

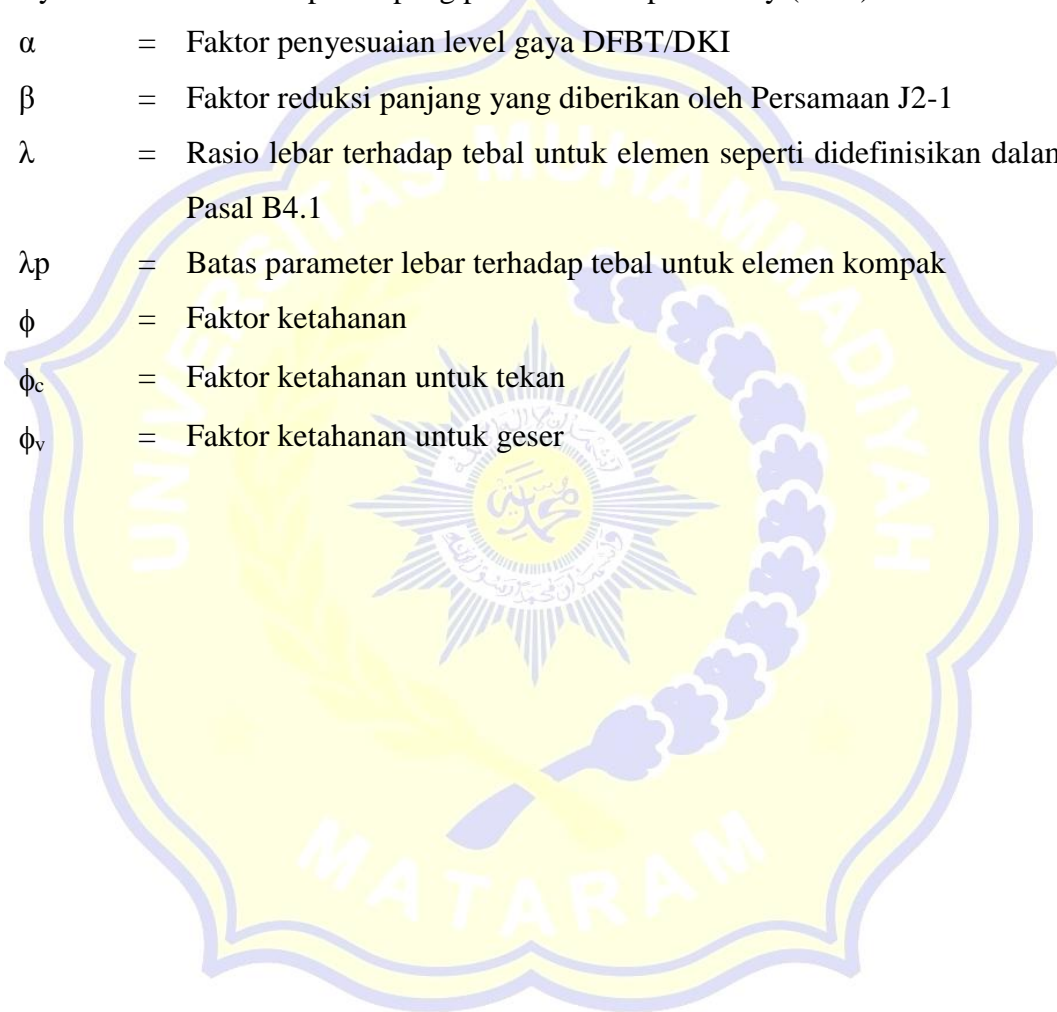
DAFTAR NOTASI

A1	=	Luas permukaan <i>base plate</i>
Ab	=	Luas nominal tubuh yang tidak berulir dari baut atau bagian yang berulir, (mm ²)
Ae	=	Luas neto efektif (mm ²)
Ag	=	Luas penampang bruto komponen struktur (mm ²)
Agv	=	Luas bruto penahan geser (mm ²)
An	=	Luas neto komponen struktur (mm ²)
Ant	=	Luas neto penahan Tarik (mm ²)
Anv	=	Luas neto penahan geser (mm ²)
As	=	Luas penampang profil baja (mm ²)
At	=	Luas tarik neto (mm ²)
Awe	=	Luas efektif las (mm ²)
Awei	=	Luas efektif throat las dari setiap elemen las ith (mm ²)
be	=	Lebar efektif tereduksi (mm)
bf	=	Lebar sayap profil baja wf (mm)
c	=	Jarak dari sumbu netral ke serat tekan terluar (mm)
Cd	=	Faktor pembesaran simpangan lateral
Cdx	=	Faktor pembesaran simpangan lateral pada arah X
Cdy	=	Faktor pembesaran simpangan lateral pada arah Y
Cs	=	Koefisien respons seismic
Cu	=	Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
Cv	=	Koefisien vertical
Cvx	=	Faktor distribusi vertical
Cw	=	Konstanta pilin (mm ⁶)
D	=	Beban mati nominal, kips (N)
d	=	Tinggi profil baja wf (mm)
db	=	Diameter nominal (diameter tubuh) (mm)
E	=	Modulus elastisitas baja = 29.000 ksi (200.000 MPa)
Ec	=	Modulus elastisitas beton
Fa	=	Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik

F'_c	= Kekuatan tekan beton terspesifikasi (MPa)
F_{cr}	= Tegangan tekuk torsi-lateral penampang seperti yang ditentukan melalui analisis (MPa)
F_e	= Tegangan tekuk elastis (MPa)
F_{EXX}	= Kekuatan klasifikasi logam pengisi, ksi (MPa)
F_{nt}	= Tegangan tarik nominal dari Tabel J3.2, ksi (MPa)
F_{nv}	= Tegangan geser nominal dari Tabel J3.2, ksi (MPa)
F_i, F_x	= Bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkati atau tingkatx
F_{pga}	= Koefisien situs untuk PGA
F_u	= Kekuatan tarik minimum terspesifikasi, ksi (MPa)
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang
F_x	= Gaya seismik lateral (kN)
F_y	= Tegangan leleh minimum terspesifikasi (MPa)
G	= Modulus elastisitas geser baja = 11.200 ksi (77.200 MPa)
H	= Tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap
h_e	= Lebar badan efektif (mm)
h_i, h_x	= Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
h_n	= Batasan tinggi struktur (m)
h_o	= Jarak antara titik-titik berat sayap (mm)
I_x, I_y	= Momen inersia terhadap sumbu utama (mm^4)
I_e	= Faktor keutamaan gempa
J	= Konstanta torsi (mm^4)
K	= Faktor panjang efektif
L	= Pengaruh beban hidup
L_b	= Panjang antara titik-titik yang terbreis untuk mencegah peralihan lateral sayap tekan atau terbreis untuk mencegah puntir penampang melintang (mm)
L_p	= Batas panjang tak terbreis secara lateral untuk kondisi batas leleh (mm)
L_r	= Pengaruh beban hidup di atap
M_{CE}	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan

M_{CEG}	=	Nilai tengah geometrik gempa tertimbang maksimum
M_{CER}	=	Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
M_n	=	Kekuatan lentur nominal (N-mm)
M_p	=	Momen lentur plastis (N-mm)
M_u	=	Kekuatan lentur perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBT (N-mm)
n_s	=	Banyaknya bidang slip yang memungkinkan terjadinya slip pada sambungan
n_b	=	Banyaknya baut penahan tarik yang diterapkan
P_n	=	Kekuatan aksial nominal (N)
P_n	=	Kekuatan tekan nominal (N)
P_u	=	Kekuatan aksial tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBT (N)
r	=	Radius girasi (mm)
r_x	=	Radius girasi terhadap sumbu x (mm)
r_y	=	Radius girasi terhadap sumbu y (mm)
S_a	=	Respons spektra percepatan
S_{ds}	=	Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{d1}	=	Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_{ms}	=	Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{m1}	=	Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	=	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
S_1	=	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
S_x	=	Modulus penampang elastis terhadap sumbu x (mm^3)
S_y	=	Modulus penampang elastis terhadap sumbu y (mm^3)
T_a	=	Perioda fundamental pendekatan
t_p	=	Tebal pelat (mm)

t_w	=	Tebal badan (mm)
V	=	Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
V_n	=	Kekuatan geser nominal (N)
V_x	=	Geser seismik desain di tingkat x
W	=	Berat seismik efektif bangunan
Z_x	=	Modulus penampang plastis terhadap sumbu x (mm^3)
Z_y	=	Modulus penampang plastis terhadap sumbu y (mm^3)
α	=	Faktor penyesuaian level gaya DFBT/DKI
β	=	Faktor reduksi panjang yang diberikan oleh Persamaan J2-1
λ	=	Rasio lebar terhadap tebal untuk elemen seperti didefinisikan dalam Pasal B4.1
λ_p	=	Batas parameter lebar terhadap tebal untuk elemen kompak
ϕ	=	Faktor ketahanan
ϕ_c	=	Faktor ketahanan untuk tekan
ϕ_v	=	Faktor ketahanan untuk geser



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa adalah pergeseran lapisan tanah di bawah permukaan bumi secara tiba-tiba. Setiap kali pergeseran ini terjadi, getaran yang dihasilkan disebut gelombang seismik. Gelombang-gelombang ini menyebar menjauh dari titik fokus getaran seismik ke segala arah di bumi. Pada saat gelombang tiba di permukaan bumi, getaran tersebut dapat merusak bangunan, runtuhnya gedung, rumah dan bangunan lainnya. Fenomena gempa ini sering terjadi di Indonesia. Sebagai negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik, Menyebabkan Indonesia menghadapi bahaya gempa yang cukup tinggi. Keempat lempeng tersebut adalah lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina. Hal ini menyebabkan sering terjadinya gerakan-gerakan tanah, baik sebagai gempa kecil dan gempa besar. (*Idham, 2014*)

Memperhatikan masalah-masalah yang berkaitan dengan gempa yaitu runtuhnya struktur dalam merancang suatu struktur merupakan hal yang penting untuk dilakukan, mengingat kerugian yang ditimbulkan oleh gempa dapat menimbulkan korban jiwa dan harta benda. Dalam skala yang lebih luas dapat menyebabkan kesulitan besar bagi suatu negara, misalnya terjadi kerugian finansial.

Ada beberapa cara yang bisa dilakukan oleh ahli struktur untuk mendisain struktur sehingga mampu menahan gaya lateral yang ditimbulkan akibat gempa salah satunya menambahkan pengaku lateral (*bracing*) pada elemen struktur portal.

Salah satu solusi yang digunakan untuk meningkatkan kinerja struktur bangunan untuk menahan gaya lateral yang ditimbulkan akibat gempa adalah dengan menambahkan pengaku (*bracing*) pada elemen struktur portal. Pengaku (*bracing*) yang diterapkan pada konstruksi baja ini bertujuan untuk memberikan kekakuan struktur sehingga dapat meminimalisir deformasi (goyangan) pada struktur yang ditimbulkan akibat gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam mendesain ulang struktur Gedung Hotel Golden Tulip Mataram menggunakan portal baja dan inverted-v barced ini terdapat permasalahan yang timbul yaitu bagaimana proses perencanaan struktur yang sesuai dengan spesifikasi desain struktur yang aman dan memenuhi persyaratan Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung. Sehingga penulis dapat merencanakan elemen struktur yang terdiri dari pelat lantai, balok, kolom, bracing dan pondasi yang sesuai dengan standar nasional Indonesia.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk mendesain ulang struktur Gedung Hotel Golden Tulip Mataram menggunakan portal baja dengan tambahan pengaku lateral *inverted-v braced* dan menganalisisnya menggunakan Spesifikasi Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung. Sehingga penulis dapat merencanakan elemen struktur yang terdiri dari pelat lantai, balok, kolom, *bracing* dan pondasi yang sesuai dengan standar nasional Indonesia.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih mengarah pada latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan maka diperlukan batasan-batasan masalah guna membatasi ruang lingkup penulisan sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur gedung hotel meliputi pelat lantai, balok, kolom, *bracing* dan pondasi.
2. Analisa struktur dan permodelan pembebanan menggunakan program *SAP2000 V.14*
3. Metode perhitungan menggunakan "*Load Resistance and Factor Design*" (LRFD)
4. Penggambaran komponen struktur menggunakan bantuan program *AutoCad2016*
5. Analisis perhitungan berdasarkan Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung (SNI 1729-2002 dan SNI 1729-2020).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Sebagai bahan masukan bagi dunia konstruksi khususnya pada bangunan yang menggunakan komponen struktur portal baja dengan tambahan pengaku lateral *bracing* (*inverted-v braced*).
2. Sebagai bahan pertimbangan jenis bracing yang akan digunakan dalam mendisain konstruksi sktruktur portal baja.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perencanaan struktur merupakan gabungan seni serta ilmu pengetahuan yang mengkombinasikan intuisi para pakar struktur dalam mendisain suatu struktur dengan pengetahuan dan prinsip-prinsip statika, dinamika, mekanika bahan serta analisa struktur, guna menciptakan struktur yang murah serta nyaman sepanjang masa layannya. (*Salmon dan Johnson, 1980*)

Menurut *Setiawan (2008)*, Salah satu tahapan dalam perencanaan struktur bangunan ialah pemilihan tipe material yang hendak digunakan. Jenis material yang saat ini diketahui dalam dunia konstruksi antara lain yakni baja, beton bertulang, dan kayu. Material baja sebagai bahan konstruksi sudah digunakan cukup lama mengingat beberapa manfaat dan keunggulannya jika dibandingkan dengan material lainnya.

Berdasarkan (*SNI 1729-2002*) ada tiga jenis konfigurasi sistem struktur portal baja tahan gempa yang memiliki karakteristik masing-masing, yaitu:

1. Sistem rangka pemikul momen (*moment resisting frames*)

Sistem struktur ini merupakan sistem dengan ruang yang luas pada suatu gedung. Sistem ini pula kerap digunakan pada struktur gedung institusi maupun perkantoran yang membutuhkan ruang yang luas. Pada sistem struktur MRF, sambungan antara balok-kolom wajib didesain dengan kokoh guna memberikan kekuatan pada balok serta mengurangi efek keruntuhan brittle pada sambungan balok-kolom. Dengan bentang balok yang lumayan lebar, sistem rangka pemikul momen ini mempunyai deformasi yang besar sehingga sistem ini mempunyai daktilitas yang lumayan besar jika dibandingkan dengan tipe portal baja tahan gempa yang lain. Dengan deformasi yang besar, sistem MRF mempunyai kekakuan yang rendah apabila dibandingkan dengan portal baja tahan gempa yang lain.

Portal baja ini sering disebut sebagai rangka momen. Dalam sistem struktur MRF, profil balok dihubungkan dengan kuat ke kolom dan menyerap gaya lateral yang diterapkan terutama oleh momen lentur dan

gaya geser dari komponen struktur rangka dan joint. Sistem struktur rangka penahan momen ini juga mampu menyerap energi dalam jumlah besar, tetapi memiliki kekakuan yang relatif rendah. Oleh karena itu, sistem struktur ini memiliki ukuran elemen struktur yang jauh lebih besar untuk mempertahankan deformasi strukturnya. Contoh gambar sistem rangka pemikul momen (*moment resisting frames*) dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 *Moment resisting frames*

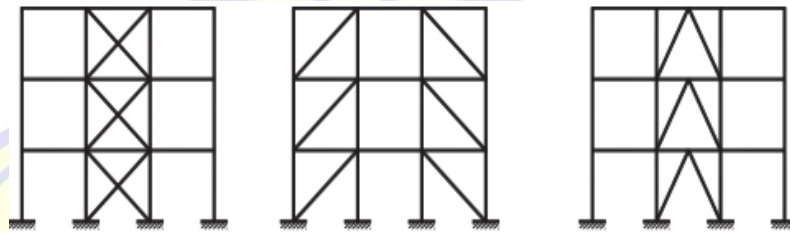
Sumber: *AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2016*

2. Sistem rangka bresing konsentrik (*concentrically braced frames*)

Berbeda dengan sistem portal MRF, struktur CBF adalah sistem statis yang dirancang untuk menyerap beban lateral dengan kekakuan struktural yang tinggi. Kekakuan yang tinggi dari struktur ini dihasilkan oleh *bracing* yang membantu menahan beban lateral struktur. Dalam struktur ini, komponen struktur *bracing* diharapkan mampu menunjukkan deformasi inelastis yang besar tanpa kehilangan kekuatan dan kekakuan struktur secara signifikan.

Untuk sistem SRBKB, diharapkan sistem ini dapat mengalami deformasi inelastis terbatas ketika dibebani dengan gaya-gaya yang dihasilkan dari beban seismik desain. Berbeda dengan SRBKB, sistem SRBKK diperkirakan akan mengalami deformasi inelastis yang cukup besar akibat dari gaya seismik desain. Sistem SRBKK mempunyai daktililitas yang tinggi jika dibandingkan dengan SRBKB dan penurunan daya SRBKK lebih kecil ketika terjadi tekuk pada elemen *bracing* tekan.

