DESAIN STRUKTUR GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL UNTUK MITIGASI TSUNAMI

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai syarat untuk menempuh ujian akhir

Program Studi DIII Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Negeri Semarang

Disusun Oleh:

Eve Finesa Ratu NIM. 5111312017

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul "Desain Struktur Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami" oleh :

EVE FINESA RATU 5111312017

Telah dipertahankan di hadapan sidang penguji Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Hari : Senin

Tanggal : 27 April 2015

Pembimbing :

Hanggoro Tri Cahyo A. S.T., M.T.

NIP. 19750529 200501 1 001

Penguji I :

Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T.

NIP. 19720709 199803 2 003

Penguji II :

Hanggoro Tri Cahyo A. S.T., M.T.

NIP. 19750529 200501 1 001

Ketua Jurusan :

Drs. Sucipto, M.T.

NIP. 19630101 199102 1001

Ketua Program Studi :

Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T.

NIP. 19720709 199803 2 003

Mengetahui Dekan Fakultas Teknik

Universitas Negeri Semarang,

Drs. M. Harlanu, M.Pd

NIP. 19660215 199102 1001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- "Sesungguhnya ilmu pengetahuan menempatkan orang nya kepada kedudukan terhormat dan mulia (tinggi). Ilmu pengetahuan adalah keindahan bagi ahlinya di dunia dan di akhirat". **(*H.R Ar-Rabii'*)**
- Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua. (***Aristoteles*)**
- Mustahil adalah bagi mereka yang tidak pernah mencoba. **(*Jim Goodwin*)**
- Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna. **(*Einstein*)**
- "Apa yang kita tanam itulah yang kita tunai. Karena curahan hujan tidak memilih apakah pohon apel atau hanya semak belukar" **(*Wira Sagala*)**

PERSEMBAHAN

Tiada yang maha pengasih dan maha penyayang selain Engkau Ya Allah. Syukur Alhamdulillah berkat rahmat dan karunia-Mu, saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1) Orang tuaku, kedua kakakku dan kaka iparku (mas Yogie, mas Dheyas dan Mba Aini), keluarga tersayang yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan dukungan yang tiada terbatas dalam penyelesaian Tugas Akhir ku.
2) Dosen-dosen yang telah menjadi orang tua kedua ku, yang namanya tak bisa ku sebutkan satu persatu, terimakasih telah memberikan ilmunya dan motivasi untukku.
3) Dosen pembimbing, Bapak Hanggoro Tri Cahyo A, S.T., M.T. yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk selalu fokus menyelesaikan Tugas Akhir dan ilmu beliau yang sangatlah bermanfaat untukku.
4) Untuk sahabat-sahabatku dan teman-teman seperjuanganku khususnya D3 Teknik Sipil angkatan 2012 yang tak bisa ku sebutkan satu persatu, terimakasih untuk kebersamaan kita di kampus maupun di luar, untuk doa, semangat dan motivasi kalian. Semoga selalu terjaga pertemanan kita sampai kapanpun.
5) Untuk keluarga kos Griya Mico, terimakasih telah membantu memberi semangat dan menemani saat mengerjakan Tugas Akhirku.
6) Dan semua pihak yang telah memberikan membantu memberikan semangat dan motivasi untukku dalam penyelesaian Tugas Akhirku.
7) Almamaterku tercinta terima kasih, aku siap melangkah lebih tinggi!!!

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas Rahmat dan Karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Struktur Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami”. Tugas akhir ini disusun sebagai persyaratan kelulusan pada program studi Teknik Sipil Diploma III Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini bukanlah tujuan akhir dari suatu pembelajaran, karena belajar merupakan suatu hal yang tidak terbatas. Penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, baik dari segi isi, bahasa maupun dari segi penulisannya, hal ini disebabkan keterbatasan penulis dari segi pengetahuan.. Untuk itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan tersebut. Dan tidak menutup kemungkinan untuk segala saran dan kritik serta masukan yang bersifat membangun bagi diri penulis.

Terselesaikannya tugas akhir ini tentunya tak lepas dari dorongan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. M. Harlanu M.Pd, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
2. Bapak Drs. Sucipto, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang
3. Ibu Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi DIII Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang
4. Bapak Hanggoro Tri Cahyo, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan juga sebagai motivator
5. Kedua orang tua yang selalu memberikan dan doanya.
6. Seluruh teman – teman D3 Teknik Sipil yang telah memberikan motivasi serta semangat.

7. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan bantuan, semangat serta motivasi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Akhir kata semoga dapat bermanfaat bagi penulis, institusi pendidikan serta masyarakat luas.

Semarang, April 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

MOTTO DAN PERSEMBAHAN iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI vii

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR DIAGRAM..... xv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

BAB I PENDAHULUAN .....I- 1

1.1 Judul Tugas Akhir .....I- 1

1.2 Deskripsi Proyek .....I- 1

1.3 Latar Belakang .....I- 1

1.4 Maksud dan Tujuan .....I- 3

1.5 Batasan Masalah .....I- 4

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....I- 4

BAB II PERENCANAAN LOKASI GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL UNTUK MITIGASI TSUNAMI ..... II- 1

2.1 Perencanaan Lokasi ..... II- 1

2.2 Gambaran Umum Lokasi ..... II- 4

2.3 Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Untuk Mitigasi Tsunami .... II- 4

BAB III DASAR PERENCANAAN STRUKTUR ..... III- 1

3.1 Kriteria Desain Struktur ..... III- 1

3.1.1 Peraturan yang Digunakan ..... III- 2

3.1.2 Jenis Material ..... III- 2

3.2 Pembebanan Struktur ..... III- 3

3.2.1 Beban Mati ..... III- 3

3.2.2 Beban Hidup ..... III- 4

3.2.3 Beban Gempa ..... III- 5

3.2.4 Beban Tsunami ..... III- 22

3.3 Kombinasi Pembebanan ..... III- 29

3.3.1 Kombinasi Pembebanan Beban Gravitasi ..... III- 29

3.3.2 Kombinasi Pembebanan Beban Gempa ..... III- 29

3.3.3 Kombinasi Pembebanan Beban Tsunami ..... III- 29

BAB IV PERHITUNGAN STRUKTUR ..... IV- 1

4.1 Perhitungan Struktur untuk Beban Gravitasi ..... IV- 1

4.1.1 Pelat ..... IV- 1

4.1.2 Tangga ..... IV- 4

4.1.3 Balok ..... IV- 15

4.1.4 Kolom ..... IV- 20

4.2 Perhitungan Struktur untuk Beban Gempa ..... IV- 22

4.2.1 Perhitungan Beban Gempa ..... IV- 22

4.2.2 Tulangan untuk Beban Gempa ..... IV- 25

4.3 Perhitungan Struktur untuk Beban Tsunami ..... IV- 27

4.3.1 Perhitungan Beban Tsunami .....IV- 27

4.2.2 Tulangan untuk Beban Tsunami .....IV- 30

BAB V RENCANA ANGGARAN BIAYA ..... V- 1

5.1 Uraian Umum ..... V- 1

5.2 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) ..... V- 1

5.2.1 Perhitungan Volume Beton ..... V- 1

5.2.2 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)..... V- 3

5.2.3 Rekapitulasi Akhir ..... V- 4

BAB VI SYARAT-SYARAT TEKNIS PELAKSANAAN PEKERJAAN. VI- 1

6.1 Pekerjaan Beton Struktur Atas .....VI- 1

6.1.1 Lingkup Pekerjaan .....VI- 1

6.1.2 Pedoman Pelaksanaan .....VI- 1

6.1.3 Bahan-Bahan yang Digunakan .....VI- 1

6.1.4 Tata Cara Pengiriman dan Penyimpanan Bahan .....VI- 3

6.1.5 Bekisting yang Digunakan .....VI- 4

6.1.6 Pemasangan Pipa-Pipa .....VI- 6

6.1.7 Pelaksanaan Pembuatan Beton/Kualitas Beton .....VI- 6

6.1.8 Siar-Siar Konstuksi dan Pembongkaran .....VI- 9

6.1.9 Pengganti Besi .....VI- 9

6.1.10 Perawatan Beton .....VI- 10

6.1.11 Tanggung Jawab Kontraktor .....VI- 11

BAB VII PENUTUP .....VII- 1

7.1 Kesimpulan .....VII- 1

7.2 Saran .....VII- 3

DAFTAR PUSTAKA .....

LAMPIRAN .....

DAFTAR GAMBAR

2.1 Daerah Sumber Tsunami ..... II- 6

2.2 Peta Rencana Evakuasi Tsunami Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah . II- 6

2.3 Peta Bahaya Tsunami Kota Cilacap ..... II- 7

2.4 Peta Rencana Evakuasi Tsunami Kelurahan Cilcap dan Sekitar Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah ..... II- 7

2.5 Pendekatan Multi-skenario ..... II- 8

2.6 Zonasi Berdasarkan Ketinggian Gelombang dan Tingkat Peringatan ..... II- 9

2.7 Visualisasi Kemungkinan Peta di Atas..... II- 10

2.8 Jarak Lokasi TES dari Tepi Pantai ..... II- 10

2.9 Lokasi TES ..... II- 11

3.1 Lokasi Sondir ..... III- 12

3.2 Spektrum Respons Desain..... III- 15

3.3 Spektrum Respons Desain pada Koordinat (-7,72682409973, 109,007602572)..... III- 16

3.4 Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah – Inelastic Respons ..... III- 20

4.1 Momen Arah 1-1 dan Arah 2-2 pada Pelat Lantai .....IV- 3

4.2 Momen Arah 1-1 dan Arah 2-2 pada Pelat Tangga A .....IV- 6

4.3 Momen Arah 1-1 dan Arah 2-2 pada Pelat Tangga B.....IV- 8

4.4 Momen Arah 1-1 dan Arah 2-2 pada Pelat Tangga C .....IV- 10

4.5 Momen Arah 1-1 dan Arah 2-2 pada Pelat Tangga D.....IV- 12

4.6 Momen Arah 1-1 dan Arah 2-2 pada Pelat Tangga E .....IV- 14

4.7 Respons Modal dari Setiap Mode untuk Struktur Lokasi TES .....IV- 23

DAFTAR TABEL

2.1 Jarak Maksimum TES Berdasarkan Waktu Peringatan ..... II- 3

3.1 Reduksi Kekuatan ..... III- 5

3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa ..... III- 7

3.3 Faktor Keutamaan Gempa (I_e) ..... III- 9

3.4 Klasifikasi Situs..... III- 12

3.5 Koefisien Situs F_a ..... III- 14

3.6 Koefisien Situs F_v..... III- 14

3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek ..... III- 17

3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek ..... III- 18

3.9 Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Contoh untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen) ..... III- 19

3.10 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung ..... III- 21

3.11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x ..... III- 21

4.1 Luas Tulangan yang Dibutuhkan Balok Kombinasi Pembebanan Gravitasi dari Hasil Analisis pada SAP v17.0.0.....IV- 15

4.2 Tulangan yang Dipasang pada Balok untuk Kombinasi Pembebanan Gravitasi .....IV- 17

4.3 Luas Tulangan yang Dibutuhkan Kolom Kombinasi Pembebanan Gravitasi dari Hasil Analisis pada SAP v17.0.0 ..... IV- 21
4.4 Tulangan Longitudinal dan Tulangan Sengkang yang Dipasang Pada Kolom ..... IV- 21
4.5 Modal Periods and Frequncies ..... IV- 23
4.6 Modal Load Partticipation Ratios ..... IV- 24
4.7 Group 3-Masses and Weight ..... IV- 25
4.8 Tulangan Balok untuk Beban Gempa ..... IV- 26
4.9 Tulangan Kolom untuk Beban Gempa ..... IV- 27
4.10 Tulangan Balok untuk Beban Tsunami ..... IV- 31
4.11 Tulangan Kolom untuk Beban Tsunami ..... IV- 32
4.12 Tulangan Balok yang Digunakan untuk Gedung Evakuasi Vertikal Mitigasi Tsunami ..... IV- 32
4.13 Tulangan Kolom untuk Beban Gempa ..... IV- 34
5.1 Perhitungan Volume Bersih Beton ..... V- 2
5.2 RAB ..... V- 3
5.3 Rekapitulasi Akhir ..... V- 4
6.1 Toleransi Kualitas Besi ..... VI- 10
7.1 Perbandingan Tulangan Balok pada Pembebanan Gempa dan Tsunami ... . VII- 1
7.2 Perbandingan Tulangan Kolom pada Pembebanan Gempa dan Tsunami . ..... VII- 3

DAFTAR DIAGRAM

3.1 Sondir 1 ..... III- 10

3.2 Sondir 2 ..... III- 11

4.1 Flowchart Perhitungan Pelat..... IV- 2

4.2 Flowchart Perhitungan Balok ..... IV- 20

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiram 1: Dokumen Rincian Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Lampiram 2: Dokumen Gambar Kerja Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Judul Tugas Akhir

"DESAIN STRUKTUR GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL UNTUK MITIGASI TSUNAMI"

1.2 Deskripsi Proyek

Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami di desain sebagai bangunan masjid setinggi 12 meter dengan jumlah lantai sebanyak 3 lantai, untuk lantai 1 dengan elevasi ± 0.00 setinggi 6 meter dan ruang serba guna setinggi 3 m, lantai 2 dengan elevasi + 6.00 setinggi 3 meter, lantai 3 dengan elevasi + 9.00 setinggi 3 meter dan lantai dak berada pada elevasi + 12.00. Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami merupakan Tempat Evakuasi Sementara (TES) tsunami untuk pemanfaatan multifungsi, karena tidak hanya berfungsi sebagai tempat evakuasi tsunami tetapi digunakan sehari-hari untuk beribadah sesuai dengan fungsinya.

Bagian bawah gedung terbuka (*elevated floor*), yaitu lantai bawahnya hanya terdiri dari kolom-kolom penyangga bangunan dan sirkulasi vertikal (tangga). Ruang terbuka di bagian bawah bangunan memungkinkan air gelombang tsunami mengalir dan menghindarkan bangunan dari hempasan gelombang. Lantai 2 dan lantai 3 dilengkapi dengan fasilitas kamar mandi dan toilet yang didesain untuk tetap berfungsi meskipun terjadi bencana tsunami.

1.3 Latar Belakang

Posisi geologis yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik aktif telah menempatkan Indonesia sebagai negara rawan bencana gempa bumi dan tsunami. Sekitar 70% gempa bumi tektonik terjadi di dasar laut yang berpotensi menyebabkan tsunami, gempa bumi ini disebut gempa

bumi tsunamigenik. Secara statistik rata-rata hampir setiap 2 tahun sekali terjadi tsumani di wilayah Indonesia.

Dari catatan sejarah tsunami di Indonesia, kejadian tsunami telah banyak menelan korban jiwa. Dua kejadian tsunami besar yang menelan banyak sekali korban jiwa adalah (1) bencana tsunami volkanik Krakatau tahun 1883 yang telah menelan korban sekitar 36.000 orang; dan (2) tsunami Aceh 26 Desember 2004 dengan korban jiwa sekitar 227.898 orang (USGS, 2005).

Bencana tsunami Aceh 2004 tersebut merupakan bencana fenomenal pada abad ini, tidak hanya dirasakan di Aceh dan Sumatera Utara, namun beberapa negara seperti Srilanka, India, Thailand, Maldives, Malaysia, Myanmar, Bangladesh, dan Somalia di benua Afrika. Selain telah menelan korban ratusan ribu orang dan mengakibatkan kerusakan dan kerugian moril dan meteriil yang tak terhitung jumlahnya, bencana ini juga menjadi pemicu pembangunan sistem peringatan dini di Indonesia (Ina TEWS – *Indonesian Tsunami Early Warning System*) yang diresmikan bulan November 2008 dan implementasi berbagai upaya-upaya pengurangan risiko bencana tsunami.

Delapan tahun setelah tsunami 2004, terjadi gempa bumi tsunamigenik kembar Aceh 11 April 2012 yang telah menimbulkan kepanikan luar biasa pada masyarakat Aceh. Tidak hanya buruknya proses evakuasi tsunami, tetapi bangunan tinggi yang ada tidak dimanfaatkan untuk tempat evakuasi. Seolah implementasi semua upaya pengurangan risiko bencana tsunami termasuk keberadaan sistem peringatan dini tsunami tidak tampak hasilnya, dan gempa bumi 2012 ini seolah menjadi pengingat dan membangkitkan trauma masyarakat Aceh terhadap tsunami 2004.

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 evakuai 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.

Upaya penyediaan TES sesuai dengan salah satu program/kegiatan utama pemerintah yang tertuang di dalam Master Plan Pengurangan Risiko Bencana Tsunami untuk tahun 2013-2019 pada program ketiga, yaitu Pembangunan dan Peningkatan TES Tsunami (BNPB, 2012). Upaya ini sangat strategis untuk antisipasi bencana tsunami, mengingat penyelamatan diri secara vertikal ke tempat evakuasi sementara perlu dilakukan jika waktu yang tersisa untuk penyelamatan diri (*golden time*) sangat pendek, dan untuk kawasan pantai yang padat penduduk serta padat bangunan dengan kondisi infrastruktur jalan-jembatan yang terbatas.

Untuk menunjang upaya pemerintah dalam pengurangan risiko bencana tsunami melalui pembangunan TES, pedoman ini dikembangkan dengan tujuan memberikan panduan dalam perencanaan dan penentuan TES Tsunami.

1.4 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan dari penyusunan desain struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami, adalah:

1. Merencanakan lokasi gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.
2. Mendesain gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.
3. Mendesain struktur gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.
4. Merencanakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.

1.5 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 rencanan anggaran biaya dan menjelaskan rencana kerja dan syarat-syarat.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Tugas Akhir ini pada garis besarnya disusun dalam 7bab, adapun sistematika dari penyusunan Tugas Akhir ini antara lain terdiri dari:

1. **BAB I PENDAHULUAN**

   Berisi tentang Judul Tugas Akhir, Deskripsi Proyek, Latar Belakang, Maksud dan Tujuan, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan Tugas Akhir.

2. **BAB II PERENCANAAN LOKASI GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL UNTUK MITIGASI TSUNAMI**

   Berisi tentang Kriteria Perencanaan Lokasi, Gambaran Umum Lokasi, dan Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Untuk Mitigasi Tsunami.

3. **BAB III DASAR PERENCANAAN STRUKTUR**

   Berisi tentang Kriteria Desain Struktur, Pembebanan Struktur dan Kombinasi Pembebanan Struktur.

4. **BAB IV PERHITUNGAN STRUKTUR**

   Berisi tentang Perhitungan Struktur untuk Beban Gravitasi, Perhitungan Struktur untuk Beban Gempa dan Perhitungan Struktur untuk Beban Tsunami.

5. **BAB V RENCANA ANGGARAN BIAYA**

   Berisi tentang Uraian Umum dan Perhitungan Rencana Anggaran Biaya.

6. **BAB VI RENCANA KERJA DAN SYARAT-SYARAT**

   Berisi tentang Pekerjaan Beton Struktur Atas.

7. **PENUTUP**

   Berisi tentang Kesimpulan dan Saran.

BAB II

PERENCANAAN LOKASI GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL UNTUK MITIGASI TSUNAMI

2.1 Perencanaan Lokasi

Menentukan lokasi atau letak gedung evakuasi vertikal untuk Tempat Evakuasi Sementara (TES) mitigasi tsunami merupakan hal penting yang harus dipertimbangkan sebelum merencanakan untuk membangun TES mitigasi tsunami. Lokasi TES sangat menentukan keberhasilan orang untuk dapat menyelamatkan diri dari bahaya tsunami. Semakin dekat lokasi TES dengan pemukiman masyarakat kawasan rawan tsunami, semakin banyak orang yang dapat diselamatkan. Keberhasilan evakuasi tsunami sangat bergantung pada kapasitas evakuasi dan kecepatan waktu untuk menyelamatkan diri (waktu evakuasi dikurangi waktu yang diharapkan untuk evakuasi/*expected time for evacuation time*) dari bahaya gelombang tsunami.

Setiap tempat memiliki waktu evakuasi yang berbeda tergantung pada kuatnya gempa bumi yang terjadi dan lokasi gempa bumi. Sumber terjadinya tsunami yang jauh memberikan waktu evakuasi yang cukup, sebaliknya sumber terjadinya tsunami yang dekat tidak memberikan waktu evakuasi yang cukup, sehingga dalam penyusunan rencana kontijensi dan rencana respon tanggap darurat membutuhkan TES. Keberadaan sistem peringatan dini sangat dibutuhkan masyarakat, pemerintah daerah serta pihak terkait sebagai tanda peringatan perlunya segera evakuasi, mengingat tidak semua fenomena tsunami mempunyai tanda-tanda alam yang sama seperti didahului dengan goncangan maupun air surut mendadak. Demikian pula untuk fenomena tele-tsunami yaitu tsunami yang terjadi dengan sumber tsunami yang berada di sisi lain samudera seperti Samudera Hindia dan/atau Samudera Pasifik, keberadaan sistem peringatan dini sangat dibutuhkan untuk peringatan tanda evakuasi.

Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah lembaga pemerintah yang memiliki mandat untuk memonitor terjadinya gempa bumi dan tsunami serta menerbitkan peringatan dini tsunami kepada masyarakat Indonesia melalui pemerintah daerah, institusi antara seperti BNPB, TNI, Polisi, Media Elektronik. Peringatan BMKG tentang potensi terjadinya tsunami tersebut secara umum membutuhkan waktu ±5 menit dari sejak terjadinya gempa bumi. Masyarakat diharapkan cepat melakukan evakuasi apabila mendengar peringatan tsunami.

Disamping keberadaan sistem peringatan dini tsunami bagi masyarakat yang berada di lokasi yang dekat dengan sumber terjadinya tsunami, biasanya akan merasakan tanda-tanda akan terjadi tsunami, seperti goncangan gempa bumi, air laut yang surut tiba-tiba atau suara gemuruh. Tanda-tanda ini juga dapat menjadi peringatan akan kedatangan tsunami. Walaupun demikian, tidak semua fenomena tsunami didahului oleh tanda-tanda tersebut.

Dalam perencanaan upaya penyelamatan masyarakat dari tsunami, pertimbangan utama harus diberikan pada alokasi waktu yang cukup agar masyarakat dapat mencapai tempat evakuasi dengan aman. Untuk itu perlu menetapkan jarak terjauh TES yang mampu dicapai masyarakat, dengan parameter waktu peringatan, kemampuan berjalan masyarakat yang berada di sekitarnya, serta kapasitas rute evakuasi. Oleh karena itu, jarak maksimum harus ditetapkan dengan mempertimbangkan jumlah dan tempat evakuasi, serta populasi penduduk sebagai parameter penting agar keberadaan TES menjadi optimum dalam menampung penduduk sekitar hingga yang berada pada jarak maksimum.

Menurut *Federal Emergency Management Agency* (FEMA P-646, 2012), kemampuan rata-rata orang sehat dapat berjalan dengan kecepatan 6,44 km per jam atau setara dengan 107 m per menit. Berbagai populasi dalam masyarakat memiliki kemampuan berjalan yang berbeda-beda, tergantung pada umur, kesehatan, dan kondisi fisik. Rata-rata kecepatan orang berjalan dengan gangguan fisik untuk berjalan, atau jalanan cukup

padat sehingga kecepatan rata-rata dapat diasumsikan kurang lebih 3,22 km per jam, atau setara dengan 53,5 m per menit. Dalam perencanaan lokasi TES, jarak terjauh yang mampu dicapai oleh kelompok rentan dengan keterbatasan fisik perlu menjadi dasar pertimbangan. Ada dua cara dalam menentukan jarak dan lokasi TES yang optimum, yang pertama berdasarkan perhitungan empiris yang dihasilkan FEMA P-646,2012, dan yang kedua berdasarkan perhitungan kondisi fisik di lapangan.

Cara pertama, sebagai ilustrasi perhitungan cara pertama (empiris), bila kecepatan orang berjalan dengan keterbatasan fisik 3,22 km per jam dan apabila waktu evakuasi yang ada (*golden time*) setelah peringatan tsunami adalah 30 menit, sehingga TES dapat ditempatkan pada jarak maksimum 1,61 km dari titik berangkat. Hal ini akan menghasilkan sebuah jarak maksimum rata-rata adalah 3,22 km diantara dua TES. Demikian pula, asumsi waktu peringatan 15 menit, TES akan berlokasi pada jarak maksimum 0,8045 km dari titik berangkat, dan 1,61 km jarak diantara dua TES. Waktu peringatan yang lebih panjang akan mempersyaratkan jarak yang lebih jauh. Secara empiris, jarak lokasi TES dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 2.1. Jarak maksimum TES berdasarkan waktu peringatan

Waktu Kedatangan/Waktu Tiba Tsunami (ETA)	Kecepatan Orang Berjalan (Lemah)	Jarak Perubahan Menuju TES	Jarak Maksimum antara 2 Lokasi TES
2 jam	3,22 km/jam	6,44 km	12,87 km
30 menit	3,22 km/jam	1,61 km	3,22 km
15 menit	3,22 km/jam	804,5 km	1,61 km

Sumber: *Federal Emergency Management Agency* (FEMA P-646, 2012)

Pertimbangan utama pemilihan lokasi pada kota Cilacap, kawasan pantai yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia, dan kawasan ini merupakan *seismicgap*, dimana memiliki potensi gempa-gempa besar yang mampu membangkitkan tsunami.

2.2 Gambaran Umum Lokasi

Cilacap merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah dan berada pada koordinat 108º4'30" – 109º22'30" Garis Bujur Timur dan 7º30'20" – 7º45' Garis Lintang Selatan. Secara geografis berada di bagian wailayah selatan Provinsi Jawa Tengah berhadapan langsung dengan perairan Samudera Hindia, dengan panjang garis pantai ± 105 km, yang dimulai dari bagian timur pantai Desa Jetis Kecamatan Nusawungu ke arah barat hingga Ujung Kulon Pulau Nusakambangan berbatasan dengan Provinsi Jawa Barat. Topografi wilayah Kabupaten Cilacap terdiri dari permukaan landai dan perbukitan dengan ketinggian antara 6 – 198 m dari permukaan laut.

Kabupaten Cilacap dalam tatanan administrasi pemerintahan terdiri dari 24 Kecamatan dan 284 Desa/Kelurahan, dengan spesifikasi 11 Kecamatan (72 Desa/Kelurahan) yang memiliki wilayah pesisir di wilayah Selatan Jawa Tengah. Jumlah penduduk keseluruhannya 1.872.576 jiwa (laki-laki: 947.814 jiwa, perempuan: 924.732 jiwa).

Kabupaten Cilacap merupakan salah satu daerah berisiko tinggi terhadap bahaya tsunami di Indonesia karena jika tsunami besar terjadi di wilayah Cilacap dan sekitarnya akan membawa dampak yang parah pada daerah sepanjang pantai yang dihuni penduduk dengan kepadatan yang tinggi. Banyak wilayah utama pembangunan Cilacap, terutama industri pertambangan minyak terletak langsung menghadap garis pantai Samudra Hindia. Di bawah dasar laut Samudra Hindia tersebut, beberapa ratus kilometer sebelah selatan Cilacap, terletak salah satu zona utama tumbukan lempeng tektonik bumi, yang merupakan sumber utama gempa bumi pencetus tsunami. Dengan demikian, para ahli geologi dan ilmuwan tsunami menggolongkan Cilacap sebagai daerah berisiko tinggi tsunami.

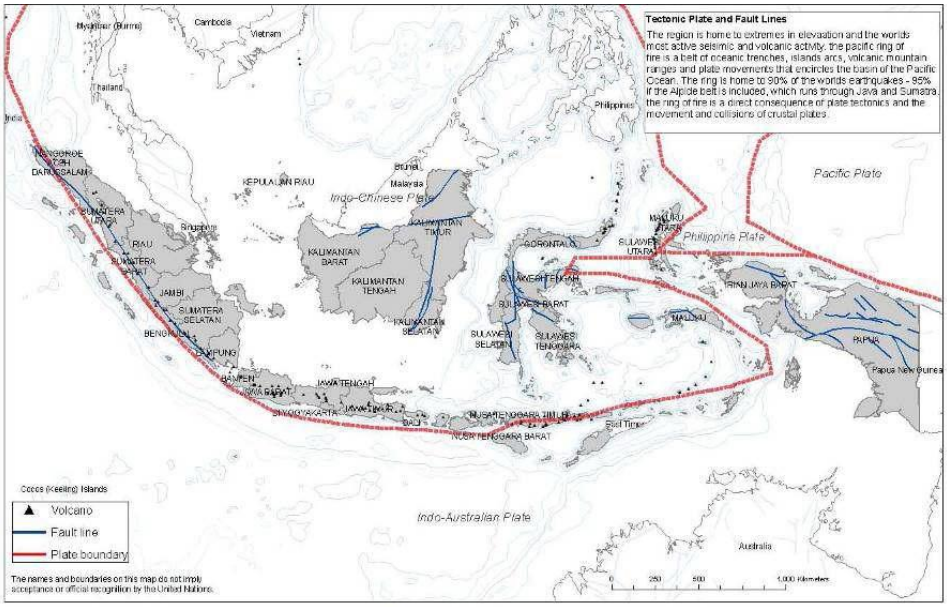
2.3 Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Untuk Mitigasi Tsunami

Variabel yang mempengaruhi kriteria kerentanan adalah waktu tiba tsunami (ETA-*Estimated Time for Tsunami Arrival*), kerentanan fisik atau

kepadatan bangunan, kerentanan lingkungan atau tutupan lahan, kerentanan sosial atau kepadatan penduduk, dan kerentanan ekonomi berupa nilai keekonomian infrastruktur (Latief et. al, 2006). Dalam kajian model tsunami di Cilacap menggunakan skenario terburuk *"Momen Magnitude"* (Mw) 8,0 pada pasang surut rerata, terdapat 23 desa di enam kecamatan terendam tsunami dengan tinggi air bervariasi dari beberapa sentimeter hingga lebih dari delapan meter di daerah pantai. Riset ini dimotori oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, *Deutsches Zentrum fur Luft-und Raufahrt* (DRL), dan *United Nations University* (UNU).

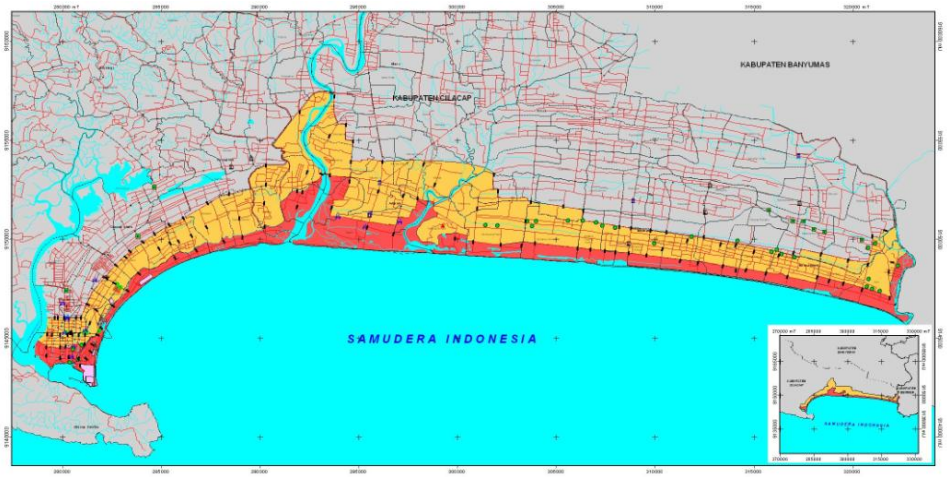
Penetrasi tsunami ke daratan juga bervariasi, yakni dari beberapa puluh meter hingga lebih dari 3,5 kilometer di daerah bantaran Sungai Serayu. Daerah terendam dari terparah hingga teringan berada di tujuh desa di Kecamatan Adipala, enam desa di Kecamatan Binangun, empat desa di Kecamatan Nusawungu, tiga desa di Kecamatan Kesugihan, dua desa di Kecamatan Cilacap Selatan, dan satu kelurahan di Kecamatan Cilacap Utara. Total wilayah terendam di daerah tersebut luasnya lebih dari 35 km^2.

Sementara untuk kondisi pasang surut, tsunami akan merendam 34 desa di tujuh kecamatan dengan aliran bervariasi dari beberapa sentimeter hingga sembilan meter di daerah pantai. Penetrasi tsunami ke daratan bervariasi dan dapat mencapai lebih dari enam kilometer di daerah bantaran Sungai Serayu. Pada kondisi tersebut, daerah rendaman akan terjadi pada sembilan desa di Kecamatan Adipala, tujuh desa di Kecamatan Binangu, serta Kecamatana Kesugihan, Cilacap Tengah, Nusawungu maing-masing empat desa, serta Cilacap Selatan dan Cilacap Utara masing-masing tiga desa. Luas daerah terendam lebih dari 59 km^2. Waktu tempuh dari sumbernya, tsunami mencapai daerah pantai berkisar 50-55 menit setelah gempa, dan dalam waktu sekitar 40 menit berikutnya telah terendam dengan luas 59 km^2.



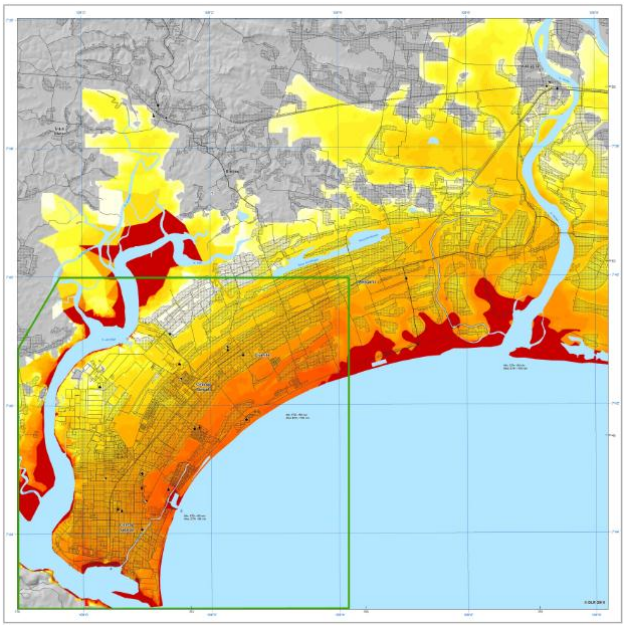
Gambar 2.1. Daerah Sumber Tsunami

Sumber: Peta Zonasi Ancaman Bencana Tsunami di Indonesia (Internet)



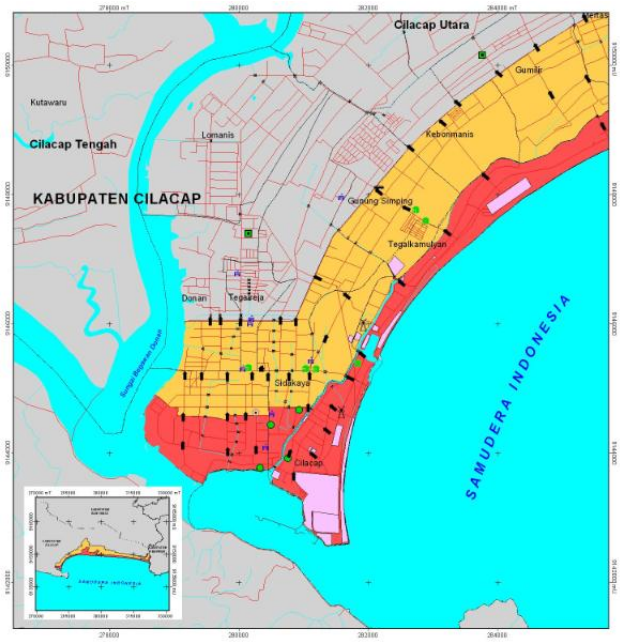
Gambar 2.2. Peta Rencana Evakuasi Tsunami Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah

Sumber: Peta Bahaya Tsunami Untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen (Internet)



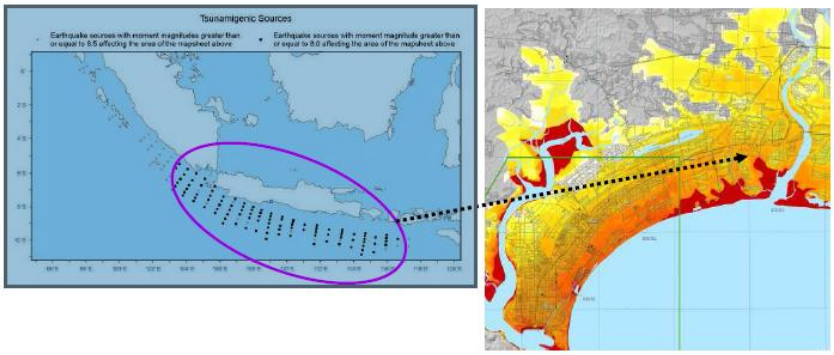
Gambar 2.3. Peta Bahaya Tsunami Kota Cilacap

Sumber: Peta Bahaya Tsunami Untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen (Internet)



Gambar 2.4. Peta Rencana Evakuasi Tsunami Kelurahan Cilacap dan Sekitarnya Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah

Sumber: Peta Bahaya Tsunami Untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen (Internet)



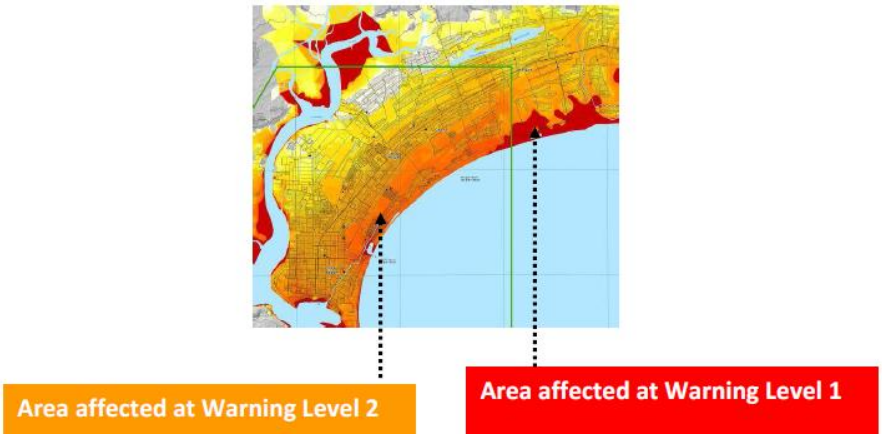
Sejumlah sumber tsunami hipotetis dengan lokasi dan besaran gempa yang berbeda yang digunakan dalam proses

Warna merah dan kuning menunjukkan daerah yang terkena oleh perhitungan skenario. Daerah kuning hanya dipengaruhi oleh tsunami lebih besar, sedangkan zona merah dapat dipengaruhi oleh tsunami yang lebih kecil.

Gambar 2.5. Pendekatan Multi-skenario

Sumber: Peta Bahaya Tsunami Untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen (Internet)

Di dalam peta bahaya tsunami, terdapat istilah yang disebut dengan zonasi, dimana semua skenario dikelompokkan menjadi dua zona. Zona merah merupakan area yang mungkin terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang di pantai antara 0,5 m sampai 3 m. Zona jingga dan zona kuning merupakan daerah yang mungkin hanya akan terkena dampak tsunami besar dengan ketinggian gelombang di pantai lebih dari 3 m. Zona ini ditampilkan dengan gradasi warna menyambung (*continuous color gradient*) yang mewakili kemungkinan yang semakin menurun (dari jingga ke kuning) dari lokasi yang mungkin akan terendam. Kedua zona tersebut secara langsung terkait dengan tingkat peringatan InaTEWS, seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 2.6. Zonasi berdasarkan ketinggian gelombang dan tingkat peringatan

Sumber: Peta Bahaya Tsunami Untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen (Internet)

Pada saat melakukan pengkajian bahaya tsunami sangat penting untuk mempertimbangkan tentang kemungkinan. Tsunami dapat dikatakan sebagai contoh yang khas dari bencana "frekuensi rendah, dampak tinggi". Dengan kata lain, tsunami tidak terjadi terlalu sering, tetapi kalau itu terjadi, dampaknya sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kerusakan yang besar. Rata-rata setiap dua tahun tsunami yang menghancurkan terjadi di Indonesia.

Namun, di lokasi pantai tertentu, selang waktu terulangnya tsunami yang menghancurkandapat bervariasi antara 30 sampai 50 tahun atau bahkan 200 sampai 300 tahun. Tsunami di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh gempa di laut. Tsunami yang dipicu oleh aktivitas gunung berapi merupakan peristiwa yang sangat jarang terjadi. Tsunami kecil lebih sering terjadi daripada tsunami besar (dan tsunami terburuk).

Peta Bahaya multi-skenario memberikan informasi tentang kemungkinan tsunami. Warna merah menunjukkan area yang mungkin terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang antara 0,5 m sampai 3 m. Rentang warna dari jingga ke kuning terang menunjukkan area yang memiliki kemungkinan kecil terkena tsunami.

