

SKRIPSI

**REDESAIN HOTEL SUTAN RAJA MATARAM DENGAN STRUKTUR
BALOK PRATEGANG**

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I**

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH:

BUDIAMN

416110072

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
TAHUN 2021**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING
SKRIPSI
REDESAIN HOTEL SUTAN RAJA MATARAM DENGAN STRUKTUR
BALOK PRATEGANG**

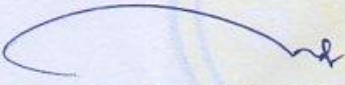
Disusun Oleh:


BUDIMAN
416110072

Untuk memenuhi ujian Sidang Skripsi
Tanggal, 11 Agustus 2021

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Eng. Harivadi, ST., M.Sc (Eng)
NIDN.0027107301


Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT
NIDN. 0828087210

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan




Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN: 0824017501

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

SKRIPSI

**REDESAIN HOTEL SUTAN RAJA MATARAM DENGAN STRUKTUR
BALOK PRTEGANG**

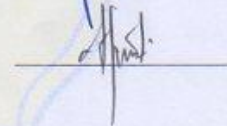
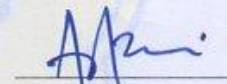
Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

BUDIMAN
416110072

Telah Dipertahankan di Depan Tim Penguji
Pada hari, Sabtu 14 Agustus 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)
2. Penguji II : Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT.
3. Penguji III : Agustini Ernawati, ST., M.Tech.



Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,



Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501

LEMBAR PERNYATAAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : Budiman
NIM : 416110072
Fakultas : Teknik
Jurusan : Rekayasa Sipil
Institusi : Universitas Muhammadiyah Mataram

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas akhir (skripsi) yang berjudul :

“REDESAIN HOTEL SUTAN RAJA MATARAM DENGAN STRUKTUR BALOK PRATEGANG” Adalah benar-benar karya sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain dan memperoleh gelar akademik serjana teknik di Universitas Muhammadiyah Mataram maupun disuatu perguruan tinggi lain kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka sebagaimana mestinya.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini didapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh Strata Satu (S-1) dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang telah berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 27).

Mataram, 14 Agustus 2021
yang membuat pernyataan,


2688A8AJX423643561
BUDIMAN
NIM : 416110072



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN

Jl. K.H.Ahmad Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat
Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906
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 : BUDIMAN
NIM : A16110072
Tempat/Tgl Lahir : Pumbai, 26 Oktober 1998
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 087 881 691 698
Email : budiman.tsoi@gmail.com

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

Pedesain Hotel Sultan Pajri Mataram Dengan Struktur Balok Prategang

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 100%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik 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.

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

Mataram, 27 September 2021
Penulis



BUDIMAN
NIM. A16110072

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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

*pilih salah satu yang sesuai



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN

Jl. K.H.Ahmad Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat
Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906
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 : BUDMAN
NIM : 41640072
Tempat/Tgl Lahir : Rumbur, 26 Oktober 1998
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 087 865 699 998 / budman.1901@gmail.com
Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Meryatakan 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 ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

Redesain Hotel Sultan Raja Mataram dengan Struktur Balok Prategang

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, 27 September.....2021
Penulis



BUDMAN
NIM. 41640072

Mengetahui,
Kepala UPT Perpustakaan UMMAT



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

MOTTO

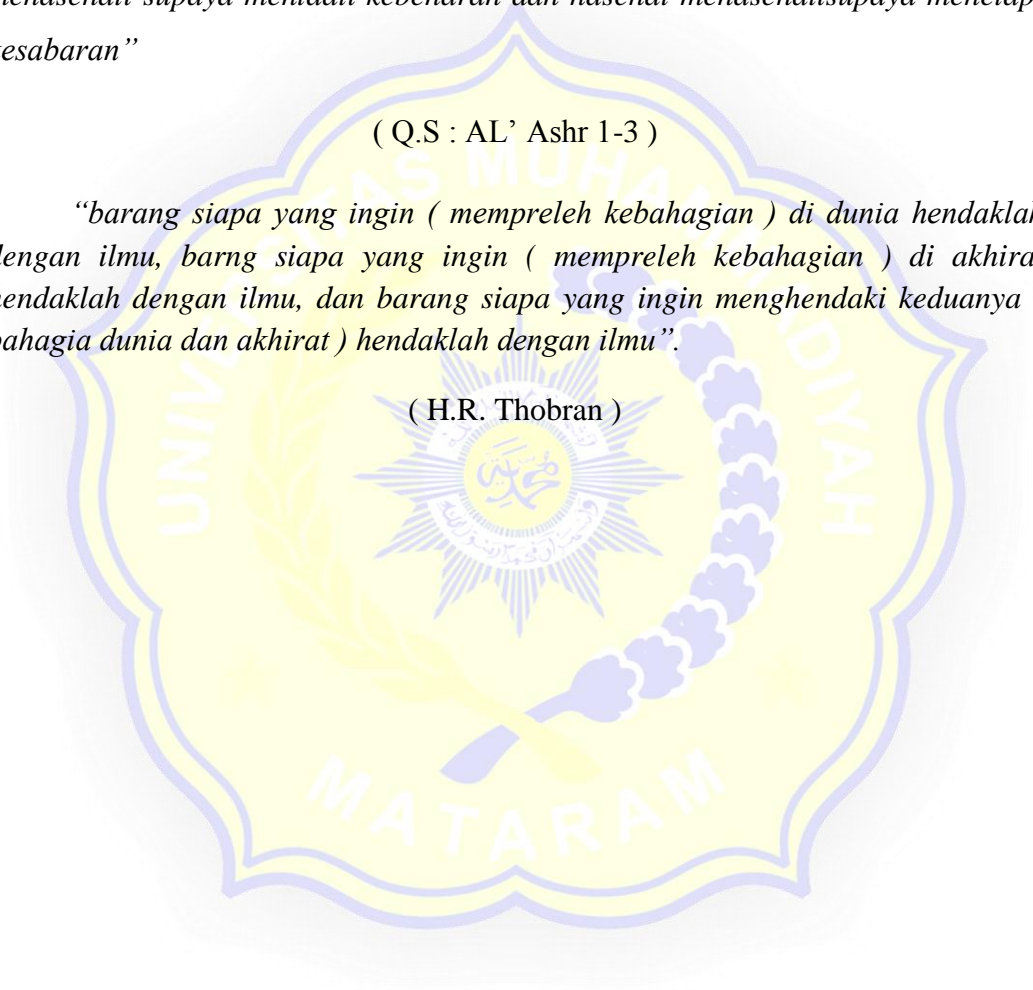
“jangan pernah sekali-kali menunda pekerjaan, atau kegiatan yang kita sudah rencanakan, semasih kita bias melakukannya pada waktu itu maka, lakukanlah sebelum waktu itu pergi.

“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasehati supaya menetapi kesabaran”

(Q.S : AL' Ashr 1-3)

“barang siapa yang ingin (mempreleh kebahagiaan) di dunia hendaklah dengan ilmu, barang siapa yang ingin (mempreleh kebahagiaan) di akhirat hendaklah dengan ilmu, dan barang siapa yang ingin menghendaki keduanya (bahagia dunia dan akhirat) hendaklah dengan ilmu”.

(H.R. Thobran)



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Tuhan yang Maha Esa yang memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Skripsi yang berjudul **“Redesain Hotel Sutan Raja Mataram Dengan Struktur Balok Prategang”** ini dengan baik.

Tujuan dari tugas Skripsi ini adalah diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi siapa saja yang akan mengambil judul yang berkaitan dengan analisa ini. Tugas Skripsi ini juga merupakan salah satu persyaratan kelulusan guna mencapai gelar serjana di Prodi Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.

Mengingat keterbatasan penulis, penulis mengharapkan saran maupun keritik demi kesempurnaan Tugas Skripsi ini. Akhir kata penulis sampaikan semoga Tugas Skripsi ini bias bermanfaat bagi pembaca.

Mataram, 13 Agustus 2021
Penulis,

BUDIMAN
NIM.416110072

ABSTRAK

Secara umum bangunan bertingkat dibuat dengan struktur beton konvensional yang terdiri dari bahan beton, tulangan pokok, tulangan torsi, dan tulangan sengkang baik itu pada balok, kolom dan seluruh komponen struktur lainnya. Struktur bangunan bertingkat rawan terhadap gaya lateral, terutama terhadap gaya yang ditimbulkan oleh gempa. Gempa bumi tersebut mempunyai risiko mengakibatkan terjadinya kerusakan bangunan, oleh karena itu diperlukan struktur yang kuat untuk memikul beban struktur dan memberikan sebuah tekanan pada struktur balok. Salah satu cara perkuatan struktur adalah dengan menggunakan balok prategang. Penggunaan balok prategang merupakan salah satu cara untuk menahan gaya-gaya lateral (beban gempa) yang terjadi. Tentunya setiap perencanaan gedung tersebut telah mempertimbangkan semua aspek yang mempengaruhi kekuatan pada struktur balok prategang.

Penelitian ini berupa analisis struktur gedung 7 lantai yang menggunakan struktur balok prategang dengan kegunaan gedung sebagai hotel. Metode yang digunakan adalah analisis dinamik respon sepektrum dengan perhitungan menggunakan program analisis struktur *SAP2000.V.14.0.0*.

Berdasarkan analisa pada aplikasi *SAP2000.V.14.0.0* maka, didapat hasil output gaya-gaya dalam yang terjadi. Gaya maksimum yang terjadi pada balok (M3)= 871,785 kNm, Geser (V2)=175.533 KN, (kombinasi envenlop), (M tumpuan)= 867,669 kNm, (M lapangan)=175.899 kNm (kombinasi 1,2D + 1,6L), (M tumpuan)= 3,087 kNm, (M lapangan)= 374,521 kNm (kombinasi 1,6D). Dari hasil analisa gaya dalam tersebut kontrol pada komponen struktur telah memenuhi standar SNI 2847-2019, dan kontrol terhadap balok prategang telah memenuhi persyaratan. Sehingga diperoleh satu buah tendon pada satu balok analisa dengan 12 jumlah *strand* yang terpasang.

Kata kunci: Balok Prategang, Gempa Respons Spektrum.

ABSTRACT

Generally, multi-story buildings are made with concrete, basic reinforcement, torsion reinforcement, and stirrup reinforcement for beams, columns, and other structural components. High-rise constructions are vulnerable to lateral stresses, particularly those caused by earthquakes. Because the building is at risk of being damaged by an earthquake, a strong structure is required to carry the weight and exert pressure on the beam structure. One way to reinforce the structure is to use prestressed beams. One technique to withstand the lateral forces (earthquake loads) that occur is to employ prestressed beams. Of course, all elements that affect the strength of the prestressed beam structure have been considered in every construction design. This study takes the form of a structural analysis of a seven-story building with a prestressed beam structure and a hotel. The dynamic analysis of the response spectrum was employed, with calculations performed with the SAP2000.V.14.0.0 structural analysis tool. Based on the analysis of the SAP2000.V.14.0.0 application, the internal forces that occur are obtained. The maximum force that occurs in the beam (M3)= 871,785 kNm, Shear (V2)=175,533 KN, (envelope combination), (M support)= 867,669 kNm, (M field)=175,899 kNm (combination 1,2D + 1,6L), (M pedestal)= 3.087 kNm, (M field)= 374.521 kNm (1.6D combination). According to the internal force analysis results, the control of the structural components met the SNI 2847-2019 standard, and the control of the prestressed beam met the requirements. As a result, with 12 installed strands, one tendin can be acquired in one analysis beam.

Keywords: Prestressed Beam, Earthquake Response Spectrum.



DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..v	
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
LAMPIRAN.....	xix
DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batas Masalah	3
1.4. Tujuan Perencanaan	3
1.5. Manfaat Perencanaan	3
BAB I TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1 Beton Prategang	4
2.2 Analisa Dinamik Response Spectrum	5
2.3 Analisa Beban Gempa Statik Ekvivalen	6
2.4 Wilayah Gempa Bumi Di Indonesia	7
2.4.1. Kelas lokasi tanah.....	8
2.4.2. Koefisien amplifikasi getaran.....	8
2.4.3. Parameter percepatan respon spektra.....	10

2.4.4.	Parameter percepatan spektral desain	10
2.4.5.	Spektrum respon desain.....	10
2.4.6.	Periode fundamental.....	12
2.5	Factor Keutamaan Bangunan Gedung.....	12
2.5.1.	Kategori desain seismik.....	15
2.5.2.	Batasan situs untuk kategori desain seismik E dan F.....	16
2.6	Penentuan Periode	17
2.7	Beton Bertulang.....	19
2.8	Konsep Beton Prategang	20
2.9	Material Beton Prategang.....	23
2.9.1.	Beton.....	23
2.9.2.	Baja beton	24
2.9.3.	Baja Prategang	24
2.10	Keunggulan Beton Prategang.....	26
2.11	Faktor Daktilitas.....	26
2.12	Struktur Utama Beton Prategang.....	27
2.12.1.	Gaya Prategang	28
2.12.2.	Tegangan Ijin pada Baja dan Beton.....	28
2.12.3.	Metode Sistem Balok Prategang.....	30
2.12.4.	Strand, kawat dan batang prategang	32
2.12.5.	Kehilangan Gaya Prategang	34
2.12.6.	Kontrol terhadap lendutan	36
2.12.7.	Meramalkan lendutan jangka panjang	38
2.12.8.	Kriteria Desain Keadaan Batas untuk Batang Beton Prategang.....	39
2.12.9.	Keadaan Batas Kemampuan layanan.....	39
2.12.10.	Lebar Retakan pada Batang Prategang	40
2.12.11.	Gaya Prategang	41
2.12.12.	Tegangan Ijin Baja dan Beton	41
2.12.13.	Pemilihan Tendon Baja Prategang.....	43
2.12.14.	Daerah Limit Kabel	43
2.12.15.	Kehilangan Prategang.....	43

2.12.16.	Kontrol Kuat Batas Beton Prategang.....	46
2.12.17.	Kontrol Lentur.....	46
2.12.18.	Kontrol Geser.....	47
2.12.19.	Kontrol Lendutan.....	48
2.12.20.	Pengangkuran.....	48
2.13	Analisa Pembebanan.....	48
2.13.1.	Tahap Pembebanan.....	48
2.13.2.	Kriteria Perencanaan Pembebanan.....	49
2.13.3.	`Kombinasi Pembebanan.....	58
BAB III	METODE PENELITIAN.....	60
3.1.	Umum.....	60
3.2.	Deskripsi Struktur.....	60
3.3.	Data Perencanaan.....	62
3.3.1.	Data Umum Bangunan.....	62
3.3.2.	Data perencanaan gedung.....	62
3.3.3.	Data modifikasi.....	63
3.3.4.	Data Bahan.....	63
3.3.5.	Data Tanah.....	63
3.3.6.	Pembebanan.....	64
3.3.7.	Analisa Struktur Menggunakan Aplikasi SAP 2000.....	64
3.4.	Perencanaan Struktur.....	65
3.4.1.	Perencanaan plat.....	65
3.4.2.	Perencanaan balok.....	65
3.4.3.	Perencanaan kolom.....	66
3.5.	Bagan Aliran Perencanaan.....	66
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Data Umum.....	69
4.1.1.	Data perencanaan.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2.	Denah perencanaan balok prategang.....	70
4.2.	Preliminary Design.....	70
4.2.1	Peraturan perencanaan.....	71