Karena keberadaan elemen bracing dalam struktur, sistem struktural CBF umumnya memiliki kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan struktur MRF. Namun, kekakuan besar dalam sistem CBF menyebabkan deformasi pada struktur menjadi lebih terbatas. Akibatnya daktilitas pada struktur CBF menjadi lebih rendah dari sistem struktural MRF. Contoh gambar sistem rangka bresing konsentrik (*concentrically braced frames*) dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 *Concentrically braced frames*

Sumber: *AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2016*

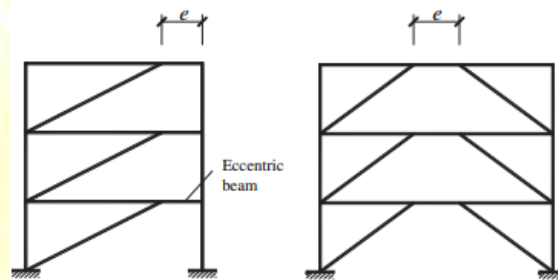
3. Sistem rangka bresing eksentrik (*eccentrically braced frame*)

Sistem Struktur EBF adalah struktur portal baja tahan gempa yang menggabungkan keunggulan struktur MRF dengan CBF dan meminimalisir kekurangan pada struktur MRF dan CBF. Struktur EBF memiliki kekakuan yang lebih tinggi, respons yang stabil terhadap reaksi periodik lateral, daktilitas yang lebih tinggi, dan kapasitas penyerapan energi yang lebih besar. Struktur EBF memiliki faktor penting yang mempengaruhi karakteristik EBF. Elemen ini adalah elemen batang pendek yang disebut juga dengan *link*.

Link adalah elemen struktural yang dirancang untuk berperilaku inelastis dan mampu mengalami deformasi plastis yang besar saat menerima beban lateral. Bagian *link* ini digunakan untuk menyerap energi dari beban lateral (gempa). Mekanisme leleh elemen penampang *link* terdiri dari dua mekanisme kelelahan yakni kelelahan geser dan kelelahan lentur. Tergantung pada panjang *link* yang digunakan.

Dalam sistem struktur EBF, kekakuan lateral merupakan fungsi dari panjang link dan panjang elemen balok. Jika panjang link yang digunakan lebih pendek, struktur portal menjadi kaku dan mendekati kekakuan struktur CBF, jika panjang link yang digunakan lebih panjang, kekakuan struktur portal EBF mendekati struktur moment resisting frames (MRF).

Pada struktur EBF, elemen struktur di luar link didesain untuk bergerak secara elastis, sedangkan bagian link didesain untuk mengalami deformasi inelastis akibat beban lateral (gempa bumi). Contoh gambar Sistem rangka bresing eksentrik (*eccentrically braced frame*) dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 *Eccentrically braced frame*

Sumber: *AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2016*

2.2 Pembebanan

Menurut *Setiawan (2008)*, beban adalah gaya yang bekerja pada struktur. Menentukan beban yang tepat selama umur struktur adalah salah satu tugas yang paling sulit. Meskipun beban yang bekerja pada suatu titik dalam struktur dapat diketahui, akan tetapi distribusi beban dari elemen ke elemen pada suatu struktur biasanya memerlukan asumsi dan pendekatan yang lebih teliti. Apabila beban-beban yang bekerja pada struktur telah diperkirakan, pertanyaan selanjutnya adalah menentukan kombinasi beban yang paling dominan bekerja pada struktur tersebut. Beberapa jenis beban yang paling umum adalah:

2.2.1 Beban mati

Beban mati adalah berat semua bagian tetap suatu gedung selama masa pemanfaatan struktur tersebut, termasuk elemen tambahan, perlengkapan, mesin,

dan peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut. Berikut adalah beberapa contoh berat sendiri komponen pada gedung dapat dilihat pada tabel 2-1

Tabel 2-1 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ²
Beton	2200 kg/m ²
Beton bertulang	2400 kg/m ²
Kayu (Kelas I)	1000 kg/m ²
Pasangan bata merah	1700 kg/m ²
Komponen Gedung	
Spasi dari semen, per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding bata merah ½ bata	250 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan batako:	
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983

2.2.2 Beban hidup

Beban hidup merupakan beban gravitasi yang diterapkan pada struktur selama masa pemanfaatannya yang timbul akibat penggunaan bangunan tersebut. Ada beberapa yang termasuk kedalam beban ini antara lain berat seseorang, perabotan yang dapat dipindahkan, kendaraan dan barang-barang lainnya. Beban atap atau atap bangunan, dan struktur atap yang dapat dipijak seseorang, harus diasumsikan paling sedikit 100 kg/m² pada permukaan datar. Adapun untuk beban hidup menurut kegunaannya dapat dilihat pada tabel 2-2

Tabel 2-2 Beban hidup pada lantai gedung

Fungsi Gedung	Berat
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	125 kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m ²
Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983

Pada *PBI 1971*, untuk beban terfaktor beban mati dan beban hidup dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6Q_L \quad (2-1)$$

dengan:

Q_U = Beban terfaktor

Q_D = Beban mati

Q_L = Beban hidup

2.3 Beban Gempa

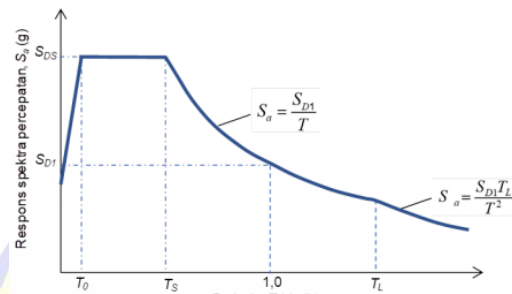
Pada *SNI 1726-2019*, dalam menentukan pengaruh desain seismik, harus mempertimbangkan segala bentuk perencanaan serta evaluasi struktur, non-struktur, dan berbagai bagian umum dari peralatan struktur tersebut. Gempa rencana juga didefinisikan sebagai gempa yang dapat melebihi magnitudonya selama 50 tahun umur pemanfaatan struktur, yaitu sebesar 2%.

2.3.1 Analisis beban dinamik *response spectrume*

Spektrum respons merupakan spektrum yang ditampilkan dalam bentuk grafis antara periode getaran suatu struktur yang menunjukkan respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon maksimum dapat berupa *Spectral displacement (SD)*, *Spectral velocity (SV)*, atau *Spectral acceleration (SA)* dari massa struktur.

Berdasarkan *SNI 1726-2019* Analisis perlu dilakukan untuk menentukan variasi modal struktur. Analisis harus mencakup jumlah varians yang cukup untuk mendapatkan jumlah kontribusi massa varians setidaknya 90% dari massa aktual di setiap arah.

Di sisi lain, parameter respons terdistribusi sesuai dengan *SNI 1726-2019*. Nilai setiap parameter desain terkait dengan gaya yang diperiksa, seperti simpangan tiap lantai, daya dukung tanah, dan gaya elemen struktural individu untuk setiap jenis respons. Contoh spektrum respons ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Spektrum respon desain

Sumber: SNI 1726-2019

2.3.2 Analisis beban gempa statik ekuivalen

Analisis statik pada dasarnya terdiri dari pergantian beban gempa dengan gaya statik ekuivalen. Hal ini bertujuan untuk meringankan dan mempermudah pada saat melakukan perhitungan. Metode ini, juga dikenal sebagai metode gaya lateral ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang bertujuan mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasarkan konstanta/ massa elemen tersebut.

Mendapatkan gaya geser yang disebabkan oleh beban seismik memerlukan beberapa parameter yang dapat dihitung secara matematis. Parameter yang digunakan dalam desain beban gempa untuk struktur.

2.3.3 Klasifikasi situs tanah

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu sesuai dengan klasifikasi kelas situs tanah.

2.3.4 Koefisien amplifikasi getaran

Koefisien amplifikasi seismik dengan periode 0,2 detik dan periode 1 detik diperlukan untuk menentukan respon spektral terhadap percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran untuk

percepatan getaran siklus pendek (F_a) dan faktor amplifikasi untuk percepatan getaran (F_v) siklus 1 detik. yang di dapatkan dari tabel 2-3 dan tabel 2-4 berikut:

Tabel 2-3 – Koefisien situs, F_a

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

Sumber: SNI 1726-2019 tabel 6

Tabel 2-4 – Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 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	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726-2019 tabel 7

CATATAN:

Untuk nilai-nilai antara S_s dan S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

S_s = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik

2.3.5 Parameter percepatan respon spectra

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, dapat dihitung dengan persamaan 2-2 dan persamaan 2-3 berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2-2)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2-3)$$

dengan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R periode pendek.

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R periode 1,0 detik.

2.3.6 Parameter percepatan respon desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, SDS dan pada periode 1 detik, SD1, dapat dihitung dengan persamaan 2-4 dan persamaan 2-5 berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-5)$$

dengan:

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

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

2.3.7 Periode fundamental

Nilai periode getar fundamental gedung yang didesain dapat dihitung dengan persamaan 2-6 dan persamaan 2-7.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-7)$$

2.3.8 Faktor keutamaan

Kategori risiko yang berbeda untuk struktur gedung dan non-gedung harus sesuai dengan Tabel 2-5. Dampak gempa yang direncanakan pada hal ini harus dikalikan dengan nilai faktor keutamaan gaya seismik (I_e) yaitu berdasarkan Tabel 2-6 di bawah ini.

Tabel 2-5 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/ mall • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	II

Sumber: SNI 1726-2019 Tabel 3

Tabel 2-6 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726-2019 Tabel 4

2.3.9 Kategori desain seismik

Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang ditentukan dari tabel 2-7 dan tabel 2-8 di bawah ini:

Tabel 2-7 Kategori desain seismik respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	C
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019 tabel 8

Tabel 2-8 Kategori desain seismik berdasarkan percepatan periode 1 detik

Nilai S_{DS}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 1,33$	B	B
$1,33 \leq S_{DS} < 0,20$	C	C
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019 tabel 8

2.3.10 Sistem penahan gaya seismik

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda dapat digunakan untuk menahan gaya gempa pada masing-masing arah dari dua sumbu ortogonal struktur. Jika menggunakan sistem yang berbeda, maka harus menerapkan nilai R, Cd, atau Ω_0 untuk setiap sistemnya, termasuk batasan sistem struktural yang ditunjukkan pada Tabel 2-9 di bawah ini:

Tabel 2-9 Faktor R, Cd, dan Ω_0 , untuk sistem pemikul gaya sismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Sistem rangka bangunan								
1 Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2 Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3 Rangka baja dengan bresing konsentris biasa								
4 Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
5 Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4 1/2	TB	TB	48	48	30
6 Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
7 Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2 1/2	5	TB	TB	48	48	30

Sumber: SNI 1726-2019 tabel 12

2.3.11 Periode Fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dapat dihitung menggunakan persamaan 2-8 berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-8)$$

dengan:

h_n = adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi

$C_{t,x}$ = ditentukan dari tabel 2-10

Tabel 2-10 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,80
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,80
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2019 tabel 18

2.3.12 Koefisien respon seismik

Koefisien respons seismik, C_s , dapat dihitung menggunakan persamaan 2-9 berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-9)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 2-10 tidak perlu melebihi persamaan 2-11 sampai 2-12 berikut ini:

Untuk $T < T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-10)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-11)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2-12)$$

2.3.13 Gaya geser dasar (V)

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan dapat dihitung menggunakan persamaan 2-13 berikut:

$$V = C_s W \quad (2-13)$$

dengan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat per lantai

2.3.14 Skala gaya

Jika periode dasar hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada arah tertentu, maka periode struktur T harus dipertimbangkan sebagai $C_u T_a$. Jika kombinasi respon gaya geser dasar hasil analisis varians (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung dengan metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dengan V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung menurut artikel ini dan V_t adalah gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis kombinasi varians.

2.3.15 Distribusi gaya gempa

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat dapat dihitung menggunakan persamaan 2-14 dan persamaan 2-15 berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad (2-14)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-15)$$

dengan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

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

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

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

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

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

2.4 Kombinasi Pembebanan

Untuk kombinasi pembebanan harus disesuaikan dengan SNI 1726-2019, dimana struktur pendukung dan elemen pondasi harus direncanakan sedemikian rupa agar kekuatan desainnya dapat lebih besar atau sama dengan pengaruh beban terfaktor kombinasi yang dapat dilihat pada persamaan 2-16 sampai dengan persamaan 2-22.

$$1,4D \quad (2-16)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2-17)$$

$$1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2-18)$$

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2-19)$$

$$0,9D + 1,0W \quad (2-20)$$

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(Ev, Eh)$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan yaitu:

$$6. \quad 1,2D + Ev + Eh + L \quad (2-21)$$

$$7. \quad 0,9D - Ev + Eh \quad (2-22)$$

dengan:

D = pengaruh beban mati

L = pengaruh beban hidup

Lr = pengaruh beban hidup diatap

R = beban air hujan

W = beban angin

E = beban gempa

Ev = pengaruh gaya seismik vertikal

Eh = pengaruh gaya seismik horizontal

2.5 Perencanaan Analisis Struktur

2.5.1 Metode load resistance and factor design (Lrfd)

LRFD merupakan metode desain struktur baja yang membangun suatu desain dengan membandingkan kekuatan struktur yang diberikan koefisien drag (ϕ) dengan kombinasi beban terfaktor yang direncanakan untuk bekerja pada struktur tersebut ($\sum \gamma_i Q_i$).

a) Kondisi batas

Kondisi batas menunjukkan bahwa struktur tersebut dapat digunakan. Kriteria desain harus dipastikan memiliki kemungkinan yang lebih kecil untuk melebihi kondisi batas dengan memilih kombinasi gaya, koefisien *drag*, dan nilai resistansi yang tidak mungkin dilampaui berdasarkan kriteria desain yang ada. Ada dua jenis kondisi batas struktur yang berlaku, yaitu:

1. Kondisi *ultimate strength*, yang menetapkan besarnya keamanan terhadap kondisi beban ekstrim selama masa pakai struktur
2. Kondisi batas layan yang menetapkan batasan-batasan agar struktur dapat berfungsi sesuai yang direncanakan

Fokus desain struktur LRFD adalah pada batas kekuatan (*limit states of strength*) untuk menjamin keselamatan masyarakat umum. Untuk bisa menerapkan kondisi batas pada desain struktural, terdapat peraturan dalam LRFD yang pada terdiri dari parameter berikut:

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (2-23)$$

dengan:

- \sum = adalah penjumlahan
 i = menunjukkan berbagai kondisi yang ditinjau
 Q_i = pengaruh beban nominal
 γ_i = faktor beban terkait beban Q_i yang ditinjau
 $\gamma_i Q_i$ = kuat perlu, dari kondisi batas yang paling ekstrim
 R_n = kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan
 ϕ = faktor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau
 ϕR_n = kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

b) Ketentuan LRFD – SNI 03-1729-2020 (mengacu pada aisc 2010)

Desain LRFD dianggap memenuhi persyaratan apabila kekuatan perlu (R_u) lebih kecil dari kekuatan desain (ϕR_n). Dimana ϕ adalah koefisien hambatan yang nilainya tergantung pada perilaku komponen yang diuji. Konsep dasar pada peraturan LRFD adalah sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2-24)$$

Intensitas kuat perlu (R_u) yang diperlukan adalah nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan statis. Analisis struktur (*global*) yang komprehensif yang digunakan untuk menemukan kuat perlu (R_u) yang diperlukan pada setiap elemen struktur. Faktor beban kombinasi yang disiapkan untuk perhitungan elastis. Jika analisis dilengkapi dengan opsi untuk mempertimbangkan efek $P-\Delta$, maka penentuan analisis stabilitas dapat menggunakan metode analisis langsung (DAM) atau bisa juga dengan cara menggunakan metode panjang efektif (ELM).

Hasil analisis struktur secara menyeluruh (*global*) untuk R_u selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi elemen-per-elemen dan dibandingkan dengan kuat rencana, ϕR_u yang ditinjau per-elemen juga, sesuai dengan gaya internal yang terjadi. Tinjauan per-elemen diperlukan karena karakter untuk setiap aksi dan perilaku keruntuhannya bisa berbeda-beda.

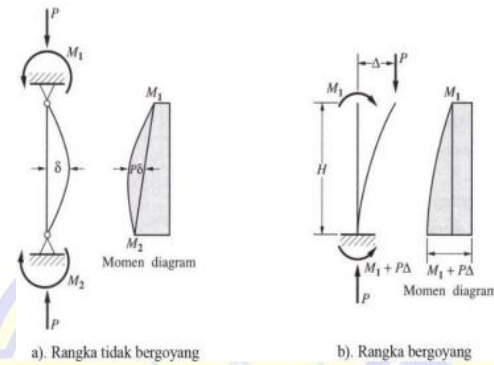
2.5.2 Perancangan stabilitas – SNI 1729-2020

Perancangan stabilitas struktur adalah kombinasi analisis untuk menentukan kuat perlu penampang dan mendesain agar punya kekuatan dan kekakuan yang mencukupi. Cara untuk menghitung stabilitas struktur dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Metode analisis langsung (*direct analysis method*)
2. Metode panjang efektif (*effective length method*)
3. Metode analisis orde pertama

Cara *Direct Analysis Method* (DAM) dibuat untuk mengatasi keterbatasan *Effective Length Method* (ELM) yang merupakan strategi penyederhanaan analisis cara manual. Pada cara DAM, pengaruh orde ke-2 ($P-\Delta$ & $P-\delta$) perlu diperhitungkan dalam mencari gaya-gaya internal batang. $P-\Delta$ adalah pengaruh pembebanan akibat

terjadinya perpindahan titik-titik nodal elemen, sedangkan $P-\delta$ adalah pengaruh pembebanan akibat deformasi di elemen, seperti yang terlihat pada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Momen yang dipengaruhi efek P-delta

Sumber: Dewobroto, 2014

Perhitungan stabilitas struktur modern berdasarkan anggapan bahwa perhitungan gaya-gaya batang diperoleh dari analisa elastis orde-2, yang memenuhi kondisi keseimbangan setelah pembebanan, yaitu setelah deformasi. Ketidak sempurnaan atau cacat dari elemen struktur seperti ketidaklurusan batang akibat proses fabrikasi atau konsekuensi adanya toleransi pelaksanaan lapangan, akan menghasilkan apa yang disebut efek *destabilizing*.

