



**PERENCANAAN GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL
TSUNAMI DI KABUPATEN JEMBRANA, BALI**

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai syarat untuk menempuh Tugas Akhir
Program Studi S1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Oleh
Agil Irzan Wahid (NIM.5113412064)
Ryan Agustian Habibella (NIM.5113412076)

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**



**PERENCANAAN GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL
TSUNAMI DI KABUPATEN JEMBRANA, BALI**

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai syarat untuk menempuh Tugas Akhir
Program Studi S1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

UNNES Oleh

Agil Irzan Wahid (NIM.5113412064)

Ryan Agustian Habibella (NIM.5113412076)

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**


2016

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir dengan judul **“Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Tsunami Di Kabupaten Jembrana, Bali”** telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi.

Semarang, Agustus 2016

Dosen Pembimbing I



Arie Tavenyanto, S. T., M. T.
NIP. 196507222001121001

Dosen Pembimbing II



Hanggoro Tri Cahyo Andiyarto, S.T, M.T
NIP. 197505292005011001



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Tugas akhir dengan judul “Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Tsunami Di Kabupaten Jembrana, Bali” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 30 Agustus 2016.

Oleh

Nama : Agil Irzan Wahid
NIM : 5113412064
Nama : Ryan Agustian Habibella
NIM : 5113412076
Program Studi : Teknik Sipil S1

Panitia :

Sekretaris

Ketua

Dra. Sri Handayani, MPd.
NIP. 19671108 199103 2 0001

Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 19780921 200501 2 001

Penguji I

Endah Kunti Pangestuti,
S.T., M.T.
NIP. 197207091998032003

Penguji II / Pembimbing I

Aris Taveriyanto, S.T., M.T.
NIP. 196507222001121001

Penguji III / Pembimbing II

Hanggoro Tri Cahyo Andiyarto,
S.T., M.T.
NIP. 197505292005011001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 19691130 199403 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan / atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukkan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 30 Agustus 2016
yang membuat pernyataan,



Agil Irzan Wahid
NIM. 5113412064



Ryan Agustian Habibella
NIM. 5113412076

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

1. Sesungguhnya setelah sesudah kesulitan itu ada kemudahan (Al-Insyirah:6).
2. Hanya seseorang yang menyerah yang akan kalah. Tidak ada kesulitan yang lebih kuat daripada ketekunan dan kegigihan. Seseorang akan menang dengan hati yang sabar untuk menjadi wadah bagi kegigihannya (Mario Teguh).
3. Jadikanlah Kegagalanmu adalah pengalaman paling berharga dalam hidupmu (Agil Irzan Wahid)
4. Jika ingin sampai ke puncak maka jangan singkirkan orang lain tapi singkirkan ego untuk merangkul mereka bersatu bersama-sama. (Ryan Agustian Habibella)

PERSEMBAHAN :

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orangtua kami atas segala perjuangan, doa, kesabaran, dukungan, dan kasih sayang yang diberikan kepada kami.
2. Keluarga, sahabat, teman-teman dan orang – orang tersayang .
3. Almamater UNNES

ABSTRAK

Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Tsunami Di Kabupaten Jembrana, Bali.

Agil Irzan Wahid dan Ryan Agustian Habibella

Perencanaan gedung TES (Tempat Evakuasi Sementara) ini dilakukan di Desa Baluk Kabupaten Jembrana yang terletak di Bali, karena kawasan di seluruh pantai wilayah Kabupaten Jembrana rawan tsunami dengan potensi sedang, maka untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat terjadi tsunami diperlukan suatu strategi penyelamatan yang komprehensif yaitu dalam bentuk penyediaan Tempat Evakuasi Sementara (TES) di kawasan rawan tsunami sebagai tempat evakuasi dan berlindung saat bencana tsunami terjadi. Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami di desain sebagai bangunan *shelter* setinggi +15 meter.

Perencanaan yang digunakan dalam mendesain Gedung ini adalah dengan mengumpulkan data penyelidikan tanah dan peta topografi dari instansi terkait. Data tersebut digunakan untuk mendesain gambar struktur, menghitung analisis struktur, merencanakan anggaran biaya dan rencana kerja dan syarat-syarat.

Berdasarkan hasil perencanaan, diketahui jenis tanah merupakan jenis tanah sedang dengan nilai S_d sebesar 0,704 yang menentukan geser dasar seismik (V) sebesar 7037,407 kN. Ketinggian Gelombang tsunami yang direncanakan sekitar 30 m dari permukaan air laut dan berjarak 1,7 km dari pantai selat Bali ke gedung yang direncanakan. Gedung ini termasuk dalam kriteria desain struktur sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB). Dari Perhitungan gaya-gaya tsunami didapat nilai gaya hidrodinamik (f_d) sebesar 12,54 kN/m, gaya impuls (f_s) sebesar 11,76 kN/m, gaya tahanan debris atau hanyutan puing (f_{dm}) sebesar 68,21 kN/m, gaya tumbukan debris atau hanyutan puing (F_i) sebesar 1386,07 kN dan menghasilkan anggaran biaya sebesar Rp. 14.738.416.428,34.

Kata kunci : Tsunami, Jembrana Bali, Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul **“Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Tsunami Di Kabupaten Jembrana, Bali”** dapat penulis selesaikan. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Tugas Akhir ini terselesaikan tidak lepas karena adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang, Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Dr. Nur Qudus, M. T., yang telah memberi ijin untuk melaksanakan penelitian.
3. Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang, Dra. Sri Handayani, Mpd atas persetujuan penelitian.
4. Koordinat Prodi Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang, Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc. atas dukungan penelitian.
5. Penguji I, Endah Kanti Pangestuti, S.T., M. T., yang telah memberikan saran dan masukkan dalam perbaikan tugas akhir
6. Pembimbing I, Arie Taveriyanto, S.T., M.T. yang penuh kesabaran dalam membimbing, memberikan masukan, arahan serta motivasi kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat selesai.

7. Pembimbing II, Hanggoro Tri Cahyo Andiyarto, S. T., M.T. yang penuh kesabaran dalam membimbing, memberikan masukan, arahan serta motivasi kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
8. Bapak Ibu tercinta atas semangat dan kasih sayangnya, serta yang tiada hentinya memanjatkan doa untuk kebahagiaan dan keberhasilan penulis.
9. Seseorang yang selalu ada, yang senantiasa memberikan motivasi, bantuan dan semangat dalam penyusunan tugas akhir.
10. Semua teman – teman teknik sipil 2012 yang selalu mendukung, memberikan semangat, motivasi, dan membantu dalam penulisan tugas akhir Semua pihak yang telah berkenan membantu penulis selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga masukan, kritik, dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang terkait pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan dan Manfaat	I-3
1.4 Batasan Masalah.....	I-3
1.5 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II STUDI PUSTAKA	II-1
2.1 Tentang Umum.....	II-1
2.2 Kriteria Desain Struktur	II-3

2.3 Pembebanan dan Kombinasi	II-5
2.3.1 Beban Mati	II-5
2.3.2 Beban Hidup	II-5
2.3.3 Beban Gempa	II-7
2.3.4 Beban Tsunami.....	II-8
a. Gaya Hidrostatik	II-9
b. Gaya Apung	II-9
c. Gaya Hidrodinamik	II-10
d. Gaya Impulsif.....	II-11
e. Gaya Tumbukan Debris atau Hanyutan Puing	II-11
f. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing	II-12
g. Gaya Uplift.....	II-13
h. Beban Gravitasi Tambahan oleh Air yang Berada di Lantai Atas	II-13
2.4. Prosedur Pendesainan Elemen Struktur	II-14
2.4.1. Struktur Tahan Gempa	II-15
2.4.2 Perencanaan Kapasitas (<i>Capacity Design</i>).....	II-16
2.4.3. Persyaratan <i>Detailing</i> Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>) SPRMK	II-19
2.4.4. Mendesain Balok	II-19
2.4.5. Mendesain Kolom	II-22
2.5. Prosedur Pendesainan Sistem Pondasi	II-24
2.5.1. Syarat Pondasi pada Sebuah Bangunan	II-26
2.5.2. Pemilihan Tipe atau Jenis Pondasi.....	II-26
2.5.3. Perhitungan Pile Cap.....	II-28

2.5.4. Perhitungan Tie Beam.....	II-30
BAB III PROSEDUR DESAIN STRUKTUR	III-1
3.1 Tahapan Pengumpulan Data	III-1
3.1.1. Pengumpulan Gambar Denah,Tampak dan Potongan	III-1
3.2. Data Tanah, Lokasi dan Peta Topografi.....	III-12
3.2.1. Pekerjaan Bor dan Tes SPT	III-12
a. Pekerjaan Bor dan Tes SPT.....	III-12
b. Pekerjaan Sondir	III-12
c. Analisis Data	III-12
3.2.2. Data Lokasi dan Peta Topografi.....	III-17
3.3. Pembebanan Struktur	III-22
3.3.1. Beban Mati.....	III-22
3.3.2. Beban Hidup	III-23
3.3.3 Beban Gempa.....	III-24
3.3.4 Beban Tsunami.....	III-37
1. Gaya Hidrodinamik.....	III-38
2. Gaya Impuls	III-39
3. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing	III-40
4. Gaya Tumbukan Debris atau Hanyutan Puing	III-40
3.4. Simulasi Kolom Patah (FEMA)	III-41
a. Pertimbangan Keruntuhan Progresif	III-43
b. Strategi Gaya pada <i>Tie Force</i>	III-43
c. Strategi Kolom yang Gagal	III-44

3.5. Bagan Alir Desain Struktur	III-45
BAB IV DESAIN STRUKTUR.....	IV-1
4.1 Umum.....	IV-1
4.2 Permodelan Struktur.....	IV-3
4.2.1. Sistem Struktur.....	IV-3
4.2.2. Geometri Struktur.....	IV-6
a Geometri Struktur Balok	IV-6
b Geometri Struktur Kolom	IV-6
4.2.3. Material Elemen	IV-7
1. Beton	IV-7
2. Tulangan.....	IV-7
4.2.4. Penampang Elemen.....	IV-7
4.2.5. Beban dan Kombinasi Pembebanan yang Diperhitungkan	IV-10
a. Beban Mati	IV-10
b. Beban Hidup	IV-10
c. Beban Gempa.....	IV-10
4.3. Analisis Struktur	IV-17
4.3.1. Hasil Analisis Dinamik.....	IV-17
a. Parameter Respon Ragam	IV-18
b. Skala Gaya	IV-19
4.3.2. Deformasi Struktur.....	IV-21
4.3.3. Pengecekan Terhadap Torsi	IV-22
a. Ketidak Beraturan Horizontal pada Struktur.....	IV-22