4.2.2	Proses perencanaan.....	71
4.3.	Perhitungna Beban Gempa Dinamik Respon <i>Spectrum</i>	72
4.3.1	Input Data Respon Spektrum.....	73
4.4.	Perencanaan Struktur.....	73
4.4.1	Mendimensi elemen struktur.....	73
4.4.2	Perencanaan Plat.....	77
4.5.	Pembebanan Struktur.....	93
4.5.1	Perhitungan beban mati.....	93
4.5.2	Beban hidup.....	94
4.5.3	Beban gempa.....	94
4.5.4	Beban angin.....	96
4.5.5	Beban air hujan.....	98
4.5.6	Kombinasi pembebanan.....	98
4.6.	Analisa struktur.....	99
4.6.1	kontrol hasil analisa struktur.....	100
4.6.2	Kontrol partisipasi masa.....	100
4.6.3	Kontrol berdasarkan analisa ragam respon spektrum.....	101
4.6.4	Kontrol base shear (Geser Dasar).....	102
4.6.5	Kontrol simpangan antar lantai.....	103
4.7.	Perencanaan Struktur Primer Non-Prategang.....	Error! Bookmark not defined.
4.7.1	Umum.....	106
4.7.2	Perencanaan balok induk.....	106
4.8.	Perencanaan Struktur Balok Prategang.....	119
4.8.1	Data perencanaan.....	119
4.8.2	Penentuan tegangan ijin beton.....	119
4.8.3	Pembebanan balok prategang.....	120
4.8.4	Analisa penampang balok prategang.....	121
4.8.5	gaya prategang awal.....	124
4.8.6	Kontrol gaya prategang.....	124
4.8.7	Penentuan tendon yang digunakan.....	129

4.8.8	Kehilangan gaya prategang.....	130
4.8.9	Kontrol gaya prategang setelah kehilangan	134
4.8.10	Kontrol lendutan	140
4.8.11	Daerah limit kabel.....	142
4.8.12	Pengangkuran ujung.....	144

BAB V KESIMPULAN

5.1.	Kesimpulan.....	146
5.2.	Saran.....	147

DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 2. 1 Koefisien situs, F_a	9
Tabel 2. 2 Koefisien situs, F_v	9
Tabel 2. 3 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	13
Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan gempa (I_e).....	15
Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon	16
Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode 1 Detik.....	16
Tabel 2. 7 Koefisien situs F_{PGA}	17
Tabel 2. 8 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung.....	18
Tabel 2. 9 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t Dan X	18
Tabel 2. 10 Spesifikasi <i>Strand</i> 7 Kawat Tanpa Pelapisan Derajat 1720 MPa	25
Tabel 2. 11 Spesifikasi <i>Strand</i> 7 Kawat Tanpa Pelapisan Derajat 1860 MPa	25
Tabel 2. 12 <i>Strand</i> , Kawat, dan Batang Tulang Prategang	33
Tabel 2. 13 Lendutan Maksimum yang Diijinkan	40
Tabel 2. 14 Koefisien untuk Rumus Lebar Retakan	41
Tabel 2. 15 Jumlah Hari Sesudah Curing dihentikan sampai diadakan <i>stressing</i> ..	45
Tabel 2. 16 Bahan Bangunan	50
Tabel 2. 17 Berat Sendiri Komponen Gedung.....	51
Tabel 2. 18 Beban Hidup Pada Lantai Gedung.....	54
Tabel 2. 19 Koefisien Reduksi Beban Hidup.....	56
Tabel 2. 20 Koefisien Reduksi Beban Hidup.....	58
Tabel 2. 21 Beban Kerja Pada Tanah Dan Pondasi	59
Tabel 4. 1 Dimensi rencana balok.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2 Dimensi rencana kolom	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Dimensi Rencana Plat Lantai.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Momen Plat Lantai.....	Error! Bookmark not defined.

Tabel 4. 5 Penulangan Plat Lantai	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 6 Perataan Beban Equivalen Lantai 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 7 Pembebanan Portal Lantai 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 8 Hasil Model Partisi Masa.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 9 Perhitungan Selisih Periode (ΔT) Setiap Periode	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 10 <i>Base Reaction</i> Gempa Respon Spektrum	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 11 Berat Total Struktur	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 12 Simpang Antar Tingkat Ijin (Δ_a).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 13 Simpang Struktur Akibat Beban Gempa Dinamik Arah X Dan Y.	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 14 Kontrol Kinerja Batas Layanan Dan Batas Ultimit Akibat Beban Gempa Arah X	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 15 Kontrol Kinerja Batas Layanan Dan Batas Ultimit Akibat Beban Gempa Arah Y	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 16 Momen Envelop Balok B1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 17 Kehilangan Gaya Prategang.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 18 Posisi Tendon Pada 1/2 Bentang	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

	HAL.
Gambar 2. 1 Spektrum respon desain	6
Gambar 2. 2 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ($MCRE_R$), Kelas Situs SB	7
Gambar 2. 3 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ($MCER$) ($MCER$), Kelas Situs SB	8
Gambar 2. 4 Spektrum respon desain	12
Gambar 2. 5 Balok yang diberi gaya prategang	20
Gambar 2. 6 Distribudi tegangan	20
Gambar 2. 7 Momen penahan internal pada balok beton bertulang (a) dan balok beton prategang (b)	21
Gambar 2. 8 (a) Balok prategang tendon parabola, (b) Gaya Balok prategang tendon parabola	23
Gambar 2. 9 Bentuk Tendon Tipikal	26
Gambar 2. 10 Tahap pelaksanaan beton prategang dengan metode Pratarik (<i>Pre-</i> <i>tension</i>)	31
Gambar 2. 11 Tahap pelaksanaan beton prategang dengan metode Pasca tarik (<i>Post-tension</i>)	32
Gambar 2. 12 Distribusi Tekanan Hidrodinamik Implusif	53
Gambar 2. 13 Distribusi Tekanan Hidrodinamik konvektif	53
Gambar 2. 14 Distribusi Tekanan Inersia Dinding	54
Gambar 3. 1 Perspektf Hotel Sutan Raja Mataram	61
Gambar 3. 2 Denah Hotel Sutan Raja Mataram	61
Gambar 3. 3 Lokasi Pembangunan Hotel Sutan Raja Mataram	62
Gambar 3. 4 Gambar Aliran Prencanaah	68
Gambar 4. 1 Denah Rencana Balok Prategang	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 Grafik Respons Spektrum Tanah lunak Lokasi Hotel Sutan Raja Mataram	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3 Denah Type Plat Lantai	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4. 4 Denah Pemodelan Pembebanan Plat Lantai.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 5 Model Pembebanan Plat Lantai 1**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 6 Desain *Spectra* Gedung Hotel Sutan Raja Mataram..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 7 Diagram Respon *Spectrum* Gedung Sutan Raja Mataram **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 8 Pemodelan Struktur Hotel Sutan Raja Mataram Menggunakan
SAP.2000 v.14.0**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 9 Denah Balok Induk**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 10 Penampang Balok Prategang.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 11 Penampang Balok Prategang Komposit.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 12 Diagram Tegangan Saat Transfer Di Tumpuan ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 13 Diagram Tegangan Saat Transfer Di Lapangan... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 14 Diagram Tegangan Saat belum layan Di Tumpuan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 15 Diagram Tegangan Saat belum layan Di Lapangan..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 16 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Jangka Pendek Di Tumpuan
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 17 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Jangka Pendek Di
Lapangan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 18 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Di Tumpuan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 19 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Di Lapangan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 20 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Saat Momen Max Di
Tumpuan.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 21 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Saat Momen Max Di

Lapangan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 22 Posisi Tendon Pada Balok Prategang.....**Error! Bookmark not defined.**



LAMPIRAN

1. Gambar Existing Hotel Sutan Raja Mataram
 - 1) Site plan dan layout
 - 2) Denah lantai 1-7
 - 3) Denha rencana sloof
 - 4) Denah rencana kolom
 - 5) Denha rencana balok
 - 6) Denah rencana plat lantai
2. Hasil Gaya Dalam Pada Out Put Sap 2000
 - 1) Gaya dalam maximum dari kombinas (envenlop)
 - 2) Gaya dalam maximum dari kombinas (1.2 D + 1.6 L)
 - 3) Gaya dalam maximum dari kombinas (1.6 L)
3. Gambar Output
 - 1) Gambar denah rencana kolom
 - 2) Gambar denah rencana balok prategang
 - 3) Gambar denah rencana plat lantai
 - 4) Gambar detail plat lanti
 - 5) Gambar detail balok prategang

DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI

M_{ux}, M_{uy}	= Momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu-x dan -y, sudah termasuk pengaruh orde kedua, N-mm
m	= Jarak tepi kolom memanjang ketepi base plate
n	= Jarak tepi kolom melintang ketepi base plate
n	= Jumlah bore pile
N_{crs}	= Komponen struktur bergoyang, N
P	= Nilai konus dari hasil sondir, kg/cm ² .
P_b	= Tebal selimut beton
Q	= q_z dan q_h adalah q untuk ketinggian z dan h dari atas permukaan tanah.
Q_i	= q_h untuk dinding datang, dinding samping, dinding sisi angin pergidan atap.
Q_u	= Beban terbagi rata yang berkerja pada pelat
Q_b	= Tahanan ujung bawah ultimit (kN)
Q_s	= Tahanan ujung gesek (kN)
Q_u	= Daya dukung ultimit (kN)
Q_{pg}	= Daya dukung yang diijinkan pada kelompok bore pile.
Q_t	= Daya dukung keseimbangan pada kelompok tiang.

Q_{tiang}	= Daya dukung kesetimbangan tiang, kg.
Q_{pg}	= Daya dukung kelompok tiang
R	= Faktor modifikasi response
R	= Kekuatan nominal
R_u	= Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK
S	= Beban salju
SDS	= Arameter percepatan respon spektral pada periode pendek, redaman 5%
SDI	= Parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5%
SF	= Safety Factor (2,5-3,0)
SMS	= Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
SMI	= Parameter spektrum respon percepatan pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs
V	= Geser dasar prosedur gaya lateral ekuivalen
V_n	= Kuat geser nominal pelat badan berdasarkan
V_t	= Geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan
V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang yang di tinjau
W	= Beban angin
W	= Berat bore pile (kN)
X	= Tinggi garis netral
y	= Panjang kelompok bore pile.
z	= Tinggi gedung di atas elevasi tanah (m)
z_g	= Tinggi nominal lapisan batas atmosfer
α	= Eksponen pangkat kecepatan tiupan angin
α_m	= Rasio kekuatan balok terhadap pelat
β	= Rasio panjang terhadap lebar pelat
\mathcal{E}_c	= Tegangan beton
\mathcal{E}_{cu}	= Regangan beton

ρ	= Rasio penulangan
\emptyset	= Faktor reduksi = 0,9
\emptyset	= Keliling bore pile, cm.
Φ	= Faktor ketahanan
ϕR_n	= Kekuatan desain
$\emptyset V_n$	= Kuat geser nominal
$\sqrt{f'_c}$	= Nilai akar dari kuat tekan beton yang di syaratkan, Mpa
$\sum N_u$	= Jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang ditinjau, N
Δo_h	= Simpangan antar lantai pada tingkat yang sedang ditinjau, mm
$\sum H$	= Jumlah gaya horizontal yang menghasilkan Δo_h pada tingkat yang ditinjau, N
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
ϕ	= ϕ_c adalah untuk komponen struktur tekan = 0,85
ϕ	= ϕ_t adalah untuk komponen struktur tarik=0,9
ϕ_b	= adalah faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur lentur = 0,90



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah Negara yang dikenal dengan keindahan alamnya yang sangat memanjakan mata, setiap pulau di Indonesia memiliki objek wisata andalan yang menjadi kebanggaan para penduduk pulau tersebut. Begitu juga dengan pulau Lombok dengan sejuta pesona alam yang membuat wisatawan asing ingin berlama-lama menikmati indahnya kekayaan alam pulau seribu masjid. Tidak dipungkiri kebutuhan penginapan menjadi salah satu hal yang wajib dipersiapkan oleh pemerintah maupun swasta apalagi dengan akan terlaksananya pergelaran MOTO GP pada tahun 2021 mendatang.

Dalam pembangunan sebuah gedung khususnya di daerah Lombok sebagian besar menggunakan material beton bertulang, dengan mempertimbangkan kekuatan dan ketersediaan material. Seperti halnya Hotel Sutan Raja Mataram konstruksi strukturnya menggunakan beton bertulang. Maraknya pembangunan gedung-gedung perhotelan tersebut mengakibatkan kebutuhan akan lahan yang cukup luas, sehingga untuk meminimalisir penggunaan lahan yang luas maka dibangunlah hotel-hotel dengan konsep bangunan tinggi (*High Rise Building*).

Konsep bangunan tinggi tentunya memiliki tingkat kesulitan yang tinggi, baik dari segi bentuk maupun kekuatan struktur. Perkembangan teknologi yang pesat dalam bidang konstruksi, menyajikan banyak sistem struktur yang dapat digunakan dalam memberikan perkuatan terhadap bangunan gedung tingkat tinggi. Seiring dengan perkembangan tersebut diperlukan inovasi-inovasi untuk dapat menemukan solusi yang efektif dan efisien untuk perencanaan gedung bertingkat tinggi. Salah satunya penggunaan beton prategang untuk bangunan gedung bertingkat tinggi.

Penggunaan beton prategang pada bangunan konstruksi sipil memungkinkan suatu struktur dengan ukuran penampang yang lebih kecil

namun memiliki kapasitas memikul beban yang lebih besar dengan bentang yang lebih panjang. Dengan ukuran penampang yang lebih kecil, anggaran pembangunan konstruksi bangunan lebih ekonomis.

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan dua jenis bahan mutu tinggi yaitu beton dan baja, dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya dalam beton sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi dari kedua bahan tersebut menghasilkan perilaku yang lebih baik. Kemampuan beton menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Sehingga beton prategang mempunyai kombinasi yang ideal.

Pada studi ini, merencanakan struktur gedung Hotel Sutan Raja Mataram yang memiliki ketinggian 7 lantai dengan menggunakan konstruksi beton konvensional kemudian direkayasa menggunakan beton prategang. Hotel Sutan Raja Mataram ini direncanakan sesuai dengan standar beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2019) serta struktur ketahanan gempa (SNI 1726-2019), dan cara perencanaan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung (SNI 7833-2012).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan kekuatan balok konvensional dengan balok prategang.
2. Bagaimana pengaruh balok prategang terhadap pengaruh bentangan antar kolom satu ke-kolom lainnya.

1.3. Batas Masalah

Adapun batas perencanaan pada studi kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan ini melakukan perbandingan antara balok konvensional dengan balok prategang terhadap jarak bentangan dengan dimensi penampang yang relatif sama.
2. Perencanaan gedung Hotel Sutan Raja Mataram meliputi perencanaan kolom, balok, dan plat lantai.
3. Perencanaan ini tidak meninjau aspek manajemen dan analisa biaya.
4. Analisa struktur menggunakan program SAP 2000.V14.
5. Peraturan yang digunakan sebagai acuan SNI 1726-2019, SNI 2847-2019, SNI 7833-2012, dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987 (PPURG 1987).

1.4. Tujuan Perencanaan

Adapun tujuan dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan kekuatan balok konvensional dengan balok prategang.
2. Merencanakan dengan menggunakan beton prategang dengan segitrayan teknik yang efektif.

1.5. Manfaat Perencanaan

Manfaat yang dapat diambil dari hasil analisa ini yaitu mengetahui perencanaan struktur balok yang lebih efektif juga efisien yang ditinjau dari beberapa aspek seperti jarak bentangan, dan jumlah tulangan yang digunakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Beton Prategang

Menurut ACI (*American Concrete Institute*) beton prategang merupakan beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan disrtibusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Dalam definisi lain, beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat beban kerja. (SNI 03-2847-2019).

Beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua bahan berkekuatan tinggi. Perbedaan utama antara beton prategang dan beton bertulang adalah pada beton bertulang kombinasi antara beton dan baja dilakukan dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan pada beton prategang, kombinasi antara beton dan baja dilakukan secara aktif, yaitu dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menyebabkan beton mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Beton adalah bahan yang getas apabila terkena tarikan, dan kemampuannya menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi (Lin dan Burns, 2000).