Adanya cacat bawaan yang mengakibatkan efek *destabilizing* dalam *Direct Analysis Method* (DAM) dapat diselesaikan dengan dua cara, yaitu (1) cara pemodelan langsung cacat pada geometri model yang dianalisis, atau (2) memberikan beban notional (beban lateral ekuivalen).

Efek ketidaksempurnaan awal pada stabilitas struktur diperhitungkan melalui pemberian beban imajinatif (*notional load*) sebagai representasi dari ketidaksempurnaan tersebut. Distribusi beban disalurkan sebagai beban lateral pada semua tingkat, sebagai tambahan dari beban lateral yang ada dan ditambahkan pada semua kombinasi pembebanan. Beban notional harus digunakan pada arah yang memberi efek destabilisasi terbesar. Besarnya beban notional dapat dihitung sebagai berikut.

$$N_i = 0,002Y_i \quad (2-25)$$

dengan:

N_i = beban notional di level i

Y_i = beban gravitasi di level i hasil beban kombinasi LRFD

2.6 Perencanaan Struktur Komposit Pelat Lantai

2.6.1 Sifat-sifat mekanis beton bertulang

Nilai modulus elastisitas beton, baja tulangan dan tendon di tentukan sebagai berikut:

- 1) Untuk nilai W_c di antara 1500 Kg/m^3 dan 2500 Kg/m^3 , nilai modulus elastisitas beton E_c dapat dihitung berdasarkan pada persamaan 2-26.

$$(W_c)^{1.5} 0,043 \sqrt{f'c} \text{ dalam Mpa} \quad (2-26)$$

Untuk beton normal E_c dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-27.

$$(4700) \sqrt{f'c} \quad (2-27)$$

- 2) Modulus elastisitas untuk tulangan non prategang E_s boleh diambil sebesar 200000 Mpa
- 3) Modulus untuk tendon prategang E_s , ditentukan melalui pengujian atau dari data pabrik.

2.6.2 Batasan desain pelat satu arah

- 1) Desain dilakukan dengan menggunakan asumsi lebar 1 meter.
- 2) Untuk pelat solid nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 2-11 berikut:

Tabel 2-11 Ketebalan minimum pelat solid satu arah non-prategang

Kondisi tumpuan	$h^{[1]}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

Sumber: SNI 2847-2019 tabel 7.3.1.1

- 3) Untuk pelat non-prategang yang tidak memenuhi ketebalan pelat minimum dan untuk pelat prategang, lendutan sesaat dan jangka panjang harus dihitung sesuai pasal 24.2 dan tidak boleh melebihi batas pada tabel 2-12 berikut:

Tabel 2-12 Perhitungan lendutan izin maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstructural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat Lr dan R maksimum	$l/20$
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$l/24$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstructural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstructural, yaitu, jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	$l/28$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$l/10$

Sumber: SNI 2847-2019 tabel 24.2.2

- 4) Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.
- 5) Tulangan susut harus dipasang tegak lurus arah tulangan lentur untuk pelat satu arah berdasarkan pasal 24.4.3 dan pasal 24.4.4 pada SNI 2847-2019. Rasio luasan tulangan ulir susut terhadap luas penampang beton bruto harus memenuhi batasan dalam Tabel 2-13 berikut:

Tabel 2-13 $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang

Tipe tulangan	f_y , Mpa	$A_{s, min}$	
Batang ulir	< 420	$0,0020A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari :	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$
			$0,0014A_g$

Sumber: SNI 2847-2019 tabel 7.6.1.1

- 6) Spasi maksimum s untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450 mm (Sumber: SNI 2847 - 2019, pasal 7.7.2.3)

- 7) Tebal pelat lantai, dihitung menggunakan persamaan 2-28, dan persamaan 2-29. (Sumber: SNI 2847-2019 tabel 8.3.1.2)

$$h = \frac{\text{Ln}\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + \beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (2-28)$$

$$h = \frac{\text{Ln}\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2-29)$$

harga sebagai berikut:

untuk $\alpha_m < 2,0$ digunakan nilai h minimal 120mm (pelat dua arah)

untuk $\alpha_m \geq 2,0$ digunakan nilai h minimal 90mm (pelat satu arah)

dengan:

l_n = Panjang bentang bersih dalam arah momen yang ditinjau, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)

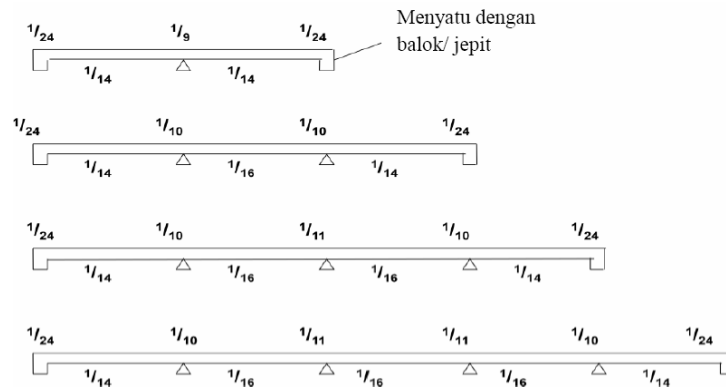
α_m = Rasio kekuatan balok terhadap pelat

β = Rasio panjang terhadap lebar pelat

- 8) Menghitung momen rencana (M_u)

Sebagai alternatif untuk analisa rangka, momen dan geser pendekatan yang diizinkan untuk perancangan balok dan pelat satu arah menerus, dapat dilihat pada gambar 2.6 dan pelat yang ditulangi untuk menahan tegangan lentur hanya satu arah, asalkan (a) sampai dengan (e) dipenuhi:

- a. Terdapat dua bentang atau lebih;
- b. Bentang – bentangnya mendekati sama, dengan bentang yang lebih besar dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih besar dari bentang yang lebih pendek dengan lebih dari 20 persen;
- c. Beban distribusi menara;
- d. Beban hidup teraktor, L tidak melebihi tiga kali beban mati tak berfaktor, D dan;
- e. Komponen struktur adalah prismatic.



Gambar 2.6 Pendekatan momen

Sumber: Vis, 1993 dan Kusuma, 1975

Menghitung momen yang terjadi menggunakan persamaan 2-30 berikut:

$$M = x \cdot qu \cdot lx^2 \cdot x \quad (2-30)$$

dengan:

M = momen (tumpuan atau lapangan), kNm

qu = beban terbagi rata yang berkerja pada pelat, $\text{kN/m}^2 \cdot x$
 bentang arah x (bentang sisi pelat yang pendek), $m \times x$

9) Perencanaan terhadap geser harus di dasarkan pada persamaan 2-31 sampai dengan persamaan 2-33.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-31)$$

$$V_u = 0,5 \times Q_u \times L_n \quad (2-32)$$

$$\phi V_n = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times 1000 \times \phi_{\text{geser}} \quad (2-33)$$

dengan:

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang di tinjau

ϕV_n = Kuat geser nominal

10) Menentukan tinggi efektif (d), dihitung dengan persamaan 2-34 dan persamaan 2-35.

$$ds = Pb + \frac{1}{2} D \quad (2-34)$$

$$d = h - ds \quad (2-35)$$

dengan:

d_s = Jarak dari serat tarik terluar ke pusat tulangan tarik

d = Jarak yang diukur dari serat terluar hingga titik berat tulangan tarik

P_b = tebal selimut beton

11) Menghitung rasio tulangan (ρ), dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-36 sampai dengan persamaan 2-41

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2-36)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \quad (2-37)$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times y \times \epsilon_{cu}}{\beta} \quad (2-38)$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2-39)$$

$$\rho_{\text{Maks}} = \frac{\epsilon_{cu} \times \epsilon_y}{\epsilon_y \times \epsilon_t} \times \rho_{\text{balance}} \quad (2-40)$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \quad (2-41)$$

dengan:

f_y = Kuat leleh yang di syatkan

$\sqrt{f'_c}$ = Nilai akar dari kuat tekan beton yang di syatkan, Mpa

β = 0,85 untuk $f'_c \leq 30$ Mpa

ϵ_{cu} = Regangan beton

12) Menghitung tinggi beton kekang (a), ditentukan pada persamaan 2-42 sampai dengan persamaan 2-45.

$$M_n = [0,85 \times f'_c \times a \times b] \times [d - a/2] \quad (2-42)$$

Untuk mendapatkan nilai a :

$$a_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2-43)$$

$$a_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2-44)$$

$$a_1 > H \text{ pelat} \quad (2-45)$$

13) Menghitung tinggi garis netral (x), didasarkan pada persamaan 2-46

$$X = \frac{a}{\beta} \quad (2-46)$$

dengan:

- a = Tinggi beton kekang
 $\beta = 0,85$ untuk $f'c \leq 30$ Mpa

14) Regangan leleh baja (ϵ_s), dihitung dengan persamaan 2-47.

$$\epsilon_s = \frac{[\epsilon_c \times (d-x)]}{\beta} \quad (2-47)$$

dengan:

- d = Jarak yang diukur dari serat terluar hingga titik berat tulangan tarik
 ϵ_c = tegangan beton
x = tinggi garis netral
 $\beta = 0,85$ untuk $f'c \leq 30$ Mpa

15) Menghitung Luas tulangan pokok, didasarkan pada persamaan 2-48.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d \quad (2-48)$$

dengan:

- b = tegangan beton
 ρ = tinggi garis netral
 $d = 0,85$ untuk $f'c \leq 30$ Mpa

16) Jarak tulangan, dihitung dengan persamaan 2-49 dan persamaan 2-50.

$$A_d = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2-49)$$

$$s = \frac{A_d \times 1000}{A_s} \quad (2-50)$$

17) Kontrol jarak tulangan, dihitung dengan persamaan 2-51 dan persamaan 2-52.

$$A_s \text{ pakai} = \frac{A_d \times 1000}{s} \quad (2-51)$$

$$S < 3h \quad (2-52)$$

18) Luas tulangan susut (A_s susut) dihitung dengan persamaan 2-53 sampai dengan persamaan 2-55.

Tulangan bagi/ tulangan susut

$$\text{Untuk } f_y \leq 300 \text{ MPa, maka } A_{s \text{ susut}} \geq 0,0020 \times b \times h \quad (2-53)$$

$$\text{Untuk } f_y = 400 \text{ MPa, maka } A_{s \text{ susut}} \geq 0,0018 \times b \times h \quad (2-54)$$

$$\text{Untuk } f_y \geq 400 \text{ MPa, maka } A_{s \text{ susut}} \geq 0,0018 \times b \times h \times (400/f_y) \quad (2-55)$$

19) Jarak Tulangn pokok, dihitung dengan persamaan 2-56 sampai 2-59.

$$Ad = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2-56)$$

$$s = \frac{Ad \times 1000}{As} \quad (2-57)$$

$$As \text{ pakai} = \frac{As \times 1000}{s} \quad (2-58)$$

$$As \text{ susut} = 0,002 \times b \times h \quad (2-59)$$

20) Perhitungan pelat lantai bondek

Bondek digunakan sebagai tulangan positif satu arah seperti yang sudah ditentukan pada *Union Floor Deck W-1000*. Untuk analisa perhitungan pelat lantai bondek, dengan menggunakan rumus dari *steel Deck Institute 2011*, dapat dilihat pada persamaan 2-60 sampai dengan persamaan 2-66 berikut:

$$d = h - \frac{1}{2} \times \text{tinggi gelombang} \quad (2-60)$$

$$hc = h - \text{tinggi gelombang} \quad (2-61)$$

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{Es}{0,043 \times Wc^{1,5} \times \sqrt{f'c}} \quad (2-62)$$

$$\rho = \frac{As}{b \times d} \quad (2-63)$$

Maka didapat:

$$Y_{cc} = d \sqrt{(2 \rho n + (\rho n)^2) - \rho n} \quad (2-64)$$

$$= Y_{cc} < hc$$

$$Y_{cs} = d - Y_{cc} \quad (2-65)$$

$$I_c = \frac{b}{3 \times h} \times Y_{cc}^3 + As \times Y_{cs}^2 + I_{sf} \quad (2-66)$$

21) Menghitung *Flexural Strength*

$$M_y = \frac{f_y \times I_c}{h - Y_{cc}} \quad (2-67)$$

$$M_{ru} = \phi \times M_y \quad (2-68)$$

2.7 Perencanaan Batang Tarik

Material baja mempunyai kemampuan sama dalam memikul gaya tarik atau gaya tekan. Mutu bahannya juga relatif tinggi, sehingga dimensi struktur cenderung langsing. Untuk struktur seperti itu, pemakaian material baja hanya efisien untuk

batang tarik. Pada batang tekan kapasitasnya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), suatu permasalahan stabilitas yang dipengaruhi konfigurasi geometri (struktur dan penampang), dan tidak hanya materialnya saja.

2.7.1 Batas kelangsingan

Karena mutu material baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhitungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Batang tarik secara teoritis tidak mengalami tekuk, oleh karena itu batang tarik tidak dibatasi kelangsingannya, hanya disarankan $L/r \leq 300$. Saran didasarkan pengalaman praktis segi ekonomis, kemudahan pembuatan, dan resiko rusak yang kecil selama konstruksi. Selain itu, elemen yang sangat langsing biasanya cenderung bergoyang atau bergetar, dan itu membuat tidak nyaman bagi penghuninya. Saran tidak berlaku jika batang tariknya merupakan struktur penggantung (*hanger*) atau jika memakai penampang pejal (*rod*).

2.7.2 Kuat tarik nominal

Kuat tarik rencana $\phi_t P_n$, dengan ϕ_t sebagai faktor ketahanan tarik dan P_n sebagai kuat aksi nominal, adalah nilai terkecil dari dua tinjauan batas keruntuhan yang terjadi pada penampang utuh dan penampang berlubang (tempat sambungan). Kuat tarik penampang utuh terhadap keruntuhan leleh (*yield*) dihitung menggunakan persamaan 2-69.

$$P_n = F_y * A_g \quad (2-69)$$

dengan:

$$\phi_t = 0,9 \text{ terhadap keruntuhan leleh}$$

$$A_g = \text{luas penampang bruto (gross)}$$

Kuat tarik penampang berlubang (ditempat sambungan) akan memanfaatkan perilaku *strain-hardening* (peningkatan tegangan) pada kondisi regangan inelastis yang dipicu oleh lonjakan tegangan terkonsentrasi di sekitar lubang.

$$P_n = F_u \times A_e = F_u \times A_n \times U \quad (2-70)$$

dengan:

$\phi_t = 0,75$ terhadap keruntuhan fraktur

A_n = luas penampang bersih (netto), dikurangi lubang

A_e = luas penampang efektif

U = faktor *shear lag*

Nilai F_y dan F_u tergantung dari mutu material, yaitu kuat leleh dan kuat tarik minimum (kuat batas) dari bahannya. Keruntuhan leleh (*yield*) tingkat daktilitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor ketahanan tarik (ϕ_t) antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

2.8 Perencanaan Batang Tekan

Batang tekan ditujukan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial saja. Namun pada umumnya, terdapat eksentrisitas oleh ketidaklurusan batang, atau oleh ketidaktepatan pembebanan, juga kekangan dari tumpuannya yang menimbulkan momen.

2.8.1 Perencanaan akibat gaya tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan didasarkan pada persamaan 2-71.

$$N_u \leq \phi N_n \quad (2-71)$$

dengan:

ϕ = adalah faktor reduksi kekuatan (lihat Tabel 2.19)

N_n = adalah kuat tekan nominal komponen struktur

2.8.2 Perbandingan kelangsingan

- kelangsingan elemen penampang (lihat Tabel 2.20) $< \lambda_r$
- kelangsingan komponen struktur tekan,

$$\lambda = \frac{L_k}{r} < 200 \quad (2-72)$$

Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r yang ditentukan dalam Tabel 2.20 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

2.8.3 Gaya tekuk elastic

Gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) dihitung menggunakan persamaan 2-73.

$$N_{cr} = \frac{A F_y}{\lambda_c^2} 200 \quad (2-73)$$

dengan parameter kelangsingan kolom (λ_c), dihitung dengan persamaan (2-74)

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \frac{K L}{r_y} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (2-74)$$

dengan $L_k = k c L$ dan f_y adalah tegangan leleh material. Dalam hal ini $k c$ adalah faktor panjang tekuk, dan L adalah panjang teoritis kolom

2.8.4 Daya dukung nominal komponen struktur tekan

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil daripada nilai λ_r pada Tabel 2.20, daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung menggunakan persamaan 2-75 sampai persamaan 2-79. (Sumber: SNI 1729–2002 pasal 7.6.2)

$$N_n = A_g F_{cr} = A_g \frac{F_y}{\omega} \quad (2-75)$$

$$F_{cr} = \frac{F_y}{\omega} \quad (2-76)$$

$$\text{Untuk } \lambda_c \leq 0,25 \text{ maka } \omega = 1 \quad (2-77)$$

$$\text{Untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \text{ maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad (2-78)$$

$$\text{Untuk } \lambda_c \geq 1,2 \text{ maka } \omega = 1,25\lambda_c^2 \quad (2-79)$$

dengan:

$$A_g = \text{luas penampang bruto, mm}^2$$

2.8.5 Momen untuk komponen struktur tak-bergoyang

Untuk komponen struktur tak-bergoyang tanpa gaya aksial atau komponen struktur tak-bergoyang dengan gaya aksial tarik, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung menggunakan persamaan 2-80. (Sumber: SNI 1729–2002 pasal 7.4.3.1)

$$M_u = M_{ntu} \quad (2-80)$$

dengan:

M_{ntu} = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan.