4.3.4. Pengecekan Terhadap Simpangan.....	IV-24
1. Nilai Perode Untuk Menghitung Simpangan Antar Lantai.....	IV-25
2. Batasan Simpangan Antar Lantai Tingkat	IV-25
3. Simpangan Antar Lantai Ijin (Da).....	IV-25
4.3.5 Perhitungan Struktur Untuk Beban Tsunami	IV-27
a. Perhitungan Beban Tsunami	IV-27
1. Gaya Hidrodinamik.....	IV-27
2. Gaya Impuls	IV-29
3. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing	IV-29
4. Gaya Tumbukan Debris atau Hanayutan Puing	IV-30
4.4 Desain Struktur	IV-31
4.4.1 Kriteria Desain Struktur Atas.....	IV-31
4.4.2. Perhitungan Penulangan Balok	IV-32
a. Desain Tulangan Lentur	IV-32
b. Desain Tulangan Geser Balok	IV-37
4.4.3. Perhitungan Penulangan Kolom	IV-43
4.4.4. Perhitungan Penulangan Hubungan Balok Kolom	IV-48
4.4.5. Perhitungan Penulangan Plat Lantai	IV-49
4.4.6. Perhitungan Penulangan Tangga.....	IV-50
4.5. Desain Struktur Bawah	IV-52
4.5.1 Kriteria Desain Struktur Bawah	IV-52
4.5.2 Perhitungan Penulangan Tie Beam	IV-53
a. Analisis Manual Tie Beam	IV-54

b. Analisis Tie Beam dengan PCA COL	IV-64
4.5.3. Perhitungan Kapasitas Dukung Pile	IV-66
a. Penentuan Beban Ultimat Tiang Vertikal Secara Statis	IV-66
b. Penentuan Kapasitas Dukung Tiang Dengan Program Allpile	IV-67
c. Desain Jumlah Tiang Terpasang	IV-69
d. Desain Perhitungan Distribusi Reaksi Tumpuan ke Tiang	IV-70
e. Perhitungan Penulangan Pondasi Bored Pile	IV-72
4.5.4. Perhitungan Penulangan Pile Cap	IV-75
a. Perhitungan Penulangan Pile Cap Menggunakan Program AFES	IV-75
1. Penentuan Dimensi Pondasi	IV-77
2. Memasukan Beban dan Kombinasi	IV-79
3. Hasil Analisa AFES	IV-80
4. Hasil Penulangan Pondasi P1	IV-81
BAB V RAB dan RKS	V-1
5.1 Rencana Kerja dan Syarat-Syarat (RKS)	V-1
5.2 Rencana Anggaran Biaya	V-42
BAB VI PENUTUP	VI-1
6.1 Kesimpulan	VI-1
6.2. Saran.....	VI-1
DAFTAR PUSTAKA	VII-1
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hubungan Antara Besaran Gempa dan Tinggi Tsunami	II-2
Tabel 2.2 Menentukan Tebal Minimum (H_{min}) Balok	II-21
Tabel 3.1 Sondir S1	III-14
Tabel 3.2 Sondir S2	III-14
Tabel 3.3 N-SPT Bor 2	III-16
Tabel 3.4 N-SPT Bor 1	III-16
Tabel 3.5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	III-24
Tabel 3.6 Faktor Keutamaan Gempa (I_e).....	III-27
Tabel 3.7 Faktor R, Cd, dan Ω_0 (Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	III-28
Tabel 3.8 Jenis-Jenis Tanah	III-29
Tabel 3.9 Tabel N-SPT Rata-Rata Gedung TES di Jembrana SNI 2012	III-30
Tabel 3.10 Klasifikasi Situs	III-31
Tabel 3.11 Respon Spektrum Kab Jembrana	III-33
Tabel 3.12 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang di Hitung ..	III-35
Tabel 3.13 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan X	III-35
Tabel 4.1 Hubungan Antara Besaran Gempa dan Tinggi Tsunami	IV-2
Tabel 4.2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek.....	IV-4
Tabel 4.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode 1 detik	IV-4

Tabel 4.4 Faktor R, Cd, dan Ω_0 (Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.	IV-5
Tabel 4.5 Mutu Beton	IV-7
Tabel 4.6 Mutu Tulangan Desain yang Digunakan	IV-7
Tabel 4.7 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan non Gedung Untuk Beban Gempa	IV-11
Tabel 4.8 Faktor Keamanan (I_e)	IV-13
Tabel 4.9 Klasifikasi Situs	IV-14
Tabel 4.10 Kombinasi Pembebanan	IV-15
Tabel 4.11 <i>Modal Load Participation Ratio</i>	IV-18
Tabel 4.12 <i>Base Reaction</i>	IV-19
Tabel 4.13 Perhitungan Pengaruh 85% Vstatik	IV-20
Tabel 4.14 <i>Modal Periods and frequencies</i>	IV-21
Tabel 4.15 Torsi Arah X	IV-23
Tabel 4.16 Torsi Arah Y	IV-23
Tabel 4.17 Kategori Desain Struktur	IV-25
Tabel 4.18 Simpangan Arah X	IV-25
Tabel 4.19 Simpangan Arah Y	IV-26
Tabel 4.20 Luas Tulangan Balok	IV-36
Tabel 4.21 Luas Tulangan Geser Balok	IV-42
Tabel 4.22 Data Perhitungan Tulangan Kolom K2 100x100 (Atas)	IV-43
Tabel 4.23 Data Perhitungan Tulangan Kolom K2 100x0100 (Bawah).	IV-46

Tabel 4.24 Hasil Interaksi Tie Beam Sumbu Lemah dan Sumbu Kuat .	IV-63
Tabel 4.25 N-SPT	IV-66
Tabel 4.26 Nilai SPT untuk Perhitungan Qfriksi	IV-67
Tabel 4.27 Koordinat Pondasi X dan Y	IV-70
Tabel 4.28 Kombinasi Beban Pada Pondasi Grup Tiang	IV-71
Tabel 4.29 Distribusi Pembebanan Pada Pondasi Grup Tiang	IV-72
Tabel 4.30 Kombinasi Beban Terfaktor Pada Pondasi Grup Tiang	IV-75
Tabel 4.31 Jarak As Pondasi Terhadap Tepi Kolom.....	IV-75
Tabel 4.32 Momen dan Paksial Tiang dalam Satu Pile Cap	IV-76
Tabel 4.33 Input Beban Kombinasi Terfaktor pada Pondasi P1 dan P2	IV-79



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mekanisme Leleh Pada Struktur Gedung Akibat Beban Gempa	II-18
Gambar 2.2 Jenis Hubungan Balok Kolom.....	II-19
Gambar 2.3 Langkah Perencanaan Struktur Gedung.....	II-23
Gambar 2.4 Hitungan Reaksi Tiang.....	II-29
Gambar 3.1 Denah Situasi Gedung Tempat Evakuasi Vertikal Tsunami	III-1
Gambar 3.2 Denah Lantai 01	III-2
Gambar 3.3 Denah Lantai 02	III-3
Gambar 3.4 Denah Lantai 03	III-4
Gambar 3.5 Denah Lantai 04	III-5
Gambar 3.6 Denah Lantai 05	III-6
Gambar 3.7 Denah Helipad & Panel Surya	III-7
Gambar 3.8 Denah Potongan 01	III-8
Gambar 3.9 Denah Potongan 02	III-9
Gambar 3.10 Denah Potongan 03	III-10
Gambar 3.11 Denah Potongan 04	III-11
Gambar 3.12 Lokasi TES/Shelter di Desa Baluk, Berada 1700 m dari Pantai Selat Bali.....	III-17

Gambar 3.13 Lokasi TES Tsunami Kab Jembrana Berada di Lingkungan Diklat	III-18
Gambar 3.14 Peta Seismik	III-18
Gambar 3.15 Peta Kerentanan Elevasi Kab Jembrana.....	III-19
Gambar 3.16 Peta Topografi Hubungan dengan Arah Tsunami di Kab Jembrana	III-19
Gambar 3.17 Peta Topografi Lereng di Kab Jembrana.....	III-20
Gambar 3.18 Peta Topografi Pesisir di Kab Jembrana	III-20
Gambar 3.19 Peta Kerentanan Kab Jembrana dalam Rangka Bentuk Pesisir.....	III-21
Gambar 3.20 Peta Kerentanan Tsunami Kab Jembrana	III-21
Gambar 3.21 Penggunaan Lahan Klasifikasi untuk Jembrana	III-22
Gambar 3.22 Lokasi Gedung TES Jembrana Bali	III-32
Gambar 3.23 Spektrum Respon Desain untuk Proyek TES di Jembrana	III-34
Gambar 3.24 Elevasi Tsunami dan Gedung TES.....	III-37
Gambar 3.25 Gaya Hidrodinamik	III-38
Gambar 3.26 Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing	III-40
Gambar 3.27 Baja Tulangan yang Kontinu pada Balok, Kolom, Plat dan Dinding	III-44
Gambar 3.28 Detail Tulangan Baja Untuk Potensi Kehilangan Daya Dukung Kolom	III-45
Gambar 3.29 Bagan Alir Desain Struktur Gedung	III-47

Gambar 4.1 Ragam Getar (Mode Shape) dan Periode Getar Struktur (T)	IV-21
Gambar 4.2 Ilustrasi Ketidakberaturan Torsi	IV-22
Gambar 4.3 Perkiraan Ketinggian Tsunami	IV-26
Gambar 4.4 Penempatan Gaya Fd dan Fs	IV-27
Gambar 4.5 Gaya Fd Pada Program Struktur SAP	IV-27
Gambar 4.6 Gaya Fs Pada Program Struktur SAP	IV-28
Gambar 4.7 Penempatan Gaya Fd dan Fdm	IV-29
Gambar 4.8 Gaya Fdm pada Program Struktur SAP	IV-39
Gambar 4.9 Gaya Fi Pada Program Struktur SAP	IV-30
Gambar 4.10 Gaya Geser Pada Balok B1 40x70 di Lantai 03	IV-32
Gambar 4.11 Momen Yang Terjadi Pada Balok B1 40x70 di Lantai 03	IV-33
Gambar 4.12 Tulangan Balok Terpasang di SAP 2000	IV-36
Gambar 4.13 Tulangan Geser Balok Terpasang di SAP 2000.....	IV-41
Gambar 4.14 Penulangan Balok B1 40x70	IV-42
Gambar 4.15 Interaksi P-M Kolom Atas K2 100x100 Lantai 03	IV-44
Gambar 4.16 Interaksi P-M Kolom Bawah K2 100x100 Lantai 02	IV-47
Gambar 4.17 Penampang Tie Beam	IV-54
Gambar 4.18 Diagram Regangan dan Tegangan Sumbu Lemah Titik B	IV-55
Gambar 4.19 Diagram Regangan dan Tegangan Sumbu Lemah Titik C	IV-56

Gambar 4.20 Diagram Regangan dan Tegangan Sumbu Kuat Titik B...	IV-58
Gambar 4.21 Diagram Regangan dan Tegangan Sumbu Kuat Titik C...	IV-60
Gambar 4.22 Diagram Interaksi Sumbu Lemah dan Sumbu Kuat Tie Beam	IV-63
Gambar 4.23 Pengecekan Tulangan Tie Beam 30x60 dengan PCA COL	IV-65
Gambar 4.24 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Tiang Vertikal Menggunakan Alpile	IV-68
Gambar 4.25 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Tiang Horizontal Menggunakan Alpile	IV-69
Gambar 4.26 Pengecekan Tulangan Menggunakan PCA COL.....	IV-74
Gambar 4.27 Tampak Atas Pondasi P1	IV-78
Gambar 4.28 Tampak 3 Dimensi Pondasi P1	IV-78
Gambar 4.29 <i>Input Load Combination P1</i>	IV-79
Gambar 4.30 Hasil Cek Stabilitas Pondasi P1	IV-80
Gambar 4.31 Hasil Penulangan Arah X Pondasi P1	IV-81
Gambar 4.32 Hasil Penulangan Arah Y Pondasi P1	IV-81
Gambar 4.33 Penulangan Pondasi P1	IV-82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Tanah