Komponen struktur prategang mempunyai tinggi yang lebih kecil dibandingkan beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya, tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65% sampai 80% dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian, komponen struktur prategang membutuhkan lebih sedikit beton, dan sekitar 20 sampai 35% banyaknya tulangan. Sayangnya,

penghematan pada berat material ini harus dibayar dengan tingginya harga material bermutu tinggi yang dibutuhkan dalam pemberian prategang. Operasi pemberian prategang itu sendiri menimbulkan tambahan harga. Cetakan untuk beton pertegang menjadi lebih kompleks, karena geometri penampang prategang biasanya terdiri atas penampang bersayap dengan beberapa badan yang lebih tipis. (Nawy, 2014).

Tanpa memperhatikan tambahan harga tersebut, apabila komponen struktur yang cukup besar dari unit-unit pracetak dibuat, perbedaan antara sedikitnya harga awal sistem beton prategang dan beton bertulang biasanya tidak terlalu besar. Selain itu, penghematan jangka panjang secara tidak langsung cukup besar, karena dibutuhkan perawatan yang lebih sedikit, yang berarti daya guna lebih lama akibat dari kontrol kualitas yang lebih baik pada betonnya, dan pondasi yang lebih ringan dapat digunakan akibat berat kumulatif struktur atas yang lebih kecil. (Nawy, 2014).

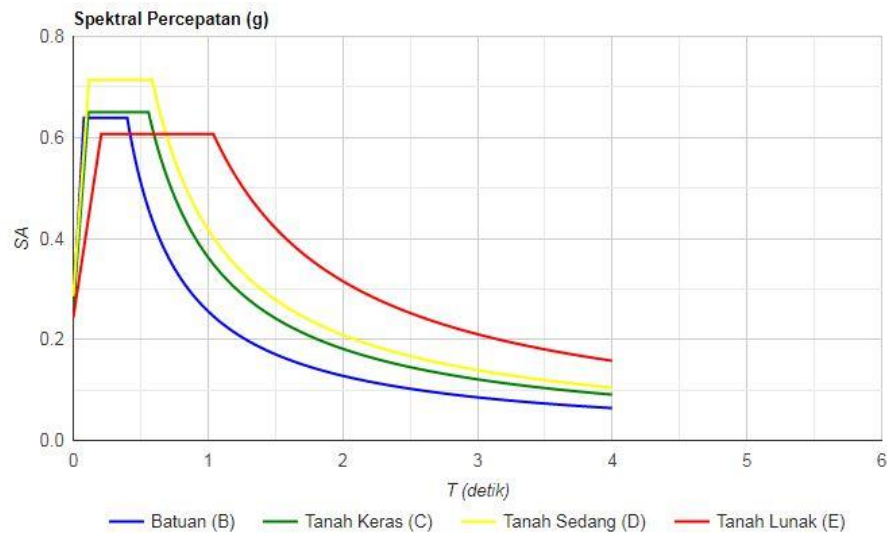
2.2 Analisa Dinamik Response Spectrum

Response Spectrum adalah suatu *spectrum* yang disajikan dalam bentuk grafik antara periode getar struktur dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral displacement, SD*), Kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral acceleration, SA*) dari massa struktur. (Anonim, 2019).

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing masing arah. (Anonim, 2019).

Sedangkan parameter respon ragam, nilai untuk masing masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar

lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing masing ragam respon. (SNI 1726:2019. Pasal 6.1). Adapun Gambar *response spectrume* bisa dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Spektrum respon desain

(Sumber: puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

2.3 Analisa Beban Gempa Statik Ekivalen

Analisis statik pada prinsipnya adalah menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statik ekivalen yang bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan. Metode ini disebut juga metode Gaya Lateral Ekivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasarkan hasil perkalian suatu konstanta/massa dari elemen tersebut.

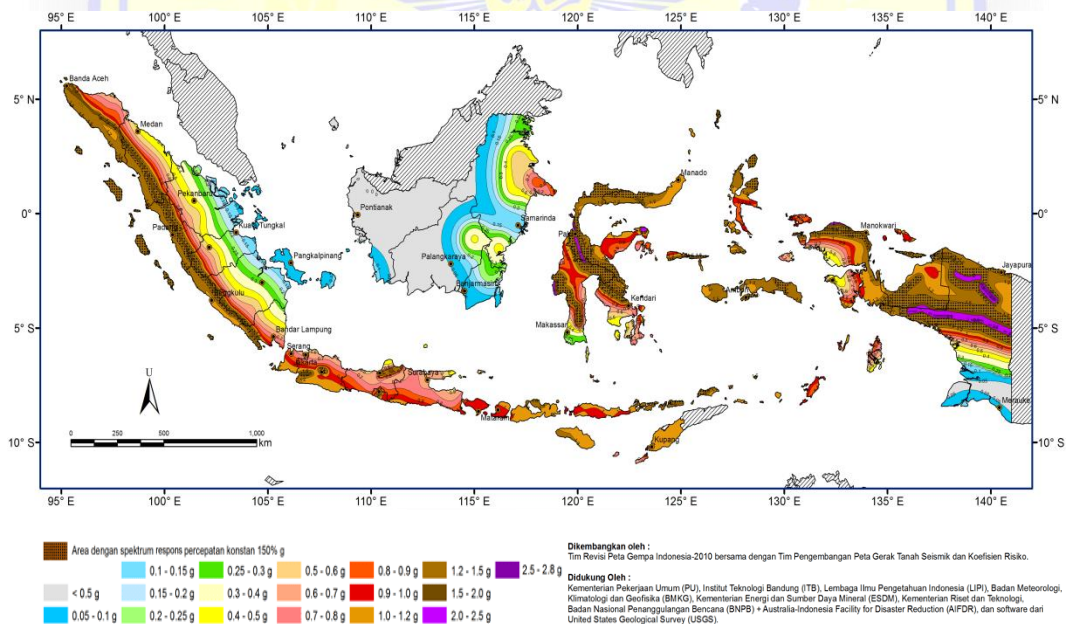
Untuk mendapatkan gaya geser yang ditimbulkan oleh beban gempa maka diperlukan sejumlah parameter yang dapat dihitung secara matematis. Parameter yang digunakan dalam perencanaan pembebanan gempa pada struktur gedung.

2.4 Wilayah Gempa Bumi Di Indonesia

Pada SNI 03-1726-2019 pembagian wilayah gempa di Indonesia tidak dibagi menjadi 6 zona lagi melainkan diberikannya peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien resiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan. Peta-Peta yang tersedia ini meliputi peta gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCER) yaitu parameter-parameter gerak tanah S_s dan S_1 , kelas situs SB. S_s adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCER risiko-tertarget pada perioda pendek. S_1 adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCER risiko-tertarget pada perioda 1 detik.

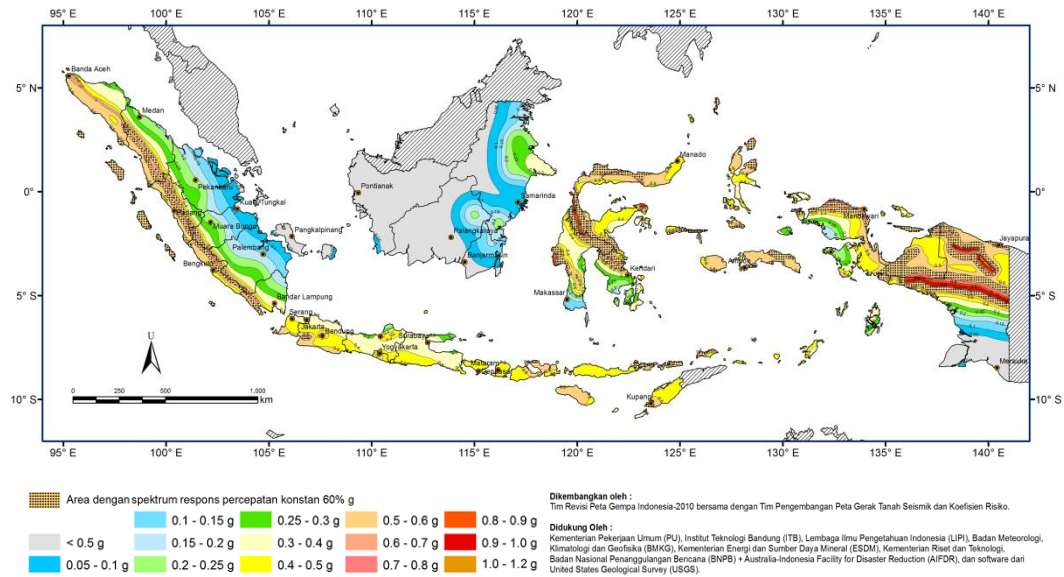
Pada SNI1726-2012, peta wilayah gempa ditetapkan berdasarkan parameter percepatan gempa batuan dasar, yang terdiri dari dua buah yaitu: S_s (Percepatan batuan dasar perioda pendek 0.2 detik)

S_1 (Percepatan batuan dasar perioda 1.0 detik) Peta wilayah dapat dilihat pada gambar 2.2 dan gambar 2.3



Gambar 2. 2 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan RisikoTertarget (MCRE_R), Kelas Situs SB

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 2. 3 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER), Kelas Situs SB

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.4.1. Kelas lokasi tanah

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs diperlukan klasifikasi kelas situs.

2.4.2. Koefisien amplifikasi getaran

Faktor amplifikasi getaran meliputi getaran periode pendek (F_a) dan percepatan periode 1 detik (F_V). Didapatkan dari tabel 2.1 dan tabel 2.2.

(SNI 1726 - 2019. Pasal 6.2)

Tabel 2. 1 Koefisien situs, F_a

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

(Sumber: SNI 1726 - 2019 Tabel 6)

Dengan :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dan S_l dapat dilakukan interpolasi linier.
- S_s = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2. 2 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,1$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \geq 0,6$
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	S_s^a					

(Sumber: SNI 1726 - 2019 Tabel 7)

Dengan :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dan S_l dapat dilakukan interpolasi linier.
- S_s = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

2.4.3. Parameter percepatan respon spektra

Nilai *parameter* percepatan respon spektra dapat dihitung dengan didasarkan pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 (Sumber : Anonim, 2019).

$$S_{MS} = Fa \cdot S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{MI} = Fv \cdot S_I \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

S_{MS} = parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{MI} = parameter spektrum respon percepatan pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs.

S_s = *parameter* respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek;

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Fa = faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek.

Fy = faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik.

2.4.4. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan *spectral* desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik, S_{DI} , ditentukan dengan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4. (SNI 1726-2019 Pasal 6.3).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

S_{DS} = parameter percepatan respon spektral pada periode pendek, redaman 5%

S_{DI} = parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5%

2.4.5. Spektrum respon desain

Bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva

spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan 2.5.

$$S_a = S_{DS} \cdot \left((0,4 + 0,6) \cdot \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

- S_a = spektrum respons percepatan desain.
- T = periode getar fundamental struktur.
- T_0 = spektrum respons percepatan desain.

Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} . Untuk periode lebih besar dari T_S tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 2.6.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- S_a = spektrum respons percepatan desain.
- T = periode getar fundamental struktur.
- S_{D1} = parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5%

Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 2.7

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

- S_a = spektrum respons percepatan desain.
- T_L = peta transisi periode panjang dapat dilihat pada Gambar 2.4

Yang nilainya diambil dari Gambar 20 pada SNI 1726-2019

2.4.6. Periode fundamental

Nilai periode getar fundamental gedung yang didesain dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.8, dan persamaan 2.9. (Sumber : Anonim, 2019).

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.8)$$

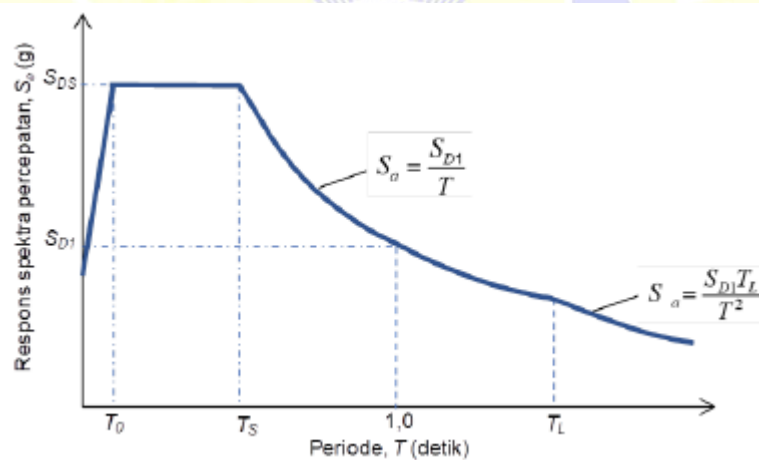
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan :

T_0 = spektrum respons percepatan desain.

S_{DS} = parameter percepatan respon spektral pada periode pendek, redaman 5%

S_{D1} = parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5%



Gambar 2. 4 Spektrum respon desain

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5 Factor Keutamaan Bangunan Gedung

Faktor keamanan bergantung pada kategori resiko bangunan gedung, pada kategori resiko bangunan gedung dan non gedung tercakup secara lengkap dalam tabel 2.3, dan tabel 2.4. (Anonim, 2019)

Tabel 2. 3 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan 2. Fasilitas sementara 3. Gudang penyimpanan 4. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Perumahan 2. Rumah toko dan rumah kantor 3. Pasar 4. Gedung perkantoran 5. Gedung apartemen/ rumah susun 6. Pusat perbelanjaan/ mall 7. Bangunan industri 8. Fasilitas manufaktur 9. Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bioskop 2. Gedung pertemuan 3. Stadion 4. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat 5. Fasilitas penitipan anak 6. Penjara 7. Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pusat pembangkit listrik biasa 2. Fasilitas penanganan air 	III

Lanjutan tabel 2.3 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>3. Fasilitas penanganan limbah 4. Pusat telekomunikasi</p> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bangunan-bangunan monumental 2. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 3. Rumah ibadah 4. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat 5. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat 6. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya 7. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 8. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 9. Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>

(Sumber: SNI 1726 - 2019 tabel 3 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung)

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan gempa (I_e)

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

(Sumber: SNI 1726 - 2019 tabel 4)

2.5.1. Kategori desain seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *E*. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *F*. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 5 dan Tabel 6, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 5 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 0 adalah kurang dari $0,8T_s$, di mana T_s ditentukan sesuai dengan 0.
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s .

3. Persamaan (31) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s .
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 0 atau untuk diafragma yang *fleksibel*, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek

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

(Sumber: SNI 1726 – 2019 tabel.8)

Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{DI}$	D	D

(Sumber: SNI 1726 – 2019 tabel.9)

2.5.2. Batasan situs untuk kategori desain seismik E dan F

Struktur yang tergolong dalam kategori desain seismik *E* atau *F* tidak boleh berada pada lokasi di mana terdapat patahan/sesar aktif yang telah teridentifikasi dengan jelas, yang berpotensi menyebabkan keretakan tanah pada lokasi struktur bangunan.

Potensi likuifaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan tanah puncak pada situs, magnitudo gempa, dan

karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCEG). Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan (1) kajian spesifik-situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, yang dijelaskan dalam 0 atau (2) percepatan tanah puncak PGA_M , dari persamaan (15).

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan :

PGA_M = MCEG percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

PGA = percepatan tanah puncak terpetakan.

F_{PGA} = koefisien situs dari Tabel 2.7

Jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs berdasarkan 0, maka nilai F_{PGA} tidak boleh kurang dari 1,2.