Untuk komponen struktur tak-bergoyang dengan gaya aksial tekan terfaktor (N_u) yang berasal dari analisis orde pertama, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung menggunakan persamaan 2-81.

$$M_u = \delta_b M_{ntu} \quad (2-81)$$

dengan:

δ_b = faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur tak-bergoyang dan dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-82.

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{cr}}\right)} \geq 1 \quad (2-82)$$

dengan:

N_u = gaya aksial tekan terfaktor dan N_{cr} adalah beban kritis elastis, ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.1, untuk komponen struktur tak-bergoyang

Untuk komponen struktur tak-bergoyang tanpa beban transversal, faktor C_m dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-83.

$$C_m = 0,6 - 0,4\beta_m \leq 1,0 \quad (2-83)$$

dengan:

β_m = perbandingan momen terkecil dan terbesar yang bekerja di ujung-ujung komponen struktur, diambil positif bila komponen struktur terlentur dengan kelengkungan yang berbalik tanda dan negatif untuk kasus sebaliknya

Untuk komponen struktur tak-bergoyang dengan beban transversal:

$C_m = 1$ untuk komponen struktur dengan ujung-ujung sederhana,

$C_m = 0,85$ untuk komponen struktur dengan ujung-ujung kaku.

2.8.6 Momen untuk komponen struktur bergoyang

Untuk komponen struktur bergoyang, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung menggunakan metode pada butir ini. (Sumber: SNI 1729–2002 pasal 7.4.3.2)

Dalam butir ini, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-84.

$$M_u = \delta_b M_{ntu} + \delta_s M_{ltu} \quad (2-84)$$

dengan:

M_{ltu} = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan

δ_s = faktor amplifikasi momen yang ditetapkan berdasarkan pada persamaan 2-85 dan persamaan 2-86.

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum Nu \left(\frac{\Delta_{oh}}{HL} \right)} \quad (2-85)$$

$$\text{atau } \delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sum Nu}{\sum N_{crs}} \right)} \quad (2-86)$$

dengan:

$\sum Nu$ = jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang ditinjau

N_{crs} = ketentuan pada Butir 7.6.1 untuk kasus komponen struktur bergoyang

Δ_{oh} = simpangan antar lantai pada tingkat yang sedang ditinjau, mm

$\sum h$ = jumlah gaya horizontal yang menghasilkan Δ_{oh} pada tingkat yang ditinjau

L = tinggi tingkat

2.8.7 Persamaan interaksi aksial-momen

Dalam segala hal, salah satu dari dua persamaan interaksi aksial-momen berikut ini harus dipenuhi oleh setiap komponen struktur prismatic simetris ganda dan simetris tunggal, didasarkan pada persamaan 2-87 dan persamaan 2-88. (Sumber: SNI 1729–2002 pasal 7.4.3.3)

$$\text{Bila } \frac{Nu}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ maka } \frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2-87)$$

$$\text{Bila } \frac{Nu}{\phi N_n} < 0,2 \text{ maka } \frac{Nu}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2-88)$$

dengan:

N_u = gaya aksial terfaktor, N

N_n = kuat nominal penampang komponen struktur yang ditetapkan sesuai dengan pasal 2.10.4 untuk komponen struktur tekan

ϕ = faktor reduksi kekuatan

$\phi = \phi_c$ = untuk komponen struktur tekan = 0,85

$\phi = \phi_t$ = untuk komponen struktur tarik = 0,9

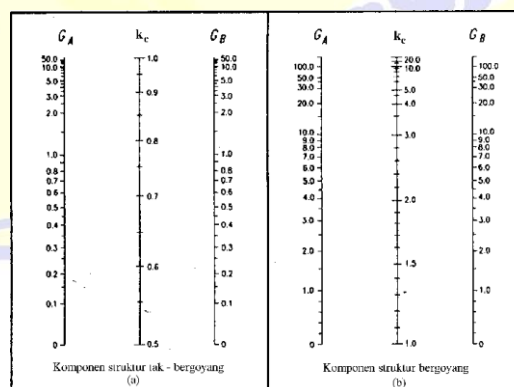
- ϕ_b = factor reduksi kekuatan untuk komponen struktur lentur = 0,90
 M_{nx}, M_{ny} = momen lentur nominal penampang komponen struktur terhadap sumbu x dan sumbu y sesuai dengan pasal 2.9.4 dan 2.9.9, Nmm
 M_{ux}, M_{uy} = momen lentur terfaktor terhadap sumbu x dan sumbu y termasuk pengaruh orde kedua, N-mm

Nilai faktor panjang tekuk (k_c), yang digunakan untuk komponen struktur dengan ujung ideal dapat dilihat pada gambar 2.7, dan untuk nilai factor panjang tekuk tergantung pada kekangan rotasi dan translasi pada ujung komponen struktur dapat dilihat pada gambar 2.8.

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai λ_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai λ_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung	Jepit Sendi Roll tanpa putaran sudut Ujung bebas					

Gambar 2.7 Nilai k_c untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal

Sumber: SNI 1729-2002, gambar 7.6-1



Gambar 2.8 Nilai k_c untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal

Sumber: SNI 1729-2002, gambar 7.6-2

- (a) Nilai k_c untuk komponen struktur tak bergoyang, dan
 (b) untuk komponen struktur bergoyang.

2.9 Perencanaan Batang portal (Balok-Kolom)

Interaksi momen lentur dan gaya aksial pada penampang simetri ganda atau simetri tunggal dengan $0,1 \leq I_{yc} / I_y \leq 0,9$ yang momennya dapat dipaksa melentur pada sumbu simetrinya, harus memenuhi persamaan H1-1a dan H1-1b (AISC 2010). Adapun I_{yc} adalah momen inersia sayap dengan tegangan desak terhadap sumbu y atau sumbu lemahnya. Persamaan interaksinya pada persamaan 2-89 dan persamaan 2-90. (Dewobroto, 2016)

(a) Jika $\frac{Pr}{Pc} \geq 0,2$

Maka: (2-89)

$$Pc + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + Mcy \right) \leq 1,0$$

(b) Jika $\frac{Pr}{Pc} < 0,2$

Maka: (2-90)

$$\frac{Pr}{2P} \pm \left(\frac{Mrx}{Mc} + Mcy \right) \leq 1,0$$

dengan:

$Pr = Pu$ = kuat aksial perlu elemen struktur, hasil analisa struktur rangka secara menyeluruh (*global*)

$Pc - \phi Pn$ = kuat rencana elemen struktur

$Mr = Mu$ = kuat lentur perlu elemen, hasil analisis struktur yang telah memperhitungkan efek ke-2 atau efek P- Δ pada rangka secara menyeluruh (*global*)

$Mc - \phi Mn$ = kuat rencana elemen struktur sebagai balok lentur

x = subskrip simbol untuk momen lentur terhadap sumbu kuat penampang

y = subskrip simbol untuk momen lentur terhadap sumbu lemah penampang

Direct Analysis Method (DAM) sebagai cara utama dalam analisis stabilitas rangka baja memerlukan program komputer analisis struktur elastis non-linier, dengan efek P- Δ . Jika hanya tersedia analisis struktur elastis linier, yang umum, maka cara metode panjang *Effective Length Method* (ELM) dapat dipilih.

Adapun struktur yang terdiri lebih dari satu elemen, berarti harus dievaluasi terhadap kondisi global, maka selama masih bisa didekati dengan faktor $K=1$, maka dengan dua cara tersebut tidak akan berbeda. Secara umum cara alternatif ELM dapat dipilih jika besarnya rasio drift orde ke-2 terhadap drift orde ke-1 adalah $\leq 1,5$, jika tidak dipenuhi maka cara DAM harus dipilih (AISC 2005). Rasio drift dapat diwakili oleh nilai $B2$. (Dewobroto, 2016)

a) Faktor pembesaran momen

Faktor pembesaran momen adalah cara manual untuk memasukkan efek $P-\Delta$ atau orde ke-2 (terdiri dari $P-\Delta$ dan $P-\delta$) terhadap hasil analisis elastis linier struktur dengan beban terfaktor pada batang portal. Ketentuan tentang hal itu ada di *Chapter C (AISC 2005)* atau di *Appendix 8 (AISC 2010)* pada persamaan 2-83 dan persamaan 2-84. (Dewobroto, 2016)

$$M_r = B1 M_{nt} + B2 M_{lt} \quad (2-91)$$

$$P_r = P_{nt} + B2 P_{lt} \quad (2-92)$$

dengan:

$M_r = M_u$ = Momen lentur perlu elemen, memperhitungkan efek orde ke-2 atau efek $P-\Delta$ pada rangka secara menyeluruh (*global*)

$B1$ = faktor pengali untuk memperhitungkan efek $P-\delta$, terhadap momen pada elemen struktur yang tidak bergoyang, dan hanya diterapkan untuk elemen dengan beban tekan saja

M_{nt} = momen lentur perlu elemen, hasil analisis struktur elastis linier (*global*) untuk elemen struktur yang titik nodalnya tidak berpindahan (atau rangka tidak bergoyang)

$B2$ = faktor pengali untuk memperhitungkan efek $P-\Delta$, terhadap momen pada elemen struktur yang titik nodalnya mengalami perpindahan (bergoyang)

M_{lt} = momen lentur perlu hasil analisis elastis linier elemen struktur yang titik nodalnya berpindah (bergoyang)

$P_r - P_u$ = gaya aksial perlu yang telah memperhitungkan efek orde ke-2 atau efek P- Δ pada rangka secara menyeluruh (*global*)

P_{nt} = gaya aksial perlu hasil analisis struktur elastis linier (*global*) untuk elemen struktur yang titik nodalnya tidak berpindahan (atau rangka tidak bergoyang)

P_{lt} = kuat aksial perlu elemen, hasil analisis struktur elastis linier (*global*) untuk elemen struktur yang titik nodalnya mengalami perpindahan lateral (atau rangka bergoyang)

b) Faktor B1 untuk P- δ

Faktor B1 adalah faktor pengali untuk pembesaran momen untuk mengantisipasi terjadinya efek P- δ atau efek orde ke-2 pada momen langsing, seperti pada persamaan 2-93. (Dewobroto, 2016)

$$B1 = \frac{C_m}{1 - a \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \quad (2-93)$$

dengan:

$a = 1,0$ = jika digunakan ketentuan DFBK

C_m = koefisien untuk elemen yang tidak bergoyang. Ada dua kondisi, jika hanya ada momen pada ujung - ujung elemennya, maka :

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M1}{M2} \quad (2-94)$$

M1 adalah momen absolut terkecil, sedangkan M2 adalah momen absolut terbesar.

P_e = Kapasitas tekuk kritis batang pada arah lentur yang ditinjau didasarkan pada perhitungan tanpa terjadi translasi pada titik nodal elemen strukturnya

$$P_{e1} = \frac{I^* \pi^2}{(Kl L)^2} \quad (2-95)$$

EI^* = EI tanpa reduksi kekuatan

Kl = 1,0 faktor untuk panjang tekuk arah yang ditinjau

L = panjang tekuk arah yang ditinjau

c) Faktor B2 untuk P-Δ

Faktor B2 adalah faktor pengali pada pembesaran momen untuk mengantisipasi terjadinya efek P-Δ atau efek orde ke-2 pada struktur portal atau sistem rangka bergoyang, pada persamaan 2-96 sampai dengan persamaan 2-98. (Dewobroto, 2016)

$$B2 = \frac{1}{1 - a \frac{P_{story}}{P_{e story}}} \geq 1 \quad (2-96)$$

$$P_{e story} = \frac{RM}{\Delta H} \quad (2-97)$$

$$R_M = 1 - 0,15 \left(\frac{P_{mf}}{P_{story}} \right) \quad (2-98)$$

dengan:

a = 1,0 untuk DFBK karena sudah kondisi batas (ultimate)

P_{story} = Total beban vertikal yang didukung pada tingkat tersebut berdasarkan ketentuan beban DFBK, yang terjadi termasuk beban pada kolom yang tidak termasuk pada sistem struktur penahan lateral, (N)

$P_{e story}$ = Kuat tekuk kritis elastis pada tingkat dalam arah perpindahan yang ditinjau

(N) P_{mf} = Beban vertikal total pada kolom pada tingkat yang merupakan bagian rangka momen (portal), jika pada arah translasi yang ditinjau (=0 untuk sistem rangka tidak bergoyang), (N)

L = Tinggi tingkat (mm)

H = Gaya geser tingkat, arah translasi yang ditinjau, hasil dari gaya lateral sewaktu menghitung ΔH , (N)

ΔH = Drift antar tingkat hasil analisa elastis linier-linie, pada arah ditinjau akibat beban lateral (mm/mm)

RM = faktor untuk memperhitungkan efek P-δ pada portal bergoyang, nilai RM 0,85 sebagai batas bawah untuk tingkat dengan sistem rangka momen, dan $R_m=1,0$ untuk tingkat yang tidak ada rangka momenya

2.9.1 Batasan momen

Momen leleh M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan $f_y S$ dan S adalah modulus penampang elastis yang ditentukan menurut pasal 2.9.4(a) - (c). (Sumber: SNI 1729-2002, pasal 8.2.1)

- a) Kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari $f_y Z$ atau $1,5 M_y$, dan Z adalah modulus penampang plastis yang ditentukan dalam pasal 2.9.4 (a) - (c);
- b) Momen batas tekuk M_r diambil sama dengan $S \times (f_y \times f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa;
- c) Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, dan arah/sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima. Untuk sifat mekanis baja dapat dilihat pada tabel 2-14.

Tabel 2-14 Sifat mekanis baja structural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (Mpa)	Tegangan leleh minimum, f_y (Mpa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: SNI 1729 - 2002 tabel 5.3

2.9.2 Batas lendutan

Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan-layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam tabel 2-15, dan untuk faktor reduksi dapat dilihat pada tabel 2-16.

Tabel 2-15 Batas lendutan maksimum¹

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

Sumber: SNI 1729 - 2002 table 6.4-1

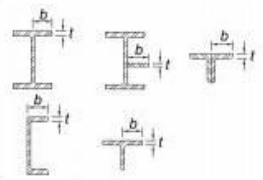
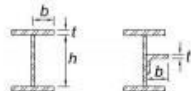
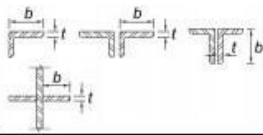



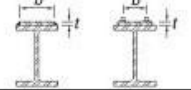


Tabel 2-16 Faktor reduksi (ϕ) untuk keadaan kekuatan batas

Kuat rencana	Faktor reduksi
Komponen struktur yang memikul lentur: <ul style="list-style-type: none"> balok, balok pelat ber dinding penuh, pelat badan yang memikul geser, pelat badan pada tumpuan, pengaku 	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial: <ul style="list-style-type: none"> kuat penampang, kuat komponen struktur 	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya Tarik aksial: <ul style="list-style-type: none"> terhadap kuat tarik leleh terhadap kuat tarik fraktur 	0,90 0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi: <ul style="list-style-type: none"> kuat lentur atau geser, kuat tarik kuat tekan 	0,90 0,85
Sambungan baut: <ul style="list-style-type: none"> baut yang memikul geser, baut yang memikul Tarik, baut yang memikul kombinasi geser dan Tarik, lapis yang memikul tumpu 	0,75
Sambungan las: <ul style="list-style-type: none"> las tumpul penetrasi penuh las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian, las pengisi 	0,90 0,75

Sumber: SNI 1729 – 2002 table 6.4-2

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen nonlangsing atau penampang elemen-langsing. Untuk profil elemen nonlangsing, rasio tebal-terhadaplebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λ_r . Jika rasio tersebut melebihi λ_r , disebut penampang dengan elemen-langsing. Seperti yang dapat dilihat pada tabel 2-17 berikut:

Tabel 2-17 Rasio Tebal-terhadap-Lebar : Elemen Tekan
Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial

Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap T ebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal, λ , (nonlangsing /langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1 Sayap Profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2 Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$ [a]	
	3 Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4 Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elemen diperkaku	5 Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6 Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7 Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8 Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9 PSR bulat	D/t	$0,11 \frac{E}{F_y}$	

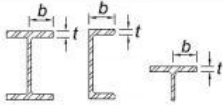
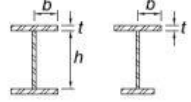
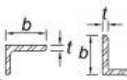
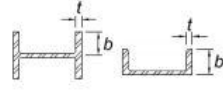

[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.