Lampiran 2. Hasil Analisa Program AFES

Lampiran 3. Gambar Struktur



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Jembrana adalah satu dari sembilan Kabupaten dan Kota yang ada di Propinsi Bali, terletak di belahan barat pulau Bali, membentang dari arah barat ke timur pada $8^{\circ}09'30'' - 8^{\circ}28'02''$ LS dan $114^{\circ}25'53'' - 114^{\circ}56'38''$ BT. Luas wilayah Jembrana 841.800 Km^2 atau 14,96% dari luas wilayah pulau Bali. Secara Administratif Kabupaten Jembrana terbagi menjadi 5 Kecamatan, dari barat ke timur yaitu Kecamatan Melaya, Kecamatan Negara, Kecamatan Jembrana, Kecamatan Mendoyo, Kecamatan Pekutatan. Luas Kecamatan Negara adalah $126,50 \text{ Km}^2$, atau seluas 15,03% dari luas Kabupaten Jembrana yang memiliki luas 841.800 Km^2 . Dengan Jumlah penduduk sebanyak 531.000 orang, dengan kepadatan penduduk mencapai 634 orang/ Km^2 . Kabupaten Jembrana pada posisi geologis terletak pada pertemuan dua lempeng tektonik aktif telah menempatkan rawan bencana gempa bumi dan tsunami. (*Jembranakab.go.id*)

Timbulnya tsunami disebabkan oleh perpindahan badan air yang mengalami perubahan permukaan laut secara vertikal dengan tiba-tiba. Perubahan permukaan laut tersebut bisa disebabkan oleh gempa bumi yang berpusat di bawah laut, letusan gunung berapi bawah laut, longsor bawah laut, atau hantaman meteor di laut. Gelombang tsunami dapat merambat ke segala arah. Tenaga yang dikandung dalam gelombang tsunami adalah tetap terhadap fungsi ketinggian dan kelajuannya. Di laut dalam, gelombang tsunami dapat merambat dengan kecepatan 500 – 1000 km per jam. Kawasan rawan tsunami ditetapkan dengan kriteria zona kerawanan tinggi yang merupakan daerah pantai dengan elevasi rendah atau dengan kontur ketinggian kurang dari 10,0 (sepuluh) meter dengan jarak dari garis pantai kurang dari 50,0 (lima puluh) meter. Kawasan rawan tsunami terdapat di seluruh pantai wilayah Kabupaten Jembrana dengan potensi sedang. (Bappeda, 2012). Maka untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat terjadi tsunami diperlukan suatu strategi penyelamatan yang komprehensif. Selain dibutuhkan keberadaan Sistem Peringatan Dini Tsunami,

diperlukan pula pengurangan resiko bencana tsunami yaitu dalam bentuk penyediaan Tempat Evakuasi Sementara (TES) di kawasan rawan tsunami sebagai tempat evakuasi dan berlindung saat bencana tsunami terjadi. TES yang digunakan sebagai tempat perlindungan dapat berupa bangunan yang ada, bangunan baru yang khusus dibuat untuk tujuan tempat evakuasi sementara, dan bukit; baik bukit alami maupun bukit buatan yang diperuntukkan sebagai TES.

Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami merupakan Tempat Evakuasi Sementara (TES) tsunami untuk pemanfaatan multi fungsi, karena tidak hanya berfungsi sebagai tempat evakuasi tsunami tetapi digunakan sehari-hari sesuai dengan fungsinya. Tempat Evakuasi Sementara / *Shelter* berada di Desa Baluk, yang akan menampung penduduk dari Desa Baluk, Desa Cupel dan Desa Pengambangan dan Tempat Evakuasi Sementara (TES) juga dibuat berbasis ekonomi kerakyatan yang artinya saat tidak digunakan untuk kegiatan evakuasi, kesehariannya dimanfaatkan untuk kegiatan masyarakat seperti pasar desa di bagian bawah gedung, Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami di desain sebagai bangunan *shelter* setinggi +15 meter dengan jumlah lantai sebanyak 5 lantai, untuk lantai 1 dengan elevasi $\pm 0,00$ setinggi 5,10 meter, lantai 2 dengan elevasi + 5,10 setinggi 3,30 meter, lantai 3 dengan elevasi + 8,40 setinggi 3,30 meter, lantai 4 dengan elevasi +11,70 setinggi 3,30 dan lantai dak berada pada elevasi + 15.00.

Perlu dilakukan penilaian terhadap suatu bangunan untuk mengetahui kelayakannya untuk dijadikan Tempat Evakuasi Sementara (TES) diantaranya Terletak pada jarak lebih dari 200 meter dengan garis pantai atau 100 meter dengan sungai yang berada dekat pantai; Terletak dekat dengan konsentrasi penduduk; Memiliki fungsi alternatif seperti mesjid, sekolah, kantor pemerintahan, pusat perbelanjaan, *convention centre*, gelanggang olahraga, hotel dan gedung parkir; Lantai gedung yang digunakan sebagai tempat evakuasi memiliki ketinggian di atas ketinggian gelombang tsunami; Didesain dan terencana dengan baik; Kualitas konstruksi bagus (bangunan tahan gempa dan tsunami) (Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1, 2013)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana Mendesain struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami
2. Bagaimana memperhitungkan struktur gedung dan gaya pada bangunan TES dengan beban-beban yang direncanakan.
3. Bagaimana merencanakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk gedung evakuasi vertikal mitigasi bencana tsunami.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan Penulisan:

1. Mendesain struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami
2. Memperhitungkan struktur gedung dan gaya pada bangunan TES dengan beban-beban yang direncanakan.
3. Merencanakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk gedung evakuasi vertikal mitigasi bencana tsunami.

Manfaat Penulisan:

1. Mendapatkan suatu desain bangunan gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.
2. Mendapatkan perhitungan struktur gedung dan mengetahui gaya-gaya akibat gempa dan tsunami.
3. Mendapatkan perencanaan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk gedung evakuasi vertikal mitigasi bencana tsunami.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menjelaskan perencanaan lokasi gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sesuai dengan kriteria penentuan lokasi.
2. Menjelaskan perancangan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sesuai dengan kriteria desain struktur.

3. Menjelaskan perhitungan struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.
4. Menguraikan rancangan anggaran biaya dan menjelaskan rencana kerja dan syarat-syarat.

1.5 Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini pada garis besarnya disusun dalam 6 bab, adapun sistematika dari penyusunan Tugas Akhir ini antara lain terdiri dari:

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan dan Manfaat, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan Tugas Akhir.

2. BAB II STUDI PUSTAKA

Berisi tentang Umum, Kriteria Desain Struktur, Pembebanan dan Kombinasinya, Prosedur Pendesainan Elemen Struktur, Prosedur Pendesainan Sistem Pondasi.

3. BAB III PROSEDUR DESAIN STRUKTUR

Berisi tentang Tahap Persiapan, Tahap Pengumpulan Data, Penentuan Denah Struktur, Penentuan Beban Tetap Mati dan Hidup, Penentuan Beban Sementara Gempa, Bagan Alir Desain Struktur.

4. BAB IV DESAIN STRUKTUR

Berisi tentang Umum, Permodelan Struktur, Analisis Struktur, Desain Struktur, Gambar DED Struktur.

5. BAB V MANAJEMEN KONSTRUKSI

Berisi tentang Umum, RKS, dan RAB.

6. BAB VI PENUTUP

Berisi Kesimpulan dan Saran

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tentang Umum

Tsunami adalah gelombang yang terjadi karena gempa bumi atau letusan gunung api dilaut. Gelombang yang terjadi bervariasi dari 0,5 m sampai 30 m dan periode dari beberapa menit sampai sekitar satu jam. Berbeda dengan gelombang (angin) yang hanya menggerakkan air laut bagian atas, pada tsunami seluruh kolom air dari permukaan sampai dasar bergerak dalam segala arah. Cepat rambat gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut. Semakin besar kedalaman semakin besar kecepatan rambatnya. Pada kedalaman 5000 m cepat rambat tsunami mencapai 230 m/d (sekitar 830 km/jam), pada kedalaman 4000 m sebesar 200 m/d dan pada kedalaman 40 m/d cepat rambatnya 20 m/d. Panjang gelombang tsunami yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan bisa mencapai 200 km. Di lokasi pembentukan tsunami (daerah episentrum gempa) tinggi gelombang tsunami diperkirakan antara 1,0 m dan 2,0 m. Selama perjalanan dari tengah laut (pusat terbentuknya tsunami) menuju pantai, tinggi gelombang menjadi semakin besar karena pengaruh perubahan kedalaman laut. Setelah sampai di pantai gelombang naik (*run-up*) kedaratan dengan kecepatan tinggi yang bisa menghancurkan kehidupan di daerah pantai. Kembalinya air ke laut setelah mencapai puncak gelombang (*run-down*) bisa menyeret segala sesuatu kembali ke laut. Gelombang tsunami dapat menimbulkan bencana di daerah yang sangat jauh dari pusat terbentuknya. Sebagai contoh, gelombang tsunami yang disebabkan oleh letusan Gunung Krakatau di Selat Sunda pada tahun 1883, pengaruhnya menjalar sampai ke pantai timur Afrika. Bencana yang ditimbulkan adalah 36.000 jiwa tewas, terutama di pantai Sumatra dan Jawa yang berbatasan dengan Selat Sunda. Tsunami yang terjadi karena gempa bumi di Flores pada tahun 1992 ditimbulkan oleh gempa dan mengakibatkan lebih dari 2.000 orang meninggal.

Pencatatan gelombang tsunami di Indonesia belum banyak dilakukan. Jepang sebagai negara yang sering mengalami serangan tsunami telah banyak

melakukan penelitian dan pencatatan gelombang tsunami. Telah dikembangkan suatu hubungan antara tinggi gelombang tsunami di daerah pantai dan besaran tsunami (m). Besaran tsunami bervariasi mulai dari $m = -2,0$ yang memberikan tinggi gelombang kurang dari 0,3 m sampai $m = 5$ untuk gelombang lebih besar dari 32 m seperti diberikan dalam Tabel 1.1 dikemukakan oleh Triatmodjo (1999).

Kejadian tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi dilaut tergantung pada beberapa faktor berikut ini.

1. Kedalaman pusat gempa (episentrum) dibawah dasar laut h (km).
2. Kekuatan gempa M yang dinyatakan dalam skala Richter.
3. Kedalaman air di atas episentrum d (m).

Tabel 2.1. Hubungan Antara Besaran Gempa Dan Tinggi Tsunami Di Pantai

m	H (meter)
5,0	> 32
4,5	24,0 - 32,0
4,0	16,0 - 24,0
3,5	12,0 - 16,0
3,0	8,0 - 12,0
2,5	6,0 - 8,0
2,0	4,0 - 6,0
1,5	3,0 - 4,0
1,0	2,0 - 3,0
0,5	1,5 - 2,0
0,0	1,0 - 1,5
-0,5	0,75 - 1,0
-1,0	0,5 - 0,75
-1,5	0,3 - 0,5
-2,0	< 0,3

sumber: Triatmodjo (1999).

Tempat Evakuasi Sementara (TES) di kawasan rawan tsunami sebagai tempat evakuasi dan berlindung saat bencana tsunami terjadi. TES yang digunakan sebagai tempat perlindungan dapat berupa bangunan yang ada, bangunan baru yang khusus dibuat untuk tujuan tempat evakuasi sementara, dan bukit; baik bukit alami maupun bukit buatan yang diperuntukkan sebagai TES. Dengan mempertimbangkan kurang lebih 28% (150 dari 530) kota/kabupaten (Renas PB

2010-2014) di Indonesia memiliki risiko tinggi terhadap tsunami, maka untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat terjadi tsunami diperlukan suatu strategi penyelamatan yang komprehensif. Selain dibutuhkan keberadaan Sistem Peringatan Dini Tsunami, diperlukan pula pengurangan risiko bencana tsunami yaitu dalam bentuk penyediaan Tempat Evakuasi Sementara (TES) di kawasan rawan tsunami sebagai tempat evakuasi dan berlindung saat bencana tsunami terjadi.

Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami merupakan Tempat Evakuasi Sementara (TES) tsunami untuk pemanfaatan multi fungsi, karena tidak hanya berfungsi sebagai tempat evakuasi tsunami tetapi digunakan sehari-hari sesuai dengan fungsinya.

2.2 Kriteria Desain Struktur

Bangunan gedung untuk penyelamatan sebelum gelombang tsunami tiba adalah mengevakuasi dari zona bencana baik secara horisontal ataupun vertikal. Di beberapa daerah, evakuasi vertikal kemungkinan merupakan satu-satunya cara evakuasi dari bahaya tsunami setempat dengan waktu peringatan yang singkat. Upaya evakuasi vertikal memanfaatkan bangunan bertingkat atau bangunan khusus evakuasi tsunami yang didesain dan dirancang saat bencana tsunami terjadi. Proses evakuasi merupakan cara tanggap darurat dan persiapan darurat, sehingga pertimbangan mitigasi yang utama adalah menentukan lokasi, mendesain, dan membangun bangunan yang dapat menahan gaya-gaya tsunami yang diperkirakan dan guncangan tanah akibat gempa.

Desain struktur yang tahan tsunami akan dapat mengurangi pengaruh beban tsunami pada bangunan. Untuk mengurangi risiko tsunami, dipilih alternatif pencegahan daerah dari genangan dengan membiarkan tsunami melewati suatu daerah tanpa menimbulkan kerusakan maksimum penentuan lokasi bangunan pada elevasi yang lebih tinggi dari genangan banjir atau menempatkan bangunan di atas elevasi genangan tsunami dengan tiang atau panggung yang diperkuat dan diperbesar dimensinya.

Material utama yang digunakan pada struktur gedung ini adalah material beton bertulang. Elemen-elemen dari struktur beton bersifat monolit, sehingga struktur ini mempunyai perilaku yang baik karena elemen beton mempunyai sifat kaku dan kuat di dalam memikul beban gempa dan tsunami. Sebagai material struktur, beton bertulang memiliki kelemahan :

- Terjadinya pengurangan kekuatan dan kekakuan akibat beban berulang.
- Sifat daktil dari beton didapat dengan memasang tulangan-tulangan baja yang cukup pada elemen-elemen struktur beton, sehingga dalam perancangan struktur beton bertulang tahan gempa, perlu diperhatikan adanya detail penulangan yang baik dan benar.
- Waktu pengerjaan beton bertulang lebih lama.
- Kualitas beton bertulang variatif bergantung pada kualifikasi para pembuatnya
- Dibutuhkan bekisting penahan pada saat pengecoran beton agar tetap di tempatnya sampai beton tersebut mengeras. Berat beton sendiri sangat besar ($2,4 \text{ t/m}^3$), sehingga konstruksi harus memiliki penampang yang besar.
- Diperlukannya penopang sementara untuk menjaga agar bekisting tetap berada pada tempatnya sampai beton mengeras dan cukup kuat untuk menahan beratnya sendiri.
- Biaya bekisting relatif mahal hingga sepertiga atau dua pertiga dari total biaya sebuah struktur beton.
- Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang-panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.
- Bervariasinya sifat-sifat beton dan proporsi-campuran serta pengadukannya.
- Proses penulangan dan perawatan beton tidak bisa kontrol dengan ketepatan maksimal, berbeda dengan proses produksi material struktur lain.

Pada struktur gedung beton bertulang, hubungan balok-kolom (*beam-column joint*) merupakan satu-satunya pemegang peran agar sistem pengekangan terhadap *free rotations of beam* tidak akan terjadi. Sistem pengekangan akan terjadi dengan baik jika balok, *joint* dan kolom merupakan satu kesatuan yang monolit dan kaku.

Peraturan yang digunakan dalam mendesain struktur Gedung Shelter untuk Mitigasi Tsunami adalah sebagai berikut;

- Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 2847:2013
- Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1727:2013
- Tata Cara Perancangan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726-2012
- *The Federal Emergency Management Agency - Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunami Second Edition (FEMA P646 / April 2012).*
- *The Federal Emergency Management Agency Coastal Construction Manual, Fourth Edition (Fema P-55/Volume II/August 2011).*
- Aplikasi SNI Gempa 1726:2012

2.3 Pembebanan dan Kombinasi

2.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

2.3.2 Beban Hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Beban hidup terdistribusi merata minimum menurut SNI 1727:2013 :

Hunian atau penggunaan	Beban Merata kN/m ²
a. Apartemen / Rumah tinggal	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	1,92
Tangga Rumah tinggal	1,92
b. Kantor	
Ruang kantor	2,40
Ruang komputer	4,79
Lobi dan koridor lantai pertama	4,79
Koridor di atas lantai pertama	3,83
c. Ruang pertemuan	
Lobi	4,79
Kursi dapat dipindahkan	4,79
Panggung pertemuan	4,79
d. Balkon dan dek	
1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani	
Jalur untuk akses pemeliharaan	1,92
e. Koridor	
Koridor Lantai pertama	4,79
Koridor Lantai lain sama seperti pelayanan hunian	
Ruang makan dan restoran	4,79
f. Rumah Sakit	
Ruang operasi, laboratorium	2,87
Ruang pasien	1,92
Koridor diatas lantai pertama	3,83
g. Perpustakaan	
Ruang baca	2,87
Ruang penyimpanan	7,18
Koridor diatas lantai pertama	3,83
h. Pabrik	
Ringan	6,00

Berat	11,97
i. Sekolah	
Ruang kelas	1,92
Koridor lantai pertama	4,79
Koridor di atas lantai pertama	3,83
Tangga dan jalan keluar	4,79
j. Gudang penyimpanan barang	
Ringan	6,00
Berat	11,97
k. Toko Eceran	
Lantai pertama	4,79
Lantai di atasnya	3,59
Grosir, di semua lantai	6,00

2.3.3 Beban Gempa

Pengaruh beban gempa, E , harus ditentukan sesuai dengan berikut ini:

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban **untuk metoda ultimit**

$$1.2D+1.0E+L$$

atau kombinasi beban **untuk metoda tegangan ijin**

$$D+0.7E \text{ dan}$$

$$2.3D + 0.75(0.7E)+0.75L$$

harus ditentukan sesuai dengan Persamaan,

$$E = E_h + E_v.$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban **untuk metoda ultimit**

$$0.9D+ 1.0E \text{ atau}$$

kombinasi beban **untuk metoda tegangan ijin**

$$0.6D+ 0.7E, E \text{ harus ditentukan}$$

sesuai dengan Persamaan,

$$E = E_h - E_v.$$

E = pengaruh beban gempa;

E_h = pengaruh beban gempa horisontal

E_v = pengaruh beban gempa vertikal

Pengaruh beban gempa horisontal, E_h harus ditentukan sesuai dengan persamaan,

$$E_h = \rho \cdot QE.$$

QE = pengaruh gaya gempa horisontal

ρ = Faktor redundansi

Faktor redundansi, ρ harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam, Masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sama dengan 1,3.

Pengaruh beban gempa vertikal, E_v harus ditentukan sesuai dengan persamaan,

$$E_v = 0.2 S_{DS} \cdot D$$

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

D = pengaruh beban mati.

Sehingga kombinasi beban **untuk metoda ultimit menjadi**

$$(1.2 + 0.2 \cdot S_{DS}) D + 1.0 \rho \cdot QE + L$$

$$(0.9 - 0.2 \cdot S_{DS}) D + 1.0 \rho \cdot QE$$

Sehingga kombinasi beban **untuk metoda tegangan ijin menjadi**

$$(1 + 0.14 S_{DS}) D + 0.7 \rho \cdot QE \text{ dan}$$

$$(1 + 0.10 S_{DS}) D + 0.75(0.7 \rho \cdot QE) + 0.75L$$

$$(0.6 - 0.14 S_{DS}) D + 0.7 \rho \cdot QE$$

2.3.4 Beban Tsunami

Menurut *FEMA P646 (2008)* mengemukakan Gaya-gaya yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan agar dapat menahan air tsunami diantaranya meliputi:

a. Gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik muncul saat air yang bergerak stabil/perlahan mengenai struktur. Gaya hidrostatik ini biasanya penting untuk struktur-struktur panjang seperti dinding laut dan bendungan, atau untuk evaluasi dinding/panel dimana ketinggian air di satu sisi sangat berbeda dengan ketinggian air di sisi yang lain. Gaya hidrostatik dan gaya apung/*buoyant* harus diperhitungkan saat lantai dasar dari gedung terkepung air, dimana dinding bangunan menahan air tidak masuk ke lantai dasar. Gaya hidrostatik horisontal yang bekerja pada dinding dapat dihitung dengan persamaan :

$$F_h = p_c A_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot b \cdot h_{max}^2$$

Dengan,

p_c = tekanan hidrostatik

A_w = area dinding yang terkena air

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

b = lebar dinding

h_{max} = ketinggian air maksimum dari dasar dinding.

b. Gaya Apung

Gaya apung ini merupakan pertimbangan penting untuk struktur yang mempunyai ketahanan kecil terhadap gaya angkat/keatas (semisal: bangunan dengan rangka kayu yang ringan, ruang bawah tanah, tangki kosong yang berada di atas maupun bawah tanah, kolam renang, dan komponen-komponen yang didesain hanya mempertimbangkan gaya berat gravitasi saja) Untuk bangunan/struktur yang tergenang/terkepung oleh air, gaya apung total diberikan pada persamaan berikut:

$$F_b = \rho_s \cdot g \cdot V$$

Dengan,

- ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)
 g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)
 V = volume air yang dipindahkan oleh volume bangunan atau struktur yang tergenang

Jika berat dari struktur tidak mampu menahan gaya apung maka tiang pancang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap pengapungan, tetapi reduksi gesekan pada sisi tiang terkait denganantisipasi gerusan pada sisi atas tiang pancang harus dipertimbangkan juga.

c. Gaya Hidrodinamik

Saat air mengalir disekeliling bangunan/struktur, gaya hidrodinamis dikenakan terhadap struktur tersebut sebagai keseluruhan ataupun masing-masing komponen struktur. Gaya ini dipengaruhi oleh massa jenis air, kecepatan aliran dan bentuk struktur. gaya hidrodinamis ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_d = 1/2 \cdot \rho_s \cdot C_d \cdot B \cdot (hu^2)_{max}$$

Dengan,

- ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)
 C_d = koefisien tarik
 B = luasan struktur pada bidang normal arah aliran
 h = kedalaman aliran
 u = kecepatan aliran pada lokasi struktur

Untuk gaya pada masing-masing komponen struktur, B diambil dari lebar komponen. Direkomendasikan koefisien tarik yang digunakan $C_d = 2,0$. Resultan gaya hidrodinamis dikenakan pada tengah-tengah bidang terendam dari komponen.

Gaya hidrodinamis ini harus berdasarkan kepada parameter $(hu^2)_{max}$, yang merupakan momentum flux maksimum per unit massa pada lokasi pada setiap waktu saat tsunami terjadi.