Tabel 2. 7 Koefisien situs F_{PGA}

Kelas situs	$F_{PGA} \leq 0.1$	$F_{PGA} = 0.2$	$F_{PGA} = 0.3$	$F_{PGA} = 0.4$	$F_{PGA} = 0.5$	$F_{PGA} \geq 0.6$
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	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
SE	2.4	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1
SF	$SS^{(a)}$					

(Sumber: SNI 1726 - 2019 tabel.10)

2.6 Penentuan Periode

Perioda fundamental, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.8 dan perioda fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.10. Perioda fundamental diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan T_a (Sumber: Anonim, 2019).

Tabel 2. 8 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

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

(Sumber: SNI 1726 - 2019 tabel.17)

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan 2.10

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan :

h_n = Ketinggian struktur dalam (m)

T_a = fundamental pendekatan.

C_t = koefisien ditentukan dari Tabel 2.9.

X = koefisien ditentukan dari Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t Dan X

Tipe struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya siesmik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
1. Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
2. Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber: SNI 1726 - 2019 tabel.18)

2.7 Beton Bertulang

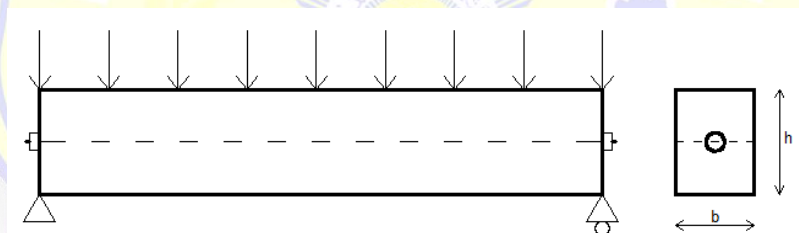
Beton dalam konstruksi teknik didefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu wadah atau cetakan dalam keadaan cair kental, yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan berlangsung. Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen *portland* (s.p.) atau disebut juga *Portland Cement* (P.C.). Agregat kasar yang dipakai pada umumnya adalah kerikil atau batu pecah kecil (kricak) dan pasir sebagai agregat halus yang biasa digunakan. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri dari campuran semen *portland*, pasir dan kerikil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton (Wikana & Widayat, 2007). Beton pada dasarnya kuat menahan tekan tetapi lemah terhadap tarik, oleh karena itu beton dipadukan dengan baja tulangan yang kuat terhadap tarik sehingga didapatkanlah suatu kesatuan beton bertulang yang bisa digunakan pada konstruksi bangunan. Menurut SNI 2847-2019 beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

2.8 Konsep Beton Prategang

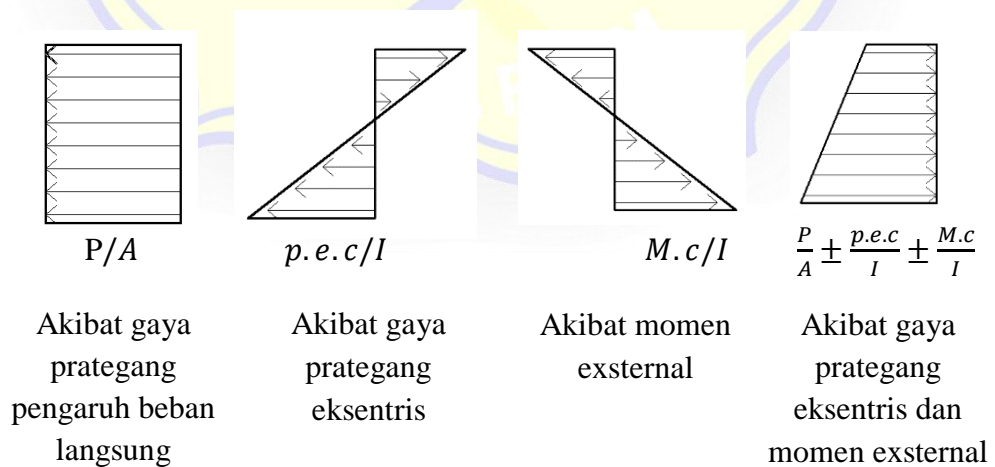
Ada tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang menurut Eugene Freyssinet (2002).

a. Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis

Konsep ini menganggap beton sebagai bahan yang elastis dengan cara mentransformasikan beton prategang yang dasarnya merupakan bahan getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut, sehingga beton tersebut mampu menahan gaya tarik yang terjadi. Dari konsep ini lahirlah kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.



Gambar 2. 5 Balok yang diberi gaya prategang



Gambar 2. 6 Distribudi tegangan

Dari gambar 2.2 diperoleh distribusi terakhir pada penampang sebagai berikut:

$$f = -\frac{p}{A} \pm \frac{P.e.c}{I_g} \pm \frac{M.c}{I_g} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan:

P = gaya prategang yang diberikan (KN)

A_g = luasan penampang bruto (mm²)

e = eksentrisitas tendon (mm)

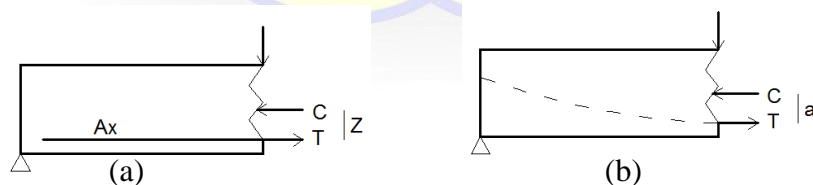
c = jarak terhadap titik berat penampang (mm)

M = momen total dari beban yang bekerja (KNm)

I_g = momen inersia penampang bruto (mm⁴)

b. Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Konsep ini mempertimbangkan kombinasi antara baja dan beton pada beton prategang. Seperti pada beton bertulang, di mana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan mampu melawan momen eksternal yang terjadi. Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menariknya sebelum di berikan beban eksternal. Jika baja mutu tinggi hanya ditanamkan pada beton seperti pada beton bertulang biasa, beton akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton.



Gambar 2. 7 Momen penahan internal pada balok beton bertulang (a) dan balok beton prategang (b)

c. Sistem Prategang untuk Mencapai Perimbangan Beton

Pada desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, gelagar (girder) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit. Pada keseluruhan desain ini struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Beban terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan dalam:

$$W_B = \frac{8Fh}{L^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

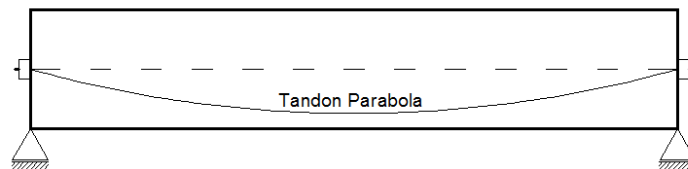
dengan:

W_B = beban terdistribusi

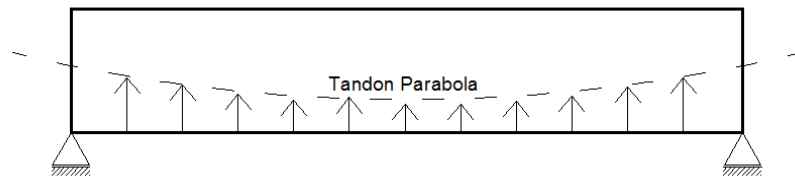
F = gaya prategang

L = panjang bentang

h = tinggi bentang



(a)



(b)

Gambar 2. 8 (a) Balok prategang tendon parabola, (b) Gaya Balok prategang tendon parabola

2.9 Material Beton Prategang

2.9.1. Beton

Beton yang digunakan untuk beton pratekan diperlukan mutu beton yang tinggi (min K-300) karena mempunyai sifat penyusutan dan rangkakan yang rendah mempunyai modulus elastisitas dan modulus tekan yang tinggi serta dapat menerima tegangan yang lebih besar dibandingkan beton mutu rendah, sifat-sifat ini sangat penting untuk menghindari kehilangan tegangan yang cukup besar akibat sifat-sifat beton tersebut. Tegangan ijin pada beton yang mengalami prategang dibagi menjadi 2 kategori, yaitu tegangan ijin pada saat transfer dan tegangan ijin pada saat *service* (Lin, 2000).

a. Tegangan ijin pada saat transfer:

$0.60 f^1 ci$ Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan

$0.50 \sqrt{f^1 ci}$ Tegangan tarik pada balok sederhana diatas 2 tumpuan

$0.25 \sqrt{f^1 ci}$ Tegangan tarik pada balok pada lokasi lainnya

b. Tegangan ijin pada saat *service*:

$0.45 f^1 ci$ Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan

$0.50 \sqrt{f^1 ci}$ Tegangan tarik pada balok

Dimana : $f^1 ci = 0.95 f^1 c$

2.9.2. Baja beton

Baja beton adalah baja yang digunakan sebagai penulangan dalam konstruksi beton bertulang;

- a. Nilai kuat tarik leleh adalah besarnya gaya tarik yang bekerja pada saat benda uji mengalami leleh pertama;
- b. Nilai kuat tarik putus adalah besarnya gaya tarik maksimum yang bekerja pada saat benda uji putus;
- c. Contoh baja beton adalah batang-batang beton yang panjangnya tertentu, yang diambil dari tempat penyimpanan secara acak serta dianggap mewakili sejumlah baja beton yang akan digunakan sebagai bahan struktur;
- d. Benda uji adalah batang baja beton yang mempunyai bentuk dan dimensi tertentu, yang dibuat/diambil dari contoh-contoh baja beton.

2.9.3. Baja Prategang

Ada 3 tipe Baja prategang yang digunakan yaitu, kawat tunggal (*wire*), untaian kawat (*strand*), dan kawat batangan (*bar*). Setiap jenis kawat biasanya digunakan untuk metode yang berbeda, kawat tunggal biasa digunakan dalam beton prategang pra-tarik, untaian kawat biasa digunakan untuk beton prategang pasca-tarik, dan kawat batangan biasa digunakan untuk beton prategang pra-tarik. Baja yang digunakan memiliki batasan tegangan ijin sebesar $0.94 f_{py}$ Akibat gaya penarikan (*jacking*) dan $0.7 f_{pu}$ sesaat setelah transfer gaya (Lin, 2000).

Baja mutu tinggi merupakan bahan yang umum dipakai pada struktur beton prategang. Baja untuk beton prategang terdiri dari:

- a. Kawat baja

Kawat baja disediakan dalam bentuk gulungan, kawat dipotong dengan panjang tertentu dan dipasang di pabrik atau lapangan. Baja harus bebas dari lemak untuk menjamin rekatan antara beton dengan baja prategang.

b. Untaian kawat (*strand*)

Kekuatan batas *strand* ada 2 jenis yaitu 1720 MPa dan 1860 MPa, yang lazim dipakai adalah *strand* dengan 7 kawat.

Tabel 2. 10 Spesifikasi *Strand* 7 Kawat Tanpa Pelapisan Derajat 1720 MPa

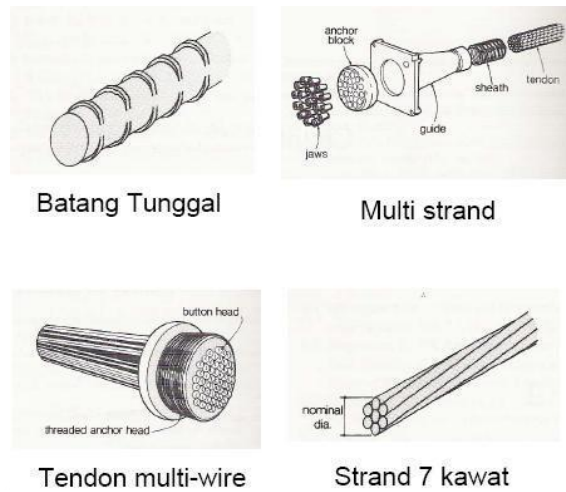
Ø Nominal (mm)	Luas Nominal mm ²	Kuat Putus (kN)	Beban Minimum pada Pemuaian 1% kN
6,35	23,22	40	34,0
7,94	37,42	64,5	54,7
9,53	51,61	89	75,6
11,11	69,68	120,1	102,3
12,70	92,9	160,1	136,2
15,24	139,35	240,2	204,2

Sumber : ASTM A-416

Tabel 2. 11 Spesifikasi *Strand* 7 Kawat Tanpa Pelapisan Derajat 1860 MPa

Ø Nominal (mm)	Luas Nominal (mm ²)	Kekuatan Putus (kN)	Beban Minimum pada Pemuaian 1% (kN)
9,53	54,84	102,03	87,0
11,11	74,19	137,9	117,2
12,70	98,71	183,7	156,1
15,24	140,00	260,7	221,5

Sumber : ASTM A-416



Gambar 2. 9 Bentuk Tendon Tipikal

2.10 Keunggulan Beton Prategang

Menurut Raju (2001) beton prategang memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Batang beton prategang memiliki perlawanan yang meningkat terhadap gaya geser, disebabkan oleh pengaruh prategang tekan, yang mengurangi tegangan tarik utama.
2. Suatu batang lentur beton prategang lebih kaku daripada suatu batang beton bertulang dengan tebal yang sama.
3. Pemakaian beton dan baja berkekuatan tinggi pada batang prategang menghasilkan batang-batang yang lebih ringan dan lebih langsing daripada yang dimungkinkan.
4. Penghematan pada beton prategang dapat dicapai dengan sempurna pada struktur dengan bentang yang panjang.

2.11 Faktor Daktilitas

Daktilitas didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur untuk menahan respon inelastik yang dominan sekaligus mempertahankan sebagian besar dari kekuatan awalnya dalam memikul beban. Faktor daktilitas adalah rasio deformasi *inelastic* yang terjadi pada struktur

selama pembebanan berlangsung, seperti beban gempa, terhadap deformasi yang terjadi pada saat struktur mengalami leleh pertama. Deformasi yang terjadi dapat berupa perpindahan translasi, perpindahan rotasi, kelengkungan, dan regangan.

Dalam perencanaan struktur beton, hanya daktilitas penampang dan daktilitas struktural yang diperhitungkan. Daktilitas penampang menggambarkan sifat *inelastic* penampang akibat momen lentur, sedangkan daktilitas *structural* menggambarkan sifat *inelastic* struktur akibat beban lateral. Daktilitas penampang digambarkan dalam kurva momen-kelengkungan, sedangkan daktilitas *structural* dalam kurva gaya lateral-lendutan lateral (Artiningsih, 2008).

2.12 Struktur Utama Beton Prategang

Beton merupakan salah satu bahan yang mempunyai kuat tekan yang tinggi namun dari segi kuat tarik yang rendah, sedangkan baja merupakan material yang mempunyai kuat tarik tinggi. Oleh karenanya kedua bahan tersebut diharapkan dapat dikombinasikan agar didapat bahan yang kuat terhadap tarik dan tekan (Budiadi, 2008). Kombinasi yang terjadi pada beton prategang merupakan kombinasi yang aktif dari beton dan baja, yaitu dengan menarik baja dengan tegangan gaya tertentu dan melepaskannya sehingga mewujudkan beton dalam keadaan tertekan. Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton prategang pada kenyataannya adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai keinginannya, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara-cara aktif, hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Dengan kombinasi aktif ini akan didapat perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Jadi beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin & Burns, 1988).

Pengaruh dari struktur portal kolom dan balok terhadap balok beton prategang terletak pada gaya aksial dan momen yang diterima. Adanya gaya prategang awal (aksial) yang bekerja pada balok portal dengan suatu penampang kolom, maka gaya aksial yang bekerja pada balok tersebut akan berkurang. Besarnya nilai gaya aksial yang berkurang tersebut akan menjadi gaya geser pada kolom. Pengurangan gaya aksial pada balok ini dikarenakan pengaruh kekakuan 8 kolomnya. Bila kolom tersebut diperbesar penampangnya, maka gaya aksial (prategang) yang bekerja pada balok dapat dipastikan akan berkurang. Besarnya momen yang terjadi pada balok tersebut juga mengalami perubahan. Momen tersebut dihasilkan oleh gaya aksial prategang terhadap jarak eksentrisitas kabel terhadap titik berat penampang beton. Dengan adanya kolom pada balok menerus prategang, maka besarnya nilai momen yang terjadi pada balok juga akan berkurang. Kekakuan kolom membuat momen-momen yang seharusnya terjadi pada balok terserap pada area kolom (Suryadi, 2009).

2.12.1. Gaya Prategang

Gaya prategang dipengaruhi momen total yang terjadi. Gaya prategang yang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. Persamaan ini menjelaskan hubungan momen total dengan gaya prategang (Lin & Burns, 1996).

$$F = \frac{M_T}{0,65h} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan:

F = gaya prategang

M_T = momen akibat beban mati tambahan

h = tinggi balok

2.12.2. Tegangan Ijin pada Baja dan Beton

Tegangan ijin baja sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.5 tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

- a. Tegangan ijin akibat gaya pengangkutan tendon yang bekerja pada kabel. $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,8 f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkut.
- b. Tendon pasca tarik pada daerah angkut dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya prategang. $0,70 f_{pu}$ Tegangan ijin pada beton sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.3.3 dan 18.4 :
 1. Beton prategang akan diklasifikasikan sebagai kelas U sehingga tegangan serat terjauh dalam kondisi tarik pada saat beban layan adalah kurang dari sama dengan $0,62 f'c$.
 2. Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.1 tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - a. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan $0,60 f'ci$
 - b. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan pada ujungujung komponen tumpuan sederhana $0,70 f'ci$
 3. Tegangan beton pada kondisi beban layan (berdasarkan pada sifat penampang tak retak, setelah pembolehan untuk semua kehilangan prategang) untuk komponen struktur lentur prategang kelas U dan kelas T sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.2 tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - a. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup tetap $0,45 f'c$
 - b. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup total $0,60 f'c$

Dimana :

f_{pu} = kuat tarik tendon prategang yang diisyaratkan, MPa

f_{py} = kuat leleh tendon prategang yang diisyaratkan, MPa

$f'ci$ = kuat tekan beton pada saat pemberian prategang awal, Mpa

$f'c$ = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

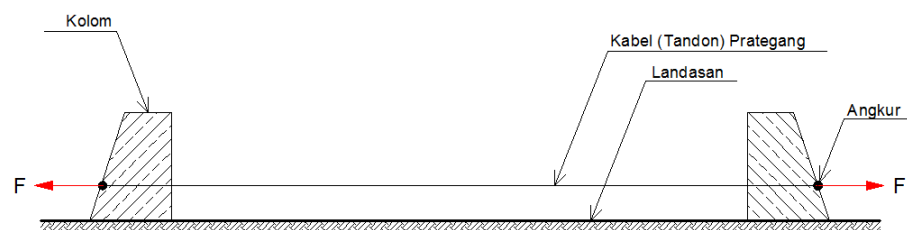
2.12.3. Metode Sistem Balok Prategang

Beberapa macam sistem balok prategang yang ditinjau dari berbagai segi, yaitu:

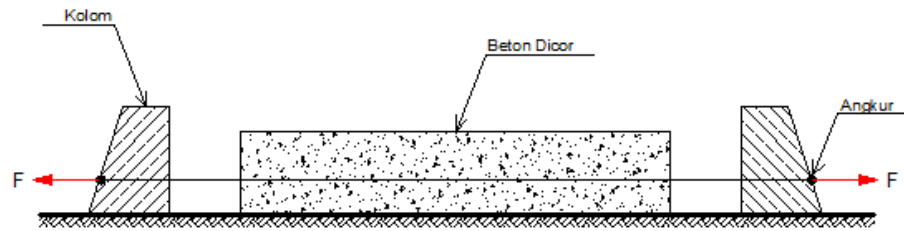
A. Ditinjau Dari Segi Penarikan

1. Sistem Pratarik (*Pre-tension*)

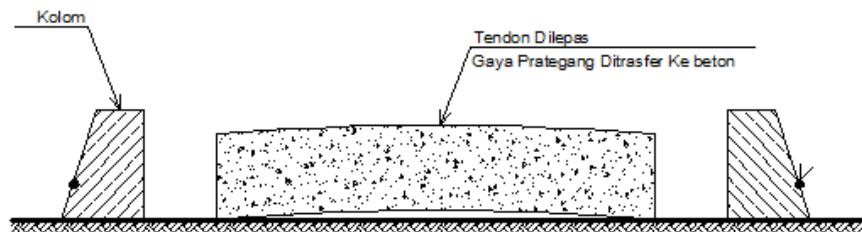
Sistem pratarik dimana tendon terlebih dahulu ditarik antara blok-blok ankur yang tegar (*rigid*) yang dicetak di atas tanah atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik, dan beton selanjutnya di cor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengering, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan prategang ditransfer ke beton (Budiadi, 2008). Transfer prategang beton biasanya dilaksanakan dengan dongkrak hidrolik atau dongkrakan sekrup yang besar, dimana semua kawat dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan. Cara ini sering digunakan di laboratorium atau pabrik beton pracetak (*Precast Prestressed Concrete*) dimana terdapat lantai penahan tarikan yang tetap atau di lapangan dimana dinding penahan dapat dibuat secara ekonomis.



(a) Perakitan besi dan penarikan kabel tendon



(b) Melakukan pengecoran beton

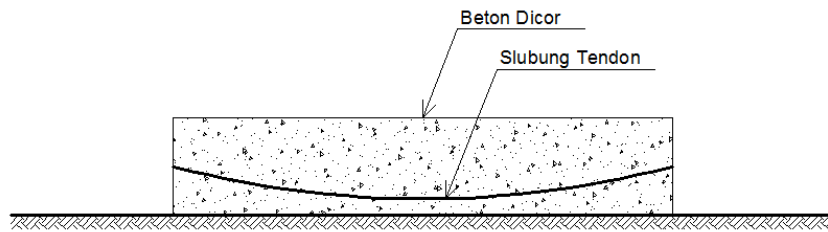


(c) Stelah penarikan balok dalam keadaan prategang

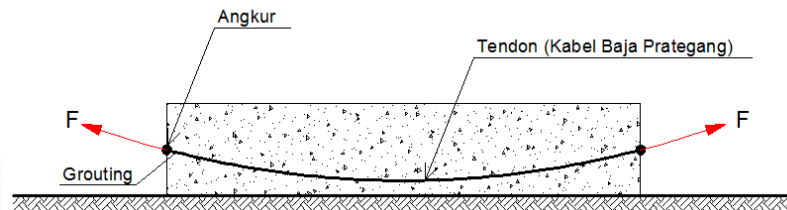
Gambar 2. 10 Tahap pelaksanaan beton prategang dengan metode Pratarik (*Pre-tension*)

2. Sistem Pasca tarik (*Post-tension*)

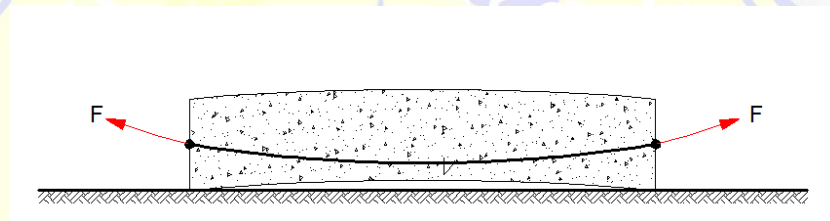
Sistem pascatarik dimana unit beton terlebih dahulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh ankur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang antara tendon dan saluran pada umumnya digROUT setelah penarikan (Budiadi, 2008).



(a) Pengecoran dan pemasangan slubung tendon



(b) Proses stressing tendon skaligus grouting



(c) Balok dalam keadaan prategang

Gambar 2. 11 Tahap pelaksanaan beton prategang dengan metode Pasca tarik (*Post-tension*)

2.12.4. Strand, kawat dan batang prategang

Strand, kawat dan batang prategang yang tidak terdaftar pada ASTM A416M, A421M, atau A722M diizinkan selama sesuai dengan persyaratan minimum dari standar ini dan ditunjukkan oleh hasil tes atau analisis bahwa penggunaannya tidak merusak performa dari komponen.

Tulangan prategang yang menahan momen akibat beban gempa, gaya aksial atau keduanya pada rangka momen khusus, dinding struktural khusus dan semua komponen dari dinding struktural khusus termasuk balok perangkai dan kolom dinding, pengecoran dengan menggunakan metode pracetak harus sesuai ASTM A416M atau A722M. (Anonim, 2019).

Tabel 2. 12 *Strand*, Kawat, dan Batang Tulang Prategang

Tipe	Nilai f_{pu} maksimum yang diizinkan untuk perhitungan desain MPa	Spesifikasi ASTM yang sesuai
<i>Strand (stress relieved dan relaksasi rendah)</i>	1860	ASTM 416M
Kawat (<i>stress relieved dan relaksasi rendah</i>)	1725	ASTM 321M
		ASTM 421M Termasuk persyaratan tambahan S1, “kawat relaksasi rendah dan test relaksasi
Tulangan mutu tinggi	1035	A722M

(Sumber : SNI-2847-2019 Tabel 20.3.2.2.)

Tegangan tulangan prategang terlekat pada kekuatan lentur nominal f_{ps} . Sebagai alternative untuk perhitungan nilai f_{ps} yang lebih akurat berdasarkan pada kompatibilitas regangan, nilai dari f_{ps} yang dihitung sesuai Pers.2.15 harus diizinkan untuk komponen dengan tulangan prategang terlekat jika semua tulangan prategang berada pada daerah tarik dan nilai dari $f_{se} \geq 0,5 f_{pu}$.

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d'} \frac{f_y}{f'_c} (\rho - \rho') \right] \right\} \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan :

f_{ps} = tegangan dalam baja prategang pada kekuatan lentur nominal, MPa

f_{pu} = kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan, MPa

γ_p = faktor untuk tipe baja prategang

β_1 = faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

ρ_p = rasio A_{ps} terhadap $b d_p$

f'_c = kuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa

f_y = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, MPa

ρ = rasio A_s terhadap bd (A_s = luas tulangan tarik longitudinal)

ρ' = rasio A_s' terhadap bd (A_s' = luas tulangan tekan)

bd = lebar muka tekan komponen struktur

2.12.5. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat *stressing*. Reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

1. Kehilangan langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

- c. Kehilangan akibat perpendekan elastis
- d. Kehilangan akibat pengankuran
- e. Kehilangan akibat gesekan (*Woble effect*)
- f. Kehilangan akibat kekangan kolom

2. Kehilangan yang bergantung pada waktu (kehilangan tidak langsung)

Kehilangan prategang yang bergantung pada waktu disebut sebagai kehilangan prategang secara tidak langsung hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat *jacking*), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

- c. Kehilangan akibat susut
- d. Kehilangan akibat rangkai
- e. Kehilangan akibat relaksasi baja

Berikut ini penjelasan dari masing - masing kehilangan prategang :

a) Kehilangan Prategang Langsung:

a. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis

Akibat gaya *jacking* yang terjadi oleh tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan

gaya *prestress* yang cukup besar), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada kontruksi pascatarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan, karena penarikan kabel hanya terjadi satu kali dan tidak ada tendon awal yang mengalami perpendekan dan kehilangan akibat tarikan tendon terakhir (Nawy, 2014).

b. Kehilangan Akibat *Woble Efek* dan gesekan

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai *wobble effect*. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_0 di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak L di sepanjang bentang. Sedangkan, efek *Wobble* mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon (Nawy, 2014).

c. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang teralihkan ke angkur. Pada metode pascatarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya jacking dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit (Nawy, 2014).

d. Kehilangan Prategang Akibat Kekangan Kolom

Konstruksi beton prategang dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini dapat terjadi karena saat dilakukan *jacking* beton terkekang oleh kekakuan kolom, gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya *jacking* yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok prategang maka semakin besar gaya prategang yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya *jacking* hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari *jacking* yang terjadi, demikian pula jika kolom didisain tidak kaku maka semakin kecil gaya kehilangan prategang balok akibat kekangan dan semakin kecil momen yang diterima kolom akibat gaya *jacking* yang terjadi (Nawy, 2014).

2.12.6. Kontrol terhadap lendutan

Falsafah desain yang disebut “pendekatan keadaan batas“ (*limit state approach*), yang dipakai oleh peraturan-peraturan Rusia pada tahun 1945 dan Amerika serta Inggris pada tahun 1971, memerlukan pengetahuan yang tepat mengenai perilaku batang beton struktural pada keadaan batas berganda di mana lendutan merupakan suatu kriteria penting untuk keamanan struktur. Menurut berbagai peraturan nasional, umumnya batang beton struktur harus didesain agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang dapat berpengaruh merugikan terhadap kekuatan atau kemampuan fungsi struktur pada beban kerja.

Kontrol terhadap lendutan yang sesuai sangat penting karena alasan-alasan berikut:

1. Pelendutan yang berlebihan pada batang struktural utama tidak mudah

terlihat dan, pada waktunya, membuat lantai menjadi tidak sesuai untuk pemakaian yang direncanakan.

2. Lendutan yang besar akibat pengaruh dinamis dan akibat pengaruh beban yang berubah-ubah dapat mengurangi kenyamanan pemakaiannya.
3. Lendutan yang berlebihan cenderung menyebabkan kerusakan pada permukaan,sekat,dan struktur-struktur yang berkaitan.

Lendutan batang beton prategang dipengaruhi oleh faktor-faktor penting berikut:

1. Beban terpasang dan berat sendiri
2. Besarnya gaya prategang
3. Profil kabel
4. Momen inersia potongan melintang
5. Modulus elastisitas beton
6. Susut, rangkai, dan relaksasi tegangan baja
7. Bentangan batang yang bersangkutan
8. Kondisi penjepitan

Di dalam tahap pra-retakan,seluruh potongan melintang adalah efektif dan lendutan dalam tahap ini dihitung dengan memakai momen inersia dari penampang beton seluruhnya. Perhitungan lendutan jangka pendek atau lendutan seketika yang terjadi segera setelah transfer prategang dan pada pemberian beban mudah dilakukan dengan memakai teori Mohr.

Di dalam tahap setelah retakan, sebuah balok beton prategang berperilaku sama dengan sebuah balok beton bertulang dan perhitungan lendutan dalam tahap ini dilakukan dengan meninjau hubungan momen-kelengkungan yang menyangkut sifat-sifat penampang balok retak.

Di dalam kedua kasus, di atas pengaruh rangkai dan susut beton adalah untuk memperbesar lendutan jangka panjang akibat beban yang terus-menerus, yang diperhitungkan dengan metode-metode empiris yang mencakup pemakaian modulus elastisitas efektif (jangka panjang) atau

dengan mengalikan lendutan jangka pendek dengan faktor yang sesuai.

2.12.7. Meramalkan lendutan jangka panjang

Deformasi batang prategang berubah menurut waktu akibat dari rangkai dan susut beton serta relaksasi tegangan pada baja. Lendutan batang prategang dapat dihitung relatif terhadap suatu datum yang ditentukan, kalau besar dan distribusi longitudinal kelengkungan untuk bentangan balok tersebut diketahui untuk saat yang berdasarkan atas riwayat pembebanan, yang meliputi gaya prategang dan beban hidup. Batang beton prategang menimbulkan deformasi di bawah dua pengaruh yang biasanya bertentangan, yaitu prategang dan beton transversal.

Kelengkungan netto φ_t

pada suatu penampang pada setiap tahap tertentu dapat diperoleh

$$\varphi_t = \varphi_{mt} \varphi_{pt} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan:

- φ_t = Kelengkungan netto
- φ_{mt} = perubahan kelengkungan disebabkan oleh beban transversal
- φ_{pt} = perubahan kelengkungan disebabkan oleh prategang

Di bawah aksi beban transversal yang terus-menerus, distribusi tegangan tekan pada beton berubah menurut waktu.