Sumber: SNI 1729-2020 tabel B4.1a

Untuk kondisi lentur, penampang diklasifikasikan sebagai penampang kompak, non-kompak atau penampang elemen-langsing. Untuk penampang kompak, sayap-sayapnya harus menyatu dengan bagian badan dan rasio tebal-terhadap-lebar dari elemen tekannya tidak boleh melebihi batas dari λ_p . Jika rasio tebal-terhadap-lebar dari satu atau lebih elemen tekan melebihi λ_p tetapi tidak boleh melebihi λ_r , penampang disebut non-kompak. Jika rasio tebal-terhadap-lebar dari

setiap elemen tekan melebihi λ_r , disebut penampang dengan elemen-langsing. Seperti yang dapat dilihat pada tabel 2-18 berikut:

Tabel 2-18 Rasio Tebal-terhadap-Lebar : Elemen Tekan
Komponen Struktur Menahan Lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal		Contoh
				λ_p (kompak/ nonkompak)	λ_r (nonkompak/ langsing)	
Elemen tidak diperkaku	10	Sayap profil I gilas panas, kanal, dan T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Sayap profil tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
	12	Kaki siku tunggal	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Badan T	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Sumber: SNI 1729-2020 tabel B4.1b

2.9.3 Penampang kompak

Untuk penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$ kuat lentur nominal penampang dihitung menggunakan persamaan 2-99.

$$M_n = M_p \quad (2-99)$$

2.9.4 Penampang tak – kompak

Untuk penampang yang memenuhi $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ kuat lentur nominal penampang dihitung menggunakan persamaan 2-100.

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (2-100)$$

2.9.5 Analisis plastis

Suatu komponen struktur yang dianalisa dengan metode plastis harus memenuhi syarat berikut:

- a) Berpenampang kompak
- b) Memenuhi $L \sim L_p$
- c) Memenuhi syarat berikut:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (2-101)$$

dengan:

M_u = adalah momen lentur rencana

M_n = adalah kuat lentur nominal penampang

2.9.6 Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral

2.9.6.1 Batasan momen

- a) Untuk pelat badan yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$ kuat lentur nominal penampang
- b) Batasan M_y , M_p , dan M_r ;
- c) Momen kritis M_{cr} ditentukan dalam Tabel 2-19;
- d) Faktor pengali momen C_b ditentukan oleh persamaan 2-102.

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + M_a + 4M_b + 3M_c} \quad (2-102)$$

dengan M_{max} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau serta M_A , M_B , dan M_C adalah masing-masing momen pada 1/4 bentang, tengah bentang, dan 3/4 bentang komponen struktur yang ditinjau.

Tabel 2-19 Momen kritis untuk tekuk lateral

Profil	M_{cr}
Profil-I dan kanal ganda	$C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w}$
Profil kotak pejal atau berongga	$2C_b E \frac{\sqrt{J A}}{L/r_y}$

Sumber: SNI 1729-2002 tabel 8.3-1

2.9.6.2 Pengekang lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, L . Batas-batas bentang pengekang lateral ditentukan dalam Tabel 2-20

2.9.6.3 Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur didasarkan pada persamaan 2-103.

$$M_n = M_p \quad (2-103)$$

Tabel 2-20 Bentang untuk pengekang lateral

Profil	L_p	L_r
Profil-I dan kanal ganda	$1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah	$r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$ dengan $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = 4 \left(\frac{S}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ I_w adalah konstanta puntir lengkung J adalah konstanta puntir torsi
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

Sumber: SNI 1729-2002 tabel 8.3-2

2.9.6.4 Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur didasarkan pada persamaan 2-104.

$$M_n = C_b(M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p}) \leq M_p \quad (2-104)$$

2.9.6.5 Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_r \leq L$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur didasarkan pada persamaan 2-105.

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (2-105)$$

2.9.6.6 Definisi panel pelat badan

Panel pelat badan dengan tebal (t_w) harus dianggap mencakup luas pelat yang tidak diperkaku dengan ukuran dalam arah memanjang, a , dan ukuran dalam arah tinggi balok, h . Batas-batas pelat badan adalah pelat sayap, pengaku memanjang, pengaku vertikal, atau tepi bebas. (Sumber: SNI 1729–2002 pasal 8.6.2)

2.9.7 Kuat geser

Pelat badan yang memikul gaya geser perlu (V_u) harus memenuhi persamaan 2-106.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2-106)$$

dengan:

ϕ = adalah faktor reduksi = 0,9

V_n = adalah kuat geser nominal pelat badan berdasarkan butir

2.9.8 Kuat geser nominal

Kuat geser nominal (V_n) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan oleh persamaan 2-107 sampai dengan persamaan 2-108.

a) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \frac{\sqrt{K_n E}}{F_y} \quad (2-107)$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\frac{a^2}{h}} \quad (2-108)$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti ditentukan dalam pasal 2.9.12

b) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,10 \frac{\sqrt{K_n E}}{F_y} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \frac{\sqrt{K_n E}}{F_y} \quad (2-109)$$

c) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,37 \frac{\sqrt{K_n E}}{F_y} \leq \frac{h}{t_w} \quad (2-110)$$

2.9.9 Metode interaksi geser dan lentur

Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka selain memenuhi Butir 2.9.11 dan 2.9.9, balok harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu didasarkan pada persamaan 2-111.

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \quad (2-111)$$

dengan:

V_n = adalah kuat geser nominal pelat badan akibat geser saja

M_n = adalah kuat lentur nominal balok

2.10 Sambungan

2.10.1 Sambungan baut mutu tinggi

a) Kuat tumpu

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-104, dan persamaan 2-112.

$$R_d = \phi R_n (\phi (2,4 \times F_{up} \times d_b \times t_p)) \quad (2-112)$$

Kuat tumpu yang didapat dari perhitungan di atas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku pada persamaan 2-113. Untuk kuat nominal baut disyaratkan pada tabel 2-21, dan prategang baut minimum disyaratkan pada tabel 2-22.

$$R_d = \phi R_n (\phi (2,0 \times F_{up} \times d_b \times t_p)) \quad (2-113)$$

dengan:

ϕ = 0,75 adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

d_b = adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p = adalah tebal pelat

F_u = adalah tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

Tabel 2-21 Kuat nominal baut dan batang berulir

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} , ksi (Mpa)	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, F_{nv} , ksi (MPa)
Baut A307	45 (310)	27 (186)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90 (620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut di luar bidang geser	150 (1.040)	113 (779)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir di luar bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

Sumber: Tabel J3.2 SNI 1729-2020

Tabel 2-22 Prategang baut minimum, kN

Ukuran baut, mm	Kelompok A (Misal, Baut A325M)	Kelompok B (Misal, Baut A490M)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

Sumber: Tabel J3.1M SNI 1729-2020

b) Ukuran lubang

Diameter nominal dari suatu lubang yang sudah jadi, harus 2 mm lebih besar dari diameter nominal baut untuk suatu baut yang diameternya tidak melebihi 24 mm, dan maksimum 3 mm lebih besar.

(Sumber: SNI 1729-2002 pasal 17.3.6)

c) Baut dalam geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-114.

$$\phi R_n = (\phi(0.5 \times F_{ub} \times m \times A_b)) \quad (2-114)$$

dengan:

r_1 = 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

r_1 = 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

ϕ = 0,75 adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

F_{ub} = adalah tegangan tarik putus baut

A_b = adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

m = adalah jumlah bidang geser

Kuat geser nominal baut yang mempunyai beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah kekuatan masing-masing yang dihitung untuk setiap bidang geser. (sumber SNI 1729-2002, 13.2.2.1)

d) Baut yang memikul gaya Tarik

Kuat tarik rencana satu baut dihitung dengan persamaan 2-115.

$$T_d = \phi T_n = (\phi(0.75 * F_{ub} * A_b)) \quad (2-115)$$

dengan:

ϕ = 0,75 adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

F_{ub} = adalah tegangan tarik putus baut

A_b = adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

e) Perhitungan jumlah baut, dihitung berdasarkan pada persamaan 2-116

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} \quad (2-116)$$

dengan:

n = adalah jumlah baut

V_u = adalah gaya geser

ϕR_n = adalah tahanan tumpu pada bagian web dari balok

(sumber: Struktur baja metode LRFD, Agus stiawan.2008. 13.1)

2.10.2 Tata letak baut

a) Spasi minimum

Jarak as ke as antara lubang standar, ukuran berlebih, atau slot tidak boleh kurang dari $2^{2/3}$ kali diameter nominal, d , pengencang. Namun, jarak bersih antara lubang baut atau slot tidak boleh kurang dari d .

b) Jarak tepi minimum

Jarak dari pusat lubang standar ke tepi bagian yang disambung dalam arah manapun tidak boleh kurang dari nilai yang berlaku dari Tabel J3.4 atau seperti disyaratkan dalam Pasal J3.10. Jarak dari pusat lubang ukuran berlebih atau slot ke tepi dari suatu bagian yang disambung harus tidak kurang dari yang disyaratkan untuk lubang standar ke tepi bagian yang disambung ditambah peningkatan C2 yang berlaku, dari Tabel 2-23 berikut:

Tabel 2-23 Jarak Tepi Minimum

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	$1,25d$

Sumber: Tabel J3.4 SNI 1729-2020

c) Spasi Maksimum dan Jarak Tepi

Jarak maksimum dari pusat setiap baut ke tepi terdekat pada bagian-bagian yang saling kontak harus 12 kali tebal bagian tersambung yang sedang ditinjau, tetapi tidak boleh melebihi 6 in. (150 mm). Untuk komponen struktur yang dicat atau komponen struktur yang tidak dicat yang tidak

mengalami korosi, spasi tersebut tidak boleh melebihi 24 kali tebal bagian tertipis atau 12 in. (300 mm)

2.10.3 Perhitungan siku penyambung atas dan bawah

Untuk jarak baut terhadap flens bawah balok, dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2-117.

$$d = \frac{M}{n \cdot T} \quad (2-117)$$

dengan:

M = gaya momen

T = tahanan nominal baut dalam Tarik

n = jumlah baut

d = jarak baut

Jarak baut terhadap flens atas balok dihitung menggunakan persamaan 2-118 berikut:

$$\frac{1}{2} \times (d - h) \quad (2-118)$$

dengan:

a = Jarak baut terhadap flens atas bawah balok t siku dan r siku, dapat dilihat pada gambar 2.9

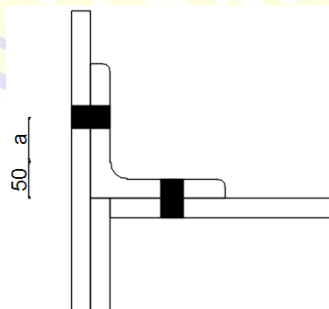
h = Tinggi penampang profil balok

d = Jarak baut terhadap siku

r siku = Radius profil siku

t siku = Tebal profil siku

(Sumber: Struktur baja metode LRFD, pasal 13.4, Setiawan, 2008)



Gambar 2.9 Jarak dan jarak baut terhadap *flens* atas balok

Sumber: Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2008

Gaya yang bekerja pada profil siku dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-119 berikut:

$$T = \frac{M}{d} \quad (2-119)$$

Dengan:

M = gaya momen

T = tahanan nominal baut dalam Tarik

d = jarak baut

Gaya ini menimbulkan momen pada profil siku sebesar (Nmm), dihitung menggunakan persamaan 2-120 berikut:

$$M = 0,5 * T * a \quad (2-120)$$

Dengan:

a = jarak baut terhadap siku

Kapasitas nominal penampang persegi dapat dihitung menggunakan persamaan 2-121 dan persamaan 2-123 berikut:

$$\phi Mn = 0,9 \times \left(\frac{b \times d^2}{4} \right) \times fy \quad (2-121)$$

Sehingga diperoleh nilai : (2-122)

$$b = \frac{4 \times \phi Mn}{0,9 \times fy \times d^2} \quad (2-123)$$

Dengan:

ϕMn = gaya momen

d = diameter baut

b = panjang profil siku (mm)

fy = tegangan leleh baja (Mpa)

(Sumber: Struktur baja metode LRFD, pasal 13.4, Setiawan, 2008)

2.10.4 Perhitungan jumlah baut pada sambungan

- a) Perhitungan jumlah baut pada sambungan *flens* balok, Baut penyambung adalah baut dengan satu bidang geser, sehingga dihitung menggunakan persamaan 2-124 berikut:

$$n = \frac{Vu}{Rn} \quad (2-124)$$

- b) Perhitungan jumlah baut pada sambungan *web* kolom tahanan baut ditentukan oleh tahanan dua bidang, sehingga dihitung menggunakan persamaan 2-125 berikut:

$$n = \frac{V_u}{R_n} \quad (2-125)$$

- c) Perhitungan jumlah baut pada Sambungan *web* balok dengan *flens* kolom
Baut yang menghubungkan balok dengan *flens* kolom adalah sambungan dengan satu bidang geser, dihitung menggunakan persamaan 2-126 berikut:

$$n = \frac{V_u}{R_n} \quad (2-126)$$

Dengan:

V_u = gaya geser

R_n = tahanan nominal baut

n = jumlah baut

(Sumber: Struktur baja metode LRFD, pasal 13.4, Setiawan, 2008)

2.10.5 Sambungan las *fillet*

Ketentuan spesifikasi untuk perencanaan sambungan las *fillet* diatur dalam SNI 1729-2020 pada tabel J2.4 antara lain:

Tabel 2-24 Ukuran Minimum Las filet

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las filet, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

Sumber: Tabel J2.4 SNI 1729-2020

2.10.5.1 Luas efektif

Luas efektif las filet adalah panjang efektif dikalikan dengan tenggorok efektif. Tenggorok efektif las filet merupakan jarak terpendek dari akar ke muka las diagramatik. Suatu peningkatan pada tenggorok efektif diizinkan jika penetrasi konsisten di luar akar tersebut pada las diagramatik dibuktikan melalui pengujian dengan menggunakan proses produksi dan variabel prosedur.

Untuk las filet dalam lubang dan slot, panjang efektif harus sebesar panjang sumbu las di seluruh pusat bidang yang melalui tenggorok. Pada kasus las filet yang *overlap*, luas efektif tidak boleh melebihi luas penampang nominal lubang atau slot, pada bidang permukaan faying, dapat dihitung menggunakan persamaan 2-127

$$A_{we} = L_{weff} \times t_e \quad (2-127)$$

2.10.5.2 Batasan

Las filet harus memenuhi batasan berikut ini:

- Ukuran minimum las filet harus tidak kurang dari ukuran yang diperlukan untuk menyalurkan gaya yang dihitung, atau ukuran seperti yang tertera dalam Tabel 2-24 diatas
- Ukuran maksimum las filet pada bagian-bagian yang tersambung harus:
 - 1) Sepanjang tepi material dengan tebal kurang dari 1/4 in. (6 mm); tidak lebih besar dari tebal material.
 - 2) Sepanjang tepi material dengan tebal 1/4 in. (6 mm) atau lebih; tidak lebih besar dari tebal material dikurangi 1/16 in. (2 mm), kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh tebal tenggorok penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 1/16 in. (2 mm), asalkan ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.
 - 3) Kontrol sambungan las yang dihitung menggunakan persamaan 2-128

$$R_u \leq \phi R_{nw} \quad (2-128)$$

dengan:

R_u = Beban terfaktor las

R_{nw} = Tahanan nominal per satuan panjang las

ϕ = Faktor reduksi (0,75)

- 4) Tegangan nominal las dapat dihitung menggunakan persamaan 2-129

$$\phi R_{nw} = \phi \times t_e \times 0,6 f_{uw} \quad (2-129)$$

- 5) Kekuatan desain Las dapat dihitung menggunakan persamaan 2-130

$$P_{nw} = F_{nw} \times A_{we} \quad (2-130)$$

- Panjang minimum las filet yang didesain berdasarkan kekuatan tidak boleh kurang dari empat kali ukuran las nominal, jika tidak ukuran las harus

diperhitungkan tidak melebihi seperempat dari panjangnya, dapat dihitung menggunakan persamaan 2-131

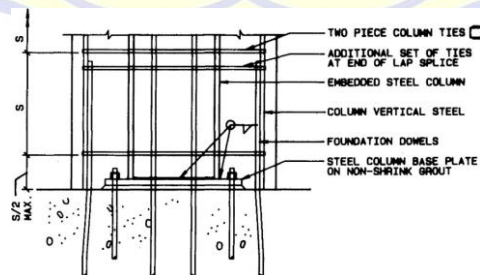
$$L_{wmin} = 4 \times a \quad (2-131)$$

- Panjang efektif las filet harus ditentukan sebagai berikut:
 - 1) Untuk las filet yang dibebani di ujung dengan panjang hingga 100 kali ukuran las, diperbolehkan untuk mengambil panjang efektif sama dengan panjang aktual.
 - 2) Apabila panjang las filet yang dibebani ujungnya hingga 100 kali ukuran las, panjang efektif harus ditentukan dengan mengalikan panjang aktual dengan faktor reduksi, β , yang dihitung menggunakan persamaan 2-132

$$\beta = L_w \times \left(1,2 - 0,002 \times \frac{L_w}{a} \right) \quad (2-132)$$
 - 3) Apabila panjang las melebihi 300 kali ukuran kaki, w , panjang efektif harus diambil sebesar $180w$.