$(hu^2)_{max}$ dapat diestimasi menggunakan persamaan :

$$(hu^2)_{max} = gR^2 (0,125 - 0,235 \left(\frac{Z}{R}\right) + 0,11 \left(\frac{Z}{R}\right)^2)$$

Dengan,

g = percepatan gravitasi

R = ketinggian *run-up* desain

Z = elevasi tanah pada dasar struktur

Untuk menggunakan persamaan ini datum muka laut harus konsisten dengan yang digunakan pada peta genangan tsunami. Karena ketidakpastian model genangan tsunami, maka angka (hu^2) yang diprediksi harus tidak kurang dari 80% dari nilai perhitungan menggunakan persamaan di atas.

d. Gaya Impulsif

Gaya impulsif disebabkan oleh muka limpasan air yang menabrak struktur. Ramsden (1993) dalam *FEMA (2008)* melakukan sejumlah penelitian dimana data laboratorium menunjukkan pada lokasi yang telah terendam, gaya ini dapat mencapai 1,5 kali dari nilai gaya hidrodinamis. Sehingga direkomendasikan penghitungan gaya impulsif ini menggunakan persamaan berikut:

$$F_s = 1,5 F_d$$

Gaya impulsif ini akan bekerja pada ujung depan gelombang tsunami, sedangkan gaya hidrodinamis bekerja pada keseluruhan bagian badan gelombang tsunami yang telah dilewati oleh ujung depan gelombang.

e. Gaya Tumbukan Debris atau Hanyutan Puing

Gaya tumbukan dari puing-puing hanyutan (semisal: batang pohon, kapal, mobil, dan lain lain) dapat menjadi faktor terbesar penyebab kerusakan pada bangunan. Namun hal ini sulit, untuk memperkirakan secara akurat gaya yang disebabkan oleh tumbukan ini.

Gaya tumbukan oleh puing hanyutan ini dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_i = C_m \cdot u_{max} \sqrt{(k \cdot m)}$$

Dengan,

C_m = koefisien massa yang ditambahkan

u_{max} = kecepatan maksimum aliran yang membawa puing dilokasi

m = massa puing

k = kekerasan puing

Direkomendasikan nilai koefisien massa yang ditambahkan $C_m = 2,0$. Tidak seperti gaya-gaya yang lain, gaya tumbukan ini diasumsikan hanya bekerja pada salah satu bagian dari struktur, pada ketinggian muka air.

f. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing

Efek tahanan yang disebabkan oleh akumulasi puing-puing hanyutan yang tersangkut pada struktur dapat diperlakukan sebagai gaya hidrodinamik tambahan oleh puing yang tertahan struktur. Persamaan berikut adalah modifikasi dari rumus hidrodinamis yang memasukkan lebar tahanan dari puing.

$$F_{dm} = 1/2 \cdot \rho_s \cdot C_d \cdot B_d \cdot (hu^2)_{max}$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen) (1200 kg/m^3)

C_d = koefisien drag (rekomendasi $C_d = 2,0$)

B_d = lebar/luas permukaan puing

h = kedalaman aliran

u = kecepatan aliran pada lokasi struktur/bangunan.

g. Gaya Uplift

Gaya angkat ini dikenakan terhadap lantai bangunan yang tenggelam oleh genangan tsunami. Sebagai tambahan untuk beban gravitasi, lantai yang tenggelam ini juga harus didesain untuk tahan terhadap gaya angkat terkait dengan gaya apung dan hidrodinamis. Saat melakukan penghitungan gaya apung pada sebuah lantai, harus juga turut dipertimbangkan potensi gaya apung tambahan yang disebabkan oleh volume udara yang terjebak dibawah lantai. Sebagai tambahan, dinding pada lantai atas akan menahan air sampai pada batasan kemampuannya sebelum akhirnya pecah karena gaya hidrostatis. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan signifikan terhadap volume air terpindahkan yang mempengaruhi gaya apung.

Total gaya apung keatas yang bekerja terhadap suatu lantai dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut.

$$F_b = \rho_s \cdot g \cdot A_f \cdot h_b$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi

A_f = area lantai

h_b = ketinggian air yang terpindahkan oleh lantai (termasuk didalamnya udara yang berpotensi terjebak).

h. Beban Gravitasi Tambahan Oleh Air yang Berada di Lantai Atas

Pada saat proses penggenangan, air yang berada pada lantai diatas akan menyebabkan gaya gravitasi tambahan yang dapat melebihi kemampuan dari rencana aslinya. Kedalaman air pada lantai atas tersebut tergantung kepada ketinggian maksimum rendaman tsunami di lokasi h_{max} , dan kekuatan lateral dari dinding pada lantai tersebut. Hal ini dengan asumsi bahwa dinding luar struktur menahan air sehingga lantai bawah tenggelam dan air

mengenangi lantai diatasnya. Karena cepatnya kenaikan air maka air sementara waktu akan lebih banyak berada di lantai atas, yang menyebabkan

beban gravitasi tambahan terhadap lantai tersebut. Nilai maksimum dari gaya tersebut per unit area f_r dapat diperkirakan menggunakan persamaan sbagai berikut.

$$f_r = \rho_s \cdot g \cdot h_r$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi

h_r = kedalaman potensial maksimum air yang berada pada lantai atas ditentukan sebagai berikut:

$$h_r = h_{max} - h_1 \leq h_{max}$$

h_{max} = ketinggian genangan maksimum yang diprediksikan di lokasi

h_1 = ketinggian lantai diatas dasar

h_{bw} = ketinggian air maksimum yang bisa ditahan oleh dinding sebelum akhirnya pecah oleh gaya hidrostatis.

Untuk lantai yang dinaikkan dengan tanpa dinding seperti tempat parkir dengan pagar teralis, air kemungkinan hanya akan bertahan sebentar saja sebelum akhirnya mengalir keluar struktur. Oleh karena itu dibutuhkan sistem drainase yang bagus untuk mencegah terjadinya genangan air yang melebihi kemampuan dari lantai tersebut untuk menahannya.

2.4 Prosedur Pendesainan Elemen Struktur

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur besmen, dan/atau struktur fondasinya. Prosedur analisis dan desain seismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertical yang lengkap, yang mampu memberikan

kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai yakni Analisis gaya lateral ekuivalen atau Analisis spektrum respons ragam, dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen-elemen struktur tersebut harus ditentukan.

Pondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah desain. Struktur atas dan struktur bawah dari suatu struktur gedung dapat dianalisis terhadap pengaruh gempa rencana secara terpisah, di mana struktur atas dapat dianggap terjepit lateral pada besmen. Selanjutnya struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri, gaya kinematic dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya. Struktur bawah tidak boleh gagal dari struktur atas. Desain detail kekuatan (*strength*) struktur bawah harus memenuhi persyaratan beban gempa rencana. Analisis deformasi dan analisis lain seperti penurunan total dan diferensial, tekanan tanah lateral, deformasi tanah lateral, dan lain-lain, dapat dilakukan sesuai dengan persyaratan beban kerja (*working stress*), Seperti yang dikemukakan oleh Ardiyanto et al (2015).

2.4.1 Struktur Tahan Gempa

Menurut Indarto et al (2013) menjelaskan beban gempa sebenarnya yang bekerja pada struktur bangunan dapat melampaui beban gempa rencana yang tercantum di dalam peraturan. Di dalam peraturan, besarnya beban gempa rencana yang diperhitungkan bekerja Pada struktur bangunan adalah Gempa gaya-gaya dalam (momen lentur, elemen-elemen struktur seperti gaya-gaya dalam yang sudah diperhitungkan Jika hal ini Tidak Ditinjau Didalam perencanaan maka pada saat terjadi gempa kuat elemen elemen dari struktur akan mengalami kerusakan, bahkan secara keseluruhan struktur dapat mengalami keruntuhan.

Agar struktur bangunan mempunyai kemampuan yang cukup dan tidak terjadi keruntuhan pada saat terjadi Gempa Kuat, maka dapat dilakukan dua cara sbb:

a) **Membuat struktur bangunan sedemikian kuat,**

Sehingga struktur bangunan tetap berperilaku elastis pada saat terjadi Gempa Kuat. Struktur bangunan yang dirancang tetap berperilaku elastis pada saat terjadi Gempa Kuat adalah tidak ekonomis. Meskipun pada saat terjadi Gempa Kuat struktur ini tidak mengalami kerusakan yang berarti, sehingga tidak memerlukan biaya perbaikan yang besar, namun pada saat pembuatannya, struktur bangunan ini memerlukan biaya yang sangat mahal. Struktur bangunan yang didesain tetap berperilaku elastis pada saat terjadi Gempa Kuat, disebut Struktur Tidak Daktail. Penggunaan sistem struktur portal tidak daktail masih dianggap ekonomis untuk bangunan gedung bertingkat menengah dengan ketinggian tingkat antara 4 s/d 7 lantai, dan terletak pada wilayah dengan pengaruh kegempaan ringan sampai sedang.

b) **Membuat struktur bangunan sedemikian rupa sehingga mempunyai batas kekuatan elastis yang hanya mampu menahan Gempa Sedang saja.**

Dengan demikian, struktur ini masih bersifat elastis pada saat terjadi Gempa Ringan atau Gempa Sedang. Pada saat terjadi Gempa Kuat, struktur bangunan harus dirancang agar mampu untuk berdeformasi secara plastis. Jika struktur mempunyai kemampuan untuk dapat berdeformasi plastis cukup besar, maka hal ini dapat mengurangi sebagian dari energi gempa yang masuk ke dalam struktur. Struktur bangunan yang didesain berperilaku plastis pada saat terjadi Gempa Kuat, disebut Struktur Daktail. Penggunaan sistem struktur portal daktail cukup ekonomis untuk bangunan gedung bertingkat menengah sampai tinggi, yang dibangun pada wilayah dengan pengaruh kegempaan kuat.

2.4.2 Perencanaan Kapasitas (*Capacity Design*)

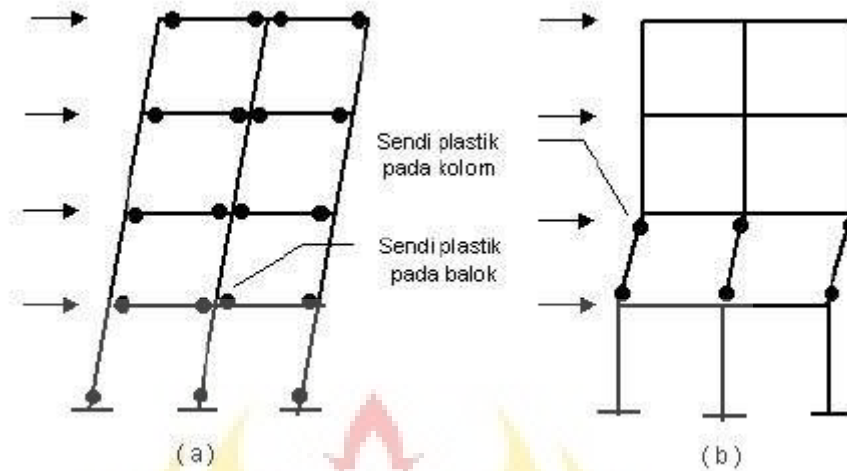
Dari penjelasan di atas, untuk mendapatkan struktur bangunan yang cukup ekonomis, tetapi tidak mengalami keruntuhan pada saat terjadi Gempa Kuat, maka

sistem struktur harus direncanakan bersifat duktail. Untuk mendapatkan sistem struktur yang duktail, disarankan untuk merencanakan struktur bangunan dengan menggunakan cara Perencanaan Kapasitas. Pada prosedur Perencanaan Kapasitas ini, elemen-elemen dari struktur bangunan yang akan memancarkan energi gempa melalui mekanisme perubahan bentuk atau deformasi plastis, dapat terlebih dahulu dipilih dan ditentukan tempatnya.