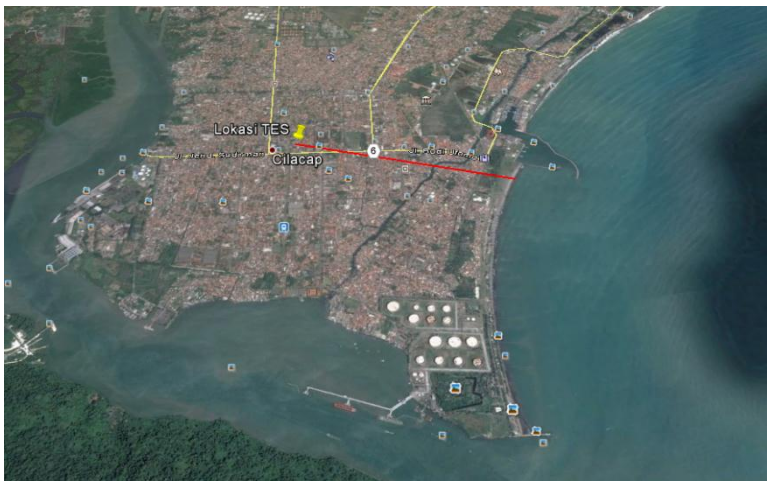
Kategori Tsunami	*Level Peringatan* ***BMKG***	*Tinggi gelombang di pantai*	*Zona Bahaya*
Tsunami	Peringatan	≤ 3 meter	
Tsunami Besar	Peringatan Utama	> 3 meter	

Gambar 2.7. Visualisasi kemungkinan peta di atas

Sumber: Peta Bahaya Tsunami Untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen (Internet)

Lokasi perencanaan TES berada di Jalan MT Haryono, Cilacap, Jawa Tengah. Lokasi ini termasuk dalam zona jingga dan zona kuning yang merupakan daerah yang mungkin hanya akan terkena dampak tsunami besar dengan ketinggian gelombang di pantai lebih dari 3 m (masuk dalam kategori tsunami besar).

Jarak lokasi perencanaan TES ke tepi pantai yaitu ± 1,80 km, menurut tabel 2.1. waktu yang dibutuhkan lebih dari 30 menit untuk mengevakuasi diri setelah mendengar peringatan tsunami.



Gambar 2.8. Jarak lokasi TES dari tepi pantai

Sumber: *Google Earth*

Gambar 2.9. Lokasi TES

Sumber: ***Google Earth***

BAB III

DASAR PERENCANAAN STRUKTUR

3.1 Kriteria Desain Struktur

Strategi penyelamatan sebelum gelombang tsunami tiba adalah mengevakuasi manusia 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 banyak yang ada sebagai tempat pelarian pengungsi. 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 goncangan tanah akibat gempa.

Desain struktur yang ramah 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.

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

- Terjadinya pengurangan kekuatan dan kekakuan akibat beban berulang.
- Sifat daktail 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.

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.

3.1.1 Peraturan yang Digunakan

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

- Persyaratan beton struktual 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 Construkction Manual, Fourth Edition (Fema P-55/Volume II/August 2011).
- The City and County of Honolulu Building Code (CCH) menjelaskan perhitungan mengenai gaya akibat banjir termasuk besarnya nilai gaya impulsif.
- Aplikasi SNI Gempa 1726:2012

3.1.2 Jenis Material

Untuk material beton bertulang, digunakan material beton dengan berat jenis adalah 2400 kg/m^3. Mutu beton (fc') adalah

berdasarkan kekuatan silinder tekan umur 28 hari. Untuk balok, kolom dan pelat digunakan mutu beton fc' = 30 Mpa dan dengan mutu baja tulangan ulir dengan fy = 400 Mpa.

3.2 Pembebanan Struktur

Beban rencana yang bekerja pada struktur meliputi:

3.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Untuk menghitung besarnya beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen. Beban mati ini kemudian diaplikasikan ke model struktur menjadi beban titik dan beban merata pada elemen frame.

- Beton bertulang = 2400 kg/m^3
- Tanah = 1700 - 2000 kg/m^3

Berat dari beberapa komponen bangunan dapat ditentukan sebagai berikut :

- Plafon dan penggantung = 20 kg/m^2
- Adukan/spesi lantai per cm tebal = 21 kg/m^2
- Penutup lantai/ubin per cm tebal = 24 kg/m^2
- Pasangan bata setengah batu = 250 kg/m^2

Beban Lift : sesuai berat lift x faktor kejut = W_{lift} x 2,0

W_{lift} dari spesifikasi desain ME

Diatas roof biasanya ada beban sbb :

- Water tank : q = V/A, Berat dari spesifikasi desain ME

- Chiller, Boiler, Cooling Tower : Berat dari spesifikasi desain ME

Beban mati dalam mendesain gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebesar **150 kg/m^2**.

3.2.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga temasuk ke dalam beban hidup. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak.

Besarnya beban hidup terbagi merata ekuivalen yang harus diperhitungkan pada struktur bangunan gedung, pada umumnya dapat ditentukan berdasarkan standar yang berlaku. Beban hidup untuk bangunan gedung adalah :

- Koridor, tangga/bordes = 500 kg/m^2
- Gedung Pertemuan = 400 kg/m^2
- Panggung dengan penonton berdiri = 500 kg/m^2
- Beban Arsip/Gudang ditentukan sendiri min. = 400 kg/m^2
- Parkir pada lantai semi basement = 800 kg/m^2

Reduksi beban dapat dilakukan dengan mengalikan beban hidup dengan suatu koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada penggunaan bangunan. Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perencanaan portal, ditentukan sebagai berikut :

Tabel 3.1. Reduksi Kekuatan

Penggunaan Gedung	**Koefisien Beban Hidup**	
	Perencanaan Balok	**Untuk Peninjauan Gempa**
Perumahan/Penghunian	0,75	0,3
Pendidikan	0,9	0,5
Pertemuan Umum	0,9	0,5
Kantor	0,6	0,3
Perdagangan	0,8	0,8
Penyimpanan	0,8	0,8
Industri	1	0,9
Tempat Kendaraan	0,9	0,5
Tangga : Perumahan/Penghunian Pendidikan, kantor Pertemuan Umum, Perdagangan, Penyimpanan Industri, Tempat Kendaraan	 0,75 0,75 0,9	 0,3 0,5 0,5

Beban hidup dalam mendesain gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebesar **500 kg/m^2**.

3.2.3 Beban Gempa

Persyaratan struktur bangunan tahan gempa adalah kemungkinan terjadinya risiko kerusakan pada bangunan merupakan hal yang dapat diterima, tetapi keruntuhan total (*collapse*) dari struktur yang dapat mengakibatkan terjadinya korban yang banyak harus dihindari. Di dalam standar gempa yang baru dicantumkan bahwa, untuk perencanaan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa digunakan Gempa Rencana. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana

bangunan 50 tahun adalah 10% (R_N = 10%), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun (T_R = 500 tahun). Dengan menggunakan Gempa Rencana ini, struktur dapat dianalisis secara elastis untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang berupa momen lentur, gaya geser, gaya normal, dan puntir atau torsi yang bekerja pada tiap-tiap elemen struktur. Gaya-gaya dalam ini setelah dikombinasikan dengan gaya-gaya dalam yang diakibatkan oleh beban mati dan beban hidup, kemudian digunakan untuk mendimensi penampang dari elemen struktur berdasarkan metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) sesuai dengan standar desain yang berlaku.

Besarnya beban Gempa Nominal yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal, yaitu

- Besarnya Gempa Rencana;
- Tingkat daktilitas yang dimiliki struktur; dan
- Nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur.

Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Tata Cara Perancangan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012) dan Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 , besarnya beban gempa horisontal (V) yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan:

$$\mathbf{V} = C_S.W = \frac{Sa.Ie}{R}.W$$

Dengan,

S_a = Spektrum respon percepatan desain (g);

I_e = Faktor keutamaan gempa;

R = Koefisien modifikasi respons;

W = Kombinasi dari beban mati dan beban hidup yang direduksi (kN).

Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perhitungan Wt, ditentukan sebagai berikut;

- Perumahan / penghunian : rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit = 0,30
- Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah = 0,50
- Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pergelaran = 0,50
- Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,30
- Gedung perdagangan dan ruang penyimpanan, toko, toserba, pasar, gudang, ruang arsip, perpustakaan = 0,80
- Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,50
- Bangunan industri : pabrik, bengkel = 0,90

a. Menentukan Kategori Risiko Strukutr Bangunan (I-IV) dan Faktor Keutamaan (I_e)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel 3.2 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e) menurut tabel 3.3.

Tabel 3.2. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	**Kategori risiko**
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan; rumah ruko dan kantor - Pasar - Gedung perkantoran	II

- Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/*mall* - Bangunan industri - Fasilitas manufaktor - Pabrik	
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung, tidak termasuk kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktor, 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.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada daat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listtrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam lebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. - Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Tabel 3.3. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

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

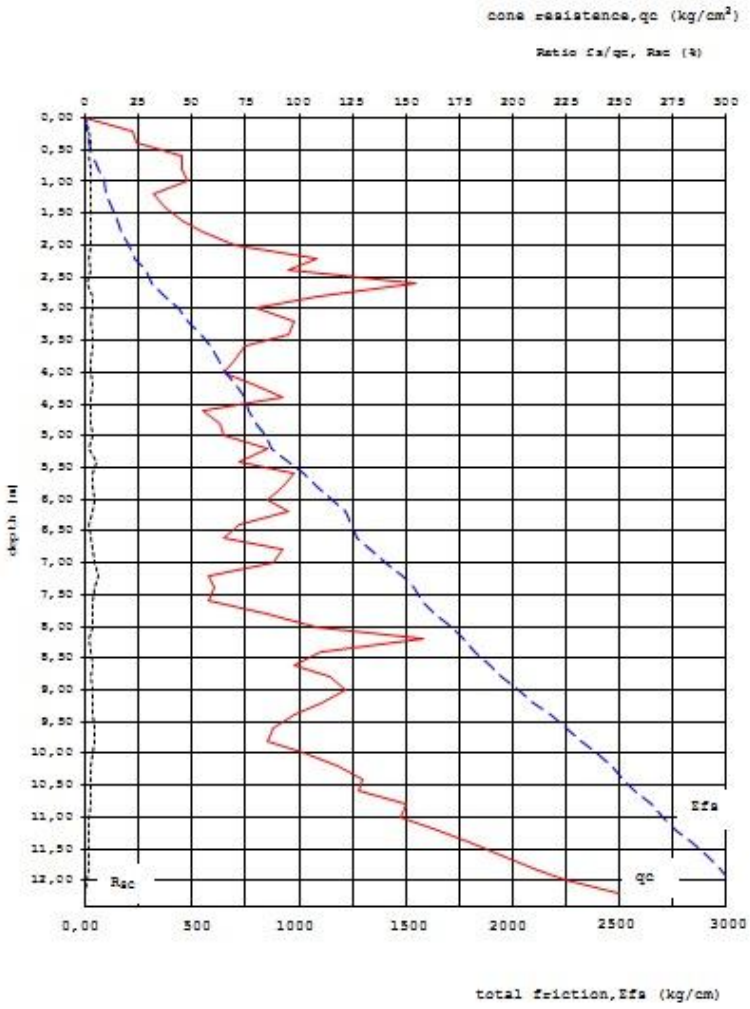
Mengacu pada tabel 3.2 dan tabel 3.3 faktor keutamaan gempa untuk kategori gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami masuk kedalam kategori risiko= **IV** dengan faktor keutamaan **(I_e)= 1,50.**

b. Menentukan Kelas Situs (SA-SF)

Dalam perumusan Kriteria Desain Seismik (KDS) suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3.4, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwewenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 3.4. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi getekniknya. Penetapan kelas situs *SA* dan kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Dari hasil data sondir yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Semarang, pada Jalan MT Haryono, Cilacap, Jawa Tengah diperoleh sampai kedalaman 12,20 meter, dengan diagram berikut:

Diagram 3.1. Sondir 1



Diperoleh

qc rata-rata = 97,098 kg/m^2

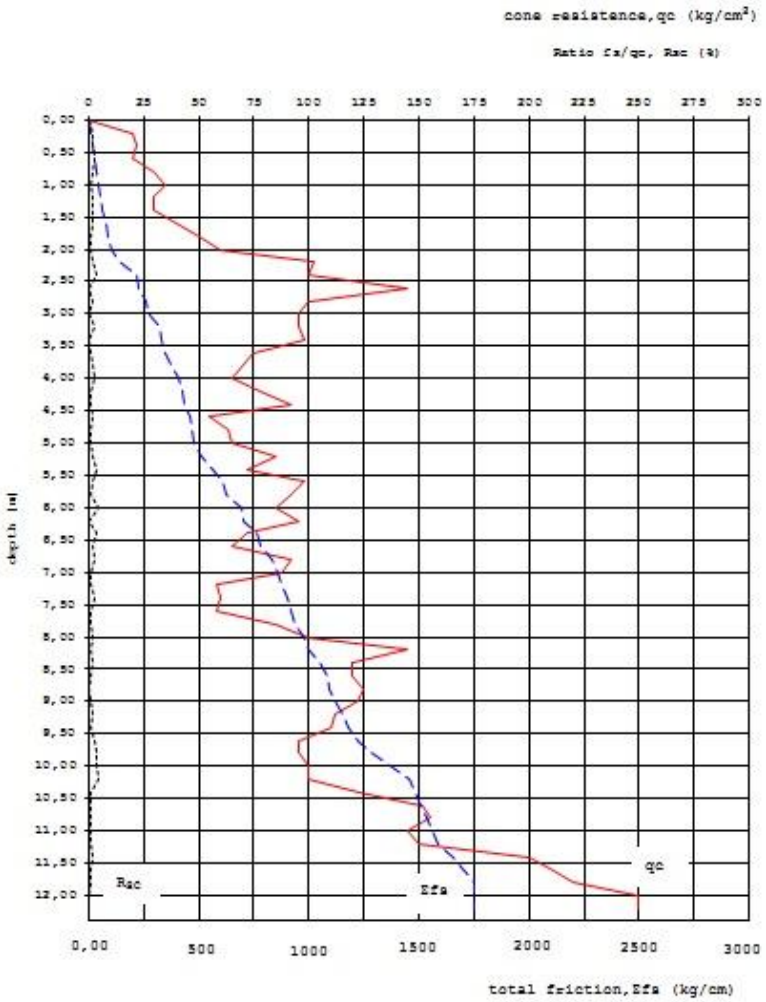
qc = 4N

``N $= \frac{qc}{4}$

$= \frac{97,098}{4}$

= 24,275 kg/m^2

Diagram 3.2. Sondir 2



Diperoleh

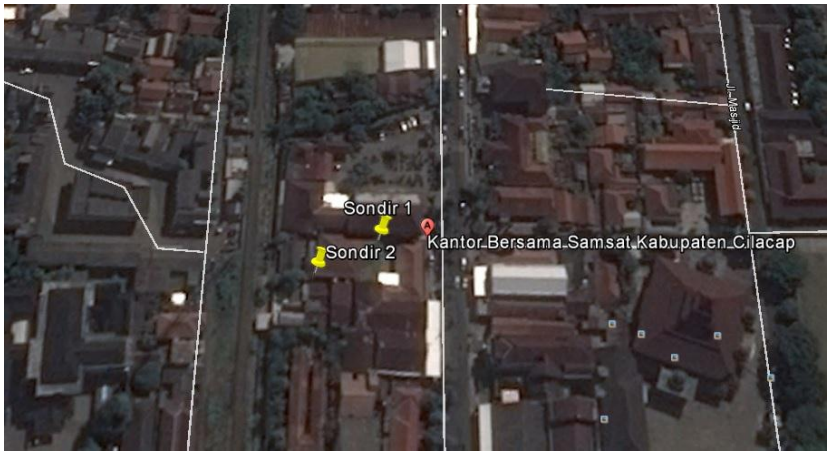
qc rata-rata = 97,361 kg/m^2

qc = 4N

N $= \frac{qc}{4}$

$= \frac{97,361}{4}$

= 24,34 kg/m^2



Gambar 3.1. Lokasi sondir

Dari dua data sondir tersebut diambil hasil yang terkecil dengan nilai N =24,275 kg/m^2.

Tabel 3.4. Klasifikasi situs

Kelas situs	**$\bar{\upsilon}_s$ (m/detik)**	**$\check{N}$ atau $\check{N}_{ch}$**	**$\hat{s}_u$ (kPa)**
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, *PI* >20 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\hat{s}_u$<25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan *H* > 3m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan *H* > 7,5m dengan Indeks Plastisitas *PI* >75) - Lapisan lempung lunak/setangah teguh dengan ketebalan *H* > 35m dengan $\hat{s}_u$<50 kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Dari tabel 3.4 untuk nilai N =24,275 kg/m^2 masuk pada kelas situs ***SD* (tanah sedang).**

c. Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$S_{MS} = F_a S_S$

$S_{M1} = F_V S_1$

Nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dengan menggunakan peta gempa didapatkan nilai S_S pada wilayah ini adalah sebesar **0,988 g**. Untuk nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) didapatkan nilai sebesar **0,391 g.**

Dengan,

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 3.5 dan tabel 3.6.

Tabel 3.5. Koefisien situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, S_S				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS[b]				

1) *Untuk nilai-nilai antara S_S dapat Interpolasi linier*
2) *SS= Situs yang memerlukan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.*

Untuk kelas situs tanah sedang (*SD*) dengan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) = 0,988 g diperoleh **koefisien F_a= 1,2.**

Tabel 3.6. Koefisien situs F_v

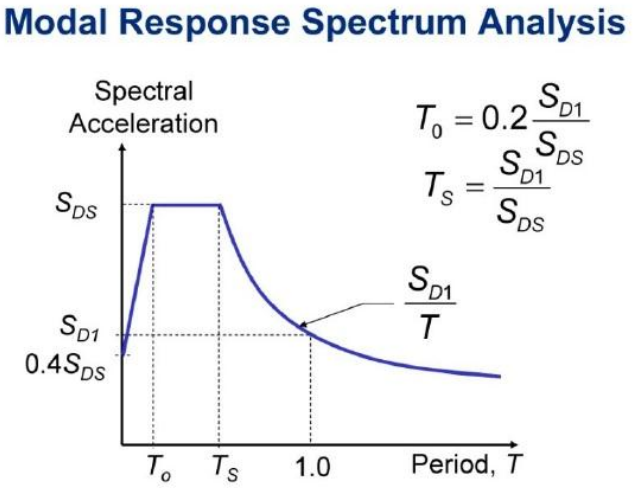
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, S_S				
	$S_S \leq 0,1$	$S_S = 0,2$	$S_S = 0,3$	$S_S = 0,4$	$S_S \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS[b]				

1) *Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat Interpolasi linier*
2) *SS= Situs yang memerlukan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.*

Untuk kelas situs tanah sedang (*SD*) dengan nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) = 0,391 g diperoleh **koefisien F_v= 1,8.**

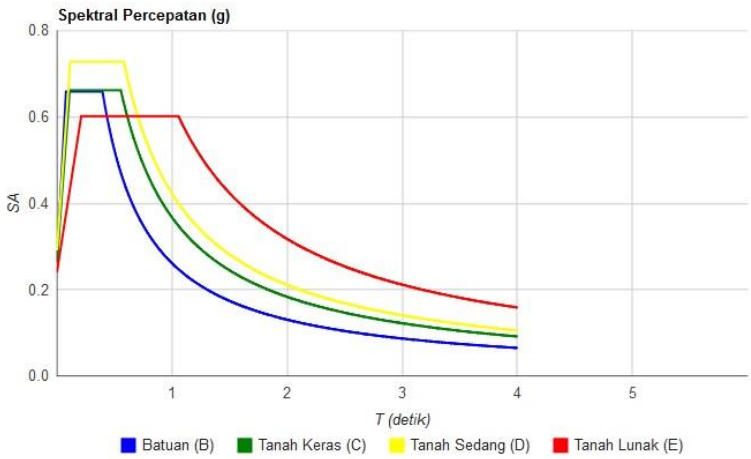
d. Menentukan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar 3.2 berikut ini,



Gambar 3.2. Spektrum Respons Desain

Pada lokasi perencanaan gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami di jalan MT Haryono, Cilacap, Jawa tengah, sesuai dengan perhitungan nilai N terkecil, maka dipilih titik sondir 1. Untuk mengetahui spektrum respons desain dapat menggunakan nama kota atau dengan menggunakan koordinat tempat, pada lokasi titik sondir 1 terletak pada koordinat (-7.72682409973, 109.007602572). Hasil spektrum respons desain dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini,



Gambar 3.3. Spektrum Respons Desain pada koordinat (-7.72682409973, 109.007602572).