2.10.6 Sambungan pelat dasar (*base plate*)

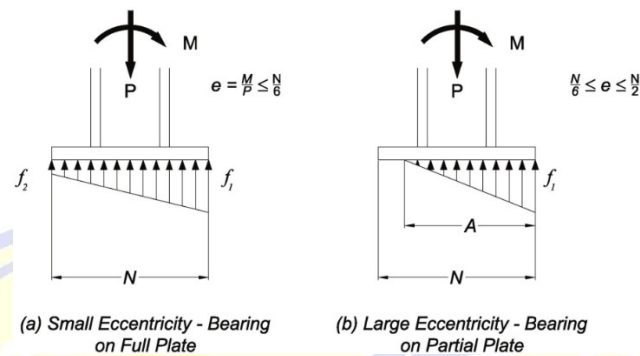
Base plate biasanya terdiri dari pelat landasan serta baut angkur. Ada pula pelat landasan terhubung ke kolom baja dengan las. Supaya terjalin kontak menyeluruh antara pelat landasan serta struktur beton pondasi, diberi jarak serta diisikan semen grout jenis tidak menyusut (*non shrink grout*). Secara teoritis dapat saja baut angkur tidak dibutuhkan, namun dalam penerapan wajib dipasang. Minimum 2 buah, guna antisipasi momen tidak terduga sepanjang masa konstruksi. Peranan baut angkur dapat buat *leveling* serta yang tentu merupakan buat menahan geser, bisa dilihat pada foto 2.10. (



Gambar 2.10 Pelat dasar (*Base Plate*) kolom baja

Sumber: *Load Resistance Factor Design of W-Shapes Encased in Concrete Design Guide*, 1992

Didalam perencanaan *Base plate* wajib diperhitungkan bermacam aspek yang bisa pengaruhi kekuatan dan ukuran pelat landasan antara lain eksentrisitas beban, tegangan tumpu nominal beton, panjang bidang tekan beton serta lain sebagainya. Berikut ini merupakan diagram gaya yang terjalin pada pelat landasan, bisa dilihat pada foto 2.11, serta buat tekan konsentris dilihat pada foto 2.12 berikut:



Gambar 2.11 Distribusi Tegangan segitiga akibat eksentrisitas kecil

Sumber: *AISC Design Guide 1 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006

2.10.6.1 Kuat tumpu beton

- a) Untuk luas beton tumpuan luas pelat landasan, maka:

$$P_p = 0,85 f'c A_1 \quad (2-133)$$

Atau dalam format tegangan tumpu nominal maka

$$(\text{maks}) = 0,85 f'c \quad (2-134)$$

- b) Untuk luas beton tumpuan > luas pelat landasan yang besarnya merata pada semua sisi,

$$P_p = 0,85 f'c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 f'c A_1 \quad (2-135)$$

$$(\text{maks}) = 0,85 f'c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (2-136)$$

dengan:

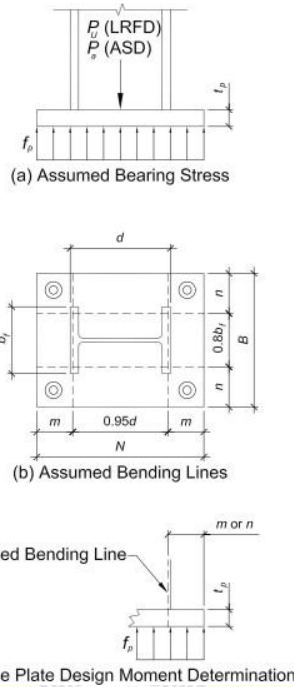
$f'c$ = Kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa

A_1 = Luas beton yang dibebani gaya tekan konsentris, mm^2

A_2 = Luas permukaan beton landasan mm^2

(Sumber: *AISC Design Guide 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006)

2.10.6.2 Tekan konsentris



Gambar 2.12 Desain *Base-plate* dengan beban tekan

Sumber: *AISC Design Guide 1 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006

Jika *base-plate* bertumpu langsung pada permukaan beton pondasi, maka dimensi pelat landasan (BxN) harus dipilih agar beton dibawahnya tidak rusak, dengan memenuhi ketentuan dalam persamaan 2-137.

$$\frac{P_u}{B N} \leq (\text{maks}) \quad (2-137)$$

(Sumber: *AISC Design Guide 1 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006)

2.10.6.3 Tegangan beton segitiga untuk momen kecil tanpa angkur

Dalam analisa tegangan beton terdapat eksentrisitas yang dibagi menjadi dua kondisi:

- a) Eksentrisitas kecil

$$e = \frac{M_u}{P_u} \leq \frac{N}{6} \quad (2-138)$$

$$f_1 = \frac{P_u}{B N} \left(1 + \frac{6e}{N} \right) \quad (2-139)$$

- b) Eksentrisitas menengah

$$\frac{N}{6} \leq e = \frac{M_u}{P_u} \leq \frac{N}{2} \quad (2-140)$$

$$f_1 = \frac{2P_u}{B N} = \frac{2P_u}{3\left(\frac{N}{2} - e\right)B} \quad (2-141)$$

(Sumber: *AISC Design Guide 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006)

2.10.6.4 Menghitung m dan n (kantilever ujung Pelat)

Berdasarkan persamaan 2-142 dan persamaan 2-143.

$$m = \frac{(N - 0,95 \times d)}{2} \quad (2-142)$$

$$n = \frac{(B - 0,8 \times b_f)}{2} \quad (2-143)$$

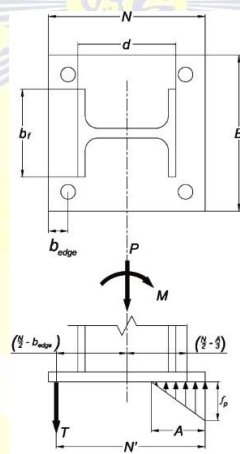
dengan:

m = Jarak tepi kolom memanjang ketepi *base plate*

n = Jarak tepi kolom melintang ketepi *base plate*

2.10.6.5 Momen besar dengan angkur

Apabila eksentrisitas nilai P_u besar, maka *base plate* bisa terguling buat menghindarinya wajib dipasang baut angkur buat menahan gaya Tarik sebesar T_u akibat momen guling. Dimensi pelat landasan dihitung sedemikian hingga tegangan tekan beton, f_p tidak melebihi tegangan tumpu nominal, bisa dilihat pada foto 2.13.



Gambar 2.13 Distribusi tegangan segitiga akibat eksentrisitas besar

Sumber: *AISC Design Guide 1 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006

Nilai $A < N'$, jika tidak memenuhi maka ukuran pelat landasan tidak mencukupi. Gaya Tarik baut angkur dan momen pelat berdasarkan pada persamaan 2-144 dan persamaan 2-147.

$$T_u = \frac{1}{2} f_u A B - P_u \quad (2-144)$$

$$M_{pl} = \left(\frac{1}{2} * F(\text{maks } m, n)^2\right) + \left(\frac{1}{3} * F_2(\text{maks } m, n)^2\right) \quad (2-145)$$

a) Tebal pelat minimum

$$t_p \geq \sqrt{\frac{M_{pl}}{\phi f_y}} \quad (2-146)$$

b) Menghitung panjang angkur baut minimum

$$L_{min} = \frac{f_y}{4 * d * \sqrt{f_{cr}}} \quad (2-147)$$

Panjang angkur baut minimum harus di control terhadap panjang desain angkur baut L_h yaitu $L_{min} < L_h$

(Sumber: *AISC Design Guide 2nd Edition Base Plate and Rod Design*, 2006)

Pada pasal 21.7.5 SNI 2847-2013 tentang penyaluran batang tulangan pada keadaan Tarik, panjang penyaluran L_{dh} tidak boleh $< 8d_b$, buat batang tulangan \emptyset -10 hingga D-36, panjang penyaluran dalam keadaan Tarik buat batang tulangan lurus tidak boleh kurang dari,

- 1) 2,5 kali (8db) bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat di bawah batang tulangan tidak melebihi 300 mm;
- 2) 3,25 kali (8db) bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat di bawah batang tulangan melebihi 300 mm

2.11 Pondasi

Pondasi adalah bagian dari struktur bawah gedung yang kekuatannya ditentukan oleh kekuatan tanah yang mendukungnya, seperti fondasi telapak, rakit, tiang pancang dan tiang bor. (SNI 1726-2002).

Menurut *Pradoto (1997)*, Pondasi merupakan suatu konstruksi pada bagian bawah struktur bangunan (*substructure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur bangunan (*upper structure*) menuju ke lapisan tanah dibawahnya, tanpa mengakibatkan keruntuhan geser dan penurunan (*settlement*) tanah pada podasi secara berlebihan.

2.11.1 Pondasi *bored pile*

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi tiang juga digunakan untuk mendukung

bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan bertingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin dan gempa. (Hardiyatmo, 2010).

Menurut Sardjono (1991) pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk pondasi bangunan dimana tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk menopang berat bangunan dan bebannya, atau tanah kerasnya terdapat sangat dalam.

Kapasitas kuat dukung *bored pile* dari hasil *standard penetration test* (*N-SPT*) menurut Reese and O'neil (1989)

- a) Tahanan ujung ultimit dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-148.

$$Q_b = A_b \times f_b \quad (2-148)$$

O'Neil dan Reese (1989) dari merekomendasikan tahanan ujung tiang bor pada penurunan 5% dari diameter dasar tiang pada pasir:

$$f_b = 0,60 \sigma_r N_{60} \leq 4500 \text{ kPa} \quad (2-149)$$

dengan:

A_b = Luas dasar tiang bor (m^2)

f_b = Tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)

N_{60} = Nilai N-SPT rata-rata antara ujung bawah tiang bor sampai $2d_b$ di bawahnya, tidak perlu dikoreksi terhadap overburden

d_b = Diameter ujung bawah tiang bor (m)

σ_r = Tegangan referensi = 100 kPa

- b) Kapasitas ultimit Netto (Q_u) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-150.

$$Q_u = \frac{Q_b + Q_s}{S_F} - W \quad (2-150)$$

dengan:

Q_u = Daya dukung ultimit (kN)

Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = Tahanan ujung gesek (kN)

S_F = *Safety Factor* (2,5-3,0)

W = Berat *borepile* (kN)

- c) Tahanan gesek ultimit dapat dihitung dengan Persamaan 2-151

$$Q_s = \sum(A_s \times K_d \times T g \delta \times P_o) \quad (2-151)$$

d) Jumlah tiang yang dibutuhkan dapat dihitung dengan Persamaan 2-152.

$$n_p = \frac{\sum V}{Q_u} \quad (2-152)$$

dengan:

$\sum V$ = Total beban vertikal

Q_u = Kapasitas ultimit Netto

e) Efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uniform Building Code AASHTO* dapat dihitung dengan Persamaan 2-153

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \quad (2-153)$$

f) Beban maksimum setiap tiang pada kelompok tiang dapat dihitung dengan Persamaan 2-154

$$P_{\max} = \frac{V}{n_p} \pm \frac{M_y \times x_i}{n_y \times \sum x^2} \pm \frac{M_x \times y_i}{n_x \times \sum y^2} \leq P_a \quad (2-154)$$

dengan:

V = jumlah gaya vertikal (kN)

n_p = jumlah tiang dalam kelompok

M_y = momen terhadap sumbu-y (kNm)

M_x = momen terhadap sumbu-x (kNm)

x_i = jarak searah sumbu x dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor i (m)

y_i = jarak searah sumbu y dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor i (m)

n_x = banyak tiang dalam 1 baris arah sumbu-x terjauh

n_y = banyak tiang dalam 1 baris arah sumbu-y terjauh

$\sum x^2$ = jumlah kwadrat dari jarak tiap-tiap tiang ke pusat kelompok tiang (m^2)

$\sum y^2$ = jumlah kwadrat dari jarak tiap-tiap tiang ke pusat kelompok tiang (m^2)

2.11.2 *Poer (Pile cap)*

Menurut Pamungkas dan Harianti (2013) *pile cap* berfungsi untuk mengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang.

Pile cap biasanya terbuat dari beton bertulang. Perencanaan *pile cap* dilakukan dengan anggapan sebagai berikut:

1. *Pile cap* sangat kaku
2. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*. Karena itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh *pile cap* ke tiang.
3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata

Berikut adalah beberapa model *pile cap* yang dapat dilihat pada gambar berikut ini:

2.11.2.1 Kontrol gaya geser

- Geser satu arah

Pada SNI 2847-2019, perhitungan kontrol gaya geser satu arah tiang *pile cap* dipilih nilai terkecil yang memenuhi persyaratan $\phi V_c > V_u$ yang ditunjukkan dalam persamaan 2-155 dan persamaan 2-156.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b \cdot d \quad (2-155)$$

$$V_c = \sqrt{f'_c} b \cdot d \quad (2-156)$$

Dengan:

b = lebar pondasi

d = tebal efektif pondasi

= h – selimut beton

h = tebal pondasi

V_c = Gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan

- Kontrol gaya geser dua arah (geser pons)

Berdasarkan SNI 2847-2019, perhitungan geser pons bertujuan untuk mengenali apakah tebal *pile cap* lumayan kokoh untuk menahan beban terpusat, gaya geser pons itu sendiri bisa dilihat pada foto 2.14. Bidang kritis untuk perhitungan geser pons bisa dikira tegak lurus bidang pelat yang terletak pada jarak $0,5d$ dari keliling beban respon terpusat tersebut, dimana d merupakan besar efektif pelat. Untuk mengendalikan geser pons pada *pile cap* bisa memakai Persamaan 2-157 sampai Persamaan 2-159.

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{2\sqrt{f'_c} b \cdot d}{6} \quad (2-157)$$

$$V_c = \left(2 + \frac{\alpha_s \times d}{b_o}\right) \times \frac{1}{12} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \quad (2-158)$$

$\alpha_s = 40$ untuk kolom dalam

$\alpha_s = 30$ untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$ untuk kolom sudut

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b \cdot d \quad (2-159)$$

dengan:

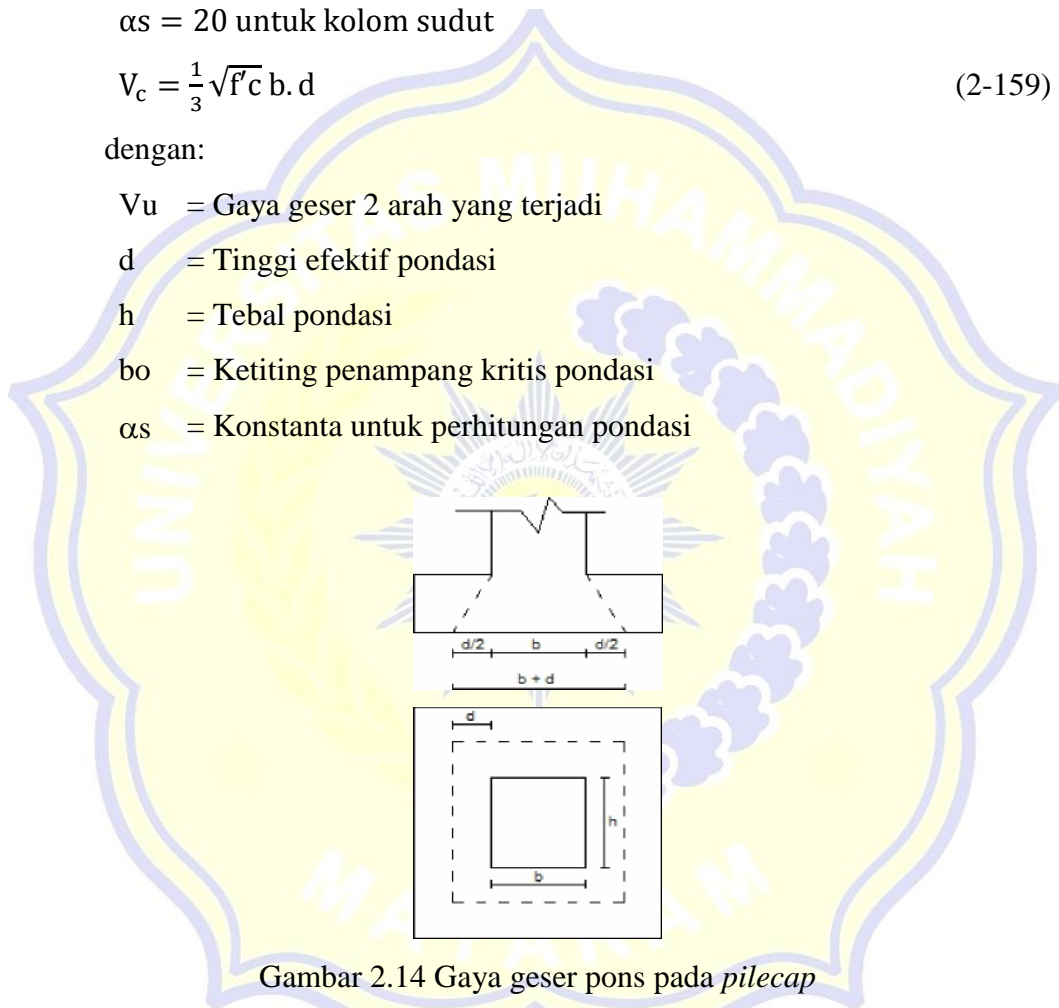
V_u = Gaya geser 2 arah yang terjadi

d = Tinggi efektif pondasi

h = Tebal pondasi

b_o = Ketiting penampang kritis pondasi

α_s = Konstanta untuk perhitungan pondasi



Gambar 2.14 Gaya geser pons pada *pilecap*

Sumber: Teknik pondasi, hardiyatmo.1996

- Penulangan *Poer (Pile cap)*

Perhitungan tulangan pokok dapat dihitung menggunakan persamaan 2-160 sampai dengan persamaan 2-162.