Sedangkan elemen-elemen lainnya, direncanakan dengan kekuatan yang lebih besar untuk menghindari terjadinya kerusakan. Pada struktur beton bertulang, tempat-tempat terjadinya deformasi plastis yaitu tempat-tempat dimana penulangan mengalami pelelehan, disebut daerah sendi plastis. Karena sendi-sendi plastis yang terbentuk pada struktur portal akibat dilampauinya Beban Gempa Rencana dapat diatur tempatnya, maka mekanisme kerusakan yang terjadi tidak akan mengakibatkan keruntuhan dari struktur bangunan secara keseluruhan. Karena pada prosedur Perencanaan Kapasitas ini terlebih dahulu harus ditentukan tempat-tempat di mana sendi-sendi plastis akan terbentuk, maka dalam hal ini perlu diketahui mekanisme leleh yang dapat terjadi pada sistem struktur portal. Dua jenis mekanisme leleh yang dapat terjadi pada struktur gedung akibat pembebanan gempa kuat, ditunjukkan pada Gambar 11.

Kedua jenis mekanisme leleh atau terbentuknya sendi-sendi plastis pada struktur gedung adalah :

- 1) Mekanisme Kelelehan Pada Balok (*Beam Sidesway Mechanism*), yaitu keadaan dimana sendi-sendi plastis terbentuk pada balok-balok dari struktur bangunan, akibat penggunaan kolom-kolom yang kuat (*Strong Column–Weak Beam*).
- 2) Mekanisme Kelelehan Pada Kolom (*Column Sidesway Mechanism*), yaitu keadaan di mana sendi-sendi plastis terbentuk pada kolom-kolom dari struktur bangunan pada suatu tingkat, akibat penggunaan balok-balok yang kaku dan kuat (*Strong Coloum With Beam*)



Gambar 2.1

Mekanisme leleh pada struktur gedung akibat beban gempa
(a) Mekanisme leleh pada balok, (b) Mekanisme leleh pada kolom

Pada perencanaan struktur daktail dengan metode Perencanaan Kapasitas, mekanisme kelelahan yang dipilih adalah *Beam Sidesway Mechanism*, karena alasan-alasan sebagai berikut :

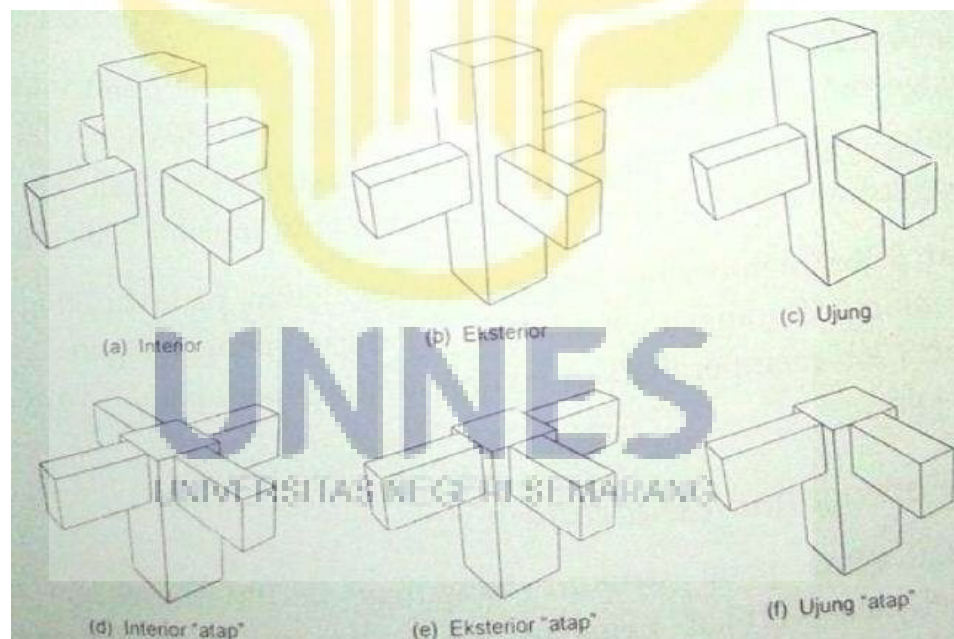
- 1) Pada *Column Sidesway Mechanism*, kegagalan dari kolom pada suatu tingkat akan mengakibatkan keruntuhan dari struktur bangunan secara keseluruhan
- 2) Pada struktur dengan kolom-kolom yang lemah dan balok-balok yang kuat (*Strong Beam-Weak Column*), deformasi akan terpusat pada tingkat-tingkat tertentu, sehingga daktilitas yang diperlukan oleh kolom agar dapat dicapai daktilitas dari struktur yang disyaratkan, sulit dipenuhi.

Kerusakan yang terjadi pada kolom-kolom bangunan, akan lebih sulit diperbaiki dibandingkan jika kerusakan terjadi pada balok. Jadi mekanisme kelelahan pada portal yang berupa *Beam Sidesway Mechanism*, merupakan keadaan keruntuhan struktur bangunan yang lebih terkontrol. Pemilihan perencanaan struktur bangunan dengan menggunakan mekanisme ini membawa konsekuensi bahwa kolom-kolom pada struktur bangunan harus direncanakan lebih kuat dari pada balok-balok struktur, sehingga dengan demikian sendi-sendi plastis akan terbentuk lebih dahulu pada balok. Karena hal tersebut di atas, maka

dalam perencanaan portal daktail pada struktur bangunan tahan gempa, sering juga disebut perencanaan struktur dengan kondisi desain Kolom Kuat – Balok Lemah (*Strong Column–Weak Beam*), (Indarto et al, 2013).

2.4.3 Persyaratan *Detailing* Hubungan Balok-Kolom (*Joint*) SRPMK

Menurut Iswandi (2009), hubungan balok kolom (*joint*) merupakan elemen struktur yang paling penting dalam suatu sistem struktur rangka pemikul momen. Akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur, momen lentur ujung pada balok-balok yang merangka pada *joint* yang sama akan memutar *joint* pada arah yang sama yang menyebabkan terjadinya gaya geser yang besar pada hubungan balok-kolom (Gambar 2.4). Ada beberapa tipe hubungan balok-kolom yang dapat dijumpai pada suatu sistem struktur rangka pemikul momen (*ACI-ASCE 352, 2002*) dan tipenya tergantung pada lokasi tempat *joint* tersebut berada (Gambar 2.1)



Gambar 2.2 Jenis Hubungan Balok-Kolom

2.4.4 Mendesain Balok

Dalam Schodek (1998) menjelaskan Variabel utama dalam mendesain balok meliputi: bentang, jarak balok, jenis dan besar beban, jenis material,

ukuran dan bentuk penampang, serta cara penggabungan atau fabrikasi. Semakin banyak batasan desain, maka semakin mudah desain dilakukan. Setiap desain harus memenuhi kriteria kekuatan dan kekakuan untuk masalah keamanan.

Prinsip-prinsip desain umum dalam perencanaan balok, yaitu :

- (1) Kontrol kekuatan dan kekakuan
- (2) Variasi besaran material
- (3) Variasi bentuk balok pada seluruh panjangnya
- (4) Variasi kondisi tumpuan dan kondisi batas

Desain balok beton tidak dapat digunakan sendiri pada balok karena sangat kecilnya kekuatan tarik, dan karena sifat getasnya (*brittle*). Retakretak yang timbul dapat berakibat gagalnya struktur, dimana hal ini dapat terjadi ketika balok beton mengalami lentur. Penambahan baja di dalam daerah tarik membentuk balok beton bertulang dapat meningkatkan kekuatan sekaligus daktilitasnya. Elemen struktur beton bertulang menggabungkan sifat yang dimiliki beton dan baja.

Kontrol kekuatan dan kekakuan balok harus diberi ukuran dan bentuk agar cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja tanpa mengalami kelebihan tegangan atau deformasi. Apabila desain yang dilakukan hanya dibatasi pada pencarian ukuran dan bentuk balok untuk beban, bentang dan bahan yang ditentukan, maka masalahnya susut menjadi yang sangat sederhana, yaitu pada balok di setiap titik pada taraf keamanan yang ditentukan.

Adapun prosedur mendesain balok menurut SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut: Menghitung β_1 sesuai SNI pasal 10.2.7.3 untuk f_c' :

- antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar 0,85
- diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa diatas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

Tabel 2.2 Menentukan Tebal Minimum (H_{min}) Balok Menurut SNI 2013 Tabel 9.5(A)

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$L / 20$	$L / 24$	$L / 28$	$L / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$L / 16$	$L / 18,5$	$L / 21$	$L / 8$

CATATAN:

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

(a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.

(b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

2.4.5 Mendesain Kolom

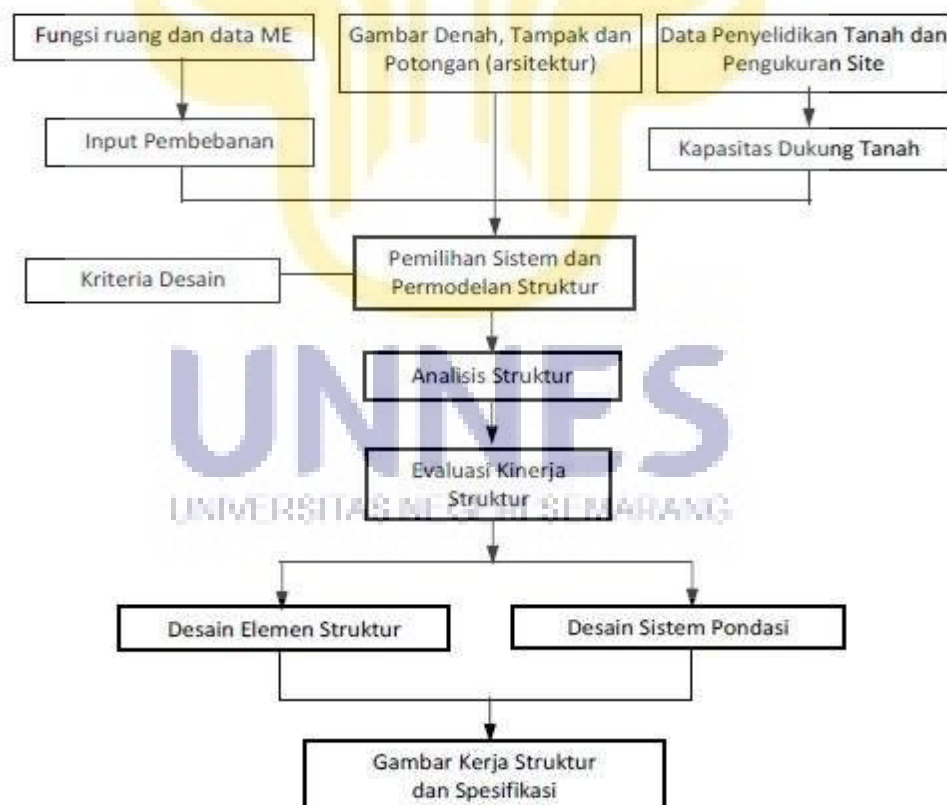
Dalam Kusuma el at (1993) disebutkan bahwa kolom adalah suatu komponen struktur yang diberi beban tekan sentris atau beban tekan eksentris. Dilihat dari segi perencanaan ternyata sebuah kolom pendel (yaitu kolom yang bersendi pada setiap ujung) dari komponen struktur tekan merupakan contoh yang paling mudah ditinjau, karena pada dasarnya kolom ini hanya mengalami gaya portal aksial. Dengan demikian kolom adalah sebuah “komponen struktur yang mendapat beban tekan sentris”. Pada struktur yang sederhana, kolom sering merupakan bagian dari struktural rangka. Bila komponen bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horizontal (balok) maka tegangan yang terjadi pada kolom selain tegangan aksial terdiri dari tegangan yang disebabkan oleh momen lentur. Kini dikatakan sebuah “komponen struktur yang mendapat beban tekan eksentris”.