Namun, dalam hal-hal yang praktis, perubahan tegangan adalah kecil, sehingga dapat dianggap bahwa rangkai beton berlangsung dalam tegangan konstan. Regangan rangkai akibat beban transversal dihitung secara langsung sebagai fungsi dari koefisien rangkai sedemikian rupa sehingga perubahan kelengkungan dapat diperhitungkan dengan persamaan.

$$\varphi_{mt} = (1 + \varphi) \varphi_i \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

φ = koefisien rangkai, dan

φ_i = kelengkungan awal segera setelah pemasangan beban transversal.

Perubahan kelengkungan akibat prategang yang terus menerus (Φ_{pt}) tergantung pada pengaruh-pengaruh kumulatif dari rangkai dan susut beton serta relaksasi tegangan pada pengaruh-pengaruh kumulatif dari rangkai dan unsur beton serta relaksasi tegangan pada baja. Beberapa metode telah diusulkan untuk mengevaluasi kelengkungan dengan anggapan-anggapan. Beberapa metode yang telah diusulkan untuk mengevaluasi kelengkungan dengan anggapan-anggapan yang disederhanakan.

Suatu prosedur yang lebih sederhana tetapi berdasarkan perkiraan telah dianjurkan oleh (Lin, 2000) untuk menghitung lendutan jangka panjang. Dalam metode ini, lendutan awal akibat prategang dan beban transversal telah dimodifikasi untuk memperhitungkan kehilangan prategang yang cenderung mengurangi lendutan, dan pengaruh rangkai yang cenderung menambah lendutan. Prinsip modulus tereduksi yang menyangkut koefisien rangkai dipakai untuk memperkuat lendutan awal.

2.12.8. Kriteria Desain Keadaan Batas untuk Batang Beton Prategang

Falsafah desain keadaan batas mengakui perlunya memberikan struktur yang aman dan dapat berfungsi dengan harga ekonomis dan sekaligus memberikan suatu gagasan yang lebih jelas tentang batas-batas keamanan yang sesungguhnya dipakai untuk menutup ketiaktastian dan ketidaktahuan akan fungsi dan prestasi struktur dalam praktek sebenarnya.

2.12.9. Keadaan Batas Kemampuan layanan

Keadaan batas kemampuan layanan ialah keadaan batas yang sesuai dengan lendutan berlebihan dan retakan. Sudah menjadi kebiasaan hampir semua peraturan untuk memberikan keamanan terhadap lendutan yang berlebihan di bawah keadaan batas kemampuan layanan, baik secara tak langsung dengan menentukan suatu perbandingan bentang/tinggi balok minimum maupun dengan menentukan suatu lendutan izin maksimum yang dinyatakan sebagai suatu fraksi dari bentangan.

Tabel 2. 13 Lendutan Maksimum yang Diijinkan

Jenis komponen struktur	Lendutan terhitung	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$l/180$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non- struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$l/360$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen non-struktural (jumlah dari lendutan jangka panjang,	$l/480$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar	Akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup)	$l/240$

(Sumber : SNI 7833 – 2012)

2.12.10. Lebar Retakan pada Batang Prategang

Lebar retakan yang timbul pada batang prategang tipe kelas 3 ditentukan oleh suatu kenaikan tegangan pada baja dari tahap dekompresi, persentase ruangan di daerah tarik, retakan, dan kondisi pembebanan pada batang.

$$W_{mak} = (\Delta f_s - \frac{\psi E_s}{\rho}) 10^{-3} \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan:

W_{mak} = lebar retakan maksimum (mm)

Δf_s = kenaikan tegangan pada baja ditinjau terhadap tegangan pada baja yang bersesuaian dengan dekompresi beton di sekelilingnya (N/mm²)

ρ = perbandingan baja seperti yang didefinisikan dalam Tabel 2.8, tetapi tidak kurang dari nilai minimum yang ditentukan.

E_s = modulus elastisitas baja (N/mm²)

ψ = konstanta yang berkaitan dengan kondisi rekatan dan kondisi pembebanan batang (Tabel 2.8)

Tabel 2. 14 Koefisien untuk Rumus Lebar Retakan

Tipe batang	Perbandingan baja ρ	minimum	ψE_s (N/mm ²)
Penampang persegi anjang dipenampang T pada lendutan sederhana	$\frac{A_s}{bw.d}$	0,010	0,37
Penampang persegi anjang dipenampang T pada tekanan lendutan	$\frac{A_s}{bw(d - x)}$	0,016	0,60
Bantalan atau balok dengan flens bawah	A_s (luas total) Atau A_s (luas flens bawah) $E_s = 0$	0,040	1,50

(sumber : buku beton prategang Krishna Raj)

2.12.11. Gaya Prategang

Penentuan gaya prategang awal berpengaruh pada momen total, yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai pemilihan penampang.

2.12.12. Tegangan Ijin Baja dan Beton

Tegangan beton tidak boleh melampau nilai-nilai dalam SNI 2847:2013 ps. 18.4 dan tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai dalam SNI 2847:2013 pasal. 18.

1. Tegangan izin beton (SNI 2847:2013 ps. 18.4.1)

a.) Pada saat penyaluran prategang

sebelum kehilangan prategang tergantung waktu (SNI 2847:2013 ps. 18.4.1)

$0.60 f'_{ci}$ Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan

$0.5\sqrt{f'_{ci}}$ Tegangan tarik pada balok sederhana diatas 2 tumpuan

$0.25\sqrt{f'_{ci}}$ Tegangan tarik pada balok pada lokasi lainnya

b.) Pada saat beban kerja

Berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 18.4.2

$0.45 f'_c$ Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan dan beban tetap

$0.66 f'_c$ Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan dan beban total

dengan:

f'_{ci} = Kuat tekan beton pada hari ke-i

f'_c = Kuat tekan beton

2. Tegangan izin baja

Berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 18.5.1

a.) $0.94 f_{py}$ Akibat gaya penarikan (*jacking*) tetapi tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari $0,80f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pembuat baja prategang.

b.) Tendon pasca Tarik, pada perangkat angkur dan kopler (*couplers*), sesaat setelah transfer gaya ($0,70 f_{pu}$).

dengan:

f_{py} = Kuat tarik baja

f_{pu} = Kuat tarik tendon

2.12.13. Pemilihan Tendon Baja Prategang

Pemilihan tendon baja prategang sangat dipengaruhi oleh gaya prategang yang ada. Ketentuan mengenai Tendon mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 7.6.7.

2.12.14. Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel sangat mempengaruhi dalam peletakan tendon prategang yang akan digunakan. Perhitungan limit kabel menggunakan perumusan umum:

$$a(\text{atas}) = \frac{M \text{ max}}{f_e} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$a(\text{bawah}) = \frac{M \text{ min}}{f_o} \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan:

f_e = merupakan gaya saat beban bekerja

f_o = merupakan gaya saat *jacking*

$M \text{ max}$ = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban terapan luar

$M \text{ min}$ = momen terfaktor minimum pada penampang akibat beban terapan luar

2.12.15. Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibandingkan pada saat *stressing*. Kehilangan prategang dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu:

1. Kehilangan segera (kehilangan langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang, yang terdiri dari:

a.) Kehilangan akibat pengangkuran

$$x = \sqrt{\frac{Ep \cdot g}{\mu \frac{a}{l} + K}} \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

Ep = Modulus elastisitas baja

K = Koefisien Wobble

a = Sudut Kelengkungan kabel

g = Koefisien

μ = Koefisien friksi

l = Panjang kabel

b.) Kehilangan akibat perpendekan elastis

$$Es = n \cdot f_{cir} \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan:

$$n = Ep/Ec$$

f_{cir} = Tegangan beton didaerah cgs

c.) Kehilangan akibat gesekan

$$Ps = Px e^{(\mu\alpha + K\lambda x)} \dots\dots\dots (2.22)$$

Bila $(\mu\alpha + K\lambda x)$ tidak lebih besar dari 0,3 maka pengaruh kehilangan akibat friksi dengan rumus berikut:

$$Ps = Px(1 + \mu\alpha + K\lambda x) \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

K = Koefisien Wobble

λx = Panjang kabel

μ = Koefisien friksi

α = Sudut kelengkungan kabel

2. Kehilangan yang tergantung oleh waktu (kehilangan tidak langsung)

Hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya prategang). Adapun macam kehilangan tidak langsung adalah:

a.) Kehilangan akibat rangkai

Kehilangan akibat rangkai terbagi menjadi dua, yaitu *bonded* tendon dan *unbonded* tendon. Dalam perencanaan ini digunakan *bonded* tendon. Dengan rumus umum yang dipakai adalah:

$$CR = K_{cr} \cdot (E_s / E_c) [f_{cir} - f_{cds}] \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan:

CR = kehilangan akibat rangkai

K_{cr} = 1,69 untuk pasca tarik

f_{cds} = tegangan beton didaerah *cgs* akibat beban tetap

f_{cir} = tegangan beton didaerah *cgs* oleh F_o

E_s = modulus elastisitas tulangan dan baja struktural

E_c = modulus elastisitas beton

b.) Kehilangan akibat susut

Kehilangan akibat susut terjadi karena terjadi kehilangan air.

$$SH = (8,2 / 10^n) K_{sh} \cdot E_s [1 - 0,06(v/s)] [100 - RH] \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

0,06 untuk satuan inci

SH = kehilangan akibat susut

(v/s) = rasio volume dibagi luas permukaan

RH = kelembaban relatif

K_{sh} = sesuai tabel berikut

E_s = modulus elastisitas tulangan dan baja struktural

Tabel 2. 15 Jumlah Hari Sesudah Curing dihentikan sampai diadakan *stressing*

Hari	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,83	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

c.) Kehilangan akibat relaksasi baja

Kehilangan akibat relaksasi diakibatkan oleh baja karena sifat elastisitas baja itu sendiri

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + E_s)] \cdot C \dots\dots\dots(2.26)$$

dengan:

RE = kehilangan akibat relaksasi baja

CR = kehilangan akibat rangkai

SH = kehilangan akibat susut

E_s = modulus elastisitas tulangan dan baja struktural

C = konstanta penampang untuk menentukan properti torsi slab dan balok

K_{re} dan J tergantung jenis baja

2.12.16. Kontrol Kuat Batas Beton Prategang

Kuat batas balok prategang yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut (SNI 2847:2013 ps 18.13)

$$1.2M_{cr} \leq \phi M_u \leq M_n \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan :

M_{cr} = momen retak yang terjadi pada balok prategang

M_u = momen ultimate balok prategang

M_n = Kapasitas penampang

2.12.17. Kontrol Lentur

Kuat lentur komponen struktur prategang dapat dihitung menggunakan asumsi yang layaknya pada komponen struktur non prategang. Tendon prategang tidak mempunyai titik leleh yang pasti seperti halnya tulangan lunak. Ketika penampang prategang mencapai kuat lenturnya (didefinisikan dengan regangan beton tekan maksimum sebesar (0,003), tegangan di baja prategang pada kekuatan nominal f_{ps} akan sangat bervariasi, tergantung pada jumlah prategangnya.

Nilai f_{ps} dapat diperoleh dengan kondisi kesetimbangan, hubungan tegangan regangan, dan kompatibilitas regangan. Untuk prategang dengan lekatan kompatibilitas regangan dapat ditinjau pada suatu penampang tunggal. Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps.18.7.2 untuk komponen struktur dengan tendon lekatan, adalah sebagai berikut:

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{dp} (\omega - \omega') \right) \right) \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\omega = \rho \frac{fy}{f'_c} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\rho_p = \frac{A_{pu}}{b.dp} \dots\dots\dots (2.30)$$

Jika tulangan tekan diperhitungkan saat menghitung f_{ps} dengan persamaan diatas, maka suku:

$\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{dp} (\omega - \omega')$ harus diambil tidak kurang dari 0,17 dan d' tidak lebih dari 0,15 dp .

dengan:

f_{ps} = tegangan pada tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa

f_{pu} = kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan MPa

γ_p = faktor yang memperhitungkan tipe tendon prategang 0,55 untuk tulangan ulir ($f_{py}f_{pu} \geq 0,80$) 0,40 untuk kawat dan strand bebas regangan (*stressrelieved*) ($f_{py}f_{pu} \geq 0,85$) 0,28 untuk kawat dan strand relaksasi rendah ($f_{py}f_{pu} \geq 0,90$)

d = jarak serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan, mm

dp = jarak serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang, mm

ρ_p = rasio tulangan prategang

2.12.18. Kontrol Geser

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 2847:2013 pasal 11.3.1 yang mana dapat digunakan dua perumusan, dimana perumusan yang digunakan ialah secara umum dan rinci.

Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

2.12.19. Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan struktur harus dihitung agar tidak melebihi batas-batas yang telah ditetapkan. Lendutan dihitung menurut pembebanan, dimana berat sendiri dan beban eksternal mempengaruhi. (SNI 2847:2013 Ps.9.5). lendutan yang terjadi harus lebih kecil daripada lendutan ijin.

2.12.20. Pengankuran

Pada balok prategang pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya prategang maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengankuran global di isyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.13.2.2. Bila diperlukan, pada daerah pengankuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencair, belah dan pecah yang timbul akibat pengankuran tendon sesuai pasal 18.13.1.

2.13 Analisa Pembebanan

2.13.1. Tahap Pembebanan

Pada pembebanan beton prategang memiliki dua tahapan pembebanan. Disetiap tahapan pembebanan harus selalu dilakukan pengecekan kondisi beton pada bagian yang tertekan maupun tertarik untuk setiap penampang. Tahapan pembebanan pada beton prategang adalah:

a. Tahap transfer

Tahap transfer adalah tahap dimana gaya prategang dipindahkan pada beton dan tidak ada beban luar yang bekerja selain berat sendiri. Pada tahap ini, gaya prategang maksimum sebab belum ada kehilangan prategang dan kekuatan beton minimum sebab umur

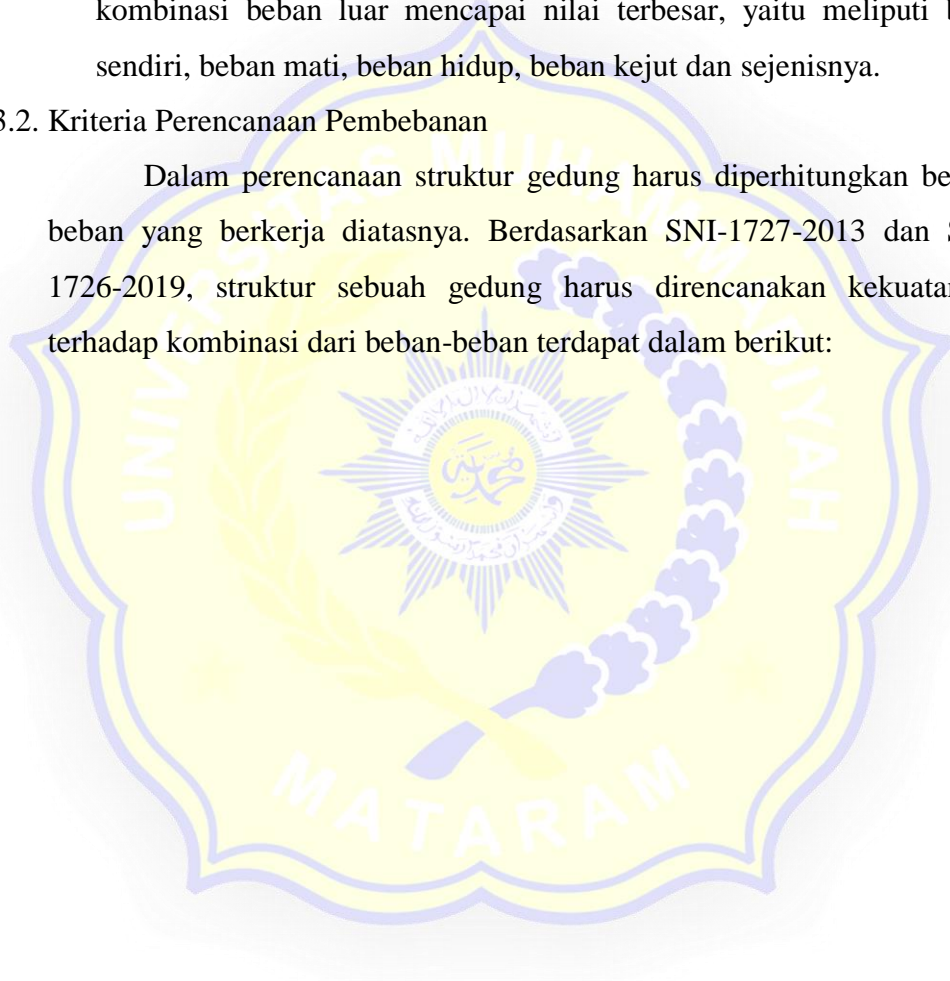
beton masih muda, konsekuensinya tegangan pada beton menjadi kritis.

b. Tahap *service*

Tahap ini adalah pembebanan yang paling berat untuk kondisi masa pelayanan dengan asumsi bahwa semua kehilangan prategang telah terjadi sehingga gaya prategang telah mencapai nilai terkecil dan kombinasi beban luar mencapai nilai terbesar, yaitu meliputi berat sendiri, beban mati, beban hidup, beban kejut dan sejenisnya.

2.13.2. Kriteria Perencanaan Pembebanan

Dalam perencanaan struktur gedung harus diperhitungkan beban-beban yang berkerja diatasnya. Berdasarkan SNI-1727-2013 dan SNI-1726-2019, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap kombinasi dari beban-beban terdapat dalam berikut:



Tabel 2. 16 Bahan Bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	Kg/m ³
2	Batu alam	2600	Kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500	Kg/m ³
4	Batu karang (berat tumpuk)	700	Kg/m ³
5	Batu pecah	1450	Kg/m ³
6	Besi tuang	7250	Kg/m ³
7	Beton (1)	2200	Kg/m ³
8	Beton bertulang (2)	2400	Kg/m ³
9	Kayu kelas 1 (3)	1000	Kg/m ³
10	Kerikil, koral (kering udara-lembab, tanpa ayak)	1650	Kg/m ³
11	Pasangan bata merah	1700	Kg/m ³
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	Kg/m ³
13	Pasangan batu cetak	2200	Kg/m ³
14	Pasangan batu karang	1450	Kg/m ³
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	Kg/m ³
16	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1800	Kg/m ³
17	Pasir (jenuh air)	1850	Kg/m ³
18	Tanah, lampung, lanau (kering udara-lembab)	1700	Kg/m ³
19	Tanah lampung dan lanau (basah)	2000	Kg/m ³
20	Timah hitam (timbel)	11400	Kg/m ³

(Sumber : SNI-1727-1989, Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung)

Tabel 2. 17 Berat Sendiri Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Adukan per cm tebal : a) Dari semen b) Dari kapur, semen merah atau tras	21 17	Kg/m ²
2	Aspal termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	Kg/m ²
3	Dinding pasangan bata merah : a) Satu bata b) Setengah batu	450 250	Kg/m ²
4	Dinding pasangan batako a) Berlubang b) Tebal dinding 20 cm (HB 20) c) Tebal dinding 10 cm (HB 10) d) Tanpa lubang e) Tebal dinding 15 cm f) Tebal dinding 10 cm	200 120 200 300	Kg/m ²
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk– rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku). Terpadu dari : a) Semen asbes (eternity dan bahansejenis). dengan tebal maksimum 4mm b) Kaca dengan tebal 3-4 mm	11 10	Kg/m ²
6	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan batang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	40	Kg/m ²
7	Penutup atap genteng dengan reng dan rusuk atau kaso per m ² bidang atap	50	Kg/m ²
8	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk atau kaso per m ² bidang atap	40	Kg/m ²
9	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	Kg/m ²
10	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton tanpa	24	Kg/m ²

	adukan per cm tebal		
11	Semen asbes gelombang (tebal 5mm)	11	Kg/m ²

(Sumber : SNI-1727-1989, Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung)

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat sendiri dari semua bangunan suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, alat atau mesin merupakan bagian yang tidak pernah dipisahkan dengan bangunan.

a. Beban mati akibat berat sendiri bahan bangunan

Berat sendiri bahan bangunan adalah berat dasar dari masing-masing bahan yang digunakan dalam pengerjaan suatu struktur, adapun beberapa jenis berat sendiri bahan bangunan antara lain dirangkum dalam Tabel 2.1.

b. Beban mati akibat berat sendiri komponen gedung

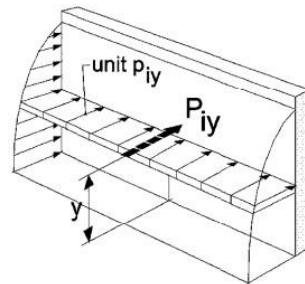
Berat sendiri komponen gedung adalah berat dasar masing-masing komponen yang digunakan dalam pengerjaan suatu struktur, adapun beberapa jenis berat sendiri komponen gedung antara lain dirangkum dalam Tabel 2.2.

c. Beban mati akibat kolam

Pada saat terjadinya guncangan akibat tangki air, maka akan terjadi peningkatan tekanan dasar, dimana dinding penahan air akan menerima tekanan lateral hidrodinamik. Pada perhitungan tekanan hidrodinamik yang terjadi akibat pengaruh goyangan gempa. Besarnya tekanan *hidrodinamik* yang terjadi merupakan penjumlahan tekanan implusif, tekanan konveksi dan tekanan inersia dinding.

1. Tekanan *Hidrodinamik* Implusif

Merupakan tekanan yang terjadi akibat pengaruh pergerakan air pada bangunan bawah yang bergerak bersamaan dengan dinding tangkai. Deskripsi pendistribusian hidrodinamik implusif pada dinding dasar dilihat pada **Gambar 2.12**.

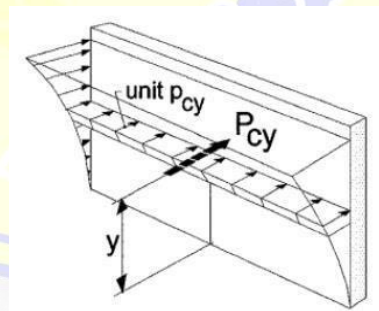


Gambar 2. 12 Distribusi Tekanan Hidrodinamik Implusif

(Sumber : ACI 350.3-06, *ACI Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures and Commentary*).

2. Tekanan *Hidrodinka* Konvektif

Tekanan *Hidrodinamik* Konvektif merupakan tekanan yang diakibatkan oleh pergerakan air permukaan yang bergerak dalam periode yang panjang. Deskripsikan pendistribusian *hidrodinamik* konvektif pada dinding dan dasar dinding dilihat pada **Gambar 2.13**.



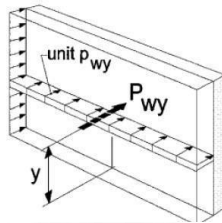
Gambar 2. 13 Distribusi Tekanan Hidrodinamik konvektif

(Sumber : ACI 350.3-06, *ACI Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures and Commentary*)

3. Tekanan akibat inersia dinding

Tekanan akibat inersia dinding akan bereaksi searah dengan gaya gempa yang terjadi, tekanan akibat inersia dinding akan seragam

sepanjang dinding dengan ketebalan yang sama. Diskripsi pendistribusian tekanan inersia dinding dilihat pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 Distribusi Tekanan Inersia Dinding

(Sumber : ACI 350.3-06, *ACI Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures and Commentary*)

2. Beban Hidup

Beban Hidup pada lantai gedung, sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan dan juga dinding pemisah ringan ($q > 100$ kg/m'). Beban berat dari lemari arsip, alat dan mesin harus ditentukan tersendiri.

Tabel 2. 18 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Beban Hidup Pada Lantai Gedung			
a.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b.	200	kg/cm ²
b.	Lantai dan tangga rumah sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel.	125	kg/cm ²
c.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit.	250	kg/cm ²
d.	Lantai ruang olah raga	400	kg/cm ²
e.	Lantai ruang dansa	500	kg/cm ²
f.	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton	400	kg/cm ²

g.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri.	500	kg/cm^2
h.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c.	300	kg/cm^2

Lanjutan Tabel 2.18 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Beban Hidup Pada Lantai Gedung			
i.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g.	500	kg/cm^2
j.	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g.	250	kg/cm^2
k.	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400	kg/cm^2
l.	Lantai gedung parkir bertingkat:		kg/cm^2
	a) untuk lantai bawah	800	kg/cm^2
	b) untuk lantai tingkat lainnya	400	kg/cm^2
m.	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300	kg/cm^2

(Sumber : SNI-1727-1983, Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung)

Beban Hidup pada atap gedung, yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar $100 kg/m^2$ bidang datar. Atap dan/atau bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang menentukan (terbesar) dari:

a. Beban terbagi rata air hujan

$$W_{ah} = 40 - 0,8 \alpha \dots\dots\dots (2.31)$$

dengan:

$$W_{ah} = \text{beban air hujan, } kg/m^2 \text{ (min. } W_{ah} \text{ atau } 20 \text{ } kg/m^2 \text{)}$$

α = sudut kemiringan atap, derajat (jika $\alpha \geq 50^\circ$ dapat diabaikan).

- b. Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

Balok tepi atau gordeng tepi dari atap yang tidak cukup ditunjang oleh dinding atau penunjang lainnya dan pada kantilever harus ditinjau kemungkinan adanya beban hidup terpusat sebesar minimum 200 kg. Beban Hidup Horizontal perlu ditinjau akibat gaya desak orang yang nilainya berkisar 5% s/d 10% dari beban hidup vertikal (gravitasi). Reduksi Beban Hidup pada perencanaan balok induk dan portal (beban vertikal/gravitasi), untuk memperhitungkan peluang terjadinya nilai beban hidup yang berubah-ubah, beban hidup merata tersebut dapat dikalikan dengan koefisien reduksi (Sumber : PPIURG, 1983).

Reduksi Beban Hidup pada perencanaan balok induk dan portal (beban horisontal/gempa dan angin), dapat dikalikan dengan faktor reduksi.

Tabel 2. 19 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Koefisien Reduksi Beban Hidup		
Penggunaan Gedung	Koefisien Reduksi Beban Hidup	
	Peninjauan Beban Gravitasi	Peninjauan Beban Gempa
PERUMAHAN/HUNIAN		
Rumah tinggal, asrama, hotel, dan rumah sakit	0,75	0,30
PENDIDIKAN		
Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
PERTEMUAN UMUM		
Masjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50
PERKANTORAN		
Kantor, bank	0,60	0,30
PERDAGANGAN		

Toko, toserba, pasar	0,80	0,80
PENYIMPANAN		
Gudang, perpustakaan, ruang arsip	0,80	0,80

Lanjutan Tabel 2. 19 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Koefisien Reduksi Beban Hidup		
Penggunaan Gedung	Koefisien Reduksi Beban Hidup	
	Peninjauan Beban Graftasi	Peninjauan Beban Gempa
INDUSTRI		
Pabrik, bengkel	1,0	0,90
TEMPAT KENDARAAN		
Garasi, gedung parkir	0,90	0,50
GANG DAN TANGGA		
a. perumahan/hunian	0,75	0,30
b. pendidikan, kantor	0,75	0,50
c. pertemuan umum, perdagangan penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,90	0,50

(Sumber : SNI-1727-1983, Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung)

Reduksi Beban Hidup pada perencanaan elemen vertikal struktur (kolom, dinding dan pondasi), dapat dikalikan dengan faktor reduksi. Kecuali untuk kegunaan lantai bangunan: lantai gudang, ruang arsip, perpustakaan dan ruang penyimpanan sejenis. Lantai ruang yang memikul beban berat tertentu yang bersifat tetap, seperti alat dan mesin. Pada

perencanaan pondasi, Beban Hidup pada lantai yang menumpu di atas tanah harus turut ditinjau, diambil penuh tanpa dikalikan koefisien reduksi.

Tabel 2. 20 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif	
Jumlah lantai yang dipikul (<i>n</i>)	Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif
1	1,0
2	1,0
3	0,9
4	0,8
5	0,7
6	0,6
7	0,5
$n \geq 8$	0,4

(Sumber : SNI-1727-1983, Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung)

2.13.3. Kombinasi Pembebanan

Pembebanan Tetap : $M + H$

Pembebanan Sementara : $M + H + A$

$M + H + G$

Pembebanan Khusus : $M + H + G$

$M + H + A + K$

$M + H + G + K$

dengan:

M = Beban Mati, DL (*Dead Load*)

H = Beban Hidup, LL (*Live Load*)

A = Beban Angin, WL (*Wind Load*)

G = Beban Hidup, E (*Earthquake*)

K = Beban Khusus

Beban Khusus, beban akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya rem dari keran, gaya sentrifugal, getaran mesin. Perencanaan komponen struktural gedung direncanakan dengan kekuatan batas (ULS), maka beban tersebut perlu dikalikan dengan faktor beban. Pada peninjauan beban kerja pada tanah dan pondasi, perhitungan Daya Dukung Tanah (DDT) izin dapat dinaikkan (lihat tabel 2.16).

Tabel 2. 21 Beban Kerja Pada Tanah Dan Pondasi

Jenis Tanah Dan Pondsasi	Pembebanan Tetap DDT Izin	Pembebanan Sementara Kenaikan DDT Izin
	(kg/cm^2)	(%)
Keras	$\geq 5,0$	50
Sedang	2,0 – 5,0	30
Lunak	0,5 – 2,0	0 - 30
Amat lunak	0,0 – 0,5	0

(Sumber : SNI-1727-1983, Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung)

* Catatan 1 $kg/cm^2 = 98,0665$ kPa (kN/m²)

Faktor keamanan (*SF*) 1,5 tinjauan terha

dap guling, gelincir dll.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Umum

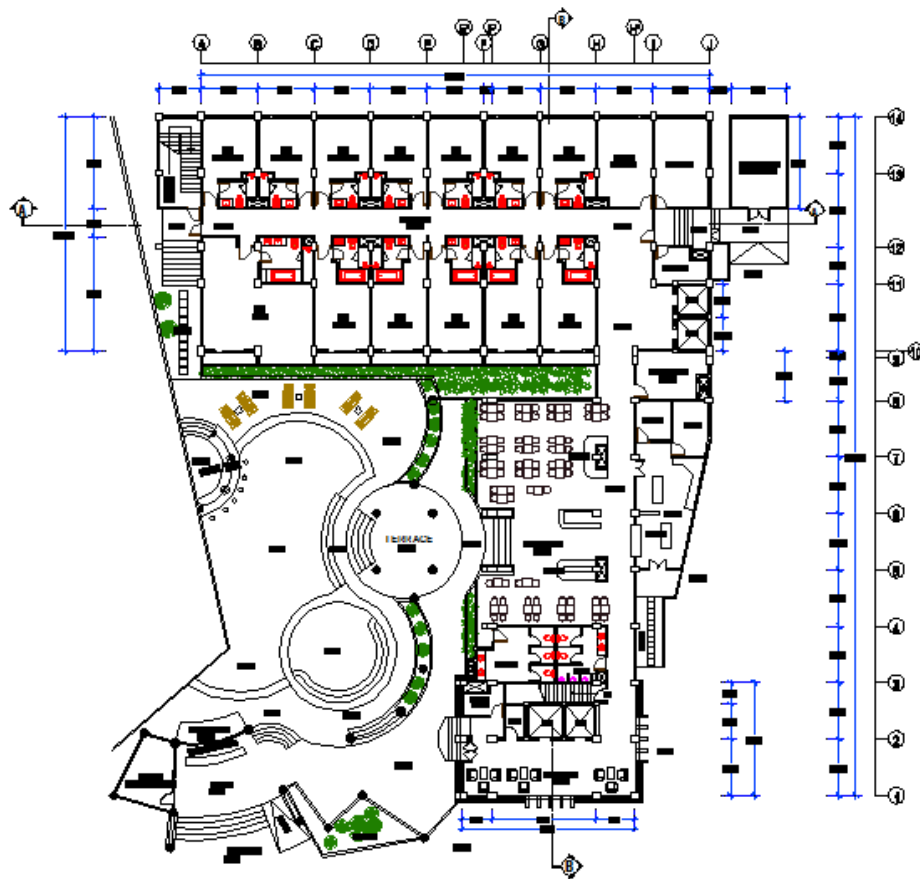
Pada bab metodologi ini akan membahas mengenai langkah-langkah pelaksanaan pada perencanaan modifikasi struktur gedung Hotel Sutan Raja Mataram. Urutan pelaksanaan dimulai dari pengumpulan referensi dan pedoman pelaksanaan hingga hasil akhir dari analisa struktur.

3.2. Deskripsi Struktur

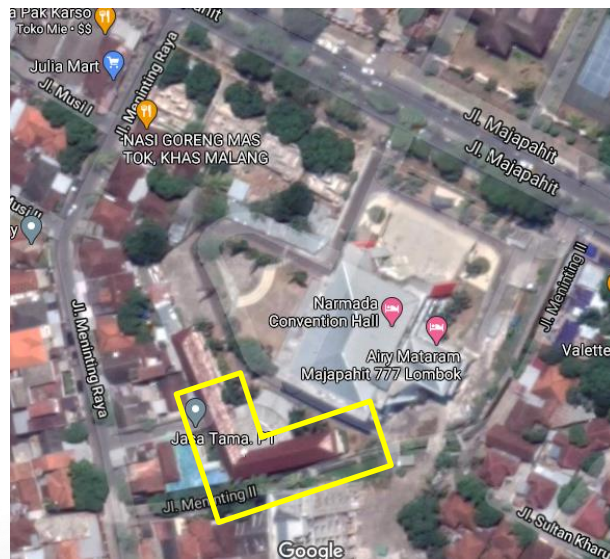
Hotel Sutan Raja Mataram adalah gedung yang berfungsi sebagai tempat penginapan, bangunan hotel ini terdiri dari 7 lantai + 1 lantai atap *lift*. Struktur bangunan ini dirancang dengan menggunakan konstruksi beton konvensional. Hotel Sutan Raja Mataram berada di Jalan Majapahit, Kota Mataram yang berdiri pada lokasi tanah lunak (*SE*) menurut SNI 1726-2019 dan menggunakan sistem pelat lantai dua arah. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa ulang balok konvensional dengan merekayasa dengan menggunakan balok prategang. Adapun gambar perspektif gedung Hotel Sutan Raja Mataram dan denah beserta lokasinya dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 3. 1 Perspektf Hotel Sutan Raja Mataram



Gambar 3. 2 Denah Hotel Sutan Raja Mataram



Gambar 3. 3 Lokasi Pembangunan Hotel Sutan Raja Mataram

3.3. Data Perencanaan

3.3.1. Data Umum Bangunan

- 1) Nama Gedung : Pembangunan Hotel Sutan Raja Mataram
- 2) Lokasi : Jl. Majapahit, Kota Mataram, NTB
- 3) Fungsi : Penginapan dan Pertemuan
- 4) Jumlah Lantai : 7 Lantai
 - : Lantai 1 = 5 m
 - : Lantai 2 – 7 = 4 m
- 5) Panjang Bangunan : 36 m
- 6) Lebar bangunan : 16.60 m
- 7) Tinggi Bangunan : 29 m
- 8) Struktur Utama : Beton Bertulang
- 9) Jarak memanjang : (grid A-B) = 4 m
- 10) Jarak melintang : (grid 14-13) = 4 m
 - : (grid 12-11) = 2.6 m
 - : (grid 11-10) = 4.8 m

3.3.2. Data perencanaan gedung

- 1) Gambar kerja
- 2) Data tanah sondir

3.3.3. Data modifikasi

Data gedung hotel sutan raja mataram setelah dimodifikasi adalah sebagai berikut:

- 1) Nama Gedung : Pembangunan Hotel Sutan Raja Mataram
- 2) Lokasi : Jl. Majapahit, Kota Mataram, NTB
- 3) Fungsi : Penginapan dan Pertemuan
- 4) Jumlah Lantai : 7 Lantai
: Lantai 1 = 5 m
: Lantai 2 – 7 = 4 m
- 5) Struktur utama : Struktur beton bertulang dan beton prategang
- 6) Panjang balok (p) : 16.60 m
- 7) Lebar balok (l) : 4.00 m

3.3.4. Data Bahan

Material yang digunakan pada redesain gedung hotel sutan raja mataram yaitu beton dan baja dengan mutu sebagai berikut:

- 1) Mutu Beton ($f'c$) : 30 MPa (Non Prategang) dan
: 50 MPa (Prategang)
- 2) Mutu Baja (f_y) : 400 MPa (Non Prategang)
- 3) Tipe Strand : ASTM A 416-06 Grade 270 (VSL)
- 4) Diameter Strand : 12,7 mm
- 5) Luas Penampang Strand : 98,7 mm
- 6) Kuat Tarik Strand (f_{pu}) : 1860 MPa
- 7) Kuat Leleh Strand (f_{py}) : 1675 MPa
- 8) Mutu Baja Tendon (f_y) : 1860 MPa
- 9) Tendon : Kawat *Strand* (*Post-Tension*) \emptyset 12.70 mm
- 10) Modulus elastisitas beton

Mutu beton dan kuat tekan yang digunakan Hotel Sutan Raja Mataram $f'c = 30 \text{ Mpa} = 4700 \sqrt{f'c} = 25742.960 \text{ Mpa}$

3.3.5. Data Tanah

Data tanah yang digunakan Hotel Sutan Raja Mataram adalah tanah yang berasal dari tanah setempat berupa data boreng.

3.3.6. Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur gedung Hotel Sutan Raja Mataram berdasarkan SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019. Beban yang bekerja pada struktur bangunan gedung Hotel Sutan Raja Mataram antara lain

a. Beban mati

Beban mati adalah seluruh bagian dari komponen struktur bangunan yang bersifat tetap dan terpisahkan dari bangunan gedung tersebut selama masa layanannya, termasuk berat sendiri struktur. Seperti berat sendiri balok, kolom, pelat lantai, atap dan lain sebagainya. Perhitungan beban mati untuk struktur gedung Hotel Sutan Raja Mataram mengacu berdasarkan SNI- 2847-2019.

b. Beban hidup lantai dan atap

Beban hidup adalah beban yang mempengaruhi pembebanan struktur gedung Hotel Sutan Raja Mataram. Di antaranya beban berat manusia dan perabotannya atau beban menurut fungsinya. Beban hidup struktur gedung direncanakan pada plat lantai, balok dan kolom berdasarkan SNI-2847-2019.

c. Beban gempa

Beban gempa merupakan beban yang dipengaruhi oleh gempa bumi. Untuk perencanaan beban gempa Hotel Sutan Raja Mataram, direncanakan terhadap pembebanan gempa akibat pengaruh gempa yang direncanakan berdasarkan arah pembebanan berdasarkan SNI-1726-2019 dengan metode dinamik Respon Spektrum.

3.3.7. Analisa Struktur Menggunakan Aplikasi SAP 2000

a. Proses *input* data

Proses *input* data untuk perencanaan struktur dengan menggunakan program SAP 2000 terdiri dari beberapa tahapan diantaranya, pemodelan struktur, pembuatan geometri struktur,

pendefinisian material, perencanaan dimensi elmen struktur, pembebanan struktur, dan analisa struktur.

b. Proses *output* data

Proses *output* data adalah membuat tabulasi dari hasil analisa struktur yang dilakukan pada struktur bangunan gedung Hotel Sutan Raja Mataram. Dari hasil analisa struktur yang diperoleh akan digunakan dalam merencanakan analisa dalam mendisain struktur kolom yang aman sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Sebelum merencanakan elmen struktur harus memenuhi hasil dari analisa struktur yang akan di tabulasi, jika belum memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan berdasarkan persyaratan yang tercantum dalam SNI yang berlaku, maka akan dilakukan analisa ulang.

3.4. Perencanaan Struktur

3.4.1. Perencanaan plat

Tahap-tahap perencanaan pelat diantaranya :

- a. Menentukan jarak antar pelat
- b. Menentukan dimensi pelat
- c. Menghitung pembebanan pelat
- d. Menghitung penulangan plat

3.4.2. Perencanaan balok

Tahap-tahap perencanaan balok diantaranya :

1. Perencanaan balok konvensional
 - a. Menentukan jarak antar balok
 - b. Menentukan dimensi balok
 - c. Menghitung pembebanan balok
 - d. Analisa statika menggunakan program SAP 2000
 - e. Menghitung penulangan balok akibat momen lentur dan kombinasi momen akibat geser dan torsi
2. Perencanaan balok prategang
 - a. Menentukan jarak antar balok

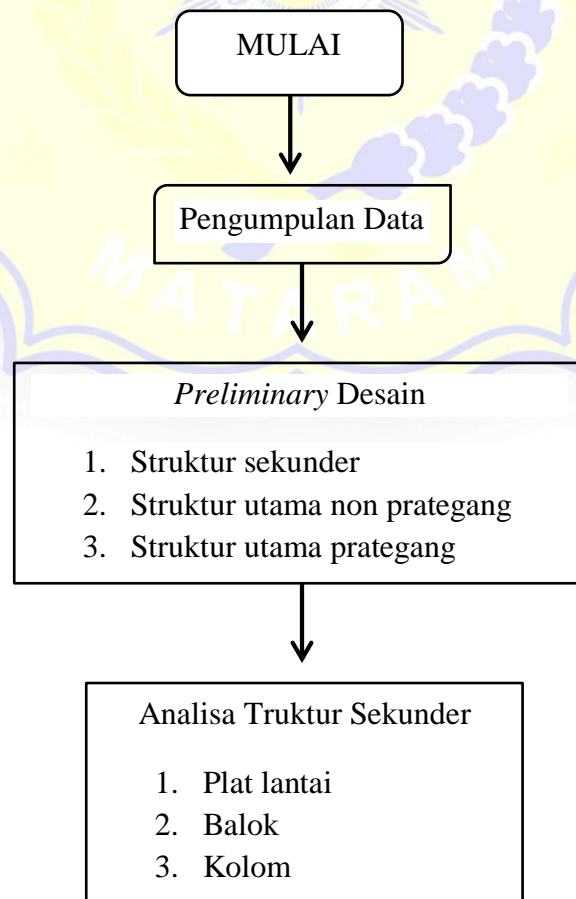
- b. Menentukan dimensi balok
- c. Menghitung pembebanan balok
- d. Daerah limit kabel
- e. Menghitung kehilangan gaya prategang
- f. Kontrol kuat batas beton prategang
- g. Analisa statika menggunakan program SAP 2000
- h. Menghitung penulangan balok akibat momen lentur dan kombinasi momen akibat geser dan torsi
- i. Menghitung kebutuhan kabel tendon

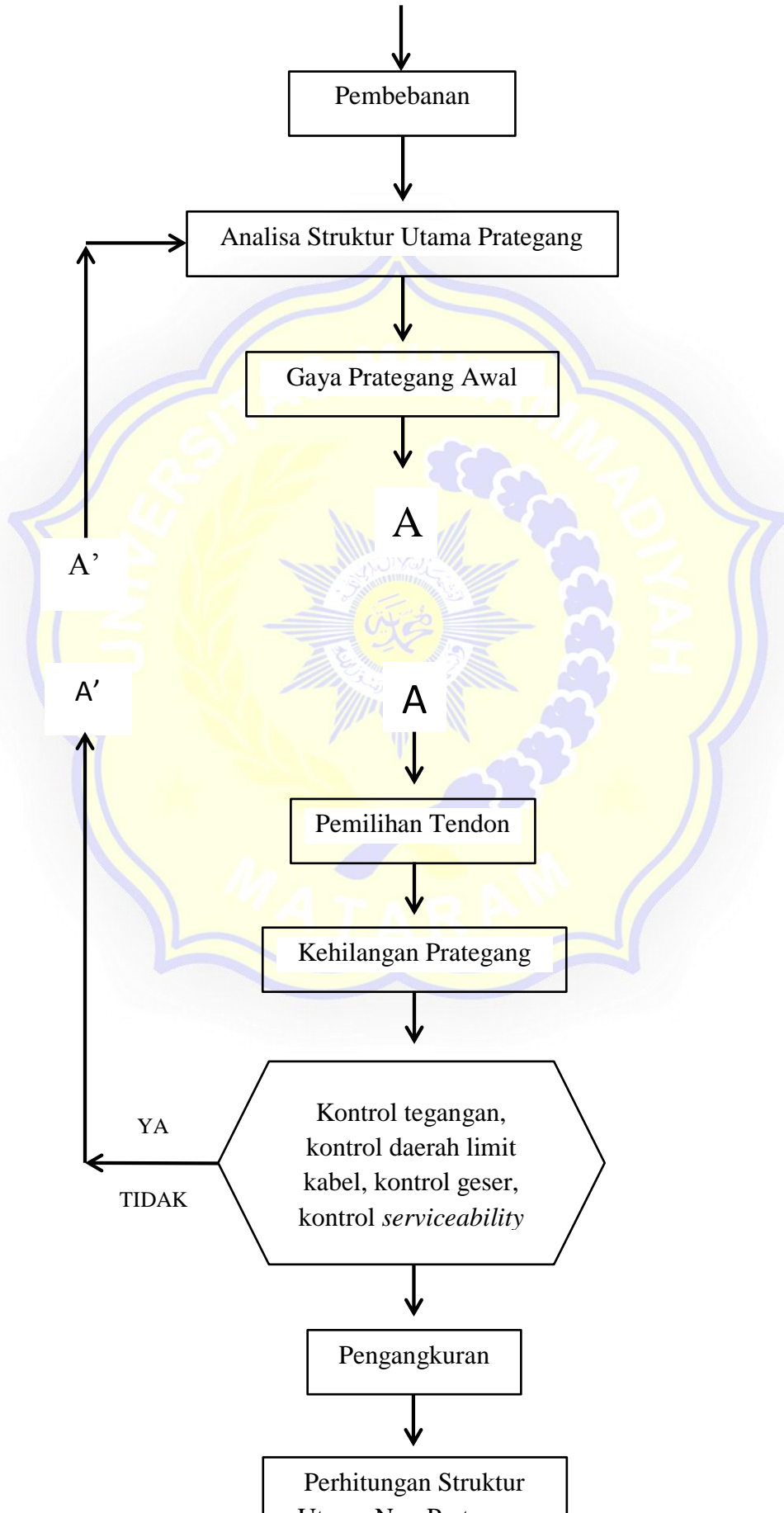
3.4.3. Perencanaan kolom

Tahap-tahap perencanaan kolom diantaranya :

- a. Menghitung pembebanan kolom
- b. Analisa statika menggunakan program SAP 2000
- c. Menghitung dimensi kolom
- d. Menghitung penulangan kolom

3.5. **Bagan Aliran Perencanaan**







Gambar 3. 4 Gambar Aliran Perencanaan