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (2-160)$$

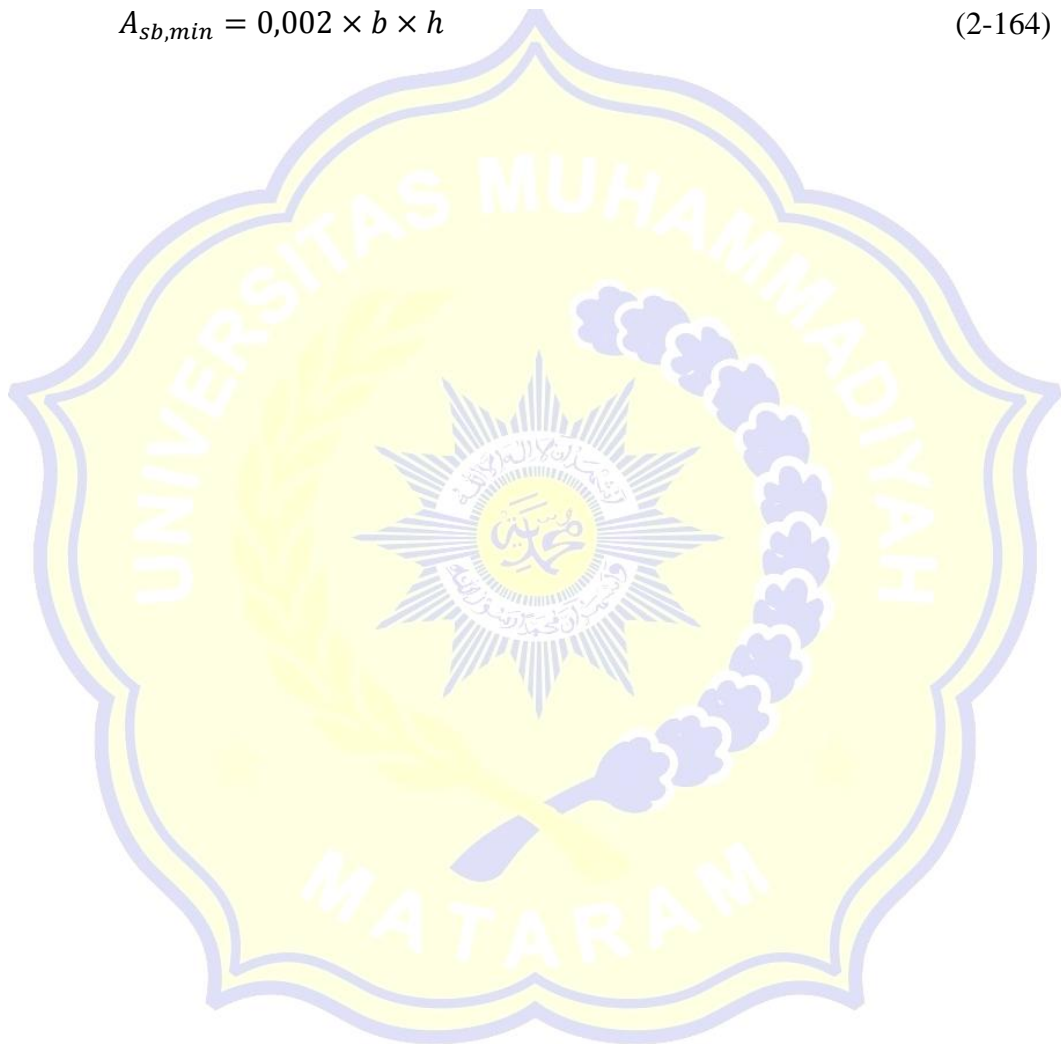
$$A_s = \frac{1/4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y} \quad (2-161)$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} \quad (2-162)$$

Perhitungan tulangan susut dapat dihitung menggunakan persamaan 2-163 dan persamaan 2-164.

$$A_{sb} = 20\% \times A_{s,u} \quad (2-163)$$

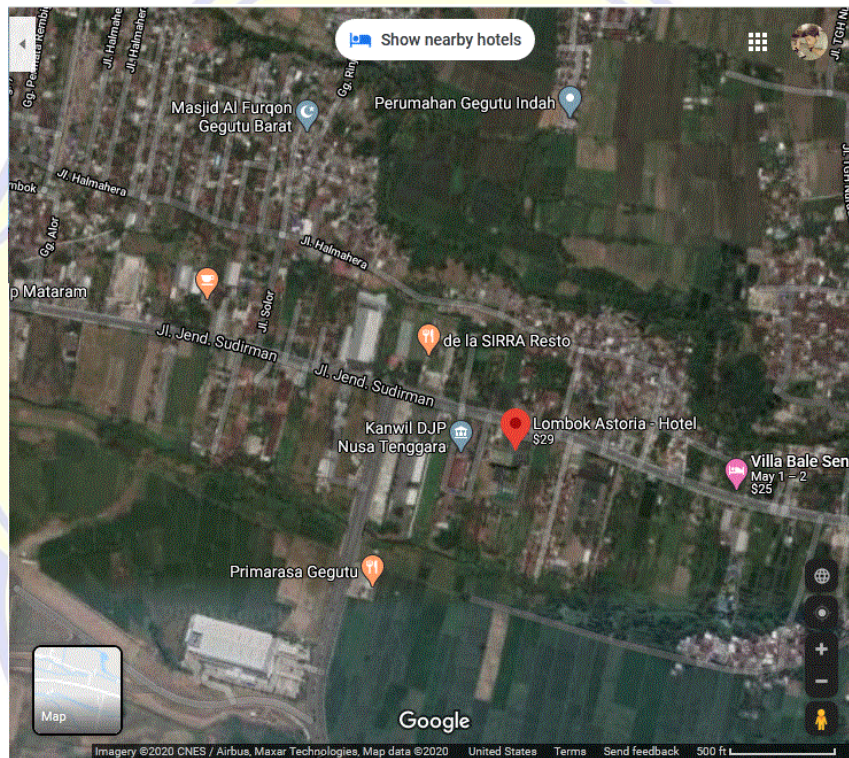
$$A_{sb,min} = 0,002 \times b \times h \quad (2-164)$$



BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Struktur

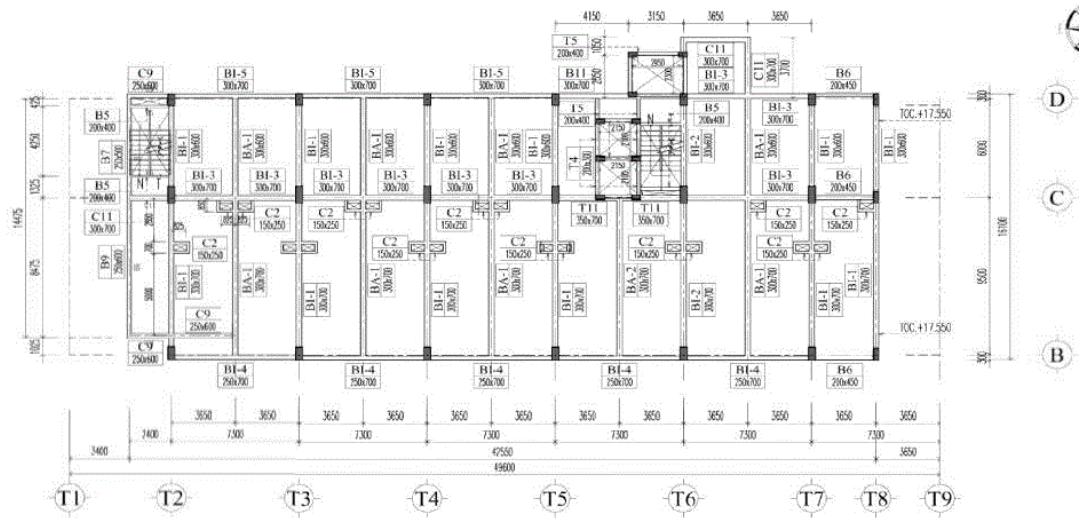
Hotel Golden Tulip adalah gedung yang berfungsi sebagai tempat penginapan, bangunan hotel ini terdiri dari 11 lantai + 1 lantai atap lift. Struktur bangunan ini dirancang dengan menggunakan konstruksi beton. Hotel Golden Tulip berada di daerah Rembiga, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Lokasi pembangunan Gedung hotel golden Tulip

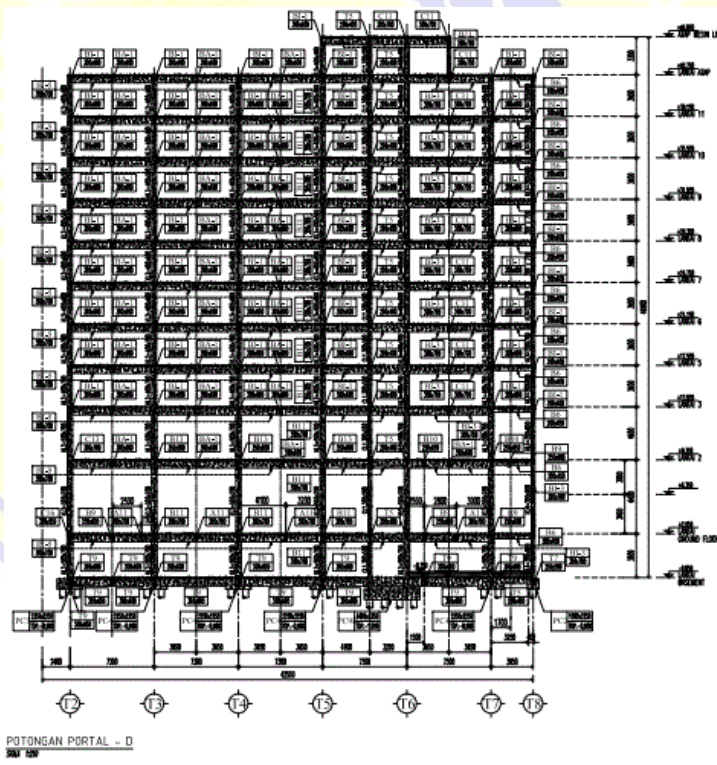
Sumber: *Google Earth 2021*

Model struktur berupa gambar rencana sebagai acuan untuk perencanaan gedung ini diantaranya denah lantai, potongan portal struktur seperti pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.2 Denah lantai lima

Sumber: Hariyadi 2021



Gambar 3.3 Potongan memanjang

Sumber: Hariyadi 2021

3.2 Data Perencanaan

Adapun data yang digunakan dalam perencanaan sebagai berikut :

3.2.1 Data umum bangunan

- a. Nama gedung : Gedung Hotel Golden Tulip Mataram
- b. Fungsi : Penginapan dan Pertemuan
- c. Jenis tanah : Tanah lunak (SE)
- d. Jumlah lantai : 11
- e. Tinggi gedung : +40.00 m
- f. Struktur utama : Struktur Baja dan *Inverted-V Braced*
- g. Mutu baja (f_y) : 290 Mpa (BJ 50)
- h. Mutu beton (f'_c) : 30 Mpa
- i. Mutu baja tulangan (f_{yr}) : 240 Mpa

Data tanah yang digunakan berasal dari tanah tempat akan dibangunnya gedung Hotel Golden Tulip Mataram, dari data sondir menunjukkan jenis tanah: SE (jenis tanah lunak). (Sumber: Instansi terkait)

3.3 Preliminary Desain dan Pembebanan

3.3.1 Preliminary desain

Komponen struktur bangunan gedung meliputi pelat lantai beton bertulang, balok profil baja, kolom profil baja, sambungan baut dan las. Perencanaan dimensi awal dari komponen struktur bangunan dilakukan terlebih dahulu secara manual dan dibantu dengan program SAP2000 v.14

3.3.2 Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada bidang struktur terdiri dari beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa. Untuk beban gempa yang bekerja pada struktur digunakan beban gempa statik ekuivalen dan respon spektrum.

3.3.3 Beban mati

Beban mati adalah seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisah dari bangunan yang dimaksud selama masa layannya. Beban mati yang diperhitungkan dalam model ini adalah antara lain: (Sumber: PPIUG, 1983)

1. Beban lantai (spesi + keramik) = 90 kg/m²
2. Beban plafond dan penggantung = 18 kg/m²
3. Beban dinding bata = 250kg/m²
4. Beton bertulang = 2400 kg/m³
5. Baja = 7850 kg/m³

3.3.4 Beban hidup

Beban hidup merupakan beban yang juga mempengaruhi pembebanan struktur gedung hotel. Beban hidup struktur gedung direncanakan pada pelat lantai berdasarkan standar pembebanan SNI 1727:2018.

3.3.5 Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang diakibatkan pengaruh gempa bumi. Untuk perencanaan gedung kondotel Amarsvati ini, direncanakan terhadap pembebanan gempa akibat pengaruh gempa rencana dalam arah pembebanan sesuai SNI 1726-2019. Beban gempa dikaji dengan 2 metode yaitu analisis statik ekuivalen dan dinamik respon spektrum.

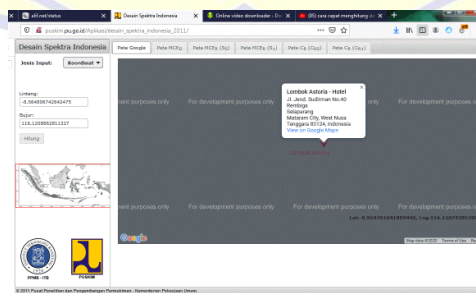
3.3.6 Kombinasi pembebanan

Kombinasi beban nominal yang digunakan dalam metode desain kekuatan (DFBK) menurut SNI 1727:2018 pasal 2.3.2 atau persamaan 2-16 sampai 2-22

3.4 Tahap perencanaan

3.4.1 Analisa respon spectrum Membuka *website* PUSKIM

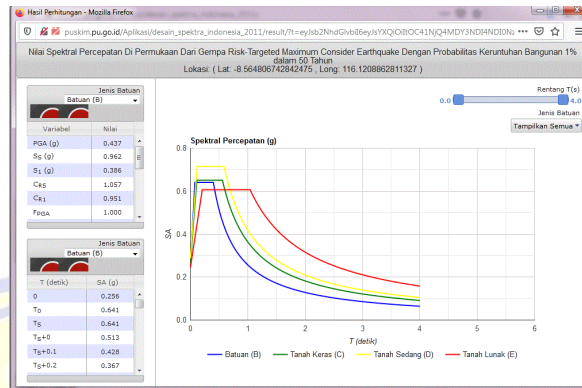
- http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/
dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut



Gambar 3.4 Lokasi desain spektra Indonesia

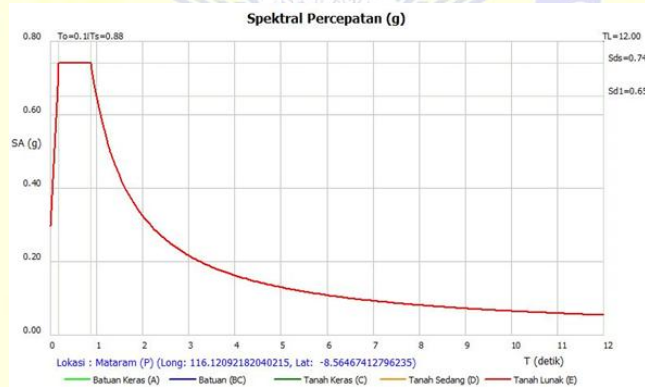
Sumber: *Website* Puskim PUPR, 2021

- Menentukan tempat/lokasi yang ditinjau
- Kemudian analisa/ pilih opsi hitung
- Selanjutnya akan muncul hasil perhitungan seperti pada gambar 3.5 dan gambar 3.6



Gambar 3.5 Grafik spektral percepatan

Sumber: Website Puskim PUPR, 2021



Gambar 3.6 Grafik spektral percepatan tanah lunak, SE

Sumber: Website Puskim PUPR, 2021

- Memilih Jenis tanah, SE (Tanah lunak)
- Kemudian mengambil/copy data hasil perhitungan percepatan tanah dan percepatan *spectrum* ke Excel
- Menghitung data dengan aplikasi Excel sesuai rumus yang di berikan sesuai dengan gambar 3.7

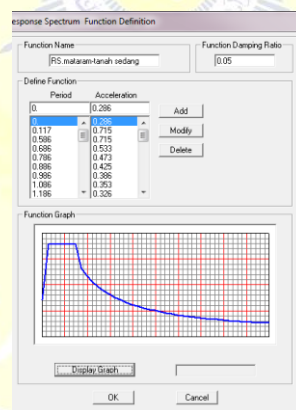
T (detik)	Sa (g)
0	0.286
T ₂	0.715
T ₃	0.715
T ₂ +0	0.611
T ₂ +0.1	0.533
T ₂ +0.2	0.473
T ₂ +0.3	0.425
T ₂ +0.4	0.386
T ₂ +0.5	0.353
T ₂ +0.6	0.326
T ₂ +0.7	0.302
T ₂ +0.8	0.282
T ₂ +0.9	0.264
T ₂ +1	0.248
T ₂ +1.1	0.234
T ₂ +1.2	0.222

T (detik)	Sa (g)
0	0.286
0.117	0.715
0.586	0.715
0.586	0.611
0.686	0.533
0.786	0.473
0.886	0.425
0.986	0.386
1.086	0.353
1.186	0.326
1.286	0.302
1.386	0.282
1.486	0.264
1.586	0.248
1.686	0.234
1.786	0.222
1.886	0.211

Gambar 3.7 Tabel perhitungan percepatan tanah

Sumber: Hasil Perhitungan, 2021

- Input data ke aplikasi SAP2000
- Klik *Menu-Define-Functions-Respon spectrum- add new Functions name*
- *Functions Name-Period vs Value-Convert to User Define-input data*
- *Acceleration Coefficien,0,4 – Soil profile Type, III*
- *display graph – klik ok, seperti pada gambar 3.8.*

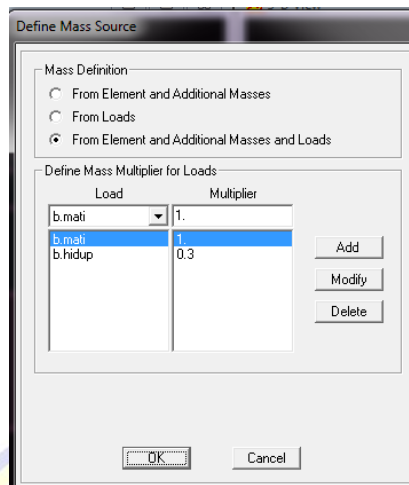


Gambar 3.8 Memasukkan data respon spectrum

Sumber: Program SAP2000, 2021

a. *Mass Source*

kemudian pilih *From Element and Additional Masses and Loads* dan masukkan *Multiplier for Loads*, untuk menentukan massa gedung seperti pada gambar 3.9

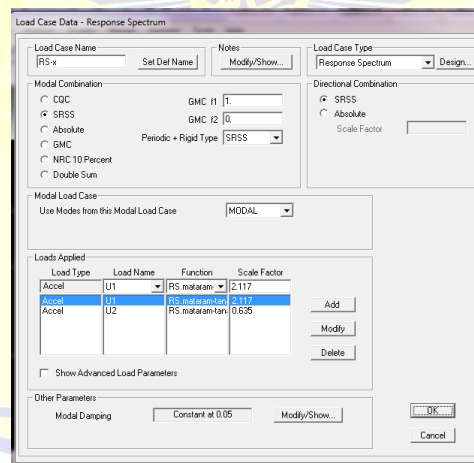


Gambar 3.9 Menentukan massa gedung

Sumber: Program SAP2000, 2021

b. Load cases

Define/Analysis Case/Add New Case dan pilih Analysis Case Type menjadi Respon Spektrum maka akan muncul box dialog seperti gambar 3.10 untuk menentukan jenis analisis respon *spectrume*.



Gambar 3.10 Menentukan jenis analisis respon spectrum

Sumber: Program SAP2000, 2021

Masukan data-data:

- Pada *Modal Combination* pilih CQC (*Complete Quadratic Combination*) dan pada *Directional Combination* pilih SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*)

- Pada *Load Applied* pilih fungsi respon spectrum yang telah dibuat dan masukkan factor skala (Fs)

I : Faktor keutamaan untuk gedung umum = 1

R : Faktor reduksi untuk struktur baja = 4,5

g : Percepatan gravitasi = 9,8 m/s²

Data (PPURG)

Faktor reduksi beban hidup untuk gedung hunian adalah = 0,3

$$Sf = \frac{I \times g}{R}$$

Arah x:

scale faktor U1 = x, $Sfx(1) = \frac{1 \times 9,8}{4,5} = 2,117 \text{ m/s}^2$

scale faktor U1 = y, $Sfx(0,3) = \frac{1 \times 9,8}{4,5} = 0,635 \text{ m/s}^2$

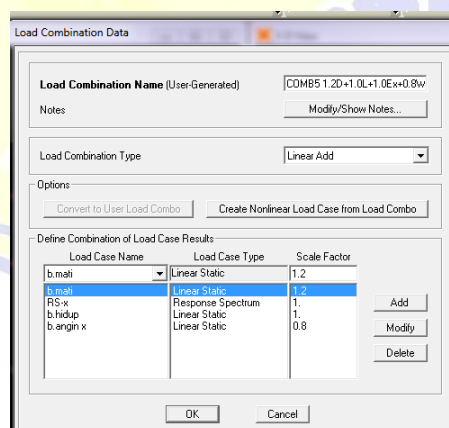
Arah y:

scale faktor U1 = x, $Sfx(1) = \frac{1 \times 9,8}{4,5} = 2,117 \text{ m/s}^2$

scale faktor U1 = y, $Sfx(0,3) = \frac{1 \times 9,8}{4,5} = 0,635 \text{ m/s}^2$

c. *Load combinations*

Kemudian pilih *Add New Combo* akan muncul dialog box seperti gambar 3.11 (contoh combo 4).

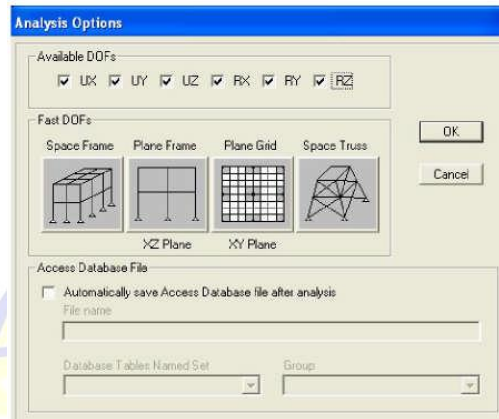


Gambar 3.11 Memasukkan skala factor untuk kombinasi beban

Sumber: *Program SAP2000, 2021*

d. Analyze

Analyze/Set Analysis Options maka akan muncul box dialog seperti gambar 3.12, sebagai *Space Frame*.

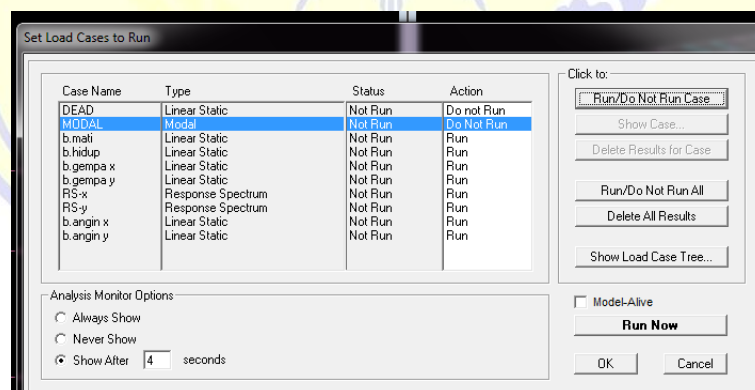


Gambar 3.12 Menentukan *set analysis options*

Sumber: Program SAP2000, 2021

e. Run Analysis

Analyze/Run Analysis Options, untuk memulai perintah menganalisis model struktur yang dibuat dalam program SAP ini, dimana dialog box seperti pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Analisis *Case To Run*

Sumber: Program SAP2000, 2021

3.4.2 Perencanaan pelat

- a. Data-data perhitungan
- b. Menghitung nilai momen

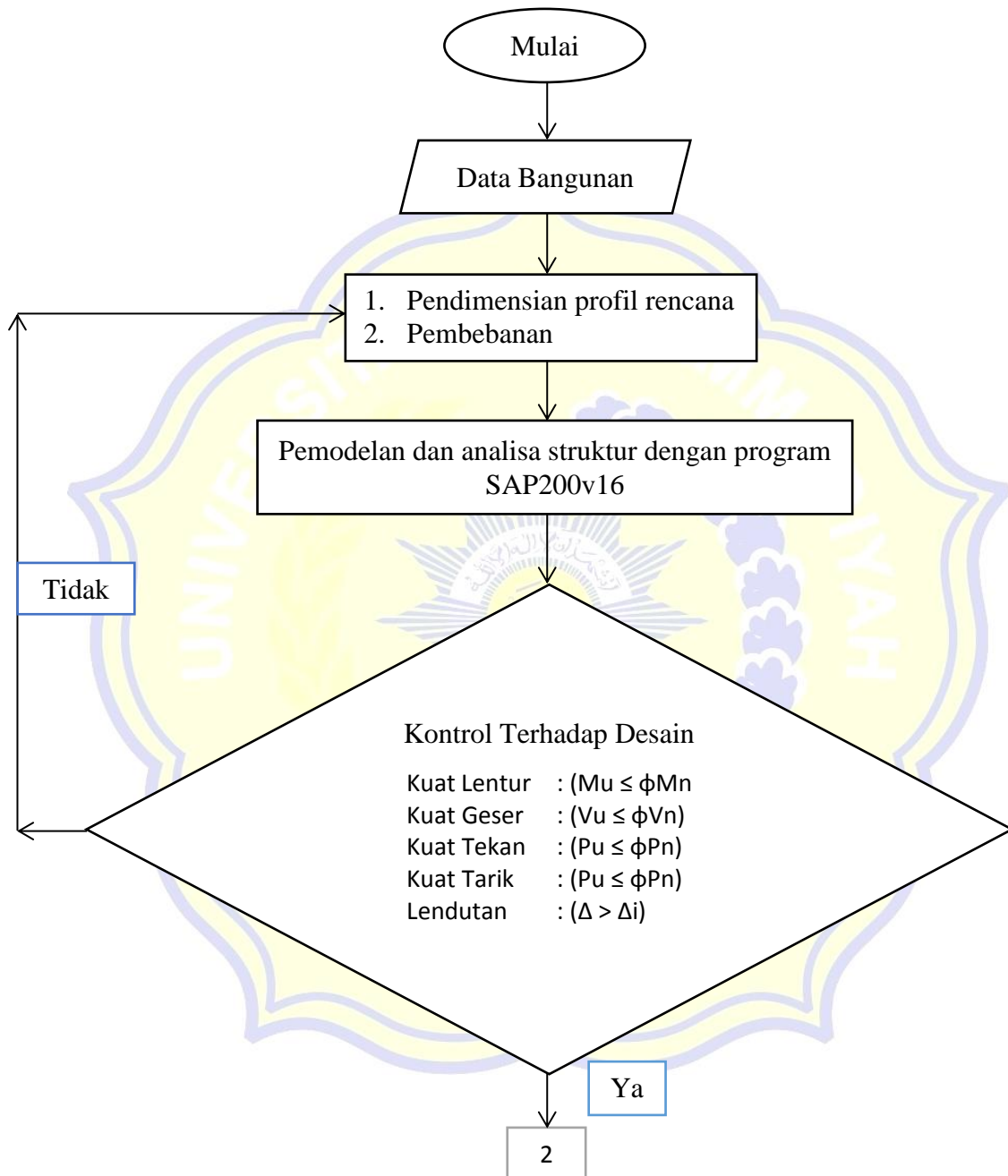
- c. Cek kuat geser beton
 - d. Menghitung Luas tulangan
 - e. Menghitung jarak tulangan
 - f. Menghitung pelat lantai bondek
- 3.4.3 Perencanaan balok
- a. Menentukan penampang profil mutu dan data-data
 - b. Cek z_x terhadap s_x kuat lentur plastis
 - c. Cek kekompakan profil balok baja WF
 - d. Cek kapasitas berdasarkan *flange local buckling*
 - e. Cek kapasitas berdasarkan *local torsional buckling*
 - f. Kuat lentur nominal pada kondisi *local torsional buckling*
 - g. Cek kapasitas profil terhadap kuat geser
 - h. Cek kapasitas profil terhadap lendutan
- 3.4.4 Perencanaan kolom
- a. Menentukan Profil
 - b. Data-data analisi profil
 - c. Cek z_x terhadap s_x kuat lentur plastis
 - d. Cek kekompakan profil balok baja WF
 - e. Cek kapasitas berdasarkan *flange local buckling*
 - f. Cek kapasitas berdasarkan *local torsional buckling*
 - g. Kuat lentur nominal pada kondisi *local torsional buckling*
 - h. Faktor pembesaran momen
 - i. Momen maksimum terfaktor
 - j. Menentukan parameter kelangsingan kolom
 - k. Menghitung rasio antara beban aksial maksimum profil
 - l. Interaksi aksial momen
- 3.4.5 Perencanaan sambungan
- a. Perencanaan sambungan balok induk-bresing-kolom
 - b. Perencanaan sambungan bresing-bresing-balok
 - c. Perencanaan sambungan balok-kolom
 - d. Perencanaan kolom-kolom

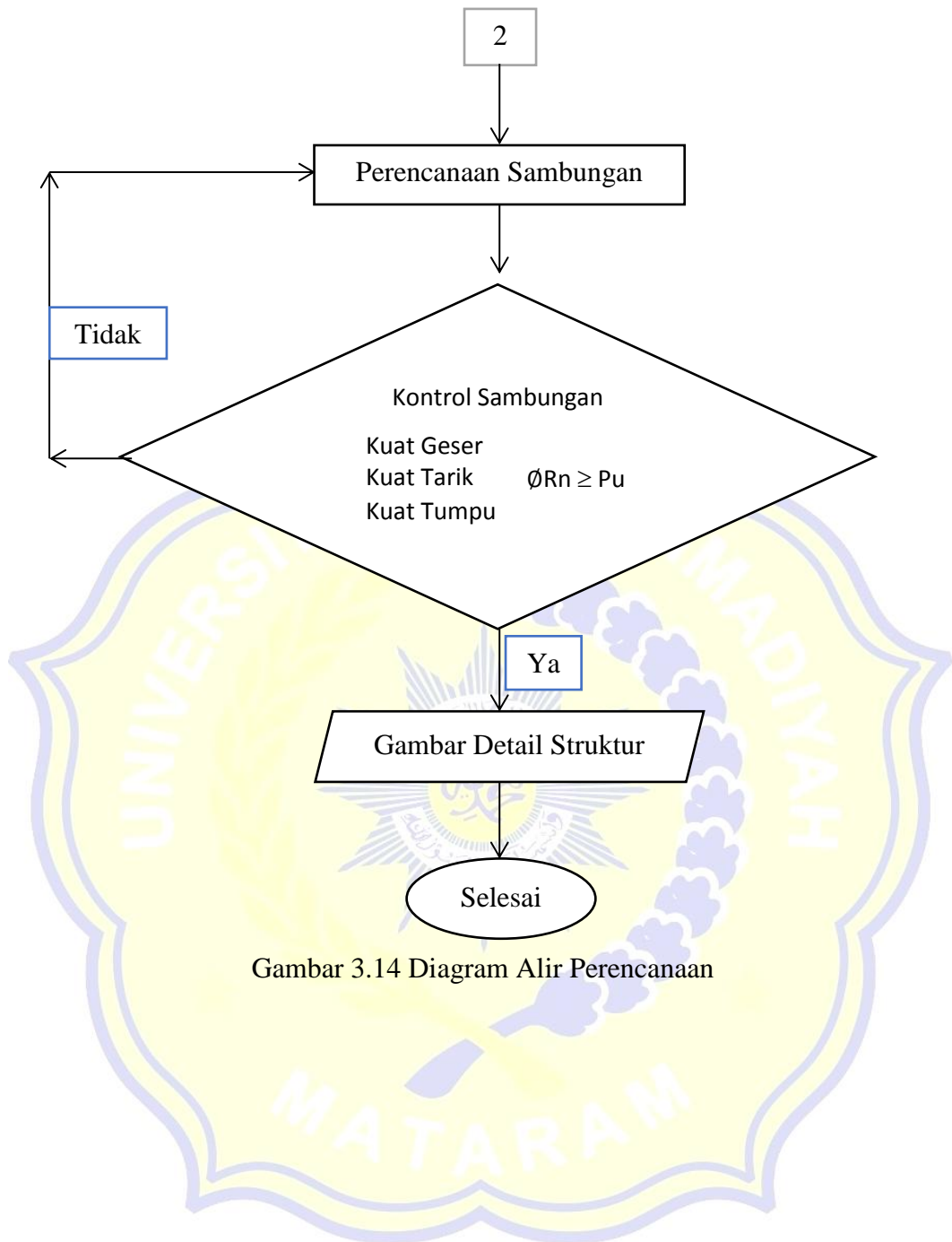
- e. Perencanaan sambungan *base plate*
 - f. Perencanaan sambungan kolom pedestal
- 3.4.6 Perencanaan pondasi
- a. Data tanah
 - b. Menghitung daya dukung pondasi tiang bor
 - c. Tahanan gesek tiang
 - d. Tahanan ujung maksimum yang terjadi
 - e. Jumlah tiang yang di butuhkan
 - f. Gaya aksial pada tiang bor
 - g. Tinjauan geser pondasi satu arah
 - h. Tinjauan geser pondasi dua arah



3.5 Bagan Alir

Untuk lebih jelasnya proses analisa dan perencanaan, dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini





Gambar 3.14 Diagram Alir Perencanaan