Menurut Schodek (1998) Tujuan desain kolom secara umum adalah untuk memikul beban rencana dengan menggunakan seminimum mungkin material: atau alternatif lain, mencari desain yang memberikan kapasitas pikul-beban sebesar mungkin untuk sejumlah material yang ditentukan. Apabila fenomena tekuk masuk ke dalam desain, maka telah kita ketahui bahwa tidak seluruh kekuatan material dimanfaatkan. Elemen struktur kolom yang mempunyai nilai perbandingan antara panjang dan dimensi penampang melintangnya relatif kecil disebut kolom pendek. Kapasitas pikul-beban kolom pendek tidak tergantung pada panjang kolom dan bila mengalami beban berlebihan, maka kolom pendek pada umumnya akan gagal karena hancurnya material. Dengan demikian, kapasitas pikul-beban batas tergantung pada kekuatan material yang digunakan. Semakin panjang suatu elemen tekan, proporsi relatif elemen akan berubah hingga mencapai keadaan yang disebut elemen langsing. Perilaku elemen langsing sangat berbeda dengan elemen tekan pendek. Perilaku elemen tekan panjang terhadap beban tekan adalah apabila bebannya kecil, elemen masih dapat mempertahankan bentuk.

Kekakuan elemen struktur sangat dipengaruhi oleh banyaknya material dan distribusinya. Pada elemen struktur persegi panjang, elemen struktur akan

selalu menekuk pada arah seperti yang diilustrasikan pada di bawah bagian (a). Namun bentuk berpenampang simetris (misalnya bujursangkar atau lingkaran) tidak mempunyai arah tekuk khusus seperti penampang segiempat. Ukuran distribusi material (bentuk dan ukuran penampang) dalam hal ini pada umumnya dapat dinyatakan dengan momen inersia (I).

Untuk menyajikan gambar kerja struktur dan RKS, langkah-langkah yang ditempuh disajikan pada Software yang digunakan dalam proses analisis struktur dan desain elemen struktur adalah SAP2000 v17 CSI Berkley. Dengan menggunakan software, dapat memodelisasikan struktur yang akan dibangun serta spesifikasinya, kemudian mengaplikasikan beban-beban yang terjadi, sehingga akan terlihat ketahanan struktur terhadap beban-beban tersebut. Selain itu, di dalam software juga dapat dilihat besar lendutan dan gaya dalam yang dialami oleh komponen struktur.



Gambar 2.3 Langkah Perencanaan Struktur Gedung

Pengurangan potensi keruntuhan struktur yang tidak proporsional akibat kehilangan satu atau lebih komponen struktur akan meningkatkan kemungkinan struktur TES tetap berdiri jika kolom terkena kerusakan yang hebat akibat reruntuhan puing-puing yang terangkut dengan mensimulasikan kondisi kehilangan kolom terluar pada desain perencanaan. Elemen tarik pada struktur beton bertulang pada umumnya terdiri dari baja tulangan yang kontinu pada balok, kolom, pelat, dan dinding. Tulangan yang dibutuhkan untuk elemen tarik dapat disediakan pada seluruh atau sebagian dari baja yang telah ditentukan untuk menahan aksi-aksi lainnya, seperti geser dan lentur. Pada banyak kasus, jumlah baja yang disediakan untuk menahan gaya gravitasi dan lateral untuk struktur beton bertulang tipikal sudah cukup untuk menghasilkan gaya pada elemen tarik yang dibutuhkan. Perlu dilakukan pengecekan kelayakan gaya pada elemen tarik setelah struktur didesain mula-mula untuk pembebanan gravitasi dan lateral. Elemen tarik harus disambung dengan benar dan diangkur pada setiap ujung dengan tujuan untuk mengembangkan kapasitas maksimal elemen Tarik agar berkinerja sesuai dengan yang telah diantisipasi.

2.5 Prosedur Pendesainan Sistem Pondasi

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur besmen, dan/atau struktur pondasinya.

Pondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah desain. Sifat dinamis gaya, gerak tanah yang diharapkan, dasar desain untuk kekuatan dan kapasitas disipasi energi struktur, dan properti dinamis tanah harus disertakan dalam penentuan kriteria desain pondasi. Apabila tidak dilakukan analisis interaksi tanah-struktur, struktur atas dan struktur bawah dari suatu struktur gedung dapat dianalisis terhadap pengaruh gempa rencana secara terpisah, di mana struktur atas dapat dianggap terjepit lateral pada besmen. Selanjutnya

struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri, gaya kinematik dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya. Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada lantai dasar/muka tanah. Apabila penjepitan tidak sempurna dari struktur atas gedung pada struktur bawah diperhitungkan, maka struktur atas gedung tersebut harus diperhitungkan terhadap pengaruh deformasi lateral maupun rotasional dari struktur bawah, (Indarto et al,2013).

Struktur bawah tidak boleh gagal dari struktur atas. Desain detail kekuatan (*strength*) struktur bawah harus memenuhi persyaratan beban gempa rencana berdasarkan Kombinasi beban untuk metoda ultimit.

Analisis deformasi dan analisis lain seperti likuifaksi, rambatan gelombang, penurunan total dan diferensial, tekanan tanah lateral, deformasi tanah lateral, reduksi kuat geser, reduksi daya dukung akibat deformasi, reduksi daya dukung aksial dan lateral pondasi tiang, pengapungan (*flotation*) struktur bawah tanah, dan lain-lain, dapat dilakukan sesuai dengan persyaratan beban kerja (*working stress*) yang besarnya minimum sesuai dengan Kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin.

Struktur tipe tiang

Jika konstruksi menggunakan tiang sebagai kolom yang dibenamkan dalam tanah atau dibenamkan dalam pondasi telapak beton dalam tanah digunakan untuk menahan beban lateral, kedalaman pembedaman yang disyaratkan untuk tiang untuk menahan gaya gempa harus ditentukan melalui kriteria desain yang disusun dalam laporan investigasi pondasi.

Pengikat pondasi

Pur (*pile-cap*) tiang individu, pier bor, atau kaison harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Semua pengikat harus mempunyai kuat tarik atau tekan desain paling sedikit sama dengan gaya yang sama dengan 10 persen kali beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pur tiang atau kolom yang lebih besar kecuali jika ditunjukkan bahwa kekangan ekuivalen akan disediakan

oleh balok beton bertulang dalam pelat di atas tanah atau pelat beton bertulang di atas tanah atau pengekangan oleh batu yang memenuhi syarat, tanah kohesif keras, tanah berbutir sangat padat, atau cara lainnya yang disetujui.

2.5.1 Syarat Pondasi pada Sebuah Bangunan

Agar pondasi dalam suatu bangunan kuat, maka pondasi harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Bentuk dan konstruksinya harus menunjukkan suatu konstruksi yang kokoh dan kuat untuk mendukung beban bangunan di atasnya.
- b. Harus dibuat dari bahan yang tahan lama dan tidak mudah hancur, sehingga kerusakan pondasi tidak mendahului kerusakan bangunannya
- c. Tidak mudah terpengaruh oleh keadaan diluar pondasi, misalnya pengaruh air tanah dll.
- d. Harus terletak pada tanah dasar yang cukup kuat sehingga kedudukan pondasi stabil

2.5.2 Pemilihan Tipe atau Jenis Pondasi

- a. Hasil penyelidikan tanah, survey lapangan dan interpretasinya (interpretasi merupakan proses penafsiran suatu hasil percobaan)
- b. Besarnya beban statis atau dinamis yang bekerja dan batasan deformasi (Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur, bersifat tetap sedangkan Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur; bersifat tidak tetap untuk batasan deformasi disini ialah batasan deformasi pada struktur bangunan yang memiliki arti bahwa struktur bangunan itu tidak akan berubah bentuknya atau dapat kembali ke bentuk semula bila beban yang ia dapatkan tidak melebihi batasan deformasinya) Deformasi adalah perubahan bentuk suatu benda yang tidak dapat kembali lagi ke bentuk semula.
- c. Biaya konstruksi dan kemudahan pelaksanaan di lapangan (biaya konstruksi pada suatu daerah berbeda-beda tergantung mudah atau tidaknya tersedianya bahan yang akan digunakan).

- d. Pertimbangan tingkat resiko kegagalan pondasi selama rencana umur bangunan. (pengalaman suatu kontraktor)

Dalam mendesain pondasi harus ada keterlibatan perencana struktur dan ahli geoteknik. Idealnya data yang dipersiapkan terdiri dari peta lokasi sondir, boring, dan hasil uji laboratorium untuk setiap sampel boring. Prosedur desain pondasi secara garis besar dapat dijabarkan berdasarkan Ardiyanto (2006) sebagai berikut :

Rumus kapasitas dukung tiang berdasarkan data N-SPT Mayerhof (1967)

dalam

Cernica (1995) untuk tanah **non-kohefif** :

$$f_{total} = \sum (f_i \cdot L_i)$$

$$f_i = 2 \times N_i$$

$$q = 40 \cdot N \cdot (L/D) < 400 \cdot N$$

Keterangan :

f_{total} = Total gesekan pada selimut tiang atau adhesi tanah dengan selimut tiang untuk setiap lapisan yang dijumpai (kN/m')

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)

f_i = Gesekan pada selimut tiang atau adhesi tanah dengan selimut tiang untuk lapisan tanah ke-i (kN/m²)

D = Diameter tiang (m)

L = Total panjang tiang (m)

q = Kapasitas dukung tanah pada ujung tiang (KN/m²)

$$Q_{ultimit} = A_{ujung} \cdot q + O \cdot f_{total}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ultimit} / SF$$

Keterangan :

$Q_{ultimit}$ = Kapasitas ultimit pondasi tiang tunggal (kN)

Q_{ijin} = Kapasitas ijin pondasi tiang tunggal (kN)

SF = Faktor aman yang nilainya dapat diambil 2,5 s/d 3.

A_{ujung} = Luas permukaan ujung tiang (m²)

O = Keliling tiang (m)

BERDASARKAN DATA SONDIR

Dalam Wesley (1977) disebutkan kapasitas dukung tiang ijin untuk tiang yang dipancang sampai lapisan pasir :

$$Q_{ijin} = (q_c \cdot A_{ujung})/3 + (T_f \cdot O)/5$$

Q_{ujung} Q_{friksi}

2.5.3 Perhitungan Pile Cap

Menurut Hardiyatmo (2011) mengemukakan bahwa pelat penutup tiang (pile cap) berfungsi untuk menyebarkan beban dari kolom ke tiang-tiang. Jumlah minimum tiang dalam satu pelat penutup tiang umumnya 3 tiang. Bila tiang hanya berjumlah 2 tiang dalam 1 kolom, maka pelat harus dihubungkan dengan balok sloof yang dihubungkan dengan kolom lain. Balok sloof dibuat yang melewati pusat berat tiang-tiang ke arah tegak lurus deretan tiang (tegak lurus pelat penutup tiang). Demikian pula, bila pelat penutup tiang hanya melayani satu tiang, maka dibutuhkan balok sloof yang menghubungkan ke kolom kolom yang lain. Bila kolom dilayani hanya 1 tiang yang besar, maka bias tidak digunakan pelat penutup tiang.

Tebal pelat penutup tiang dipengaruhi tegangan geser ijin beton. Tegangan geser harus dihitung pada potongan terkritik. Momen lentur pada pelat penutup tiang harus dihitung dengan menganggap momen tersebut pada pusat tiang ke permukaan kolom terdekat. Bila kondisi memungkinkan, guna menanggulangi tegangan pada pelat penutup tiang yang terlalu besar, tiang tiang sebaliknya dipasang dengan bentuk geometri yang baik. Bila beban sentris, tiang tiang di dalam kelompoknya akan mendukung beban aksial yang sama. Dalam hitungan, tanah dibawah pelat penutup tiang dianggap tidak mendukung beban sama sekali.