Dari spektrum respons desain didapat hasil perhitungan,

S_{DS} = 0,728

S_{D1} = 0,422

T_0 = 0,116 s

T_1 = 0,580 s

Dengan,

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

S_{D1} = parameter respons percepatan desain pada perioda 1 detik.

e. Menentukan Kategori Desain Seismik (A-D)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spktral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1, lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.

Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1, lebih besar 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}. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada tabel 3.7 atau 3.8, terlepas dari nilai perioda fundemental getaran struktur, T.

Apabila S_1 lebih dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 3.7 saja, dimana berlaku semua ketentuan di bawah:

1) Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundemental struktur, T_a, yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1 adalah kurang dari 0,8 T_s.
2) Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundemental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalh kurang dari T_s.
3) $C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e}$, digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s,
4) Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di pasal 7.3.1 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Tabel 3.7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 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
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.8. Katgori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{D1} < 0{,}133$	B	C
$0{,}033 \leq S_{D1} < 0{,}20$	C	D
$0{,}20 \leq S_{D1}$	D	D

Berdasarkan kategori risikonya dan parameter spektrum respon desain ditetapkan Kategori Desain Seismik **D.**

f. Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R, C_d, Ω_0)

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukan dalam tabel 3.9. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukan dalam tabel 3.9. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R, faktor kuat lebih sistem, Ω_0, dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d, sebagaimana situnjukan dalam tabel 3.9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antarlantai tingkat desain.

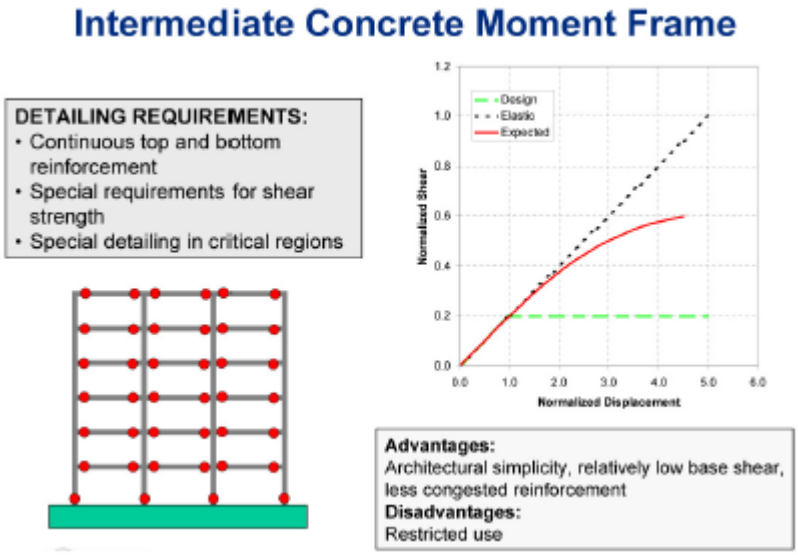
Setiap desain penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam tabel 3.9 dan persyaratan tambahan yang ditetapkan dalam pasal 7.14 (Persyaratan perancangan dan pendetailan bahan).

Tabel 3.9. Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (Contoh untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen)

Sistem penahan-gaya seismik	**Koefisien modifikasi respons, *R***	**Faktor kuatlebih sistem, Ω_0**	**Faktor pembesaran defleksi, C_d [b]**	**Batasan sistem struktur dan batasan Tinggi struktur h_n(m)[c]**				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[d]
C.Sistem rangka pemikul momen								
(C.5). Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
(C.6). Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
(C.7). Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

1) *Faktor pembesaran defleksi, C_d, untuk penggunaan dalam pasal 7.8.6, 7.8.7 dan 7.9.2.*
2) *TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diijinkan.*
3) *Lihat pasal 7.2.5.4 untuk penjelasan sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.*
4) *Lihat pasal 7.2.5.4 utnuk sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.*

Sistem penahan gaya seismik yang memenuhi batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur untuk Kategori Desain Seismik D yaitu **rangka beton bertulang pemikul momen khusus** (*Framing Type:* ***Sway Special***).



Gambar 3.4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah – Inelastic Respons

g. Batasan Perioda Fundemental Struktur (T)

Perioda fundemental struktur (T), tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel 3.10 dan perioda fundemental pendekatan, (T_a). Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundemental struktur (T), diijinkan secara langsung menggunakan perioda fundemental pendekatan, (T_a). Perioda fundemental pendekatan, (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$T_a = C_t . h_n^x$

Dengan,

h_n adalah ketinggian struktur, dalam meter, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 3.10 dan tabel 3.11.

Tabel 3.10. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	**Koefisien C_u**
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Tabel 3.11. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	**C_t**	**X**
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan T_a, dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi paling sedikit 3 m.

$T_a = 0{,}1N$

Dengan,

N = jumlah tingkat

Perioda fundamental struktur (T) yang digunakan:

Jika $T_c > C_u\ T_a$ gunakan $T = C_u\ T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u\ T_a$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

Dengan,

T_c = Perioda fundemental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

3.2.4 Beban Tsunami

Gaya-gaya yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan agar dapat menahan air tsunami diantaranya meliputi:

a. Gaya Hidrostatis

Gaya hidrostatis muncul saat air yang bergerak stabil/perlahan mengenai struktur. Gaya hidrostatis 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 hidrostatis 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 :

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

Dengan,

p_c = tekanan hidrostatis

A_w = area dinding yang terkena air

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

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det^2)

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:

$$F_b = \rho_s . g . V$$

Dengan,

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

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det^2)

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 dengan antisipasi 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:

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

Dengan,

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

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 :

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

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 impulsiv 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:

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

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.

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

Dengan,

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

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

Bd = 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.

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

Dengan,

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

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 *fr* dapat diperkirakan menggunakan persamaan sbagai berikut.

$$f_r = \rho_s . g . h_r$$

Dengan,

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

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.

Kombinasi beban gempa dan beban terkait dengan banjir, tidak perlu diperhitungkan.

3.3 Kombinasi Pembebanan

3.3.1 Kombinasi Pembebanan Beban Gravitasi

a. Kombinasi untuk pembebanan beban gravitasi berdasarkan Desain Kekuatan Batas (*Ultimate Strength Design*), yaitu LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).
   1) 1,2 DL + 1,6 LL

b. Kombinasi untuk pembebanan beban gravitasi berdasarkan ASD (*Allowable Stress Design*).
   1) DL + LL

3.3.2 Kombinasi Pembebanan Beban Gempa

a. Kombinasi untuk pembebanan beban gempa berdasarkan Desain Kekuatan Batas (*Ultimate Strength Design*), yaitu LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).
   1) 1,2DL + 1,0E + LL
   2) 0,9DL + 1,0E

b. Kombinasi untuk pembebanan beban gempa berdasarkan ASD (*Allowable Stress Design*).
   1) DL + (0,6W atau 0,7E)
   2) D + 0,75(0,6W atau 0,7E) + 0,75LL + 0,75(Lr atau R)
   3) 0,6DL + 0,7E

3.3.3 Kombinasi Pembebanan Beban Tsunami

Kombinasi untuk beban tsunami mengacu pada FEMA P646 yaitu sebagai berikut:

1) $1{,}2DL + 1{,}0T_S + 1{,}0L_{REF} + 0{,}25LL$
2) $0{,}9DL + 1{,}0T_S$

BAB IV

PERHITUNGAN STRUKTUR

4.1 Perhitungan Struktur untuk Beban Gravitasi

4.1.1 Pelat

a. Data teknis

- Mutu beton (fc') = 30 Mpa
- Mutu baja (fy) = 400 Mpa
- Tebal pelat = 13 cm
- Beban hidup = 500 kg/m^2
- Berat *finishing* = 150 kg/m^2
- Berat satuan beton bertulang = 2400 kg/m^2

b. Perhitungan Beban Pelat

- **Beban mati**

  Berat pelat itu sendiri = 0,13 x 2400 = 312 kg/m^2

  Berat *finishing* = 150 kg/m^2

  Total (DL) = 462 kg/m^2

- **Beban hidup**

  Beban hidup dalam mendesain gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebesar 500 kg/m^2.

- **Kombinasi beban**

  Kombinasi beban untuk beban mati (DL) dan beban hidup (LL), yaitu 1,2 DL+1,6LL.

  Jadi, U = 1,2 D + 1,6 L

  = 1,2(462) + 1,6(500

  = 1354,4 kg/m^2

  = 13,544 kN/m^2

c. Analisis dan Desain Penulangan Pelat

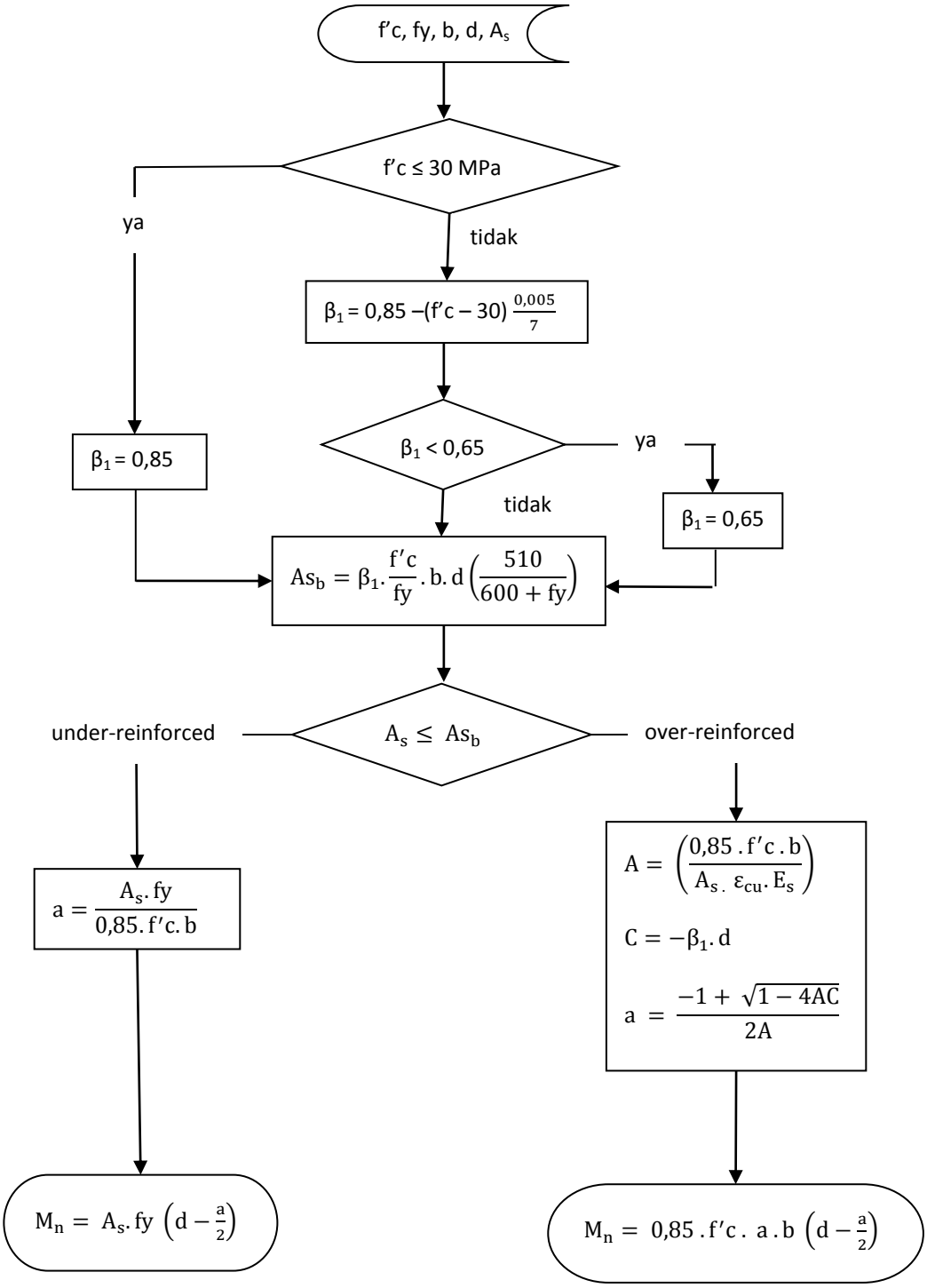
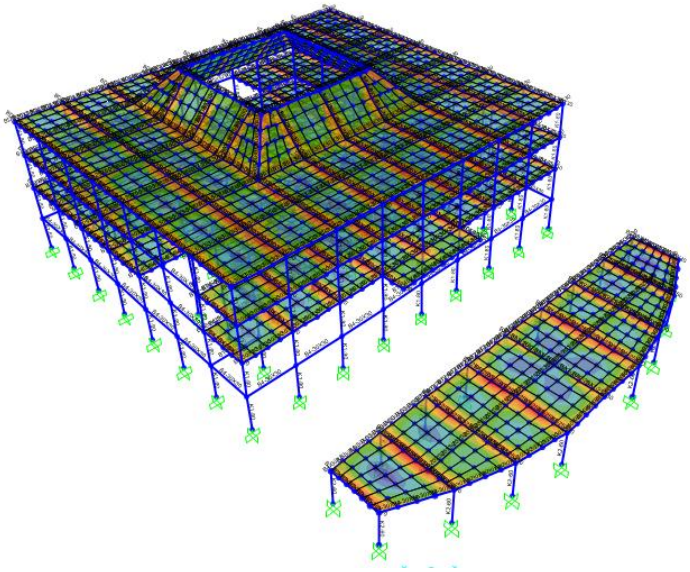
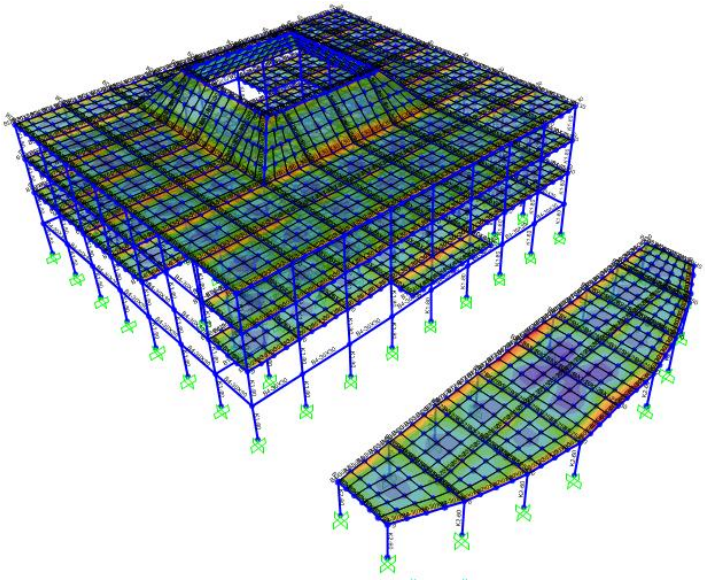


Diagram 4.1. Flowchart Perhitungan Pelat



M11



M22

Gambar 4.1. Momen arah 1-1 dan 2-2 pada pelat lantai

Momen dari hasil analisis SAP v.17.0.0 :

- **Tulangan arah 1-1**

  Momen arah 1-1 maksimum = 7,946 kNm

  Momen arah 1-1 minimum = 13,836 kNm

- **Tulangan arah 2-2**

  Momen arah 2-2 maksimum = 7,917 kNm

Momen arah 2-2 minimum = 18,497 kNm

Sesuai perhitungan diatas direncanakan tulangan diameter 10 mm dengan jarak 150 mm (D10-150).

- Luas tulangan

  A_s = 7D10 = 549,5 mm^2

- Luas tulangan balans

  A_{sb} $= 0{,}85 \times \frac{30}{400} \times 1000 \times 95 \times (\frac{510}{600+400})$

  $= 3088{,}687\ mm^2$

- Check kondisi keruntuhan penampang

  $A_s < A_{sb} \rightarrow$ tulangan telah leleh

- Momen lentur nominal

  Mn $= 549{,}5 \times 400 \times (95 - 0{,}59\ \frac{549{,}5 \times 400}{30 \times 1000}) \times 10^{-6}$

  = 19,93 kNm

4.1.2 Tangga

a. Data teknis

- Mutu beton (fc') = 30 Mpa
- Mutu baja (fy) = 400 Mpa

b. Beban pada tangga

- Beban mati

  Berat pelat sendiri = 0,18 x 2400 = 438 kg/m^2

  Berat *finishing* = 150 kg/m^2

  Total (DL) = 582 kg/m^2

- Beban hidup (W_L) = 500 kg/m^2

  Beban rencana untuk tangga TES Tsunami

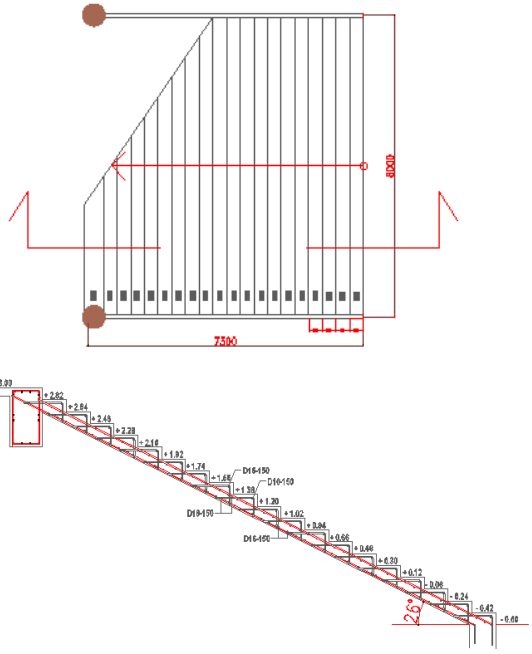
  $= 1{,}2\ W_D + 1{,}6\ W_L$

  = (1,2 . 5,82) + (1,6 . 5,0)

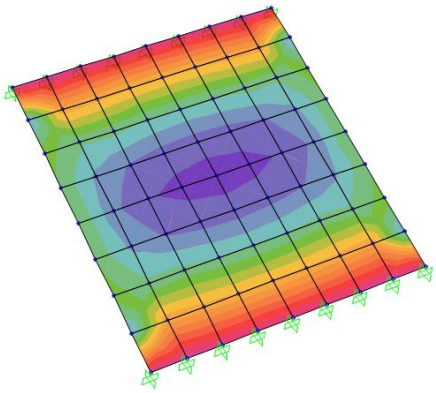
  = 15 kN/m^2

c. Analisis dan Desain Penulangan Pelat Tangga

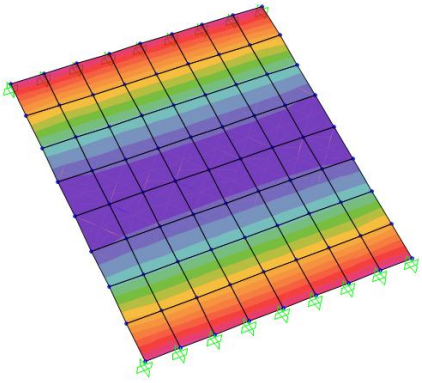
➢ **Tangga A**



- Tinggi pijakan (*optrade*) = 18 cm
  Jumlah *optrade* = 360 : 18 = 20 bh
- Lebar pijakan (*antrade*) = 35,8 cm
- Kemiringan tangga = arc.tg $\frac{18}{35,8}$ = 26º



M11



M22

Gambar 4.2. Momen arah 1-1 dan 2-2 pada pelat tangga A

Momen dari hasil analisis SAP v.17.0.0 :

- **Tulangan arah 1-1**

  Momen arah 1-1 maksimum = 6,224 kNm

  Momen arah 1-1 minimum = 13,308 kNm

- **Tulangan arah 2-2**

  Momen arah 2-2 maksimum = 34,980 kNm

  Momen arah 2-2 minimum = 66,538 kNm

Direncanakan menggunakan tulangan D16-150.

- Luas tulangan

  A_s = 7D16 = 1406,72 mm^2

- Luas tulangan balans

  $A_{sb} = 0{,}85 \times \frac{30}{400} \times 1000 \times 144 \times (\frac{510}{600+400})$

  $= 4681{,}8\ mm^2$

- Check kondisi keruntuhan penampang

  $A_s < A_{sb} \rightarrow$ tulangan telah leleh

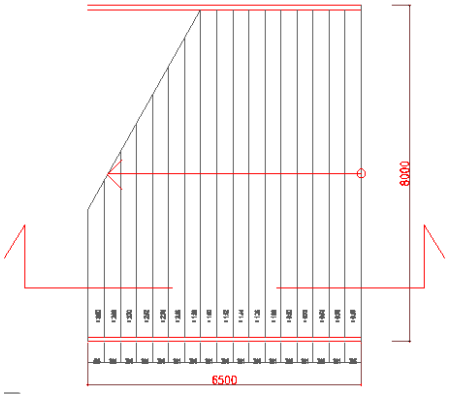
- Momen lentur nominal

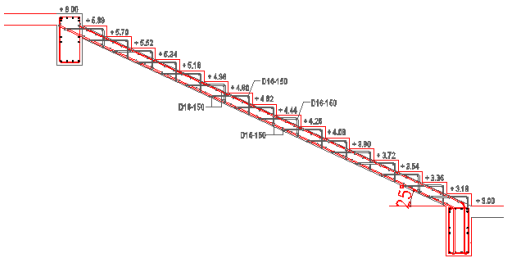
  $Mn = 1406{,}72 \times 400 \times (144 - 0{,}59\ \frac{1406{,}72 \times 400}{30 \times 1000}) \times 10^{-6}$

  = 74,8 kNm

Dipakai tulangan utama D16-150 dan tulangan pembagi D12-150.

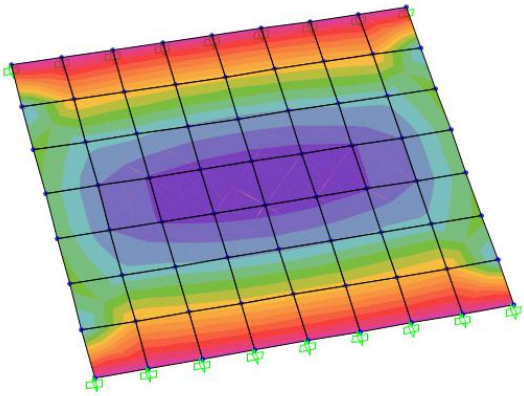
➢ **Tangga B**



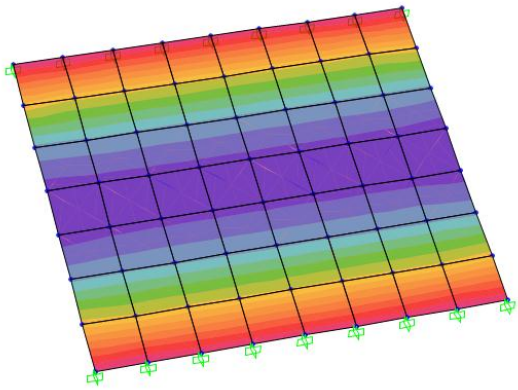


- Tinggi pijakan (*optrade*) = 18 cm

  Jumlah *optrade* = 300 : 18 = 16,67 bh ≈ 17 bh
- Lebar pijakan (*antrade*) = 38,5 cm
- Kemiringan tangga = arc.tg $\frac{18}{38,5}$ = 25°



M11



M22

Gambar 4.3. Momen arah 1-1 dan 2-2 pada tangga B

Momen dari hasil analisis SAP v.17.0.0 :

- **Tulangan arah 1-1**

  Momen arah 1-1 maksimum = 4,640 kNm

  Momen arah 1-1 minimum = 9,936 kNm

- **Tulangan arah 2-2**

  Momen arah 2-2 maksimum = 25,133 kNm

  Momen arah 2-2 minimum = 49,681 kNm

Direncanakan menggunakan tulangan D12-125.

- Luas tulangan

  A_s = 8D12 = 904,32 mm^2

- Luas tulangan balans

  $A_{sb} = 0{,}85 \times \frac{30}{400} \times 1000 \times 146 \times (\frac{510}{600+400})$

  $= 4681{,}8\ mm^2$

- Check kondisi keruntuhan penampang

  $A_s < A_{sb} \rightarrow$ tulangan telah leleh

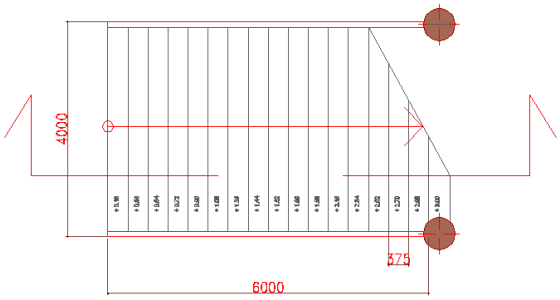
- Momen lentur nominal

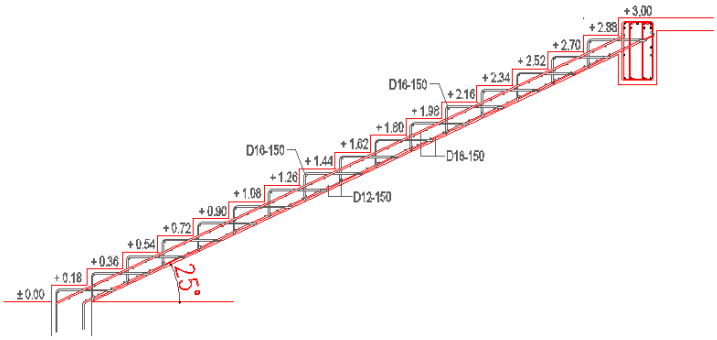
  $Mn = 904{,}32 \times 400 \times (146 - 0{,}59\ \frac{904{,}32 \times 400}{30 \times 1000}) \times 10^{-6}$

  $= 50{,}24$ kNm

Dipakai tulangan utama D16-150 dan tulangan pembagi D12-150.

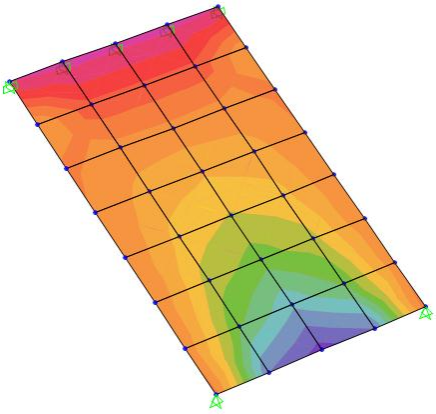
➢ **Tangga C**



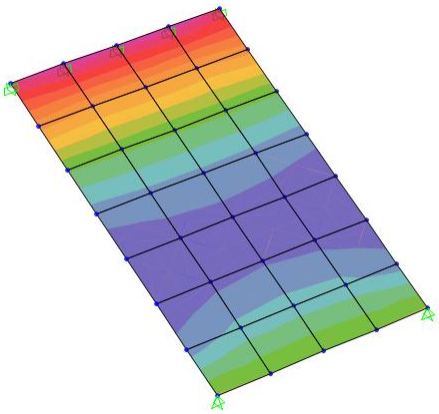


- Tinggi pijakan (*optrade*) = 18 cm

  Jumlah *optrade* = 300 : 18 = 16,67 bh ≈ 17 bh
- Lebar pijakan (*antrade*) = 37,5 cm
- Kemiringan tangga = arc.tg $\frac{18}{37,5}$ = 25°



M11



M22

Gambar 4.4. Momen arah 1-1 dan 2-2 pada tangga C

Momen dari hasil analisis SAP v.17.0.0 :

- **Tulangan arah 1-1**

  Momen arah 1-1 maksimum = 32,506 kNm

  Momen arah 1-1 minimum = 15,252 kNm

- **Tulangan arah 2-2**

  Momen arah 2-2 maksimum = 43,262 kNm

  Momen arah 2-2 minimum = 76,258 kNm

Direncanakan menggunakan tulangan D16-125.

- Luas tulangan

  A_s = 8D16 = 1607,68 mm^2

- Luas tulangan balans

  $A_{sb} = 0{,}85 \times \frac{30}{400} \times 1000 \times 144 \times (\frac{510}{600+400})$

  $= 4681{,}8\ mm^2$

- Check kondisi keruntuhan penampang

  $A_s < A_{sb} \rightarrow$ tulangan telah leleh

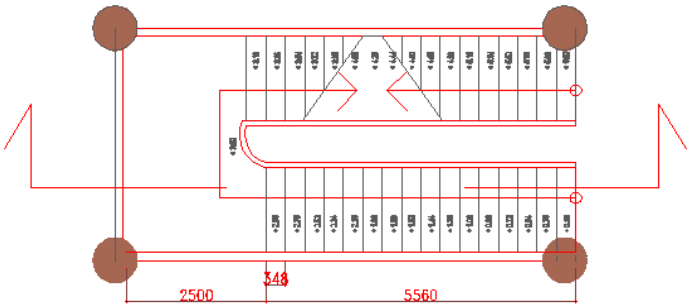
- Momen lentur nominal

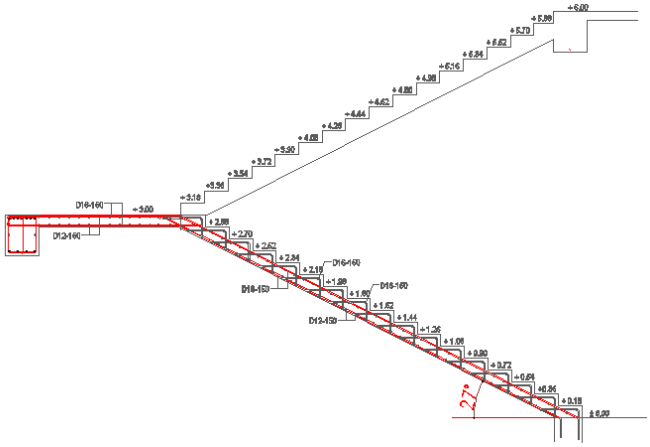
  $Mn = 1607{,}68 \times 400 \times (144 - 0{,}59\ \frac{1607{,}68 \times 400}{30 \times 1000}) \times 10^{-6}$

  = 84,47 kNm

Dipakai tulangan utama D16-125 dan tulangan pembagi D12-150.

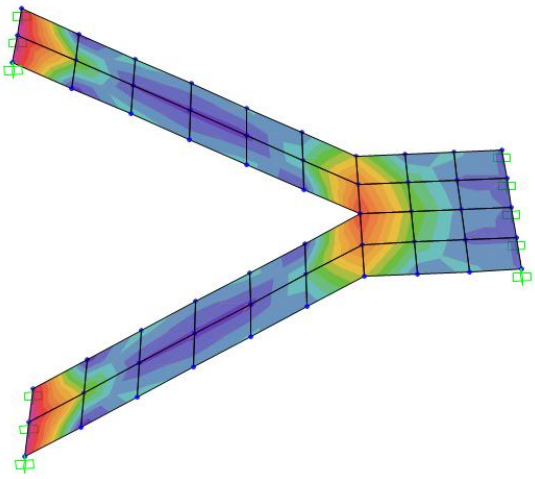
➢ **Tangga D**



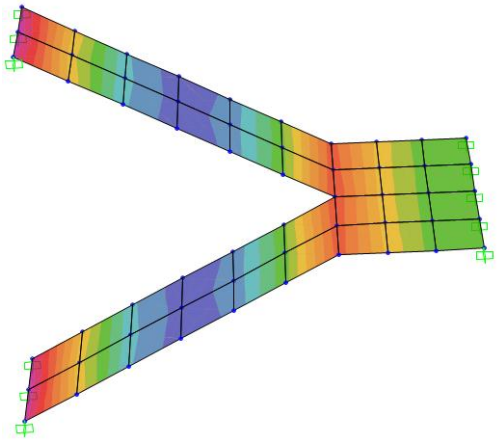


- Tinggi pijakan (*optrade*) = 18 cm

  Jumlah *optrade* = 600 : 18 = 33,33 bh ≈ 34 bh
- Lebar pijakan (*antrade*) = 34,8 cm
- Kemiringan tangga = arc.tg $\frac{18}{34,8}$ = 27°



M11



M22

Gambar 4.5. Momen arah 1-1 dan 2-2 pada tangga D

Momen dari hasil analisis SAP v.17.0.0 :

- **Tulangan arah 1-1**

  Momen arah 1-1 maksimum = 2,146 kNm

  Momen arah 1-1 minimum = 9,570 kNm

- **Tulangan arah 2-2**

  Momen arah 2-2 maksimum = 25,006 kNm

  Momen arah 2-2 minimum = 47,849 kNm

Direncanakan menggunakan tulangan D12-125.

- Luas tulangan

  A_s = 8D12 = 904,32 mm^2

- Luas tulangan balans

  A_{sb} $= 0{,}85 \times \frac{30}{400} \times 1000 \times 146 \times (\frac{510}{600+400})$

  $= 4681{,}8\ mm^2$

- Check kondisi keruntuhan penampang

  $A_s < A_{sb} \rightarrow$ tulangan telah leleh

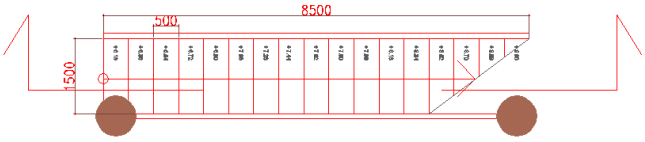
- Momen lentur nominal

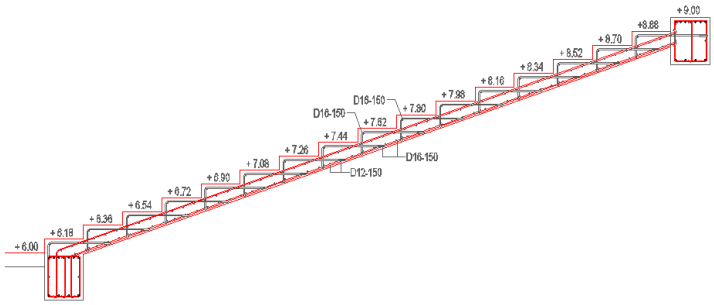
  $Mn = 904{,}32 \times 400 \times (144 - 0{,}59\ \frac{904{,}32 \times 400}{30 \times 1000}) \times 10^{-6}$

  $= 50{,}24$ kNm

Dipakai tulangan utama D16-150 dan tulangan pembagi D12-150.

➢ **Tangga E**



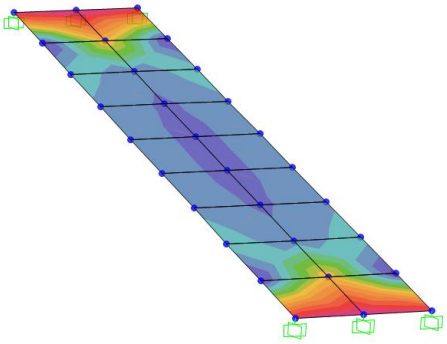


- Tinggi pijakan (*optrade*) = 18 cm

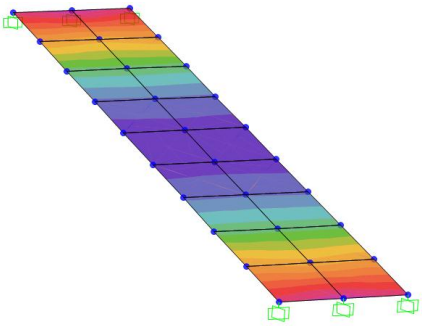
  Jumlah *optrade* = 300 : 18 = 16,67 bh ≈ 17 bh

- Lebar pijakan (*antrade*) = 50 cm

- Kemiringan tangga = arc.tg $\frac{18}{50}$ = 19º



M11



M22

Gambar 4.6. Momen arah 1-1 dan 2-2 pada tangga E

Momen dari hasil analisis SAP v.17.0.0 :

- **Tulangan arah 1-1**

  Momen arah 1-1 maksimum = 3,605 kNm

  Momen arah 1-1 minimum = 17,500 kNm

- **Tulangan arah 2-2**

  Momen arah 2-2 maksimum = 41,438 kNm

  Momen arah 2-2 minimum = 87,499 kNm

Direncanakan menggunakan tulangan D19-125.

- Luas tulangan

  A_s = 7D19 = 1983,695 mm^2

- Luas tulangan balans

  $A_{sb} = 0{,}85 \times \frac{30}{400} \times 1000 \times 144 \times (\frac{510}{600+400})$

  $= 4681{,}8\ mm^2$

- Check kondisi keruntuhan penampang

  $A_s < A_{sb} \rightarrow$ tulangan telah leleh

- Momen lentur nominal

  $$Mn = 1983{,}88 \times 400 \times (144 - 0{,}59\ \frac{1983{,}88 \times 400}{30 \times 1000}) \times 10^{-6}$$

  $$= 101{,}88 \text{ kNm}$$

Dipakai tulangan utama D19-125 dan tulangan pembagi D12-150.

4.1.3 Balok

a. Data teknis

- Mutu beton (fc') = 30 Mpa
- Mutu baja (fy) = 400 Mpa

b. Analisis dan Desain Penulangan Balok

Umtuk memudahkan perhitungan, dalam mencari kebutuhan tulangan balok dilakukan dengan program SAP2000 v.17.0.0. Kombinasi pembebanan berdasarkan Desain Kekuatan Batas yaitu 1,2DL+1,6LL dengan *framing type : **Sway Ordinary***, dari hasil analisis dan desain balok diperoleh tulangan-tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.1. Luas Tulangan yang dibutuhkan balok kombinasi pembebanan gravitasi dari hasil analisis pada SAP v17.0.0.

Tipe	B	H	Tulangan	Satuan	Tulangan		
					Tumpuan	Lapangan	Peminggang
B1-25X60	25	60	Atas	cm2	16,6088	0	566,77
			Bawah	cm2	0	17,3184	
			Sengkang	cm2/cm	0,0788	0,0824	
B2-25X50	25	50	Atas	cm2	12,6875	0	-
			Bawah	cm2	0	12,3845	
			Sengkang	cm2/cm	0,0419	0,0597	
B3-30X40	30	40	Atas	cm2	3,4123	0	-
			Bawah	cm2	0	2,9951	
			Sengkang	cm2/cm	0	0,0468	
B4-30X30	30	30	Atas	cm2	5,0718	0	566,77
			Bawah	cm2	0	4,5875	

			Sengkang	cm2/cm	0,0259	0,0542	
BA1-25X40	25	40	Atas	cm2	18,538	0	-
			Bawah	cm2	5,187	8,5276	
			Sengkang	cm2/cm	0,066	0,0177	
BD1-25X70	25	70	Atas	cm2	5,0302	0	1133,54
			Bawah	cm2	0	6,2226	
			Sengkang	cm2/cm	0,0215	0,0354	
BD2-25X60	25	60	Atas	cm2	14,5292	0	566,77
			Bawah	cm2	0	14,4465	
			Sengkang	cm2/cm	0,0472	0,0578	
BD3-30X30	30	30	Atas	cm2	7,9671	0	-
			Bawah	cm2	0	4,5355	
			Sengkang	cm2/cm	0,0259	0,0479	
BK1-30X30	30	30	Atas	cm2	8,8369	0	-
			Bawah	cm2	0	2,8441	
			Sengkang	cm2/cm	0,0259	0,0348	
BT1-50X90	50	90	Atas	cm2	5,6543	0	1133,54
			Bawah	cm2	0	10,9796	
			Sengkang	cm2/cm	0,0221	0,1174	
BT2-40X80	40	80	Atas	cm2	11,5035	0	1133,54
			Bawah	cm2	0	10,6869	
			Sengkang	cm2/cm	0,0993	0,0869	
BT3-40X70	40	70	Atas	cm2	9,3079	0	1133,54
			Bawah	cm2	0	4,0554	
			Sengkang	cm2/cm	0	0,0973	
BT3-40X60	40	60	Atas	cm2	14,9889	0	566,77
			Bawah	cm2	0	7,3981	
			Sengkang	cm2/cm	0,0345	0,1056	

Diambil contoh balok B1-25X60 yang menerima momen maksimum, sebagai berikut:

- FtopArea = 16,6088 cm^2

  Direncanakan tulangan dengan diameter 19 mm

  Jumlah tulangan yang dibutuhkan = $\frac{1660{,}88\ mm^2}{283{,}385\ mm^2}$ = 5,86 bh

  Digunakan tulangan 6D19

- FbotArea = 17,3184 cm^2

  Direncanakan tulangan dengan diameter 19 mm

Jumlah tulangan yang dibutuhkan = $\frac{1731{,}84\ mm^2}{283{,}385\ mm^2}$ = 6,1 bh

Digunakan tulangan 7D19

- Tulangan sengkang tumpuan = 0,0788 cm^2/cm

  Direncanakan tulangan dengan diameter 10 mm

  Av = $2 \times 3{,}14 \times 0{,}25 \times 10^2 = 157\ mm^2$

  Jarak sengkang = $\frac{157\ mm^2}{0{,}788\ mm^2/mm}$ = 199 mm

  Untuk tulangan sengkang tumpuan dipakai 2D10-100

- Tulangan sengkang lapangan = 0,0824 cm^2/cm

  Direncanakan tulangan dengan diameter 10 mm

  Av = $2 \times 3{,}14 \times 0{,}25 \times 10^2 = 157\ mm^2$

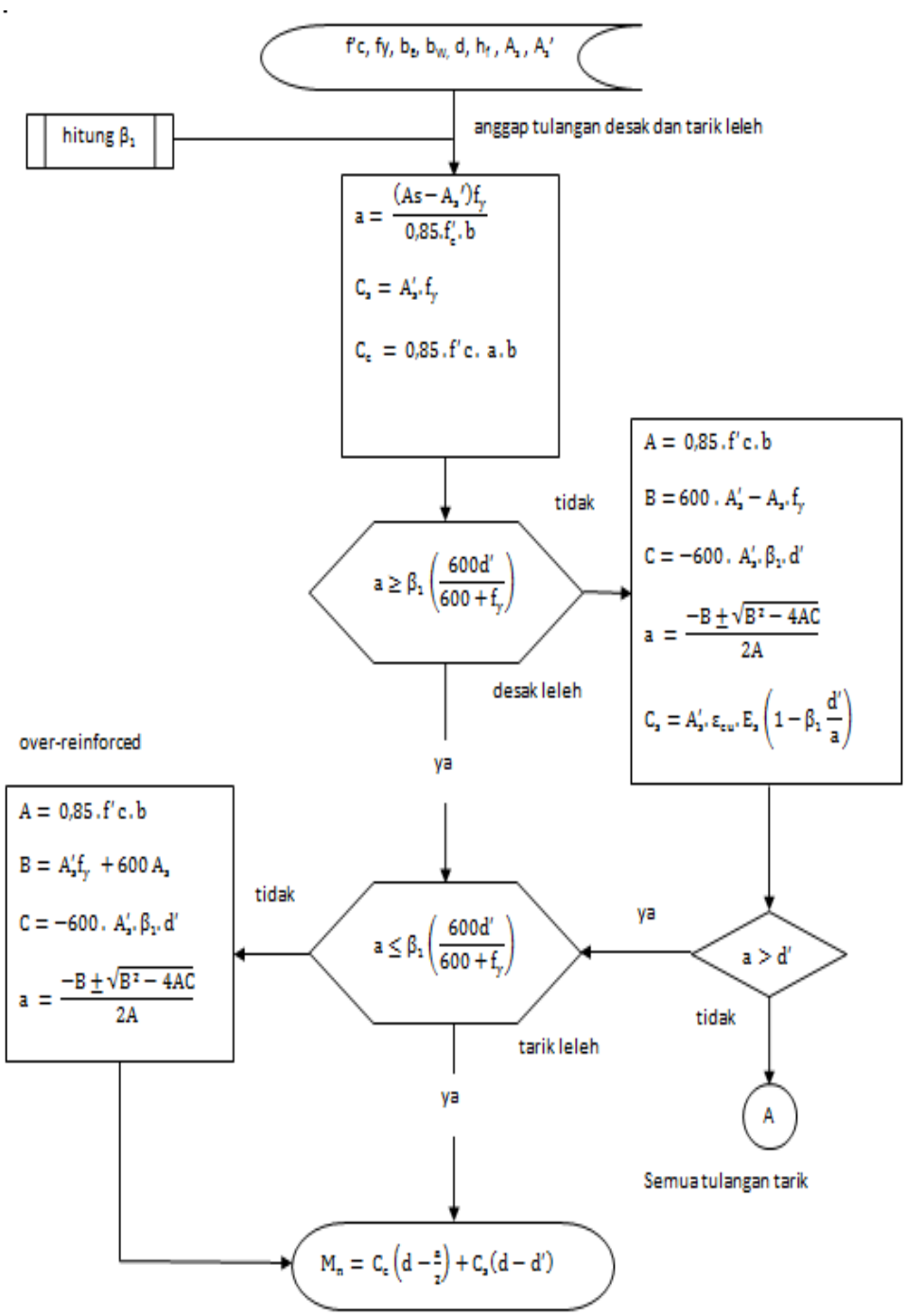
  Jarak sengkang = $\frac{157\ mm^2}{0{,}824\ mm^2/mm}$ = 190 mm

  Untuk tulangan sengkang lapangan dipakai 2D10-150

Tabel 4.2. Tulangan yang dipasang pada balok untuk kombinasi pembebanan gravitasi

Tipe	B	H	Tulangan	Tulangan		
				Tumpuan	Lapangan	Peminggang
B1-25X60	25	60	Atas	6D19	4D19	2D19
			Bawah	4D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B2-25X50	25	50	Atas	5D19	3D19	-
			Bawah	3D19	5D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B3-30X40	30	40	Atas	2D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B4-30X30	30	30	Atas	2D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BA1-25X40	25	40	Atas	7D19	2D19	-
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD1-25X70	25	70	Atas	2D19	2D19	4D19

			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD2-25X60	25	60	Atas	6D19	4D19	2D19
			Bawah	4D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD3-30X30	30	30	Atas	3D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BK1-30X30	30	30	Atas	4D19	2D19	-
			Bawah	3D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT1-50X90	50	90	Atas	2D19	3D19	4D19
			Bawah	2D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
BT2-40X80	40	80	Atas	5D19	3D19	4D19
			Bawah	3D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT3-40X70	40	70	Atas	4D19	2D19	4D19
			Bawah	3D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT3-40X60	40	60	Atas	6D19	2D19	2D19
			Bawah	4D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	


f'c, fy, b, bw, d, hf, As, As'
hitung β1
anggap tulangan desak dan tarik leleh
a = (As − As')fy / 0,85.f'c.b
Cs = As'.fy
Cc = 0,85.f'c.a.b
a ≥ β1 (600d' / (600 + fy))
tidak
A = 0,85.f'c.b
B = 600.As' − As.fy
C = −600.As'.β1.d'
a = (−B ± √(B² − 4AC)) / 2A
Cs = As'.εcu.Es (1 − β1 d'/a)
desak leleh
ya
over-reinforced
A = 0,85.f'c.b
B = As'fy + 600 As
C = −600.As'.β1.d'
a = (−B ± √(B² − 4AC)) / 2A
tidak
a ≤ β1 (600d' / (600 + fy))
ya
a > d'
tidak
tarik leleh
ya
A
Semua tulangan tarik
Mn = Cc (d − a/2) + Cs (d − d')

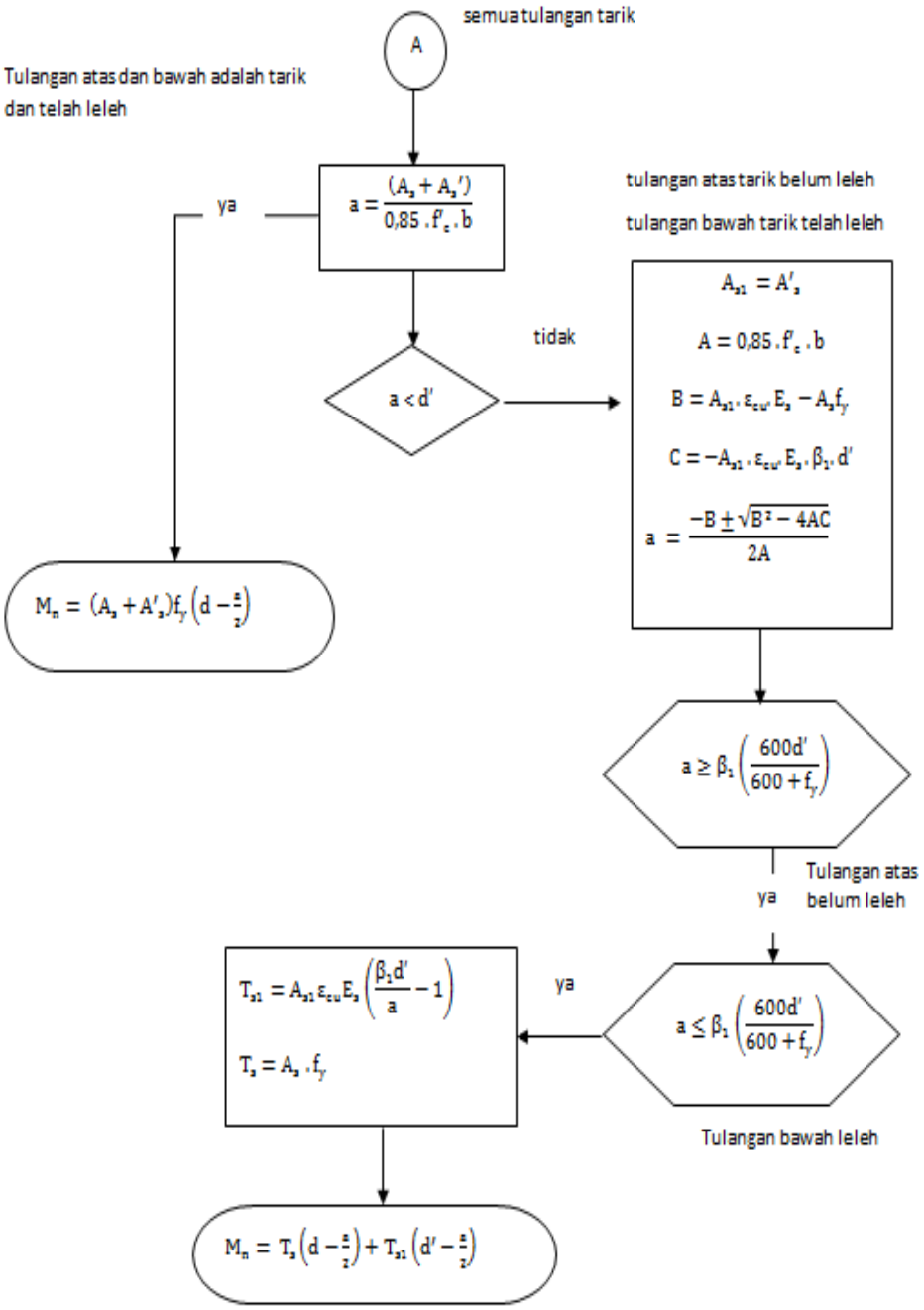


Diagram 4.2. Flowchart Perhitungan Balok

4.1.4 Kolom

a. Data teknis

- Mutu beton (fc') = 30 MPa
- Mutu baja (fy) = 400 MPa

b. Analisis dan Desain Penulangan Kolom

Dalam mencari kebutuhan tulangan kolom dilakukan dengan program SAP2000 v.17.0.0. Kombinasi pembebanan berdasarkan Desain Kekuatan Batas yaitu 1,2DL+1,6LL dengan *framing type :* ***Sway Ordinary***, dari hasil analisis dan desain kolom diperoleh tulangan-tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.3. Luas Tulangan yang dibutuhkan kolom kombinasi pembebanan gravitasi dari hasil analisis pada SAP v17.0.0.

Tipe	Diameter (cm)	Tulangan Utama (cm)	Tulangan Sengkang (cm2/cm)	
			Tumpuan	Lapangan
K1-80	80	50,2655	0	0
K2-60	60	28,2743	0	0

- PMMArea = 50,2655 cm^2

  Direncanakan tulangan dengan diameter 25 mm

  Jumlah tulangan yang dibutuhkan = $\frac{5026{,}55\ mm^2}{490{,}625\ mm^2}$ = 10,2 bh

  Digunakan tulangan 12D25
- Tulangan sengkang tumpuan

  Untuk tulangan tumpuan dipakai tulangan dengan jarak minimum 2D10-100.
- Tulangan sengkang lapangan

  Dipakai tulangan lapangan dipakai tulangan dengan jarak minimum 2D10-150

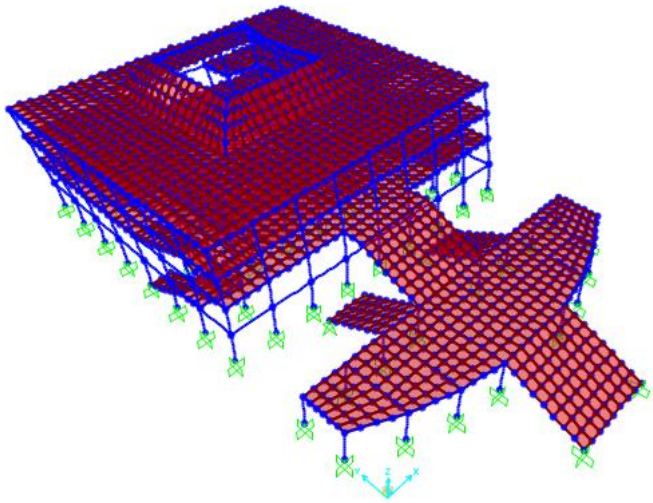
Tabel 4.4. Tulangan longitudinal dan tulangan sengkang yang dipasang pada kolom

Tipe	Tulangan Kolom	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan
K1-80	12D25	2D10-100	2D10-150
K2-60	6D25	2D10-100	2D10-150

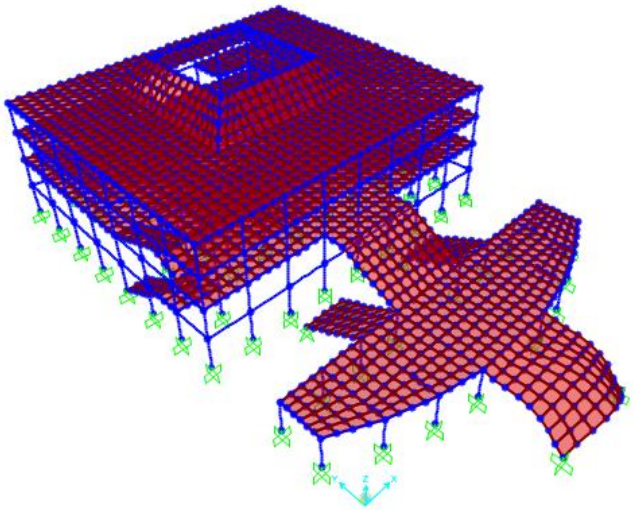
4.2 Perhitungan Struktur untuk Beban Gempa

4.2.1 Perhitungan Beban Gempa

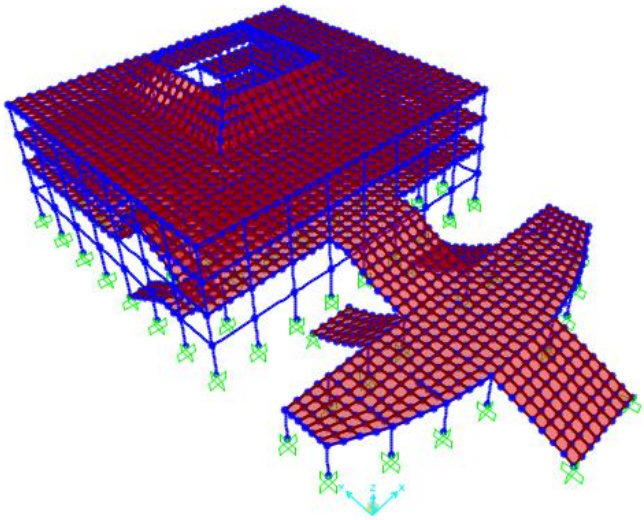
Perhitungan gaya gempa yang bekerja dilakukan dengan analisis dinamik Ragam Spektrum Respons tiga dimensi dengan menggunakan Respons Dinamik terbesar dari seluruh mode yang memiliki konstribusi berarti terhadap respon total struktur (*Effective Mass Modal* mencapaui sekurang-kurangnya dari 90%).



MODE 1



MODE 2



MODE 3

Gambar 4.7. Respons Modal dari setiap mode untuk struktur lokasi TES

Hasil perhitungan analisis dinamik spektrum respon untuk struktur TES disajikan pada *output* SAP2000 v17.0.0 berikut,

Tabel 4.5. Modal Periods and Frequncies

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	**StepType**	**StepNum**	**Period**	**Frequency**	**CircFreq**	**Eigenvalue**
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,424127	2,3578	14,814	219,47
MODAL	Mode	2	0,413588	2,4179	15,192	230,79
MODAL	Mode	3	0,319716	3,1278	19,652	386,22
MODAL	Mode	4	0,31405	3,1842	20,007	400,28
MODAL	Mode	5	0,310419	3,2215	20,241	409,7
MODAL	Mode	6	0,263585	3,7938	23,837	568,22
MODAL	Mode	7	0,195022	5,1276	32,218	1038
MODAL	Mode	8	0,154262	6,4825	40,731	1659
MODAL	Mode	9	0,12039	8,3064	52,19	2723,8
MODAL	Mode	10	0,111304	8,9844	56,45	3186,7
MODAL	Mode	11	0,070231	14,239	89,465	8004
MODAL	Mode	12	0,054719	18,275	114,83	13185

Jadi, untuk perhitungan waktu getar alami fundemental gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebagai berikut:

Jumlah lantai = 4 lantai, sehingga N = 4

T_a = 0,1 × 4 = 0,4

$C_u T_a$ = 1,4 × 0,4 = 0,56

T_c = 0,424127

(didapat dari hasil program analisis struktur)

Jadi, $T_a < T_c < C_u T_a$

Sehingga perioda fundamental struktur (T) menggunakan persamaan 3.6:

T = T_c

= **0,424127** dalam detik

Hasil perhitungan analisis dinamik spektrum respon untuk struktur TES disajikan pada *output* SAP2000 v17.0.0 berikut,

Tabel 4.6. Modal Load Participation Ratios

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	**ItemType**	**Item**	**Static**	**Dynamic**
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	96,5238
MODAL	Acceleration	UY	100	94,2228
MODAL	Acceleration	UZ	21,8471	1,7843

Dynamic Percent untuk UX dan UY harus tidak kurang dari 90%, pada gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami *dynamic percent* memenuhi.

Hasil perhitungan *masses and weight* untuk struktur TES disajikan pada *output* SAP2000 v17.0.0 berikut,

Tabel 4.7. Group 3 -Masses and Weight

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	**SelfMass**	**SelfWeight**	**TotalMassX**	**TotalMassY**	**TotalMassZ**
Text	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	2209,92	21671,877	2209,92	2209,92	2209,92
LANTAI 1	1133,4	11114,851	1133,4	1133,4	1133,4
LANTAI 2	474,2	4650,272	474,2	474,2	474,2
LANTAI 3	592,42	5809,626	592,42	592,42	592,42

Besar beban gempa horisontal (V) yang bekerja pada struktur banguanan sebagai berikut:

$$V = \frac{Sa.Ie}{R}.W_t$$

Untuk $T_0 < T < T_S$, $S_a = S_{DS} = 0{,}728$

I_e = 1,5

R = 8

W_t = 21671,877 kN

$$V = \frac{0{,}728\ .\ 1{,}5}{8}\ .\ 21671{,}877$$

= 2958,21 kN

Jadi, besar beban gempa horisontal yang bekerja pada gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebesar 2958,21 kN.

4.2.2 Tulangan untuk Beban Gempa

Umtuk memudahkan perhitungan, dalam mencari kebutuhan tulangan balok dilakukan dengan program SAP2000 v.17.0.0.

Kombinasi pembebanan gempa berdasarkan Desain Kekuatan Batas yaitu:

3) 1,2DL + 1,0E + LL

4) 0,9DL + 1,0E

dengan *framing type : **Sway Special***, dari hasil analisis dan desain balok diperoleh tulangan-tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.8. Tulangan balok untuk beban gempa

Tipe	B	H	Tulangan	Tulangan		
				Tumpuan	Lapangan	Peminggang
B1-25X60	25	60	Atas	6D19	2D19	2D19
			Bawah	3D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B2-25X50	25	50	Atas	5D19	2D19	-
			Bawah	3D19	5D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
B3-40X40	40	40	Atas	8D19	5D19	-
			Bawah	5D19	6D19	
			Sengkang	4D10-75	2D10-100	
B4-30X40	30	40	Atas	2D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
B5-30X30	30	30	Atas	2D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
BA1-25X40	25	40	Atas	6D19	2D19	-
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-75	2D10-150	
BA2-25X30	25	40	Atas	6D19	2D19	-
			Bawah	3D19	4D19	
			Sengkang	2D10-75	2D10-150	
BD1-25X70	25	70	Atas	2D19	2D19	4D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD2-25X60	25	60	Atas	6D19	2D19	2D19
			Bawah	3D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD3-30X30	30	30	Atas	3D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	

			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BK1-30X30	30	30	Atas	4D19	4D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT1-50X90	50	90	Atas	4D19	2D19	4D19
			Bawah	2D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT2-40X80	40	80	Atas	6D19	2D19	4D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	2D10-75	2D10-100	
BT3-40X70	40	70	Atas	9D19	9D19	4D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	4D10-75	3D10-75	
BT3-50X60	50	60	Atas	7D19	7D19	2D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	3D10-75	3D10-75	

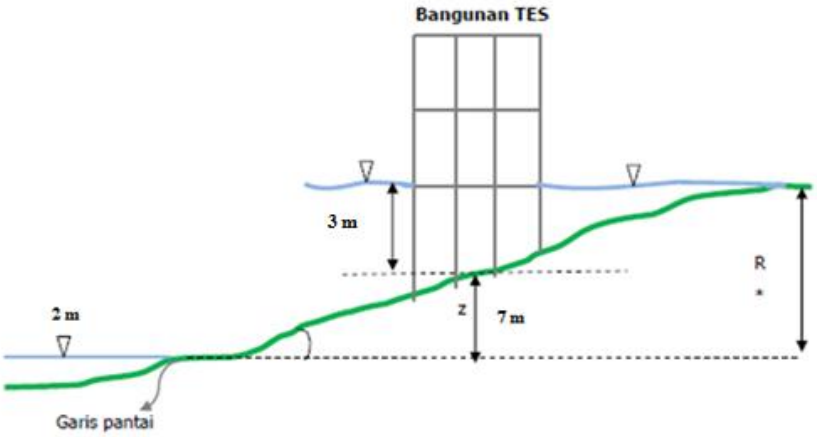
Tabel 4.9. Tulangan kolom untuk beban gempa

Tipe	Tulangan Kolom	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan
K1-100	16D25	3D12-100	2D12-150
K2-90	14D25	2D12-75	2D12-150
K3-80	12D25	2D12-100	2D12-150

4.3 Perhitungan Struktur untuk Beban Tsunami

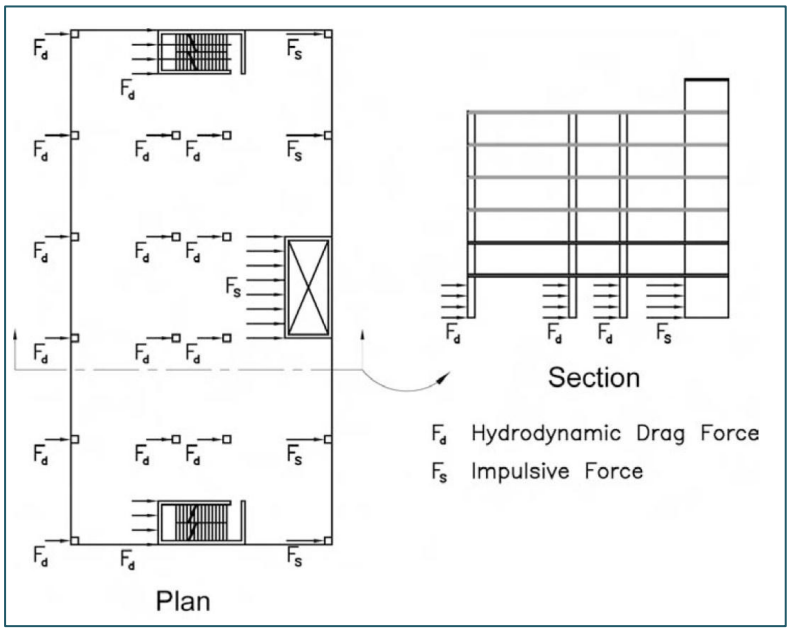
4.3.1 Perhitungan Beban Tsunami

Beban tsunami yang diperhitungkan dalam desain struktur gedung evakuasi vertikal hanyalah gaya hidrodinamik, gaya impusif, gaya tahanan debris atau hanyutan puing dan gaya tumbukan debris dengan perhitungan sebagai berikut:



Elevasi design runup height (R) =	10,0	meter
Elevasi ±0.00 gedung (z) =	7	meter
Tinggi kolom pada lantai 1 (h_c)	3,0	meter
Percepatan gravitasi (g) =	9,81	m/det^2

1. Gaya Hidrodinamik



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

$$(hu^2)_{max} = 14{,}1264\ \text{m}^3/\text{s}^2$$

Berat volume aliran tsunami (ρ_s) = 1200 kg/m^3

C_d = 2

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

- Kolom K1-100

  Lebar kolom (B)= 1 m

  F_d = 5,65 kN/m'

- Kolom K2-90

  Lebar kolom (B)= 0,9 m

  F_d = 5,09 kN/m'

- Kolom K3-80

  Lebar kolom (B)= 0,8 m

  F_d = 4,52 kN/m'

2. Gaya Impuls

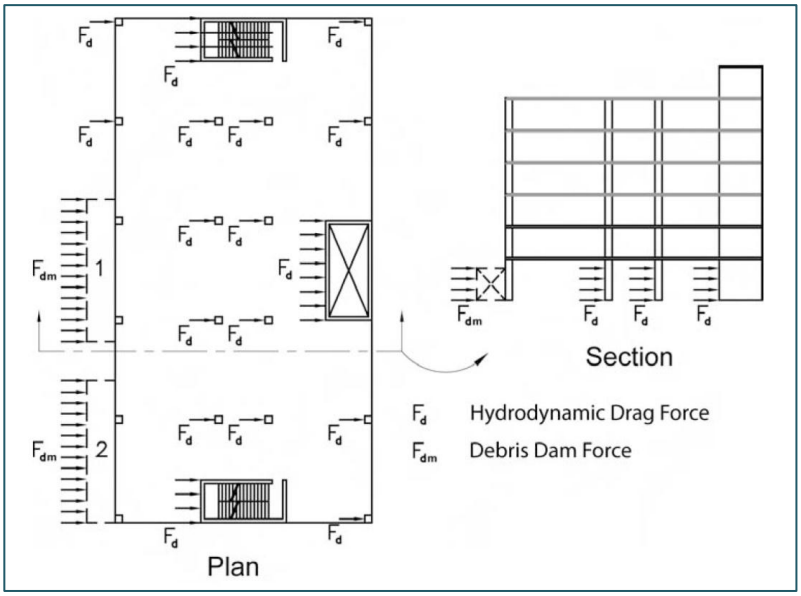
F_s = 1,5 F_d

- Kolom K3-80

  Lebar kolom (B)= 0,8 m

  F_d = 6,78 kN/m'

3. Gaya tahanan debris atau hanyutan puing



Lebar dari pembendungan puing-puing (Bd) = 12 m

Kolom yang menahan pembendungan = 4 kolom

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

$F_{dm} = 16{,}95$ kN/m'

4. Gaya tumbukan debris atau hanyutan puing

$$U_{max} = \sqrt{\left(2.\,g.\,R\left(1-\frac{z}{R}\right)\right)} = 7{,}67203\ \frac{m}{s}$$

C_m = 2

- Batang kayu

  m= 450 kg

  k = 2400000 N/m

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

  $F_i = 504{,}26\ kN$

- 20ft *Heavy Shiping Container*

  m= 2400 kg

  k = 1700000 kN

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

  $F_i = 980{,}10\ kN$

4.3.2 Tulangan untuk Beban Tsunami

Umtuk memudahkan perhitungan, dalam mencari kebutuhan tulangan balok dilakukan dengan program SAP2000 v.17.0.0. Kombinasi untuk beban tsunami mengacu pada FEMA P646 yaitu sebagai berikut:

3) 1,2DL + 1,0T_S + 1,0L_{REF} + 0,25LL
4) 0,9DL + 1,0T_S

dengan *framing type : **Sway Ordinary*** dari hasil analisis dan desain balok diperoleh tulangan-tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.10. Tulangan balok untuk beban tsunami

Tipe	B	H	Tulangan	Tulangan		
				Tumpuan	Lapangan	Peminggang
B1-25X60	25	60	Atas	6D19	4D19	2D19
			Bawah	4D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B2-25X50	25	50	Atas	5D19	3D19	-
			Bawah	3D19	5D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B3-40X40	40	40	Atas	2D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B4-30X40	30	40	Atas	2D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B5-30X30	30	30	Atas	2D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BA1-25X40	25	40	Atas	6D19	2D19	-
			Bawah	4D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BA2-25X30	25	40	Atas	6D19	3D19	-
			Bawah	2D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD1-25X70	25	70	Atas	2D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD2-25X60	25	60	Atas	5D19	3D19	2D19
			Bawah	3D19	5D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD3-30X30	30	30	Atas	4D19	2D19	-
			Bawah	3D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BK1-30X30	30	30	Atas	3D19	2D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT1-50X90	50	90	Atas	6D19	3D19	4D19

			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
BT2-40X80	40	80	Atas	4D19	3D19	4D19
			Bawah	3D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT3-40X70	40	70	Atas	6D19	2D19	4D19
			Bawah	4D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT4-50X60	50	60	Atas	3D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	

Tabel 4.11. Tulangan kolom untuk beban tsunami

Tipe	Tulangan Kolom	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan
K1-100	16D25	2D12-100	2D12-150
K2-90	26D25	2D12-100	4D12-50
K4-80	12D25	2D12-100	2D12-150

Jadi, untuk desain penulangan kolom dan balok gedung evakuasi vertikal digunakan tulangan-tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.12. Tulangan balok yang digunakan untuk gedung evakuasi vertikal mitigasi tsunami

Tipe	B	H	Tulangan	Tulangan		
				Tumpuan	Lapangan	Peminggang
B1-25X60	25	60	Atas	6D19	4D19	2D19
			Bawah	4D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
B2-25X50	25	50	Atas	5D19	3D19	-
			Bawah	3D19	5D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
B3-40X40	40	40	Atas	8D19	5D19	-
			Bawah	5D19	6D19	
			Sengkang	4D10-75	2D10-100	
B4-30X40	30	40	Atas	2D19	2D19	-

			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
B5-30X30	30	30	Atas	2D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
BA1-25X40	25	40	Atas	6D19	2D19	-
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	2D10-75	2D10-150	
BA2-25X30	25	40	Atas	6D19	3D19	-
			Bawah	3D19	4D19	
			Sengkang	2D10-75	2D10-150	
BD1-25X70	25	70	Atas	2D19	2D19	2D19
			Bawah	2D19	3D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD2-25X60	25	60	Atas	6D19	3D19	2D19
			Bawah	3D19	6D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BD3-30X30	30	30	Atas	4D19	2D19	-
			Bawah	3D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BK1-30X30	30	30	Atas	4D19	4D19	-
			Bawah	2D19	2D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-150	
BT1-50X90	50	90	Atas	6D19	3D19	4D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	2D10-100	2D10-100	
BT2-40X80	40	80	Atas	6D19	2D19	4D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	2D10-75	2D10-100	
BT3-40X70	40	70	Atas	9D19	9D19	4D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	4D10-75	3D10-75	
BT4-50X60	50	60	Atas	7D19	7D19	2D19
			Bawah	4D19	4D19	
			Sengkang	3D10-75	3D10-75	

Tabel 4.13. Tulangan kolom yang digunakan untuk gedung

Tipe	Tulangan Kolom	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan
K1-100	16D25	3D12-100	2D12-150
K2-90	26D25	2D12-75	4D12-50
K4-80	12D25	2D12-100	2D12-150

BAB V

RENCANA ANGGARAN BIAYA

5.1 Uraian Umum

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perkalian volume tiap pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya didasarkan oleh:

1. Gambar bestek

   Gambar bestek digunakan untuk menghitung besarnya masing – masing volume tiap pekerjaan.

2. Harga satuan pekerjaan

   Harga satuan pekerjaan di dalamnya terdapat harga material, upah tukang dan pekerja, dan analisis harga satuan pekerjaan. Analisis harga satuan pekerjaan didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) Harga Satuan Pekerjaan kota Semarang tahun 2014.

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dibantu program Microsoft Excel. Dalam Tugas Akhir ini hanya perhitungan volume bersih, rencana anggaran biaya (RAB) dan rekapitulasi akhir yang disajikan dalam bab ini, perhitungan lain di lampirkan dalam lampiran.

5.2 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

5.2.1 Perhitungan Volume Beton

Balok B1-25X60

Volume $= b \times h \times p \times jumlah\ balok$

$= 0{,}25 \times 0{,}6 \times 8 \times 26$

$= 31{,}2\ m^3$

Perhitungan volume beton dikurangi volume tulangan.

Berat tulangan B1-25X60 = 230,41 kg/m^3

Volume tulangan total B1-25X60 = 5,13 m^3

Volume bersih = 31,2 – 5,13

= 26,07 m^3

Tabel 5.1. Perhitungan volume bersih beton

No	Tipe Konstruksi	Jumlah	Volume Beton (m3)	Berat tulangan/m3 (kg)	Volume Tulangan Total (m3)	Volume Bersih Beton (m3)
1	BALOK					
	B1-25X60	26	31,20	230,41	5,13	**26,07**
	B2-25X50	2	1,80	395,47	0,51	**1,29**
	B3-40X40	1	0,64	249,21	0,11	**0,53**
	B4-30X40	2	0,96	153,95	0,11	**0,85**
	B5-30X30	178	64,08	236,87	10,84	**53,24**
	BA1-25X40	1	0,40	249,51	0,07	**0,33**
	BA2-25X30	39	11,70	315,01	2,63	**9,07**
	BD1-25X70	4	7,35	158,76	0,83	**6,52**
	BD2-25X60	10	12,00	215,58	1,85	**10,15**
	BD3-30X30	26	9,36	196,34	1,31	**8,05**
	BK1-30X30	16	6,48	208,69	0,97	**5,51**
	BT1-50X90	1	3,60	98,01	0,25	**3,35**
	BT2-40X80	2	5,12	133,80	0,49	**4,63**
	BT3-40X70	5	5,60	363,81	1,46	**4,14**
	BT4-50X60	4	4,80	168,29	0,58	**4,22**
2	Kolom					
	K1-100	2	4,71	113,25	0,38	**4,33**
	K2-90	8	15,26	238,15	2,60	**12,66**
	K3-80	226	340,63	229,18	55,76	**284,87**
3	Pelat Lantai					
	Lantai		325,33	56,88	13,22	**312,11**
4	Tangga					
	Tipe A	1	15,69	187,92	2,11	**13,58**
	Tipe B	1	13,79	187,08	1,84	**11,94**
	Tipe C	2	13,53	76,52	0,74	**12,79**
	Tipe D	2	12,39	68,31	0,60	**11,79**
	Tipe E	2	6,93	70,08	0,35	**6,58**

5.2.2 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan RAB dari total perhitungan volume bersih beton, besi dan bekisiting per m^3 dikalikan harga satuan., perhitungan harga satuan di dapat dari analisa harga satuan. Perhitungan volume beton, besi, bekisting dan harga satuan dicantumkan pada lampiran.

.

Tabel 5.2. RAB

No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	**BALOK**				
	B1-25X60	26,065	m3	6.104.325,74	159.110.629,67
	B2-25X50	1,292	m3	10.405.976,32	13.439.655,36
	B3-40X40	0,526	m3	5.835.809,18	3.070.088,51
	B4-30X40	0,854	m3	5.042.246,78	4.308.256,26
	B5-30X30	53,238	m3	6.261.449,26	333.347.785,63
	BA1-25X40	0,329	m3	6.533.580,63	2.147.663,55
	BA2-25X30	9,067	m3	7.537.242,70	68.343.052,43
	BD1-25X70	6,517	m3	5.162.298,53	33.640.246,82
	BD2-25X60	10,152	m3	5.920.739,20	60.108.560,06
	BD3-30X30	8,047	m3	5.759.679,98	46.350.176,32
	BK1-30X30	5,514	m3	5.912.668,75	32.602.697,36
	BT1-50X90	3,348	m3	3.411.494,56	11.421.620,94
	BT2-40X80	4,631	m3	4.118.012,37	19.069.206,34
	BT3-40X70	4,145	m3	8.493.856,03	35.204.830,32
	BT4-50X60	4,223	m3	4.410.058,21	18.623.685,18
				Sub Total	**840.788.154,76**
2	**KOLOM**				
	K1-100	4,329	m3	3.318.516,94	14.365.868,93
	K2-90	12,598	m3	4.939.669,15	62.232.268,23
	K3-80	309,114	m3	3.519.953,75	1.088.068.057,22
				Sub Total	**1.164.666.194,38**
3	Pelat Lantai				
	Pelat	312,107	m3	4.197.608,01	1.310.102.732,99
				Sub Total	**1.310.102.732,99**
4	Tangga				
	Tipe A	13,581	m3	5.050.328,17	68.590.274,57
	Tipe B	11,943	m3	5.029.417,98	60.066.665,94
	Tipe C	12,787	m3	3.741.875,72	47.845.897,04

	Tipe D	11,786	m3	2.986.193,91	35.194.780,56
	Tipe E	6,584	m3	2.880.343,70	18.965.531,74
				Sub Total	**230.663.149,85**

5.2.3 Rekaptiulasi Akhir

Rekapitulasi akhir dari perhitungan RAB:

Tabel 5.3. Rekapitulasi Akhir

REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA STRUKTUR ATAS

Pembangunan Gedung Evakuasi Vertikal untuk Mitigasi Tsunami
Tahun Anggaran = 2014

No.	Item Pekerjaan	Total Harga	
1	BALOK	Rp.	840.788.154,76
2	KOLOM	Rp.	1.164.666.194,38
3	PELAT	Rp.	1.310.102.732,99
4	TANGGA	Rp.	230.663.149,85
	Jumlah	Rp.	3.546.220.231,98
	PPN 10 %	Rp.	354.622.023,20
	Jumlah total	Rp.	3.900.842.255,18
	Jumlah di bulatkan	**Rp.**	**3.900.842.000,00**

Terbilang tiga milyar sembilan ratus juta delapan ratus empat puluh dua ribu rupiah

Semarang, April 2015
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

EVE FINESA RATU

BAB VI

SYARAT-SYARAT TEKNIS PELAKSANAAN PEKERJAAN

6.1 Pekerjaan Beton Struktur Atas

6.1.1 Lingkup Pekerjaan

a. Termasuk dalam lingkup pekerjaan ini adalah :

   Semua pekerjaan beton struktur yang ada dalam masing-masing jenis pekerjaan yang tercantum dalam pasal-pasal buku RKS ini antara lain yang dikerjakan :

   Beton Bertulang Struktur bangunan 3 lantai, termasuk beton R. Khasanah/ KLUIS, R. Arsip, dan pagar.

b. Pekerjaan ini meliputi penyediaan bahan, peralatan dan tenaga kerja serta pelaksanaan pekerjaan beton sesuai dengan RKS dan gambar-gambar pelaksanaan yang telah disediakan untuk proyek ini.

6.1.2 Pedoman Pelaksanaan

Pelaksanaan pekerjaan ini harus mengikuti :

Semua ketentuan dalam SNI 2847:2013 terutama yang menyangkut pekerjaan beton struktur.

6.1.3 Bahan-Bahan yang Digunakan

a. Semen

   1. Semen yang digunakan untuk proyek ini adalah Portland Cement jenis II menurut NI 8 atau type I menurut ASTM, memenuhi S.400 menurut Standard Cement Portland yang digariskan oleh Asosiasi Cement Indonesia.
   2. Merk yang dipilih tidak dapat ditukar-tukar dalam pelaksanaan tanpa persetujuan Pengawas Lapangan.

3. Persetujuan PC hanya akan diberikan apabila dipasaran tidak diperoleh semen dari merk yang telah dipilih dan telah digunakan.
4. Merk semen yang diusulkan sebagai pengganti dari merk semen yang sudah digunakan harus disertai jaminan dari Kontraktor yang dilengkapi dengan data teknis yang membuktikan bahwa mutu semen pengganti setaraf dengan mutu semen yang digantikannya.
5. Batas-batas pengecoran yang memakai semen berlainan merk harus disetujui oleh Pengawas Lapangan.

b. Aggregates.

Aggregates yang digunakan harus sesuai dengan syarat - syarat dalam SNI 2847:2013, terdiri dari :

1. Pasir beton (aggregat halus). Kadar lumpur tidak boleh melebihi 4% berat pasir beton.
2. Koral atau crushed stone (aggregat kasar) :
   - Harus mempunyai susunan gradasi yang baik, cukup syarat kekerasannya dan padat (tidak porous). Dimensi maksimum 2,5 cm, dan tidak lebih seperempat dimensi beton yang terkecil dari bagian konstruksi yang bersangkutan.
   - Khusus untuk pekerjaan beton, diluar lapis pembesian yang berat batas maksimum tersebut 3 cm dengan gradasi baik.
   - Pada bagian dimana pembesian cukup berat (cukup ruwet) digunakan koral semua split digunakan pecah/giling mesin

c. Besi beton

Besi beton yang digunakan ialah : besi beton ulir dengan fy = 400 MPa, ex Krakatau Steel/setara, untuk diameter lebih besar atau sama dengan 10 mm..

Untuk mendapatkan jaminan akan kualitas besi yang diminta, maka disamping adanya sertifikat dari pabrik, juga harus harus dimintakan sertifikat dari laboratorium baik pada saat pemasangan secara periodik minimal 2 contoh percobaan tarik (stress-strain) dan perlengkapannya untuk setiap 20 ton besi. Konsultan Pengawas harus menyaksikan pengetesan besi dan segala biaya yang berkenaan dengan pekerjaan ini menjadi tanggung jawab Kontraktor.

d. Admixture.

Pemakaian bahan tambahan untuk perbaikan mutu beton dari merk setarap Super Plastet SR (kedap air) dan plastet no. 2 untuk beton biasa. Namun sebelumnya Kontraktor diwajibkan mengajukan analisis kimia serta test, dan juga bukti penggunaan selama 5 tahun di Indonesia. Penggunaan harus sesuai dengan petunjuk teknis pabrik.

6.1.4 Tata Cara Pengiriman dan Penyimpanan Bahan

a. Pengiriman dan penyimpanan bahan pada umumnya harus sesuai dengan jadwal pelaksanaan.

b. Penyimpanan Semen.

1. Semen harus didatangkan & disimpan dalam kantung/zak yang utuh. Berat semen harus sama dengan yang tercantum dalam zak.
2. Semen harus disimpan dalam gudang yang kering, terlindung dari pengarus cuaca, berventilasi cukup dan lantai yang bebas dari tanah.
3. Semen harus dalam keadaan belum mulai mengeras jika ada bagian yang mulai mengeras, bagian tersebut harus dapat ditekan hancur oleh tangan bebas (tanpa alat) dan jumlah bagian yang mulai mengeras ini tidak lebih dari 5% berat semen.

4. Pada bagian semen yang mengeras tersebut harus dicampurkan semen dalam jumlah yang sama dengan syarat bahwa kualitas beton yang dihasilkan harus sesuai dengan yang diminta Perencana.

c. Penyimpanan Besi Beton
   1. Besi beton disimpan dengan menggunakan bantalan-bantalan kayu sehingga bebas dari tanah (minimal 20 cm).
   2. Beton harus disimpan bebas dari lumpur, minyak atau zat asing lainnya.
   3. Aggregates harus ditempatkan dalam bak-bak yang cukup terpisah dari satu dan lain jenisnya/gradasinya dan diatas lantai beton ringan untuk menghindari tercampurnya dengan tanah.

6.1.5 Bekisiting yang Digunakan

a. Bekisting harus dibuat dari papan kayu Kalimantan dengan rangka kayu yang kuat tidak mudah berubah bentuk dan jika perlu menggunakan baja.
b. Bekisting harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak ada perubahan bentuk yang nyata dan harus dapat menampung bahan-bahan sementara sesuai dengan jalannya kecepatan pembetonan.
c. Semua bekisting harus diberi penguat datar dan silangan sehingga kemungkinan bergeraknya bekisting selama dalam pelaksanaan dapat dihindarkan, juga harus cukup rapat untuk menghindarkan keluarnya adukan (mortar leakage)
d. Susunan bekisting dengan penunjang-penunjang harus teratur sehingga pengawasan atas kekurangannya dapat mudah dilakukan.

e. Penyusunan bekisting harus sedemikian rupa sehingga pada waktu pembongkarannya tidak akan merusak dinding, balok atau kolom beton yang bersangkutan.
f. Pada bagian terendah pada setiap fase pengecoran dari bekisting kolom atau dinding, harus ada bagian yang mudah dibuka untuk inspeksi dan pembersihan.
g. Kayu bekisting harus bersih dan dibasahi air terlebih dahulu sebelum pengecoran.
h. Air pembasahan tersebut harus diusahakan agar mengalir sedemikian rupa agar tidak menggenangi sisi bawah dari bekisting.
i. Pemilihan susunan dan ukuran yang tepat dari penyangga-penyangga atau silangan-silangan bekesting menjadi tanggung jawab Kontraktor.
j. Pembongkaran Bekisting :

   Cetakan tidak boleh dibongkar sebelum beton mencapai kekuatan khusus yang cukup untuk memikul 2 x beban sendiri.

   Bila akibat pembongkaran cetakan, pada bagian konstruksi akan bekerja beban-beban yang lebih tinggi dari pada beban rencana, maka cetakan tidak boleh dibongkar selama keadaan tersebut berlangsung.

   Perlu ditentukan bahwa tanggung jawab atas keamanan konstruksi beton seluruhnya terletak pada Kontraktor, dan perhatian Kontraktor mengenai pembongkaran cetakan ditujukan ke SKSNI T-15-1991-03 dalam pasal yang bersangkutan.

   Pembongkaran harus memberi tahu Pemberi Tugas / Arsitek bila mana ia bermaksud akan membongkar cetakan pada bagian-bagian konstruksi yang utama dan minta persetujuannya, tapi dengan adanya persetujuan itu tidak berarti Kontraktor terlepas dari tanggung jawabnya.

6.1.6 Pemasangan Pipa-Pipa

Pemasangan pipa dalam beton tidak boleh merugikan kekuatan konstruksi.

6.1.7 Pelaksanaan Pembuatan Beton/Kualitas Beton

Adukan beton adalah campuran dari semen Portland, pasir beton, batu pecah/kerikil dan air. Semuanya diaduk dalam perbandingan tertentu sehingga didapat kekentalan yang baik dengan kekuatan yang diinginkan.

a. Pemeriksaan mutu hasil pelaksanaan

1. Kontraktor diwajibkan untuk mengadakan percobaan pendahuluan atas minimum 20 benda uji untuk memastikan dapat dicapainya kekuatan karakteristik pada kelas dan mutu beton seperti yang telah ditetapkan. Pemeriksaan benda uji dapat dilaksanakan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari atau menurut petunjuk pasal 41 ayat 2 dan 3 PBI 1971.
2. Selama masa pelaksanaan, Kontraktor diwajibkan secara tetap menyelenggarakan pemeriksaan benda-benda uji (kubus) beton menurut ketentuan-ketentuan dalam pasal 47 ayat 2 dan 3 PBI 1971.

   Untuk masing-masing mutu beton harus dibuat 1 (satu) benda uji setiap 5 m3 beton. Ukuran kubus beton adalah 15x15x15 cm3 dan pembuatan serta pemeriksaannya harus disesuaikan dengan pasal 49 PBI 1971.
3. Pada tiap-tiap kali mengaduk beton Kontraktor diwajibkan menyelenggarakan pengujian slump seperti yang ditentukan didalam pasal 44 ayat 2 PBI 1971.

b. Kualitas Beton

1. Kecuali yang ditentukan lain dalam gambar, kualitas beton adalah f'c = 30 Mpa . Evaluasi penentuan karakteristik ini digunakan ketentuan-ketentuan yang terdapat dalam code PBI 1971.
2. Pelaksana harus memberikan jaminan atas kemampuannya membuat kualitas beton ini dengan memperhatikan data-data pelaksanaan di lain tempat atau dengan mengadakan *trial-mixes*.
3. Selama pelaksanaan harus dibuat benda-benda uji menurut ketentuan-ketentuan yang disebut dalam pasal 4, 7 dan 4,9 dari PBI 1971, mengingat bahwa WC factor yang sesuai di sini adalah sekitar 0,52 – 0,55 maka pemasukan adukan ke dalam cetakan benda uji dilakukan menurut pasal 4,9 ayat 3 PBI 1971 tanpa menggunakan penggetar.

   Pada masa-masa pembetonan pendahuluan harus dibuat minimum 1 (satu) benda uji per 1½ m3 beton hingga dengan cepat diperoleh 20 benda uji yang pertama.

   Pengambilan benda-benda uji harus dengan periode antara yang disesuaikan dengan kecepatan pembetonan.
4. Kontraktor harus membuat laporan tertulis atas data-data kualitas beton yang dibuat dengan disahkan oleh Direksi Lapangan. Laporan tersebut harus dilengkapi dengan harga karakteristiknya.
5. Selama pelaksanaan harus ada pengujian slump minimum 5 cm, maximum 12 cm. Cara pengujian slump adalah sebagai berikut :

   Contoh :Beton diambil saat sebelum dituangkan ke dalam cetakan beton (bekisting), cetakan slump dibasahkan

dan ditempatkan di atas kayu yang rata atau plat beton.

Cetakan diisi sampai kurang lebih 1/3 nya. Kemudian adukan tersebut ditusuk-tusuk 25 kali dengan besi 16 mm panjang 30 cm dengan ujungnya yang bulat (seperti peluru).

Pengisian dilakukan dengan cara serupa untuk dua lapisan berikutnya. Setiap lapis ditusuk-tusuk 25 kali dan setiap tusukan harus masuk dalam satu lapisan yang ada di bawahnya. Setelah diratakan, segera cetakan diangkat perlahan-lahan dan diukur penurunannya (slum-nya).

6. Jumlah semen minimum 340 kg per m3 beton, khusus pada atap pondasi luifel jumlah minimum tersebut dinaikkan menjadi 365 kg/m3 beton.
7. Pengujian kubus percobaan harus dilakukan di laboratorium yang disetujui oleh Direksi Lapangan.
8. Perawatan kubus percobaan tersebut adalah dalam pasir basah tapi tidak genang air selama 7 hari dan selanjutnya dalam udara terbuka.
9. Jika perlu maka digunakan juga pembuatan kubus percobaan untuk umur 7 hari dengan ketentuan hasilnya tidak boleh kurang 65% kekuatan yang diminta pada 28 hari.

   Jika hasil kuat tekan benda-benda uji tidak memberikan angka kekuatan yang diminta, maka harus dilakukan pengujian beton di tempat dengan cara-cara seperti ditetapkan dalam PBI 1971 dengan tidak menambah beban biaya bagi Pemberi Tugas (= beban Kontraktor).
10. Pengadukan beton dalam mixer tidak boleh kurang dari 75 detik terhitung setelah seluruh komponen adukan ke dalam mixer.
11. Penyampaian beton (adukan) dari mixer ke tempat pengecoran harus dilakukan dengan cara yang tidak

mengakibatkan terjadinya segrasi komponen-komponen beton.

12. Harus digunakan vibrator untuk pemadatan beton.

6.1.8 Siar-Siar Konstruksi dan Pembongkaran

Pembongkaran bekisting dan penempatan siar-siar pelaksanaan, sepanjang tidak ditentukan lain dalam gambar, harus sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03.

Siar-siar tersebut harus dibasahi lebih dahulu dengan air semen tepat sebelum pengecoran lanjutan dimulai. Letak siar-siar tersebut harus disetujui oleh Pengawas Lapangan.

6.1.9 Pengganti Besi

a. Kontraktor harus mengusahakan supaya besi yang dipasang benar sesuai dengan apa yang tertera dalam gambar.
b. Dalam hal dimana berdasarkan pengalaman Kontraktor atau pendapatnya mengalami kekeliruan, kekurangan atau perlu penyempurnaan pembesian yang ada maka :
    1. Kontraktor dapat menambah ekstra besi dengan tidak mengurangi pembesian yang tertera dalam gambar, secepatnya hal ini diberitahukan kepada Pengawas Lapangan untuk sekedar informasi.
    2. Jika hal tersebut di atas akan dimintakan oleh Kontraktor sebagai kerja tambah, maka penambahan tersebut hanya dapat dilakukan setelah ada persetujuan tertulis dari Perencana dan disetujui Pemberi Tugas.
    3. Jika diusulkan perubahan dari jalannya pembesian maka perubahan tersebut hanya dapat dijalankan dengan persetujuan tertulis dari Perencana.

       Mengajukan usul dalam rangka kejadian tersebut di atas adalah merupakan juga kewajiban bagi Kontraktor.

c. Jika Kontraktor tidak berhasil mendapatkan diameter besi yang sesuai dengan yang ditetapkan dalam gambar, maka dapat dilakukan penukaran diameter besi dengan diameter terdekat dengan syarat :
   1. Harus ada persetujuan dari Pengawas Lapangan.
   2. Jumlah luas besi tersebut tidak boleh kurang dari yang tertera dalam gambar.
   3. Penggantian tersebut tidak boleh mengakibatkan keruwetan pembesian di tempat tersebut atau di daerah overlapping yang dapat menyulitkan pembetonan atau penyampaian penggetar.

d. Toleransi Kualitas Besi :

Tabel 6.1. Toleransi Kualitas Besi

Diameter, ukuran sisi (atau jarak antara dua permukaan yang berlawanan)	Variasi dalam berat yang diperbolehkan	Toleransi diameter
Dibawah 10 mm	± 7 %	± 0,4 mm
10 mm sampai 16 mm (tapi tidak termasuk D 16 mm)	± 5 %	± 0,4 mm
16 mm sampai 28 mm	± 5 %	± 0,5 mm
29 mm dan 32 mm	± 4 %	-

6.1.10 Perawatan Beton

a. Beton harus dilindungi dari pengaruh panas, hingga tidak terjadi penguapan cepat.
b. Persiapan perlindungan atas kemungkinan datangnya hujan harus diperhatikan.

c. Beton harus dibasahi terus menerus selama minimal 10 hari sesudah pengecoran.

6.1.11 Tanggung Jawab Kontraktor

a. Kontraktor bertanggung jawab penuh atas kualitas konstruksi sesuai dengan ketentuan-ketentuan di atas dan sesuai dengan gambar-gambar konstruksi yang diberikan.

b. Adanya atau kehadiran Pengawas Lapangan selaku wakil Bouwher atau Perencana yang sejauh melihat/mengawasi/menegur atau memberi nasehat tidaklah mengurangi tanggung jawab penuh tersebut di atas.

c. Jika Pengawas Lapangan memberi ketentuan-ketentuan tambahan yang menyimpang dari ketentuan yang telah digariskan di atas atau yang telah tertera dalam gambar, maka ketentuan tambahan tersebut menjadi tanggung jawab Pengawas Lapangan, ketentuan tambahan ini harus dibuat secara tertulis.

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penempatan Tempat Evakuasi Vertikal (TES) direncanakan berdasarkan parameter waktu peringatan dan kemampuan kecepatan orang berjalan (lemah).
2. Untuk pembebanan gaya gempa, *framing type* yang digunakan adalah ***Sway Special*** dengan struktur kolom harus lebih kuat dibanding balok untuk menghindari tejadinya retak/gagal pada kolom. Sedangkan untuk pembebanan gaya tsunami, *framing type* yang digunakan adalah ***Sway Ordinary.***
3. Pembebanan akibat gaya gempa mempengaruhi banyaknya tulangan yang dipasang pada balok, terutama pada jarak tulangan sengkang yang lebih pendek dibanding dengan pembebanan akibat gaya tsunami. Perbandingan tulangan yang dipasang pada balok menurut pembebanan, dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 7.1. Perbandingan Tulangan Balok pada Pembebanan Gempa dan Tsunami

Tipe	Tulangan	GEMPA		TSUNAMI	
		Tulangan		Tulangan	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B1-25X60	Atas	6D19	2D19	6D19	4D19
	Bawah	3D19	6D19	4D19	6D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B2-25X50	Atas	5D19	2D19	5D19	3D19
	Bawah	3D19	5D19	3D19	5D19
	Sengkang	2D10-100	**2D10-100**	2D10-100	2D10-150
B3-40X40	Atas	**8D19**	**5D19**	2D19	2D19

	Bawah	**5D19**	**6D19**	2D19	2D19
	Sengkang	**4D10-75**	**2D10-100**	2D10-100	2D10-150
B4-30X40	Atas	2D19	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19	2D19
	Sengkang	2D10-100	**2D10-100**	2D10-100	2D10-150
B5-30X30	Atas	2D19	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	3D19	2D19	3D19
	Sengkang	2D10-100	**2D10-100**	2D10-100	2D10-150
BA1-25X40	Atas	6D19	2D19	6D19	2D19
	Bawah	2D19	3D19	4D19	4D19
	Sengkang	**2D10-75**	2D10-150	2D10-100	2D10-150
BA2-25X30	Atas	6D19	2D19	6D19	3D19
	Bawah	3D19	4D19	2D19	4D19
	Sengkang	**2D10-75**	2D10-150	2D10-100	2D10-150
BD1-25X70	Atas	2D19	2D19	2D19	2D19
	Bawah	2D19	3D19	2D19	3D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
BD2-25X60	Atas	6D19	2D19	5D19	3D19
	Bawah	3D19	6D19	3D19	5D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
BD3-30X30	Atas	3D19	2D19	4D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	3D19	2D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
BK1-30X30	Atas	4D19	4D19	3D19	2D19
	Bawah	2D19	2D19	2D19	2D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
BT1-50X90	Atas	4D19	2D19	6D19	3D19
	Bawah	2D19	4D19	4D19	4D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-100
BT2-40X80	Atas	6D19	2D19	4D19	3D19
	Bawah	4D19	4D19	3D19	4D19
	Sengkang	**2D10-75**	**2D10-100**	2D10-100	2D10-150
BT3-40X70	Atas	**9D19**	**9D19**	6D19	2D19
	Bawah	**4D19**	**4D19**	4D19	2D19
	Sengkang	**4D10-75**	**3D10-75**	2D10-100	2D10-150
BT4-50X60	Atas	**7D19**	**7D19**	3D19	2D19
	Bawah	**4D19**	**4D19**	2D19	3D19
	Sengkang	**3D10-75**	**3D10-75**	2D10-100	2D10-150

4. Dan untuk pembebanan akibat gaya tsunami sangat mempengaruhi banyaknya tulangan yang dipasang pada kolom yang menahan gaya tahanan debris atau hanyutan puing dan gaya tumbukan debris atau hanyutan puing. baik tulangan utama maupun jumlah dan jarak sengkang lapangan mempunyai tulangan yang lebih banyak dibandingkan dengan kolom yang menerima beban gempa. Perbandingan tulangan yang dipasang pada kolom menurut pembebanan, dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 7.2. Perbandingan Tulangan Kolom pada Pembebanan Gempa dan Tsunami

Tipe	GEMPA			TSUNAMI		
	Tulangan Kolom	Tulangan Sengkang		Tulangan Kolom	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan		Tumpuan	Lapangan
K1-100	16D25	**3D12-100**	2D12-150	16D25	2D12-100	2D12-150
K2-90	14D25	**2D12-75**	2D12-150	**26D25**	2D12-100	**4D12-50**
K3-80	12D25	2D12-100	2D12-150	12D25	2D12-100	2D12-150

5. Untuk Rencana Anggaran Biaya (RAB) per m^2 untuk gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami yaitu sebesar Rp 1.425.746,35.

7.2 Saran

1. Dalam mendesain struktur untuk gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami, tulangan yang dipasang diambil dari tulangan terbesar yang diperoleh akibat pembebanan gempa dan pembebanan tsunami. Hal ini untuk menjaga agar struktur gedung tetap berdiri/aman untuk tempat evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami.
2. Untuk pembebanan gempa walaupun KDS menunjuk kategori D *framing type* yang seharusnya digunakan adalah ***Sway Ordinary***, penggunaan tipe ini membuat struktur bersifat elastis yang hasilnya struktur tidak mengalami retakan apabila terjadi gempa, sehingga orang akan merasa aman apabila menempati gedung untuk menyelamatkan diri dari bahaya tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

Dewobroto, Wiryanto. 2005. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic 6.0.* Jakarta: Elex Media Komputindo.

Dewobroto, Wiryanto. 2013. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000.* Jakarta: Lumina Press.

Indarto H., Hanggoro, T.C.A., Putra, K.C.A., 2013, Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 for Dummies, *http://filebambangdewasa.wordpress.com*, Bambang Dewasa's Files.

Kusuma, Gideon dan Vis, W.C. 1993. *Dasar – Dasar Perencanaan Beton Bertulang berdasarkan SKSNI T15-1991-03*. Jakarta: Erlangga.

Kusuma, Gideon dan Vis, W.C, dan Andriaano, Takim. 1993. *Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.

BSN. 2012. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI-03-1726-2012)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

BSN. 2013. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. (SNI-03-2847-2013)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

BSN. 2013. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan Sruktur lain. (SNI-03-1727-2013)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Hidayat, Ashar. 2014. *Peta Bahaya Tsunami untuk Pesisir Cilacap dan Kebumen.* (sidasari-sidaurip.blogspot.com/2014/01/peta-bahaya-tsunami-untuk-pesisir.html)

BNPB. 2014. *Peta Tematik Banjir.* (http://geospasial.bnpb.go.id/category/peta-tematik/banjir/)