Perancangan pelat penutup tiang dilakukan dengan anggapan sebagai berikut (Teng, 1962) :

1. Pelat penutup tiang sangat kaku
2. Ujung atas tiang menggantung pada pelat penutup tiang (pile cap). Karena itu tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh pelat penutup ke tiang.

3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu deformasi dan distribusi tegangan membentuk bidang rata.

Untuk Tanah Non-Kohesif

- 1. End Bearing Piles Eg Diasumsikan 1,0
- 2. Floating Atau Friction Piles Eg Diasumsikan 1,0

Untuk Tanah Kohesif

Untuk Kondisi Jarak Antar Pile (Pusat Ke Pusat) $\geq 3.D$:

- 1. End Bearing Piles Eg Diasumsikan 1,0
- 2. Floating Atau Friction Piles $0,7 \leq Eg \leq 1,0$

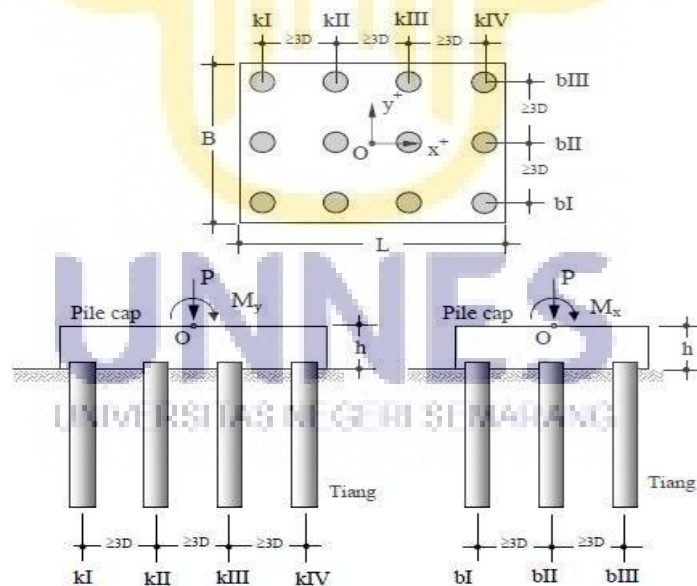
Nilai Eg Bertambah Linear Dari 0,7 Untuk $S=3d$ Hingga 1,0 Untuk $S=8d$.

Untuk Kondisi Jarak Antar Pile (Pusat Ke Pusat) $< 3.D$:

Kapasitas Pijin Dihitung Dengan **Keruntuhan Blok $Sf=3$** .

Distribusi Beban Struktur Atas Ke Kelompok Tiang

Beban Yang Didukung Oleh Tiang Ke-I (Q_i) Akibat Beban P , M_x Dan M_y Dalam Sebuah Pile Cap Adalah :



Gambar 2.4 Hitungan Reaksi Tiang

Sumber: Hardiyatmo (2011)

Jika momen yang bekerja dua arah yaitu arah sumbu x dan y , maka persamaan untuk menghitung tekanan aksial pada masing masing tiang adalah sebagai berikut :

$$Q_i = \frac{P_i}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y^2}$$

n = jumlah tiang dalam satu pile cap.

$\sum (x^2)$ = jumlah kuadrat jarak x terhadap titik pusat berat kelompok tiang (O).

$\sum (y^2)$ = jumlah kuadrat jarak y terhadap titik pusat berat kelompok tiang (O).

x_i = jarak tiang ke- i terhadap titik O searah sumbu x .

y_i = jarak tiang ke- i terhadap titik O searah sumbu y .

2.5.4 Perhitungan Tie Beam

Pengikat fondasi

Pur (*pile-cap*) tiang individu, pier bor, atau kaisan harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Semua pengikat harus mempunyai kuat tarik atau tekan desain paling sedikit sama dengan gaya yang sama dengan 10 persen S_{DS} kali beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pur tiang atau kolom yang lebih besar.

Persyaratan pengankuran tiang

Desain pengankuran tiang ke dalam pur (*pile-cap*) tiang harus memperhitungkan pengaruh gaya aksial terkomposisi akibat gaya ke atas dan momen lentur akibat penjepitan pada pur (*pile-cap*) tiang. Untuk tiang yang disyaratkan untuk menahan gaya ke atas atau menyediakan kekangan rotasi, pengankuran ke dalam pur (*pile-cap*) tiang harus memenuhi hal berikut ini:

- 1) Dalam kasus gaya ke atas, pengankuran harus mampu mengembangkan kekuatan sebesar yang terkecil di antara kuat tarik nominal tulangan longitudinal dalam tiang beton, atau kuat tarik nominal tiang baja, atau 1,3 kali tahanan cabut tiang, atau gaya tarik aksial yang dihasilkan dari pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih. Tahanan cabut tiang harus diambil sebagai gaya friksi atau lekatan ultimat yang dapat disalurkan antara tanah dan tiang ditambah dengan berat tiang dan pur;
- 2) Dalam kasus kekangan rotasi, pengankuran harus didesain untuk menahan gaya aksial dan geser dan momen yang dihasilkan dari pengaruh beban

gempa termasuk faktor kuatlebih atau harus mampu mengembangkan kuat nominal aksial, lentur, dan geser penuh dari tiang.

Tulangan untuk tiang beton tanpa pembungkus (kategori desain Seismik D sampai F)

Tulangan harus disediakan bila disyaratkan oleh analisis. Untuk tiang beton bor cor setempat tanpa pembungkus, minimum empat batang tulangan longitudinal dengan rasio tulangan longitudinal minimum 0,005 dan tulangan pengekangan transversal sesuai dengan tata cara yang berlaku harus disediakan sepanjang panjang tiang bertulangan minimum seperti didefinisikan di bawah mulai dari ujung atas tiang.

Tulangan longitudinal harus menerus melewati panjang tiang bertulangan minimum dengan panjang penyaluran tarik. Panjang tiang bertulangan minimum harus diambil yang lebih besar dari:

- 1) Setengah panjang tiang.
- 2) Sejarak 3 m.
- 3) Tiga kali diameter tiang
- 4) Panjang lentur tiang, di mana harus diambil sebagai panjang dari sisi bawah penutup tiang.

Sampai suatu titik di mana momen retak penampang beton dikalikan dengan factor tahanan 0,4 melebihi momen terfaktor perlu di titik tersebut. Sebagai tambahan, untuk tiang yang berlokasi dalam kelas situs *SE* atau *SF*, tulangan longitudinal dan tulangan pengekangan transversal, seperti dijelaskan di atas, harus menerus sepanjang tiang. Bila tulangan transversal disyaratkan, pengikat tulangan transversal harus minimum batang tulangan ulir D10 untuk tiang sampai dengan diameter 500 mm dan batang tulangan ulir D13 untuk tiang dengan diameter lebih besar.

Tulangan longitudinal dan tulangan pengekangan transversal, seperti didefinisikan di atas, juga harus menerus dengan minimum tujuh kali diameter tiang di atas dan di bawah permukaan kontak lapisan lempung teguh, lunak sampai setengah teguh atau lapisan yang dapat mencair (*liquefiable*) kecuali tulangan transversal tidak ditempatkan dalam panjang bertulangan minimum harus diijinkan

untuk menggunakan rasio tulangan spiral transversal dengan tidak kurang dari setengah yang disyaratkan dalam tata cara yang berlaku. Spasi penulangan transversal yang tidak ditempatkan dalam panjang bertulangan minimum diijinkan untuk ditingkatkan, Seperti yang dikemukakan oleh Ardiyanto et al (2015). tetapi harus tidak melebihi dari yang terkecil dari berikut ini:

- 1) 12 diameter batang tulangan longitudinal.
- 2) Setengah diameter tiang.
- 3) 300 mm.



BAB VI PENUTUP

6.1. KESIMPULAN

Kesimpulan dari Penulis yang dapat diambil berdasarkan data yang telah diperoleh dan analisa perencanaan struktur yang telah dibahas dalam bab-bab sebelumnya adalah sebagai berikut:

- 1) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi elastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan “Strong Column Weak Beam” yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi. Sistem ini masih jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar namun efektif untuk wilayah gempa yang kecil. Penggunaan SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa) karena setelah terjadinya gempa dan sebelum terjadinya tsunami kondisi bangunan tidak boleh retak untuk kenyamanan gedung evakuasi vertikal.
- 2) Kebutuhan tulangan pada struktur atas akibat kombinasi beban gempa dan tsunami bertambah dari akibat beban gempa saja. Hal ini terjadi terutama pada bagian struktur Kolom lantai 1.
- 3) Kebutuhan jumlah pondasi bored pile akibat kombinasi beban gempa dan tsunami bertambah dari akibat beban gempa saja. Hal ini terjadi akibat penambahan beban lateral akibat beban tsunami.
- 4) RAB pekerjaan struktur mengalami kenaikan sebesar 38,26% dari Rp 10.754.639.536,11 menjadi Rp. 14.738.416.428,34, akibat adanya kombinasi beban gempa dan tsunami dibandingkan akibat adanya beban gempa saja.

6.2. SARAN

Setelah menuliskan beberapa kesimpulan yang didapat, Penulis juga bermaksud memberikan beberapa saran yang berkaitan dengan perencanaan struktur bangunan gedung bertingkat:

- 1) Tempat evakuasi sementara (TES) dibuat multifungsi yang artinya saat tidak digunakan untuk kegiatan evakuasi kesehariannya dimanfaatkan untuk kegiatan masyarakat seperti pasar modern desa dibagian lantai dasar dan pada lantai 2 digunakan untuk gedung pertemuan.
- 2) Kolom yang gagal akibat benturan puing-puing yang terbawa air tidak boleh mengakibatkan keruntuhan progresif pada komponen struktural yang ada disekitarnya seperti kekuatan joint pada balok dan kolom sehingga saat kolom itu patah balok tidak runtuh.
- 3) Gedung evakuasi tsunami tidak boleh retak saat terjadi gempa bumi karena jika gedung itu retak akan membuat warga menjadi tidak ingin menggunakan atau menaiki gedung tersebut.
- 4) Gaya-gaya tsunami yang terjadi harus diperhitungkan dengan teliti dan benar terutama pada *force impact* (gaya tumbukan puing) yang menjadi faktor terbesar penyebab kerusakan pada bangunan.



DAFTAR PUSTAKA

- Andiyanto, Hanggoro, Chusnul Chotimah. 2015. *Short Course Aplikasi SNI Terbaru Untuk Mahasiswa Tugas Akhir*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Ardiyanto, Hanggoro. 2006. *Hand Out Rekayasa Pondasi 2*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Bandung: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)*. Bandung: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain (SNI 03-1727-2013)*. Bandung: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. *Baja Tulangan Beton (SNI 2052-2014)*. Bandung: BSN.
- Christady Hardiyanto, Hary. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Dewobroto, Wiryanto. 2013. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000*. Yogyakarta: Lumina Press
- Dewobroto, Wiryanto. 2005. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic*. Jakarta: Elex Media Komputindo
- FEMA P-751. 2012. *2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions : Design Examples*. Washington, D.C : National Institute of Building Sciences
- Indarto Himawan, Andiyarto Hanggoro, Adi Putra C Kukuh. 2013. *Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 for Dummies* . Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Schodek, Daniel L. 1991. *Struktur*. Bandung: PT Eresco
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada