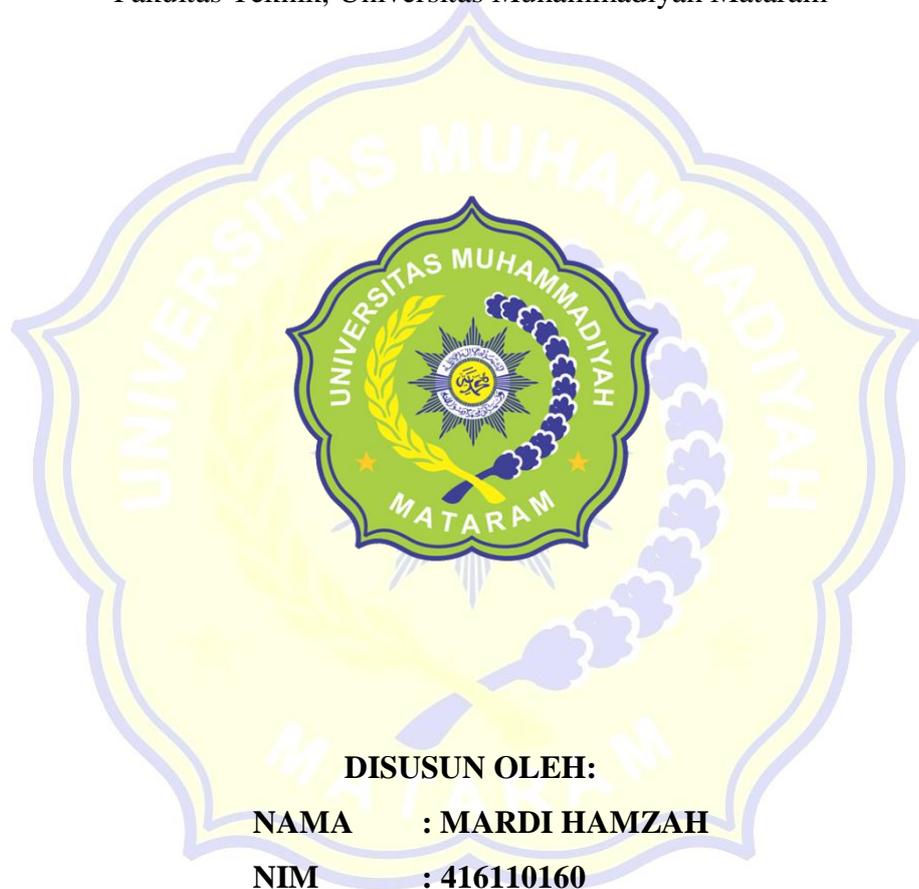


SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG PADA HOTEL AMARSVATI DENGAN MENGUNAKAN PELAT SISTEM BALOK GRID

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



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
SKRIPSI**

**PERENCANAAN ULANG PADA HOTEL AMRASVATI DENGAN
MENGUNAKAN PELAT SISTEM BALOK GRID**

Disusun Oleh:

MARDI HAMZAH

416110160

Mataram, 31 Januari 2022

Pembimbing I



Harivadi, ST., MSc.Eng., Dr.Eng.
NIDN. 0027107301

Pembimbing II



Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT.
NIDN. 0820098001

Mengetahui,

Universitas Muhammadiyah Mataram

Fakultas Teknik

Dekan,



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

NIDN.0824017501

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI**

**PERENCANAAN ULANG PADA HOTEL AMRASVATI DENGAN
MENGUNAKAN PELAT SISTEM BALOK GRID**

Disusun Oleh:

MARDI HAMZAH

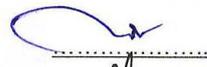
416110160

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada hari : *Senin, 31*, Januari 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

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

Mengetahui,

Universitas Muhammadiyah Mataram

Fakultas Teknik

Dekan,



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

NIDN.0824017501

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul “*Perencanaan Ulang Pada Hotel Amarsvati Dengan Menggunakan Pelat Sistem Balok Grid*” adalah benar merupakan karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat atau disebut *plagiatisme*.
2. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis dalam sumbernya secara jelas dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidak benaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Mataram, 08 Maret 2022

Pembuat Pernyataan

MARDI HAMZAH

NIM. 416110160



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT
Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME

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

Nama : MARDI HAMZAH
NIM : 416 110 160
Tempat/Tgl Lahir : MATARAM / 21 MARET 1996
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK
No. Hp : 085.961.439.986
Email : mardi21817@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/~~KTI~~^{Posis}* saya yang berjudul :

PERENCANAAN ULANG PADA HOTEL AMARSVATI DENGAN MENGGUNAKAN
PELAT SISTEM BALOK GRID.

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 50%

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

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

Mataram, Jumat, 4. Maret...2022
Penulis



MARDI HAMZAH
NIM. 416 110 160

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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

*pilih salah satu yang sesuai



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT
Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : MARDI..HAMZAH.....
NIM : A16.110.160.....
Tempat/Tgl Lahir : MATARAM / 21 MARET 1996.....
Program Studi : TEKNIK SIPIL.....
Fakultas : TEKNIK.....
No. Hp/Email : 085.961.434.986 / mard21817@gmail.com.....
Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

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

PERENCANAAN ULANG PADA HOTEL AMARSWATI DENGAN MENGGUNAKAN PELAT SISTEM BALOK GRID

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

Mataram, Jumat, 4 Maret...2022
Penulis



MARDI HAMZAH
NIM. A16 110 160

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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

MOTTO HIDUP

“Kamu tidak akan pernah bisa melakukan sesuatu jika kamu tidak percaya bahwa kamu bisa melakukannya”

“Kesempatan tidak datang dua kali, tapi kesempatan datang kepada orang yang tidak pernah menyerah”



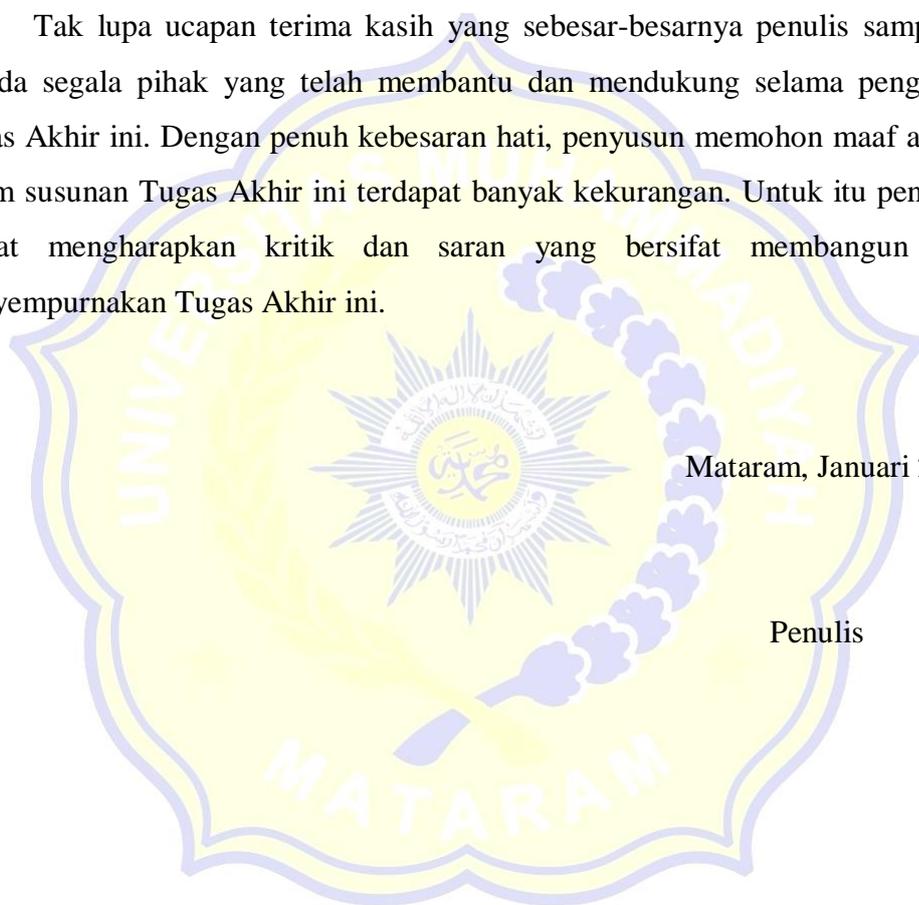
KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Ulang Pada Hotel Amarsvati Dengan Menggunakan Sistem Balok Grid” ini dapat diselesaikan sebagaimana mestinya. Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memenuhi jenjang pendidikan Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Tak lupa ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada segala pihak yang telah membantu dan mendukung selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Dengan penuh kebesaran hati, penyusun memohon maaf apabila dalam susunan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan. Untuk itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Mataram, Januari 2022

Penulis



UCAPAN TERIMA KASIH

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Drs. Arsyad Ghani,. Mpd, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. M. Islamy Rusyda,. ST,. MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Agustini Ernawati,. M.Tech, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi,. ST,. M.Sc., Eng, selaku Dosen Pembimbing I.
5. Maya Saridewi Pascanawaty,. ST,. MT, selaku Dosen Pembimbing II.
6. Ir. Isfanari, ST., MT, selaku Dosen Penguji.
7. Keluarga tersayang, Ayah ku tercinta yang selalu sabar mendukung dan mendoakan dalam kondisi apapun, serta kakak ku, Fikri dan Vian yang membantu membiayai kuliah.
8. Teman-teman seperjuangan selama kuliah, Dimas, Suhaeli, Farhan, Bang Yusran, Mbak Oci, Bang Syifa, Bayu, Nanang. Terima kasih untuk semua bantuan dan dukungannya.
9. Kekasih ku tersayang, Olivia Nissa Baby Ashar, ST. Terimakasih selalu sabar menunggu dan setia menemani, semoga kita tetap bisa bersama sampai menuju ke pelaminan.
10. Rekan-rekan MUTIP-1, Pak Edwin dan Mas Rian, yang selalu memberikan dukungan dan semangat, Mas Deva yang telah banyak membantu dalam persiapan seminar dan sidang skripsi, Mas Loudry dan Angela yang membantu dalam proses translate abstrak, dan masih banyak pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala bantuan dan dukungannya, dalam usaha penyusun menyelesaikan Tugas Akhir ini.

ABSTRAK

Pembangunan gedung bertingkat di Pulau Lombok semakin meningkat dengan pesat, selain itu sempitnya lahan pada pembangunan gedung membuat kebanyakan gedung memilih pengembangan bangunan arah vertikal agar lebih efisien dari aspek ketersediaan lahan. Dari seluruh pelaksanaan konstruksi gedung yang ada masih menggunakan sistem struktur seperti pada umumnya, salah satunya adalah sistem struktur pelat dengan penumpu balok. Pada dasarnya pemilihan sistem struktur haruslah sesuai dengan kebutuhan dan keadaan lokasi perencanaan pembangunan suatu gedung. Pada daerah Pulau Lombok dengan wilayah gempa 4 dibutuhkan suatu sistem struktur yang memiliki kekakuan pelat yang cukup besar guna menghindari pengaruh getaran gempa terhadap keamanan suatu struktur. Solusi sistem struktur yang tepat untuk mengatasi permasalahan ini adalah penggunaan sistem struktur grid. Struktur grid mempunyai sifat pendistribusian beban pada dua arah yang seimbang, hal ini dikarenakan bentuknya yang beraturan dan seragam.

Dalam perancangan kali ini dilakukan redesain pada gedung Hotel Amarsvati untuk mendapatkan ruangan yang lebih luas tanpa mengubah desain awal atau bangunan eksisting. Dengan menggunakan sistem balok grid, bentangan pelat didesain lebih luas dengan mengurangi jumlah kolom. Sehingga gedung dapat berfungsi dengan lebih baik sebagai gedung hotel yang membutuhkan ruangan yang luas. Selain itu, dengan menggunakan sistem balok grid maka penggunaan plafond tidak dibutuhkan. Untuk memudahkan perancangan, digunakan *software* ETABS V9.6.0 dalam membantu pemodelan struktur, pembebanan struktur, dan menganalisa gaya dalam struktur. Beban yang bekerja pada gedung terdiri dari beban statis, yaitu beban hidup dan beban mati, serta beban dinamis, yaitu beban gempa.

Berdasarkan hasil analisa dengan sistem balok grid ini, diperoleh pelat dengan bentang yang lebih luas dengan kekakuan yang lebih besar, karena balok grid berperan sebagai jaringan balok anakan. Tebal pelat dikurangi dari 120 mm menjadi 70 mm dengan tulangan D10. Balok grid yang digunakan berbentuk trapesium dengan tulangan utama D18 dan tulangan sengkang P10. Balok utama dan kolom menggunakan tulangan utama D25 dengan tulangan sengkang P12 untuk balok utama, dan D12 untuk kolom. Kemudian pondasi didesain menggunakan *pile cap* berdimensi 5,5×5,5×1,1 m dengan *bore pile* berdiameter 0,5 m berjumlah maksimum 16 tiang di setiap kolom, dan dibor sampai kedalaman 30 m.

Kata kunci : Balok grid, Pelat, Amarsvati

ABSTRACT

On the island of Lombok, the construction of high-rise buildings is fast increasing. In addition to the limited availability of land for building construction, most buildings prefer to develop vertically to maximize the use of available land. The structural system, the slab structure system with supporting beams, is widely employed among all existing building construction implementations. When choosing a structural system, the needs and conditions of the planning location for constructing a structure must be considered. A structural system with a sufficiently large plate stiffness is required To eliminate the influence of earthquake vibrations on the structural safety of a structure on Lombok Island, which has an earthquake area of 4. A grid structure system is the best structural system to solve this problem. The grid layout distributes loads evenly in both directions. It's because of its regular and consistent shape. The Amarsvati Hotel was remodeled to provide larger rooms while maintaining the original form and structure. The slab span has been lengthened. A grid beam system is used to reduce the number of columns. In addition, a grid beam design eliminates the need for a ceiling. A hotel with a large footprint would be a better fit for the structure. By simplifying the design process, the ETABS V9.6.0 program aids structural modeling, structural loading, and force analysis. The structure is affected by static loads such as live and dead loads and dynamic loads such as seismic loads. The grid beams used were trapezoidal grid beams with D18 primary reinforcement and P10 stirrup reinforcement. The main beam is reinforced with D25 major reinforcement with P12 hoop reinforcement, while the column is reinforced with D12. Using this grid beam system, the study results in a slab with a larger span and better rigidity since the grid beam serves as a network of tillers. With D10 reinforcement, the plate thickness was lowered from 120 to 70 mm. The foundation is then designed with a pile cap with dimensions of 5.5x5.5x1.1 m, a bore pile diameter of 0.5 m, and a maximum of 16 piles per column drilled to a depth of 30 m.

Keywords : Grid beam, Plate, Amarsvati



DAFTAR ISI

| | |
|------------------------------------------------|-------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS | iv |
| SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME | v |
| SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | vi |
| MOTTO HIDUP | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| UCAPAN TERIMAKASIH | ix |
| ABSTRAK | x |
| ABSTRACT | xi |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR NOTASI | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 2 |
| 1.5 Lingkup Pembahasan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Tinjauan Umum | 4 |
| 2.2 Sistem Balok Grid | 5 |
| 2.2.1 Pengertian balok grid | 5 |
| 2.2.2 Kelebihan balok grid | 7 |
| 2.3 Pembebanan | 8 |
| 2.3.1 Ketentuan perencanaan pembebanan | 8 |
| 2.3.2 Kriteria Pembebanan | 8 |

| | |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.3 Arah beban gempa | 25 |
| 2.3.4 Kombinasi beban terfaktor | 27 |
| 2.4 Simpangan Antar Lantai Ijin | 27 |
| 2.5 Faktor Reduksi Kekuatan | 28 |
| 2.6 Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang | 29 |
| 2.6.1 Asumsi Perencanaan | 29 |
| 2.7 Pelat Lantai Konvensional | 30 |
| 2.7.1 Persyaratan struktural pelat lantai | 33 |
| 2.8 Balok | 39 |
| 2.8.1 Rasio Tulangan (ρ) | 40 |
| 2.8.2 Distribusi regangan dan tegangan balok | 41 |
| 2.8.3 Momen nominal dan rencana balok | 42 |
| 2.8.4 Konstruksi balok T | 42 |
| 2.8.5 Penulangan geser dan torsi balok | 44 |
| 2.9 Kolom | 45 |
| 2.9.1 Batas komponen tulangan struktural | 46 |
| 2.9.2 Panjang tekuk kolom | 46 |
| 2.9.3 Perencanaan kolom | 47 |
| 2.9.4 Kolom pendek | 49 |
| 2.9.5 Kolom panjang | 51 |
| 2.9.6 Penulangan geser kolom | 52 |
| 2.10 Pondasi | 53 |
| 2.10.1 Daya dukung <i>bore pile</i> | 54 |
| 2.10.2 Kontrol gaya geser dua arah (Geser pons) | 56 |
| BAB III METODE PERENCANAAN | 57 |
| 3.1 Deskripsi Model Struktur | 57 |
| 3.2 Pengumpulan data | 59 |
| 3.2.1 Data umum bangunan | 59 |
| 3.2.2 Data bahan | 60 |
| 3.2.3 Data tanah | 60 |
| 3.2.4 Pembebanan | 61 |

| | |
|---------------------------------------------------|------------|
| 3.2.5 Analisa struktur dengan ETABS V9.6.0 | 62 |
| 3.3 Perencanaan Struktur | 62 |
| 3.3.1 Perencanaan pelat | 62 |
| 3.3.2 Perencanaan balok grid | 62 |
| 3.3.3 Perencanaan kolom | 63 |
| 3.3.4 Perencanaan pondasi | 63 |
| 3.4 Bagan Alir Perencanaan Struktur | 63 |
| BAB IV HASIL ANALISA DAN PERANCANGAN | 65 |
| 4.1 Umum | 65 |
| 4.2 Desain Eksisting | 65 |
| 4.3 Data Masukan | 65 |
| 4.3.1 Model struktur | 65 |
| 4.3.2 Material struktur | 67 |
| 4.3.3 Dimensi komponen struktur | 67 |
| 4.3.4 Pembebanan struktur | 73 |
| 4.4 Perancangan Struktur | 73 |
| 4.4.1 Pelat Lantai | 73 |
| 4.4.3 Sambungan balok-kolom | 131 |
| 4.4.4 Pondasi | 134 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 151 |
| 5.1 Kesimpulan | 151 |
| 5.2 Saran | 152 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN 1 | |
| LAMPIRAN 2 | |
| LAMPIRAN 3 | |

DAFTAR GAMBAR

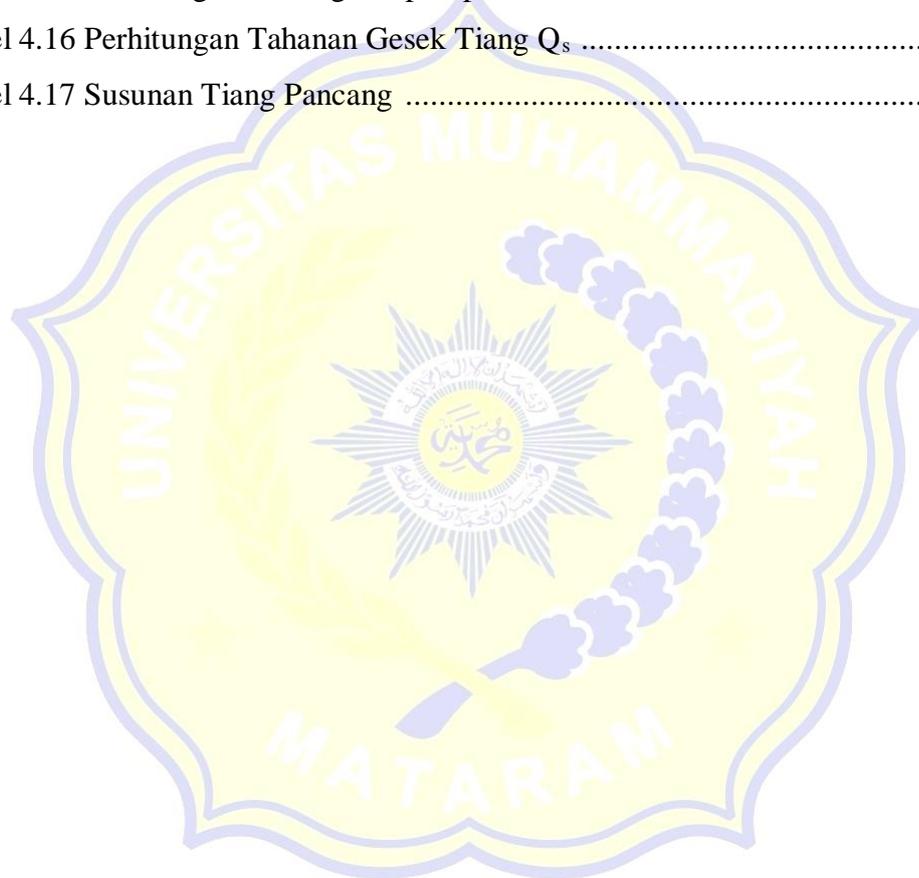
| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1. Perilaku Grid Kompleks | 4 |
| Gambar 2.2. Berbagai struktur pelat lantai | 5 |
| Gambar 2.3. Sistem grid persegi | 6 |
| Gambar 2.4. Sistem grid miring | 6 |
| Gambar 2.5. Sistem grid majemuk | 7 |
| Gambar 2.6. Distribusi Tekanan Hidrodinamik Impulsif | 11 |
| Gambar 2.7. Distribusi Tekanan Hidrodinamik Konvektif | 12 |
| Gambar 2.8. Distribusi Tekanan Inersia Dinding | 12 |
| Gambar 2.9. Spektrum Respon Desain | 27 |
| Gambar 2.10. Jenis – Jenis Pelat | 39 |
| Gambar 2.11. Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Bertulangan Rangkap | 46 |
| Gambar 2.12. Bagian Tekan pada Balok T | 47 |
| Gambar 2.13. Diagram Tegangan dan Regangan Kolom | 50 |
| Gambar 2.14. Tegangan Gaya – Gaya Kolom | 54 |
| Gambar 3.1. Lokasi Hotel Amarsvati | 61 |
| Gambar 3.2. Tampak 3D Hotel Amarsvati | 62 |
| Gambar 3.3. Denah Lantai 1 | 62 |
| Gambar 3.4. Denah Lantai 2 – 11 | 62 |
| Gambar 3.5. Denah Lantai 12 | 63 |
| Gambar 3.6. Denah Lantai 13 | 63 |
| Gambar 3.7. Denah Lantai Atap | 63 |
| Gambar 3.8. Bagan Alir Perencanaan Struktur | 69 |
| Gambar 4.1. Denah Balok Grid Pelat Lantai Tipe H | 70 |
| Gambar 4.2. Balok Induk Dimensi 300x600 dan 500x1000 | 73 |
| Gambar 4.3. Balok Grid Dimensi 150x300 | 73 |
| Gambar 4.4. Balok Dimensi 300x650 dan 200x400 | 73 |
| Gambar 4.5. Kolom A Dimensi 800x1200, 700x1100, 550x1000 | 74 |
| Gambar 4.6. Kolom B Dimensi 700x1200, 600x1100, 450x1000 | 75 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.7. Segmen Dari Pelat Tipe H dengan Balok Grid | 75 |
| Gambar 4.8. Penempatan Tulangan Pelat Lantai | 78 |
| Gambar 4.9. Penulangan Pelat Lantai | 82 |
| Gambar 4.10. Distribusi Beban Amplop Pelat pad Balok Grid | 84 |
| Gambar 4.11. Balok A arah x | 87 |
| Gambar 4.12. Balok A arah y | 88 |
| Gambar 4.13. Penulangan Balok Grid | 94 |
| Gambar 4.14. Portal yang Ditinjau | 96 |
| Gambar 4.15. Letak Beban Terpusat dan Momen pada Portal Y | 96 |
| Gambar 4.16. Pembebanan Pada Portal | 99 |
| Gambar 4.17. Beban Merata | 103 |
| Gambar 4.18. Input Otomatis Kurva Respon Spektrum dengan <i>Spectrum From File</i> | 113 |
| Gambar 4.19. Hasil Uji N_{SPT} Sampai Kedalaman 30 m | 138 |
| Gambar 4.20. Jumlah Tiang Pancang yang Digunakan | 142 |
| Gambar 4.21. Tinjauan Geser Arah X | 144 |
| Gambar 4.22. Tinjauan Geser Arah Y | 145 |
| Gambar 4.23. Daerah Geser Pons | 147 |

DAFTAR TABEL

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan Komponen Gedung | 9 |
| Tabel 2.2 Berat Sendiri Untuk Komponen Gedung | 9 |
| Tabel 2.3 Respon Modifikasi Faktor | 15 |
| Tabel 2.4 Beban Hidup Pada Lantai Gedung | 15 |
| Tabel 2.5 Koefisien Reduksi Beban Hidup | 17 |
| Tabel 2.6 Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif | 18 |
| Tabel 2.7 Koefisien Angin | 19 |
| Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung | 21 |
| Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa | 23 |
| Tabel 2.10 Klasifikasi Situs | 23 |
| Tabel 2.11 Koefisien Situs Fa | 25 |
| Tabel 2.12 Koefisien Situs Fv | 26 |
| Tabel 2.13 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode Pendek | 29 |
| Tabel 2.14 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode 1 Detik | 29 |
| Tabel 2.15 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa | 30 |
| Tabel 2.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan X | 31 |
| Tabel 2.17 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) | 34 |
| Tabel 2.18 Simpangan Antar Lantai Ijin Δ_a | 35 |
| Tabel 2.19 Tebal Minimum Pelat | 40 |
| Tabel 2.20 Batasan Lendutan | 40 |
| Tabel 2.21 Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu | 41 |
| Tabel 2.22 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Dalam | 42 |
| Tabel 4.1 Distribusi Beban Pelat Lantai pada Balok Grid | 85 |
| Tabel 4.2 Distribusi Beban Pelat Atap pada Balok Grid | 95 |
| Tabel 4.3 Beban Terpusat Akibat Balok Grid (Pelat Lantai) | 97 |
| Tabel 4.4 Beban Momen Akibat Balok Grid (Pelat Lantai) | 97 |
| Tabel 4.5 Beban Terpsat Akibat Balok Grid (Pelat Atap) | 98 |
| Tabel 4.6 Beban Momen Akibat Balok Grid (Pelat Atap) | 98 |
| Tabel 4.7 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan X | 110 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 4.8 Koefisien C_u yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental | 110 |
| Tabel 4.9 Gaya Lateral Tiap Lantai | 112 |
| Tabel 4.10 Gaya Lateral Gempa Statik Ekuivalen (F_i) untuk Setiap Arah | 112 |
| Tabel 4.11 Perhitungan Selisih Periode (ΔT) setiap Mode | 114 |
| Tabel 4.12 Jumlah Partisipasi Massa Mode 18 (lebih dari 90%) | 115 |
| Tabel 4.13 Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik | 115 |
| Tabel 4.14 Perhitungan φ' | 140 |
| Tabel 4.15 Perhitungan $K_d \cdot T_g \delta$ tiap Lapisan | 140 |
| Tabel 4.16 Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Q_s | 140 |
| Tabel 4.17 Susunan Tiang Pancang | 143 |

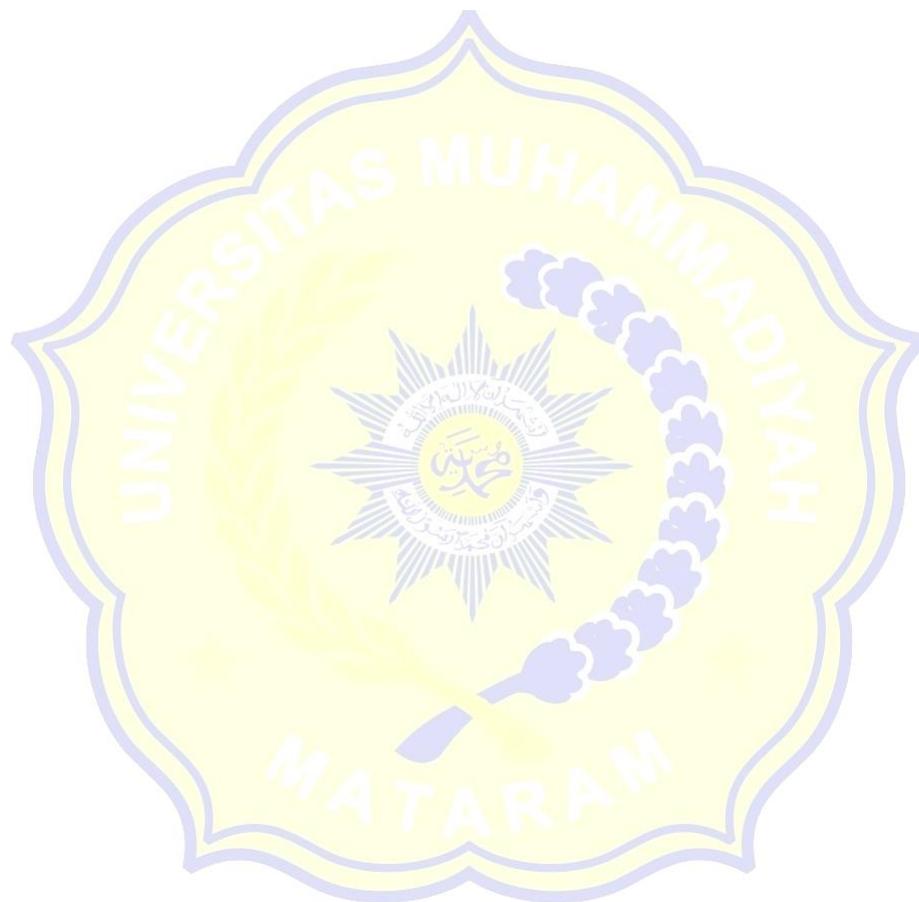


DAFTAR NOTASI

| | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|
| A_b | : Luas penampang ujung bawah, (mm^2) |
| A_{cp} | : Luas penampang keseluruhan, (mm^2) |
| A_g | : Luas bruto penampang, (mm^2) |
| A_L | : Luas tulangan torsi memanjang, (mm^2) |
| A_s | : Luas tulangan tarik, (mm^2) |
| A'_s | : Luas tulangan tekan, (mm^2) |
| A | : Luas kelompok tiang pancang, (cm^2) |
| a | : Tinggi blok tegangan tekan ekivalen, (mm) |
| b | : lebar kelompok tiang pancang, (cm) |
| b_f | : Lebar efektif flens balok T, (mm) |
| b_w | : Lebar penampang komponen struktur, (mm) |
| C_c | : Gaya tekan beton, (kN) |
| C_t | : Faktor yang menghubungkan sifat tegangan geser |
| c | : Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, (mm) |
| c_b | : Kohesi tanah di sekitar ujung tiang, (kN/m^3) |
| D | : Beban mati, (kN/m^2) |
| d | : Tinggi efektif penampang, (mm) |
| d | : Diameter tiang pancang, (mm) |
| d_b | : Diameter batang tulangan, (mm) |
| d_s' | : Jarak antara titik berat tulangan tekan dan tepi serat beton tekan, (mm) |
| E | : Beban gempa, (kN/m^2) |
| e | : Eksentrisitas pada kolom, (mm) |
| f_c | : Kuat tekan beton, (MPa) |
| f_s' | : Tegangan tekan baja tulangan, (MPa) |
| f_y | : Kuat leleh baja, (Mpa) |
| h | : Tinggi penampang komponen struktur, (mm) |
| k_{lu} | : Faktor panjang efektif kolom |
| L | : Beban hidup, (kN/m^2) |
| L_r | : Beban hidup yang telah direduksi, (kN/m^2) |

- l : Panjang tiang yang berada dalam tanah, (cm)
 l_n : Bentang bersih yang diukur dari muka tumpuan ke tumpuan, (mm)
 M_{Cc} : Momen akibat kuat tekan flens beton, (kN.m)
 M_n : Momen nominal penampang, (kN.m)
 M_{nc} : Momen nominal penampang dengan kondisi tekan, (kN.m)
 M_{ns} : Momen nominal penampang dengan kondisi tarik, (kN.m)
 M_r : Momen nominal penampang tereduksi, (kN.m)
 N_c : Faktor daya dukung dari grafik *Skempton*
 n : Jumlah tiang pancang
 P_b : Tekanan *overburden* ujung tiang, (kN/m²)
 P_n : Kuat aksial nominal penampang, (kN)
 p : Nilai konus dari hasil sondir, (kg/cm²)
 p_{cp} : Keliling penampang keseluruhan, (mm)
 Q_{pg} : Daya dukung kelompok tiang, (kg)
 Q_s : Daya dukung tiang pancang tunggal, (kg)
 Q_t : Daya dukung keseimbangan pada kelompok tiang, (kg)
 Q_{tiang} : Daya dukung kesetimbangan tiang, (kg)
 R : Beban hujan, (kN/m²)
 r : Radius girasi
 T_c : Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton, (kN)
 T_s : Gaya beton tarik, (kN)
 T_u : Momen torsi terfaktor pada penampang, (kN.m)
 V_c : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, (kN)
 y : Lebar kelompok tiang pancang, (cm)
 α_f : Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat
 α_{fm} : Nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel
 β : Rasio dimensi panjang terhadap pendek dari dua sisi pelat
 β_1 : Faktor yang dipengaruhi kuat tekan beton
 ρ : Rasio tulangan aktual
 ρ_b : Rasio tulangan penampang kondisi *balance*

- ρ_{\max} : Rasio tulangan maksimum yang diijinkan
 ρ_{\min} : Rasio tulangan minimum yang diijinkan
 λ : faktor modifikasi
 Δ : defleksi, (mm)
 ϕ : Faktor reduksi kekuatan
 Ψ : Faktor kekangan ujung



BAB I

PENDAHULUAN

2.1 Latar Belakang

Pembangunan gedung bertingkat di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat semakin meningkat begitu pesat, banyak sekali ditemukan bangunan bertingkat bahkan di pinggir pantai sekalipun, hal ini dikarenakan Pulau Lombok menjadi salah satu destinasi wisata yang cukup indah dan menarik bagi turis lokal maupun turis dari luar negeri, selain itu kurangnya ketersediaan lahan pada pembangunan gedung membuat kebanyakan gedung memilih pengembangan bangunan arah vertikal agar lebih efisien dari aspek ketersediaan lahan dan ekonomi. Dari seluruh pelaksanaan konstruksi gedung yang ada masih menggunakan sistem struktur gedung pada umumnya.

Salah satu sistem struktur gedung yang digunakan adalah sistem struktur pelat dengan penumpu balok, pelat merupakan salah satu bidang datar yang memikul beban berupa beban statis dan dinamis yang dipengaruhi oleh luas bidang pelat. Pada dasarnya, pemilihan sistem struktur haruslah sesuai dengan kebutuhan dan situasi lokasi perencanaan pembangunan suatu gedung. Pada daerah Pulau Lombok dengan wilayah gempa 4 dibutuhkan suatu sistem struktur yang memiliki kekakuan pelat yang cukup besar guna menghindari pengaruh getaran gempa terhadap keamanan suatu struktur.

Salah satu solusi sistem struktur yang tepat untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan sistem pelat struktur balok grid, dimana struktur ini sangat efektif digunakan pada bangunan dengan bentang lebar. Struktur grid ini mempunyai sifat pendistribusian beban pada dua arah yang seimbang, hal ini dikarenakan bentuknya yang beraturan dan seragam. Sehingga dalam perencanaan kali ini, gedung Hotel Amarsvati akan dibangun menggunakan sistem struktur grid sebagai penyangga yang mendistribusikan beban pada dua arah yang seimbang.

2.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam perencanaan ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur gedung hotel bentang lebar dengan menggunakan sistem balok grid.
2. Bagaimana menerapkan peraturan perencanaan gedung sesuai dengan aturan SNI yang berlaku.
3. Bagaimana pemodelan dan analisa struktur dengan menggunakan *software* ETABS V9.6.0.
4. Bagaimana mengaplikasikan hasil perencanaan dan perhitungan dalam bentuk gambar dengan *software* AutoCAD.

2.3 Tujuan

Adapun tujuan dalam perencanaan ini, antara lain :

1. Dapat merencanakan struktur gedung hotel bentang lebar dengan menggunakan sistem balok grid.
2. Dapat menerapkan peraturan perencanaan gedung sesuai dengan aturan SNI yang berlaku.
3. Dapat merencanakan pemodelan dan analisa struktur dengan menggunakan *software* ETABS V9.6.0.
4. Dapat mengaplikasikan hasil perencanaan dan perhitungan dalam bentuk gambar dengan *software* AutoCAD.

2.4 Manfaat

Pada umumnya struktur grid biasanya menggunakan bahan dari konstruksi beton bertulang, dengan ketebalan pelat yang relatif kecil dan dengan pemakaian tulangan yang lebih hemat. Beberapa keuntungan menggunakan sistem grid antara lain :

1. Mempunyai kekakuan yang besar, terutama pada bangunan bentang lebar, sehingga dapat memberikan kekakuan arah horizontal yang lebih besar pada portal bangunannya.

2. Mempunyai bentuk yang beraturan dan seragam dengan berbagai variasi dan cetaknya dapat digunakan berkali-kali.
3. Dapat mendistribusikan beban dan momen pada kedua arah bentangnya secara merata, dengan ukuran modul grid yang dapat dikembangkan sebagai kelipatan dari bentang kolom-kolomnya.
4. Mempunyai sifat fleksibilitas ruang yang cukup tinggi dan simple, sehingga lebih mudah dalam mengikuti pembagian panel-panel eksterior maupun partisi interiornya.
5. Pada sistem struktur grid ini, penggunaan kolom dapat diminimalisir sehingga didapatkan ruang yang lebih luas.

2.5 Lingkup Pembahasan

Adapun dasar analisa yang digunakan pada perancangan pelat lantai dengan balok grid adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan meliputi seluruh komponen struktur gedung dengan penekanan pada struktur grid untuk pelat lantainya.
2. Pembebanan dihitung berdasarkan SNI-1727-2019 dan untuk perencanaan struktur beton berdasarkan SNI-2847-2019.
3. *Software* pemodelan struktur menggunakan program ETABS V9.6.0 dan untuk menggambar hasil desain dengan program AutoCad.

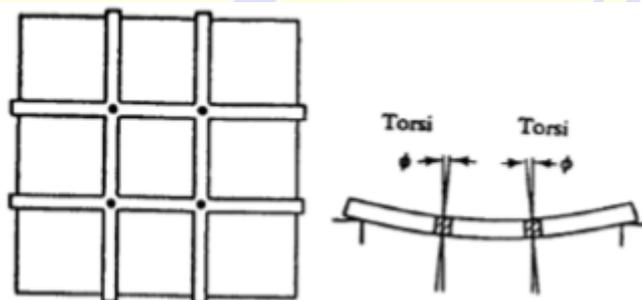
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Tinjauan Umum

Pelat lantai pada bangunan bertingkat merupakan bagian dari struktur yang dipasang mendatar dan berfungsi sebagai tumpuan/pijakan bagi penghuni yang ada di atasnya. Pelat lantai pada umumnya memiliki ketebalan yang ukurannya relatif kecil apabila dibandingkan dengan panjang bentangnya, sehingga kekakuan yang dimiliki pelat sangat kurang. Sifat kaku yang kurang ini dapat mengakibatkan lendutan pada pelat menjadi besar (Puspantoro, 1993).

Pada grid yang lebih kompleks, semua elemen berperan dalam menahan beban dengan memberikan kombinasi kekuatan lentur dan kekuatan torsinya (Schodek, 1991). Perhatikan bahwa apabila struktur balok tersebut terletak secara sederhana dan tidak saling berhubungan secara kaku, rotasi lentur suatu elemen struktur tidak dapat menimbulkan torsi pada elemen struktur yang lainnya. Sehingga, tidak ada penambahan kekakuan menyeluruh yang dapat diberikan dengan aksi torsi. Jadi jelaslah bahwa lendutan pada struktur grid yang terhubung secara kaku akan lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur grid yang terhubung secara sederhana. Dapat dilihat pada Gambar 2.1.



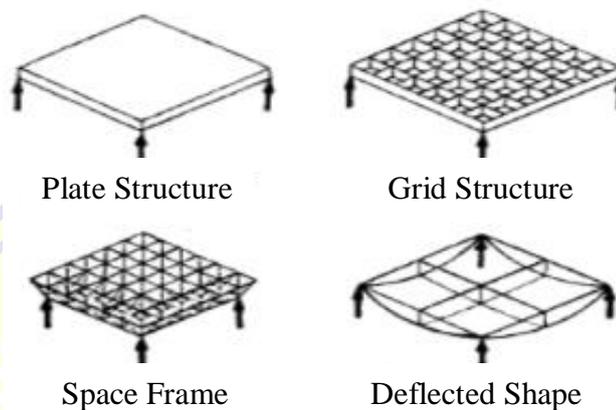
Gambar 2.1 Perilaku Grid Kompleks

Sumber : Schodek, 1998

3.2 Sistem Balok Grid

3.2.1 Pengertian balok grid

Dari bentuk dan sistem balok silang yang membentuk segmen-segmen wafel, maka pelat dengan sistem grid mempunyai kekakuan yang lebih besar jika dibandingkan dengan pelat datar biasa. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Perbedaan antara sistem grid dengan pelat datar dan sistem rangka ruang.



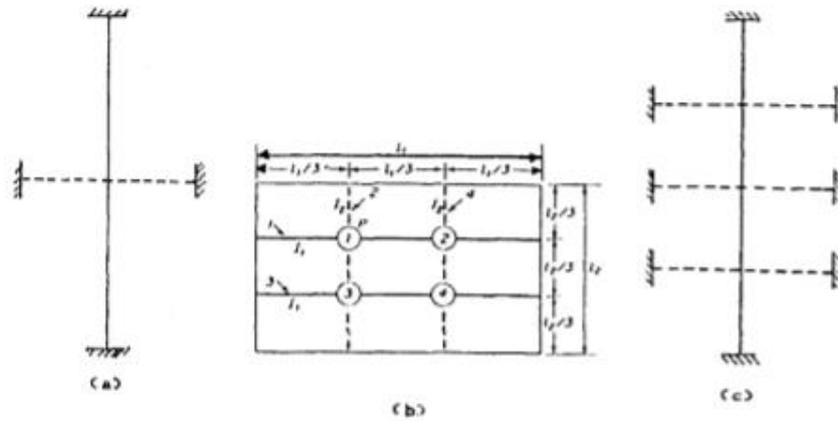
Gambar 2.2 Berbagai struktur pelat lantai

Sumber : Puspantoro, 1993

Dari bentuk dan posisi silang baloknya, struktur grid dapat dibedakan menjadi beberapa sistem, yaitu sistem grid persegi, sistem grid miring/diagonal dan sistem grid majemuk.

3.2.1.1 Sistem grid persegi

Sistem grid ini terbentuk oleh dua buah balok yang saling bersilangan tegak lurus terhadap satu sama lain. Dapat terdiri dari hanya satu balok atau lebih, yang mempunyai sifat utama yaitu mendistribusikan beban dalam dua arah atau lebih. Bentuknya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



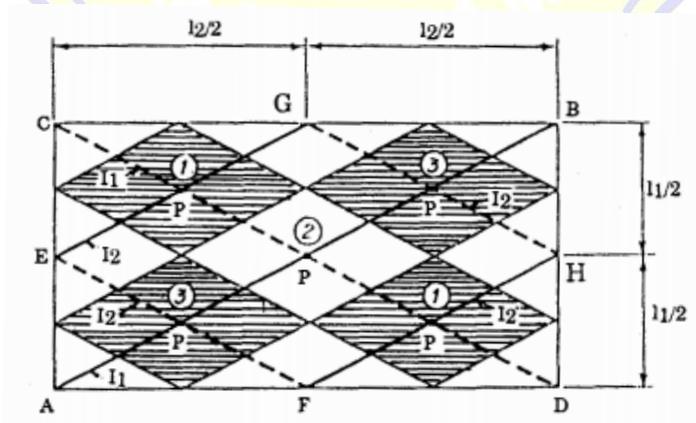
Gambar 2.3 Sistem grid persegi

Sumber : Puspantoro, 1993

Balok 1 (garis penuh) terletak di atas balok 2 (garis putus-putus). Kedua balok dapat memiliki panjang yang sama atau berbeda (l_1 , l_2). Beban bekerja pada titik silang pertemuan kedua balok. Pada balok atas bekerja gaya (P-X) sedang pada balok bawah bekerja gaya X.

3.2.1.2 Sistem grid miring/diagonal

Pada sistem ini, arah balok tidak saling tegak lurus, tetapi miring sehingga membentuk diagonal yang saling berpotongan. Balok-balok diagonal ini walaupun mempunyai panjang yang tidak seragam, tetapi biasanya mempunyai panjang bentang yang sebanding. Dapat dilihat pada gambar 2.4.



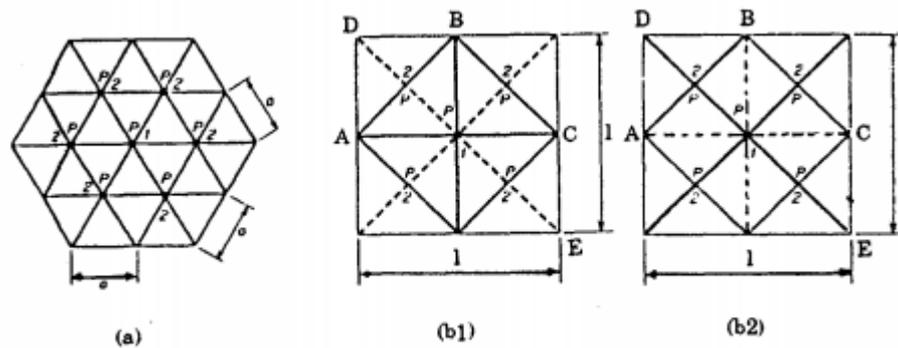
Gambar 2.4 Sistem grid miring

Sumber : Puspantoro, 1993

Balok-balok dengan bentang lebih pendek yang mempunyai kekakuan lebih besar, diasumsikan dapat mendukung balok-balok dengan bentang yang lebih besar. Beban dianggap sebagai beban titik yang bekerja pada titik pertemuan masing-masing balok diagonal.

3.2.1.3 Sistem grid majemuk

Pada sistem grid majemuk satu titik tumpul dapat dilewati oleh lebih dari satu balok atas atau balok bawah. Dengan demikian beban terpusat yang bekerja pada titik simpul akan menjadi P/n untuk masing-masing balok (n = jumlah balok atas yang melewati titik simpul tersebut). Dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sistem grid majemuk

Sumber : Puspantoro, 1993

Pada Gambar 2.5(a) dapat dilihat bahwa pada titik 1 terdapat pertemuan tiga balok. Jadi masing-masing balok mendukung beban sebesar $P/3$. Pada titik 2 ada dua balok dengan panjang $3a$ dan satu balok dengan panjang $4a$. Untuk analisisnya, balok dengan panjang $4a$ adalah balok atas, sedang balok dengan panjang $3a$ merupakan balok bawah.

3.2.2 Kelebihan balok grid

Beberapa keuntungan dari sistem grid ini adalah :

- a) Mempunyai kekakuan yang besar, terutama pada bangunan bentang lebar, sehingga dapat memberikan kekakuan arah horizontal yang lebih besar pada portal bangunannya.

- b) Mempunyai bentuk yang seragam dengan berbagai variasi dan cetakannya dapat digunakan berkali-kali.
- c) Dapat mendistribusikan beban dan momen pada kedua arah bentangnya secara merata dengan ukuran modul grid yang dapat dikembangkan sebagai kelipatan dari bentang kolom-kolomnya.
- d) Mempunyai sifat fleksibilitas ruang yang cukup tinggi dan simple sehingga lebih mudah dalam mengikuti pembagian panel-panel eksterior maupun partisi interiornya.
- e) Pada sistem struktur grid ini, penggunaan jumlah kolom dapat diminimalisir sehingga memberikan ruang yang lebih luas.

Untuk menganalisa struktur grid ini ada dua metode yaitu metode gaya dan metode kekakuan. Metode gaya dapat diselesaikan dengan bantuan tabel Makowsky sehingga pengerjaannya menjadi lebih sederhana, sedangkan analisa dengan menggunakan metode kekakuan mempunyai langkah yang lebih panjang dan diperlukan pengetahuan tentang aljabar linier matrix dan teori elastisitas.

3.3 Pembebanan

3.3.1 Ketentuan perencanaan pembebanan

Dalam perencanaan hotel Amarsvati ini digunakan beberapa acuan standar pembebanan sebagai berikut :

- a. Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain SNI-1727-2018.
- b. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI-1726-2019.
- c. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung – 1983.

3.3.2 Kriteria pembebanan

Dalam merencanakan suatu struktur gedung, maka perhitungan mengenai beban yang bekerja pada struktur tersebut harus sesuai dengan peraturan atau standar yang berlaku. Berdasarkan SNI-1727-2018 dan SNI-1726-2019, pada struktur gedung perlu direncanakan juga kekuatannya terhadap kombinasi dari beban-beban yang terdapat dalam tabel 2.1 dan tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan Komponen Gedung

| No. | Bahan bangunan | Beban | Satuan |
|-----|-------------------------------------------------------|-------|-------------------|
| 1 | Baja | 7,85 | kg/m ³ |
| 2 | Batu alam | 2,6 | kg/m ³ |
| 3 | Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk) | 1,5 | kg/m ³ |
| 4 | Batu karang (berat tumpuk) | 700 | kg/m ³ |
| 5 | Batu pecah | 1,45 | kg/m ³ |
| 6 | Besi tuang | 7,25 | kg/m ³ |
| 7 | Beton | 2,2 | kg/m ³ |
| 8 | Beton bertulang | 2,4 | kg/m ³ |
| 9 | Kayu (Kelas I) | 1 | kg/m ³ |
| 10 | Kerikil koral (kering udara lembab tanpa diayak) | 1,65 | kg/m ³ |
| 11 | Pasangan bata merah | 1,7 | kg/m ³ |
| 12 | Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung | 2,2 | kg/m ³ |
| 13 | Pasangan batu cetak | 2,2 | kg/m ³ |
| 14 | Pasangan batu karang | 1,45 | kg/m ³ |
| 15 | Pasir (kering udara sampai lembab) | 1,6 | kg/m ³ |
| 16 | Pasir (jenuh air) | 1,8 | kg/m ³ |
| 17 | Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab) | 1,85 | kg/m ³ |
| 18 | Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab) | 1,7 | kg/m ³ |
| 19 | Tanah, lempung dan lanau (basah) | 2 | kg/m ³ |
| 20 | Tanah hitam | 11,4 | kg/m ³ |

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – 1983

Tabel 2.2 Berat Sendiri Untuk Komponen Gedung

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – 1983

3.3.2.1 Beban mati (*Dead Load*)

Berdasarkan SNI-1727-2018, beban mati merupakan berat dari seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang ada, meliputi dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektur dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

a. Berat bahan dan konstruksi

Dalam menentukan beban mati untuk perencanaan, haruslah digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

b. Berat peralatan layanan

Dalam menentukan beban mati rencana, harus diperhitungkan berat peralatan layanan yang digunakan dalam bangunan gedung seperti plumbing, mekanikal elektrik, dan alat pemanas, ventilasi, dan sistem pengondisian udara.

3.3.2.2 Beban hidup (*Live Load*)

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

a. Beban hidup pada lantai gedung

Beban hidup pada lantai gedung sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan dan juga dinding pemisah ruangan ($q \leq 100 \text{ kg/m}$). Beban berat dari lemari arsip, alat dan mesin harus ditentukan sendiri. Dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

| No | Komponen Lantai | Beban | Satuan |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------|
| 1 | Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam 2 | 200 | kg/m ² |
| 2 | Lantai dan tangga rumah sederhana dan gedung-gedung tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel | 125 | kg/m ² |
| 3 | Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit | 250 | kg/m ² |
| 4 | Lantai ruang olah raga | 400 | kg/m ² |
| 5 | Lantai ruang dansa | 500 | kg/m ² |
| 6 | Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain pada yang disebut dalam 1-5 seperti masjid, gereja, ruang pegelara, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton | 400 | kg/m ² |
| 7 | Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri | 500 | kg/m ² |
| 8 | Tangga, bordes tangga, dan gang dari yang disebut dalam 3 | 300 | kg/m ² |
| 9 | Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam 3,4,5,6 dan 7 | 500 | kg/m ² |
| 10 | Lantai ruang perlengkapan dari yang disebut dalam 3,4,5,6 dan 7 | 250 | kg/m ² |
| 11 | Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum | 400 | kg/m ² |
| 12 | Lantai gedung parkir bertingkat : | | |
| | Untuk lantai bawah | 800 | kg/m ² |
| | Untuk lantai tingkat lainnya | 400 | kg/m ² |
| 13 | Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum | 300 | kg/m ² |

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – 1983

b. Beban hidup pada atap gedung

Beban hidup pada atap gedung yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m² bidang datar. Bagian atap

yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang menentukan terbesar dari :

- Beban terbagi rata air hujan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-1) berikut :

$$W_{ah} = 40 - 0,8 \alpha \quad (2-1)$$

Dengan,

α = sudut kemiringan atap, derajat jika $\alpha > 50$ dapat diabaikan

W_{ah} = Beban air hujan kg/m^2 (min. W_{ah} atau 20 kg/m^2)

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

c. Beban hidup horizontal

Beban hidup horizontal perlu diperhatikan akibat gaya desak orang yang nilainya berkisar 5%-10% dari beban hidup vertikal (gravitasi).

d. Reduksi beban hidup

Pada perencanaan balok induk dan portal (beban vertikal/gravitasi). Untuk memperhitungkan peluang terjadinya nilai beban hidup yang berubah-ubah, beban hidup merata tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan koefisien reduksi. Dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.5 Koefisien Reduksi Beban Hidup

| Penggunaan gedung | Koefisien reduksi beban hidup | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| | Peninjauan beban gravitasi | Peninjauan beban gempa |
| Perumahan/Hunian : Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit | 0,052083333 | 00.30 |
| Pendidikan : Sekolah, ruang kuliah | 0,0625 | 00.50 |
| Pertemuan umum : Masjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran | 0,041666667 | 00.30 |
| Perkantoran : Kantor, bank | 0,041666667 | 00.30 |
| Perdagangan : Toko, toserba, pasar | 0,055555556 | 0,055555556 |
| Penyimpanan : Gudang, perpustakaan, ruag arsip | 0,055555556 | 0,055555556 |
| Industri : Pabrik, bengkel | 01.00 | 0,0625 |
| Tempat kendaraan : Garasi, gedung parker | 0,0625 | 00.50 |
| Gang dan tangga : Perumahan/Hunian | 0,052083333 | 00.30 |
| Pendidikan, kantor | 0,052083333 | 00.50 |
| Pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan, industri, tempat kendaraan | 0,0625 | 00.50 |

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – 1983

Tabel 2.6 Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif

| Jumlah lantai yang dipikul (n) | Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 | 1.0 |
| 2 | 1.0 |
| 3 | 0.9 |
| 4 | 0.8 |
| 5 | 0.7 |
| 6 | 0.6 |
| 7 | 0.5 |
| $n \geq 8$ | 0.4 |

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – 1983

3.3.2.3 Beban gempa (*Earthquake*)

Gempa bumi merupakan proses pelepasan energi gelombang seismik yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi.

a. Gempa rencana

Tata cara menentukan gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

b. Kategori risiko bangunan

Untuk berbagai kategori risiko bangunan struktur gedung dan non gedung sesuai tabel 2.8 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus sesuai dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 2.9 khususnya untuk tabel kategori IV, bila dibutuhkan yang berseblahan, maka struktur bangunan yang berseblahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV. Kategori risiko bangunan gedung dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung

| Jenis pemanfaatan | Kategori risiko |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur lainnya | I |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/rumah susun • Pusat perbelanjaan/mall • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur • Pabrik | II |
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk para jompo | III |
| <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi | III |

Lanjutan Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahayanya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> | <p>III</p> |
| <p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 saat keadaan darurat | <p>IV</p> |

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

Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori Risiko | Faktor Kekuatan gempa <i>I_e</i> |
|-----------------|--------------------------------------------|
| I atau II | 1.0 |
| III | 1.25 |
| IV | 1.50 |

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

c. Analisa respon situs

Tipe kelas situs ditetapkan dengan definisi dari Tabel 2.10. dan pasal-pasal berikut.

Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

| Kelas situs | Vs (m/detik) | V atau Nch | Su (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 |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti (0)) | <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{ m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) • Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{ m}$ dengan $S_u < 50\text{ kPa}$ | | |

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

d. Parameter percepatan perpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 250 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 < 0,04g$ dan $S_s < 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A. Nilai S_1 dan S_s dapat dilihat pada lampiran.

e. Menentukan koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter percepatan respon spektral percepatan gempa.

Untuk menentukan respon spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplikasi meliputi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor Parameter percepatan spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode pendek (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Persamaan (2-2) dan Persamaan (2-3).

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

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

Sedangkan koefisien F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.11 dan 2.12.

f. Menentukan parameter percepatan spektral desain.

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{D1} , harus ditentukan melalui Persamaan (2-4) dan Persamaan (2-5).

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

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

Koefisien situs F_a dan koefisien situs F_v dapat dilihat pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2.11 Koefisien Situs F_a

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

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

CATATAN : $SS^{(a)}$ = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

Tabel 2.12 Koefisien Situs Fv

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

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

CATATAN : $SS^{(a)}$ = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

g. Menentukan spektrum respon desain.

Bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.9 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 spektrum respon percepatan desain, S_a harus diambil dari Persamaan (2-6).

$$S_a = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-6)$$

Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} untuk periode lebih besar dari T_S spektrum respon percepatan desain S_a diambil berdasarkan Persamaan (2-7).

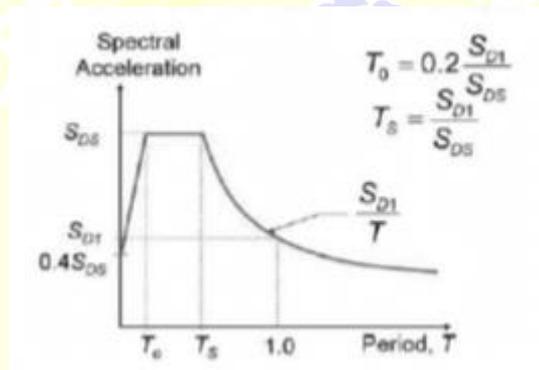
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-7)$$

Untuk parameter periode respon ditentukan melalui Persamaan (2-8) dan Persamaan (2-9).

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-9)$$

Kurva spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Spektrum Respon Desain

Sumber : Indarto, 2013

h. Menentukan kategori desain seismik (A-D)

Struktur dengan kategori resiko I, II atau III yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.

Struktur yang kategori resiko IV berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, $S_1 < 0,75$, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain saismiknya berdasarkan kategori resikonya dan parameter respon spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.13 atau 2.14 saja, dimana berlaku ketentuan berikut :

- (a) Pada masing-masing dua arah *orthogonal*, perkiraan periode fundamental struktur, T_a adalah kurang dari $0,8 T_s$.
- (b) Pada masing-masing dua arah *orthogonal*, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .
- (c) Persamaan (2-11) digunakan untuk menentukan koefisien respon seismik, C_s .
- (d) Diafragma struktural merupakan suatu struktur yang kaku, untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.
- (e) 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 ditunjukkan dalam Tabel 2.15. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang terdapat dalam Tabel 2.15. Koefisien modifikasi respon yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem Ω_0 , dan koefisien amplikasi defleksi, C_d , sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.15 harus digunakan dalam menentukan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Kategori desain seismik percepatan periode pendek dan periode 1 detik dapat dilihat pada Tabel 2.13 dan Tabel 2.14.

Tabel 2.13 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode Pendek

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

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

Tabel 2.14 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode 1 Detik

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

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

i. Gaya geser dasar seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan (2-10).

$$V = C_S \times w \quad (2-10)$$

Untuk perhitungan koefisien respon seismik C_S , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan (2-11).

$$C_S = \frac{S_{DS} \times I_e}{R} \quad (2-11)$$

j. Menentukan periode fundamental

Periode fundamental struktur balok T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_U) dan periode fundamental pendekatan T_a yang ditentukan sesuai dengan

Persamaan (2-12) sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur balok T diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan T_a .

Penentuan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dengan Persamaan (2-12).

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2-12)$$

Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut.

Tabel 2.15 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

| Sistem Penahan gaya seismik | Koefisien modifikasi respon, R | Faktor kuat lebih sistem Ω_0 | Faktor pembesaran defleksi Cd | Batasan sistem dan tinggi struktur $h_n(m)^e$ | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Kategori Desain | | | | |
| | | | | B | C | D^d | E^d | F^e |
| Sistem Rangka Pemikul Momen | | | | | | | | |
| SRPMK | 8 | 3 | 5 ½ | TB | TB | TB | TB | TB |
| SRPMM | 5 | 3 | 4 ½ | TB | TB | TI | TI | TI |
| SRPMBB | 3 | 3 | 2 ½ | TB | TI | TI | TI | TI |

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

CATATAN : TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan

Nilai parameter periode pendekatan C_t dan X dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan X

| TIPE STRUKTUR | C_t | X |
|---------------------------------------------|--------|------|
| Sistem rangka pemikul momen | | |
| Rangka baja pemikul momen | 0,0724 | 0,8 |
| Rangka beton pemikul momen | 0,0466 | 0,9 |
| Rangka baja dengan bresing egosentris | 0,0731 | 0,75 |
| Rangka baja dengan terkekang terhadap tekuk | 0,0731 | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488 | 0,75 |

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

k. Distribusi vertikal gaya gempa

Gaya gempa lateral (F_x) yang timbul dimana semua tingkat harus ditentukan dari Persamaan (2-13) dan Persamaan (2-14).

$$F_x = C_{VX} \times V \quad (2-13)$$

$$C_{VX} = \frac{w_I \times h_I^k}{\sum w_i \times h_i^k} \quad (2-14)$$

Penentuan nilai K ini berdasarkan pada periode (T) dari sistem struktur tersebut. Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, $K = 1$. Sedangkan untuk struktur yang mempunyai periode besar 2,5 detik atau lebih, $K = 2$, dan untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik, K harus sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x), harus ditentukan dengan Persamaan (2-15).

$$V_x = \sum_{x-1}^n F_i \quad (2-15)$$

3.3.3 Arah beban gempa

3.3.3.1 Arah kriteria pembebanan

Arah penerapan beban gempa yang digunakan dalam perencanaan harus merupakan arah yang menghasilkan pengaruh beban gempa paling kritis. Arah penerapan gaya gempa diizinkan untuk memenuhi persyaratan ini menggunakan

prosedur 2.3.3.2 untuk kategori desain seismik B, 2.3.3.3. untuk kategori desain seismik C, 2.3.3.4 untuk kategori desain seismik D, E dan F.

3.3.3.2 Kategori seismik B

Untuk struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik B, gaya gempa rencana diizinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah *orthogonal* dan pengaruh interaksi *orthogonal* diizinkan untuk diabaikan.

3.3.3.3 Kategori seismik C

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik C harus minimum sesuai dengan persyaratan dalam 2.3.3.2, untuk kategori desain seismik B dan persyaratan pasal ini.

Struktur yang mempunyai ketidak beraturan struktur horizontal Tipe 5 dalam Tabel 10 (SNI-1726-2019) harus menggunakan salah satu dari prosedur berikut :

- a. Prosedur kombinasi *orthogonal*. Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen dalam 7.8 (SNI-1726-2019), prosedur analisis spektrum respons ragam dalam 7.9 (SNI-1726-2019), atau prosedur riwayat respons linier dalam 11.1 (SNI-1726-2019), seperti diizinkan dalam 7.6 (SNI-1726-2019), dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua dua arah *orthogonal*. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus. Kombinasi yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan.
- b. Penerapan serentak gerak tanah *orthogonal*. Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur riwayat respon linier dalam pasal 11.1 (SNI-1726-2019) atau prosedur riwayat respon nonlinier dalam pasal 11.2 (SNI-1726-2019) seperti diizinkan dalam 7.6 (SNI-1726-2019), dengan

pasangan *orthogonal* riwayat percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

3.3.3.4 Kategori desain seismik D sampai F

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E dan F harus minimum memenuhi, sesuai dengan persyaratan 2.3.3.3. sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang membentuk dari bagian dua arah atau lebih sistem penahan gaya yang berpotongan dan dikenai beban aksial akibat gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20% kuat desain aksial kolom atau dinding harus direncanakan untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa dalam semua arah. Baik prosedur 2.3.3.3.a atau prosedur 2.3.3.3.b, diizinkan untuk digunakan agar dapat memenuhi persyaratan ini. Kecuali seperti disebutkan dalam persyaratan 2.3.3.3, analisis 2 dimensi diizinkan untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

3.3.4 Kombinasi beban terfaktor

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan SNI-1726-2019 komponen elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian rupa, hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi pada Persamaan (2-16) sampai dengan Persamaan (2-22) berikut :

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

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

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

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

$$1,2 D + 1,0 E + L \quad (2-20)$$

$$0,9 D + 1,0 W \quad (2-21)$$

$$0,9 D + 1,0 E \quad (2-22)$$

3.4 Simpangan Antar Lantai Ijin

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila

pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, maka diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

3.5 Faktor Reduksi Kekuatan

Konsep keamanan lapis kedua adalah reduksi kapasitas teoritik komponen struktur dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan dalam menentukan kekuatan desain. Pemakaian faktor reduksi dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, pengerjaan, ketidaktepatan ukuran, pengadukan dan pengawasan pelaksanaan. SNI-2847-2019 pasal 21.2.1 memberikan faktor reduksi kekuatan untuk berbagai mekanisme, dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

| Gaya atau elemen struktur | | Φ | Pengecualian |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) | Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial | 0,65-0,90 | Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, |
| b) | Geser | 0,75 | Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa |
| c) | Torsi | 0,75 | - |
| d) | Tumpu (<i>bearing</i>) | 0,65 | - |
| e) | Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>) | 0,85 | - |
| f) | <i>Bracket</i> dan korbél | 0,75 | - |
| g) | <i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di pasal 23 | 0,75 | - |
| h) | Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik | 0,9 | - |
| i) | Beton polos | 0,6 | - |
| j) | Angkur dalam elemen beton | 0,45-0,75 | - |

Sumber : SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung

Alternatifnya adalah bila ketentuan alternatif untuk komponen struktur lentur dan tekan beton bertulang dan prategang digunakan, untuk komponen struktur dimana f_y tidak melampaui 420 MPa, dengan tulangan simetris, dan dengan $(d-d')/h$ tidak kurang dari 0,70 maka nilai \emptyset boleh ditingkatkan secara linier menjadi 0,90 seiring dengan berkurangnya nilai $\emptyset P_n$ dari $0,10 f_c A_g$ ke nol. Untuk komponen struktur bertulang lainnya, nilai \emptyset boleh ditingkatkan secara linier menjadi 0,90 seiring dengan berkurangnya nilai $\emptyset P_n$ dari nilai terkecil antara $0,10 f_c A_g$ atau $\emptyset P_b$ ke nol. Simpangan antar lantai ijin Δa dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Simpangan Antar Lantai Ijin Δa

| Struktur | Kategori Risiko | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat | $0,025h_{sx}^c$ | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ |
| Struktur dinding kantilever batu bata | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ |
| semua struktur lainnya | $0,020h_{sx}$ | $0,020h_{sx}$ | $0,020h_{sx}$ |

Sumber : SNI-1727-2018 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan

CATATAN : h_{sx} adalah tingkat dibawah tingkat x

3.6 Dasar – Dasar Perencanaan Beton Bertulang

3.6.1 Asumsi perencanaan

Dalam menghitung beban terhadap beban lentur atau aksial atau kombinasi dari beban lentur dan aksial, menurut (Sudarmoko, 1994), asumsi yang diperlukan dalam perencanaan :

- 1) Regangan dalam tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding langsung dengan jarak sumbu netral.

- 2) Regangan maksimum yang dapat digunakan pada serat beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
- 3) Tegangan dalam tulangan di bawah kuat leleh yang ditentukan f_y untuk mutu tulangan yang digunakan harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja. Untuk tegangan yang lebih besar dari regangan yang memberikan f_y tegangan pada tulangan harus dianggap tidak tergantung pada regangan dan sama dengan f_y .
- 4) Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam hitungan.
- 5) Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dianggap bentuk persegi.
- 6) Distribusi tegangan beton persegi ekuivalen didefinisikan sebagai berikut:
 - a) Tegangan beton sebesar $0,85 f'c$ harus diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
 - b) Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.
 - c) Faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton $f'c$ antara 17 MPa sampai dengan 28 MPa. Untuk kekuatan di atas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk kelebihan kekuatan 17 MPa di atas 28 MPa, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65 MPa. Ketentuan ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$\text{Jika } 17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa} : \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Jika } f'c > 28 \text{ MPa} : \beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c) - 28/7 \text{ tidak boleh kurang dari } 0,65$$

3.7 Pelat Lantai Konvensional

Pelat beton merupakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau jenis struktur lainnya. Pelat beton ditumpu oleh dinding, balok, kolom, atau dapat juga terletak langsung di atas tanah (*slab onground*). Pada struktur balok-pelat, umumnya balok dan pelat di cor bersama-

sama sehingga menghasilkan satu kesatuan struktur yang monolit. Pada umumnya pelat dalam suatu gedung dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu sebagai berikut :

a) Pelat satu arah

Pelat satu arah merupakan pelat yang hanya ditumpu di kedua sisi sehingga pelat akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan, beban yang didistribusikan oleh pelat dalam satu arah yaitu arah tumpuan. Lihat pada Gambar 2.8(a).

b) Pelat rusuk (*Jois Construction*)

Pelat rusuk merupakan pelat beton dengan ketebalan 50 hingga 100 mm, yang ditopang dengan sejumlah rusuk dengan jarak beraturan. Rusuk mempunyai lebar minimum 100 mm dan mempunyai tinggi lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya. Rusuk ditopang oleh balok induk utama yang langsung menumpu pada kolom. Sistem pelat rusuk cocok digunakan untuk struktur pelat dengan bentang 6-9 m.

c) Pelat dua arah

Pelat duan arah merupakan pelat yang ditopang di keempat sisi, dengan rasio bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari dua. Sistem pelat dua arah dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya yaitu :

(a) Sistem balok-pelat dua arah

Pada sistem pelat ini beton ditumpu oleh balok di keempat sisinya. Beban dari pelat ditransfer ke keempat penumpu balok dan selanjutnya ditrasnfer ke kolom. Balok akan meningkatkan kekakuan pelat, sehingga lendutan yang terjadi akan relatif kecil. Lihat pada Gambar 2.8(b)

(b) Sistem slab datar (*flat slab*)

Slab datar merupakan sistem struktur pelat beton dua arah yang tidak memiliki balok penumpu di masing-masing sisinya. Beban pelat ditransfer langsung ke kolom. Kolom cenderung akan meimbulkan

kegagalan geser pons pada pelat lihat pada Gambar 2.8(c), yang dapat dicegah dengan beberapa alternatif lainnya :

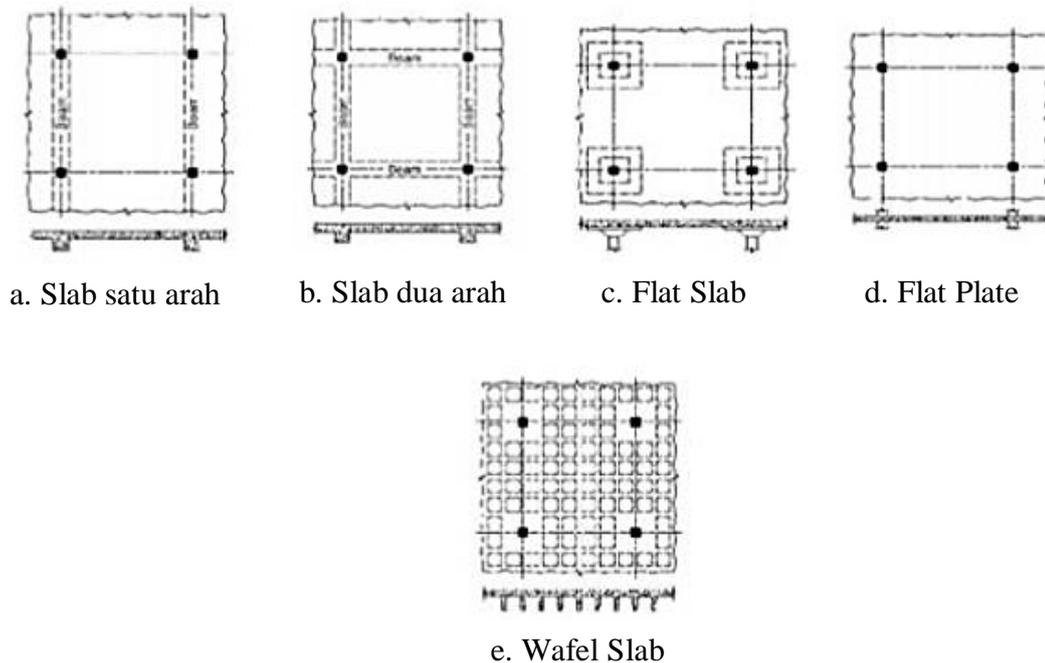
- Memberikan penebalan setempat pada pelat (*drop panel*) serta menyediakan kepala kolom (*column capital*).
- Menyediakan penebalan panel namun tanpa kepala kolom, panel disekitar kolom harus cukup tebal untuk memikul terjadinya tegangan tarik diagonal yang muncul akibat geser pons.
- Menggunakan kepala kolom tanpa adanya penebalan panel, namun hal ini jarang diaplikasikan sistem slab datar digunakan untuk bentang 6-9 m, dengan beban hidup 4-7 kN/m².

(c) Sistem pelat datar (*flat plate*)

Sistem pelat ini merupakan pelat yang tertumpu langsung ke kolom tanpa adanya penebalan panel dan kepala kolom. Potensi kegagalan struktur terbesar akan timbul akibat geser pons, yang akan menghasilkan tegangan tarik diagonal. Sebagai akibat tidak adanya penebalan panel dan kepala kolom, maka dibutuhkan ketebalan panel yang lebih besar atau dengan memberikan penulangan ekstra di area sekitar kolom. Lihat pada Gambar 2.8(d)

(d) Pelat dua arah berusuk dan pelat *waffle*

Pelat dua arah berusuk dan pelat *waffle* merupakan pelat dua arah dengan ketebalan antara 50 hingga 100 mm dan ditumpu oleh rusuk-rusuk dalam dua arah. Tepi-tepi pelat ditopang oleh balok atau dapat juga pelat langsung menumpu pada kolom dengan memberikan penebalan pada pelat di sekitar kolom. Sistem pelat ini sering disebut dengan pelat *waffle*. Lihat pada Gambar 2.10(e)



Gambar 2.10 Jenis – Jenis Pelat

Sumber : Setiawan, 2016

3.7.1 Persyaratan struktural pelat lantai

Dalam proses pembangunan suatu gedung terdapat standar yang menjadi acuan persyaratan, dalam hal ini adalah SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung. Standar ini juga mengatur mengenai syarat kontruksi beton bertulang, di dalamnya terdapat ketentuan yang menjadi pedoman dalam proses analisis dan desain pelat lantai terlepas dari metode apa yang digunakan dalam analisis pelat lantai.

3.7.1.1 Tebal minimum pelat

1) Pelat satu arah

Peraturan SNI-2847-2019 memberikan beberapa batasan dalam desain pelat satu arah :

- Desain dilakukan dengan menggunakan asumsi lebar 1 meter.
- Ketebalan minimum pelat satu arah yang menggunakan $f_y = 400$ MPa sesuai dengan SNI-2847-2019 Tabel 7.3.1.1 harus ditentukan sebagaimana terlihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Tebal Minimum Pelat

| Kondisi tumpuan | h Minimum |
|---------------------|-------------|
| Tumpuan sederhana | $l/20$ |
| Satu ujung menerus | $l/24$ |
| Kedua ujung menerus | $l/28$ |
| Kantilever | $l/10$ |

Sumber : SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

Angka h minimum berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3

- c) Lendutan harus diperkirakan apabila pelat memikul konstruksi yang akan mengalami kerusakan akibat lendutan yang besar. Batas lendutan ditentukan dalam Tabel 2.20

Tabel 2.20 Batasan Lendutan

| Jenis komponen struktur | Kondisi | | Lendutan yang diperhitungkan | Batas lendutan |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Atap datar | Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar | | Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum | $l/180$ |
| Lantai | Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar | | Lendutan seketika akibat L | $l/360$ |
| Atap atau lantai | Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural | Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar | Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup ^[2] | $l/480$ |
| | | Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar | | $l/240$ |

Sumber : SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

Batasan untuk $\phi 180$ tidak dimaksudkan sebagai pengamanan terhadap genangan air. Genangan air harus diperiksa berdasarkan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat genangan air, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang akibat beban tetap, lawan lendut, toleransi konstruksi, dan keadaan sistem drainase.

Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan 24.2.4, tapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum pemasangan elemen nonstruktural. Besarnya nilai lendutan ini harus dihitung berdasarkan data teknis yang dapat diterima terkait dengan karakteristik hubungan waktu-lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

Batasan untuk $\phi 480$ boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau disatukan telah dilakukan.

Batasan untuk $\phi 240$ tidak boleh melebihi batasan toleransi yang disediakan untuk elemen nonstruktural.

- d) Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.
- e) Struktur pelat satu arah, harus disediakan tulangan susut dan suhu yang memiliki arah tegak lurus terhadap tulangan lentur. Persyaratan ini diatur dalam SNI-2847-2019 Pasal 24.4. Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang beton yang ditunjukkan dalam Tabel 2.21 namun tidak dikurangi 0,0014.

Tabel 2.21 Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu

| Jenis tulangan | f_y MPa | Rasio tulangan minimum |
|----------------------------|------------|-------------------------------------------|
| Batang ulir | < 420 | 0,0020 |
| Batang ulir atau kawat las | ≥ 420 | Terbesar dari: |
| | | $\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$ 0,0014 |

Sumber : SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

- f) Kecuali untuk pelat rusuk, maka jarak antar tulangan utama pada pelat harus kurang dari tiga kali ketebalan pelat atau harus kurang dari 450 mm (SNI-2847-2019, Pasal 7.7.2.3)
- 2) Pelat dua arah

Dalam SNI-2847-2019 Pasal 8.3.1.2 menentukan ketebalan minimum pelat dua arah untuk mencegah terjadinya lendutan berlebih, karena perhitungan lendutan dari pelat dua arah cukup rumit, dan untuk mencegah lendutan yang besar, maka ketebalan pelat dapat ditentukan menggunakan rumus empiris pada Persamaan (2-23) dan Persamaan (2-24) berikut :

- a) Untuk $0,2 < a_{fm} < 2,0$

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (a_{fm} - 0,2)} \quad (2-23)$$

namun tidak boleh kurang dari 125 mm.

- b) Untuk $a_{fm} > 2,0$

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2-24)$$

namun tidak boleh kurang dari 90 mm.

- c) Untuk $a_{fm} < 0,2$

h = ketebalan minimum pelat untuk balok (Lihat Tabel 2.23)

Tabel 2.22 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Dalam

| f_y (Mpa) | Tanpa drop panel | | | Dengan drop panel | | |
|----------------|------------------|----------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | Panel eksterior | | Panel interior | Panel eksterior | | Panel interior |
| | Tanpa Balok Tepi | Dengan Balok Tepi ^[4] | | Tanpa Balok Tepi | Dengan Balok Tepi | |
| 280 | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/40$ | $l_n/40$ |
| 420 | $l_n/30$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ |
| 520 | $l_n/28$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/34$ | $l_n/34$ |

Sumber : SNI-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

l_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm). Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan di dalam tabel,

ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear. Panel eksterior dengan balok tepi merupakan pelat dengan balok diantara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika a_f kurang dari 0,8. Nilai a_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7.

Tebal minimum pelat tanpa balok interior seperti ditentukan dalam Tabel 2.23 tidak boleh kurang dari 120 mm (untuk pelat tanpa *drop panel*), atau tidak kurang dari 100 mm (untuk pelat dengan *drop panel*). Dalam SNI-2847-2019 Pasal 8.3.1.2.1 diisyaratkan untuk panel dengan tepi yang tidak menerus, maka balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan a_f yang lebih dari 0,8.

3.7.1.2 Tulangan pelat

1) Tulangan geser

a) Spasi tulangan geser

Untuk tulangan geser dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, jarak atau spasi antar tulangannya tidak boleh melebihi 600 mm maupun $d/2$. Dengan d adalah jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal.

b) Luas minimum

Luas minimum untuk tulangan geser mengacu pada SNI-2847-2019 terdapat dalam Persamaan (2-25).

$$\text{Luas minimum} = 0,0062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2-25)$$

Namun demikian tidak boleh kurang dari $(0,35 b_w s) / f_{yt}$

c) Kuat geser

- Kuat geser nominal tulangan

Apabila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur maka kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh tulangan seperti terdapat pada Persamaan (2-26)

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (2-26)$$

Dengan A_v adalah tualngan geser

- Kuat geser nominal beton

Untuk komponen struktur yang dikenai gaya geser dan lentur saja maka nilai kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh beton seperti terdapat pada Persamaan (2-27).

$$V_c = 0,17\theta\sqrt{f'_c}b_wd \quad (2-27)$$

Dengan nilai θ adalah 1,0 untuk beton berat normal dan 0,75 untuk beton berat ringan.

Tulangan utama (lapangan maupun tumpuan)

Rasio tulangan utama yang digunakan tidak boleh melebihi rasio maksimum ataupun kurang dari rasio minimum yang telah ditetapkan. Perhitungan rasio yang digunakan adalah sebagai berikut seperti terdapat pada Persamaan (2-28) sampai dengan Persamaan (2-30).

$$\rho_b = 0,85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \beta \frac{600}{600+f_y} \quad (2-28)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (2-29)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \rho_{min} = 0,0025 \quad (2-30)$$

3.7.1.3 Metode koefisien momen

Terdapat banyak metode untuk melakukan analisa pada pelat lantai, dua diantaranya adalah koefisien momen dan metode perancangan langsung. Metode koefisien momen menggunakan nilai-nilai tertentu sebagai koefisien dalam menentukan besarnya momen yang terjadi baik di daerah lapangan maupun di daerah tumpuan. Metode ini cukup mudah dan praktis diterapkan karena nilai-nilai koefisien momen tersebut sudah disediakan namun metode ini menjadi kurang efektif untuk digunakan pada pelat dengan bentangan yang cukup panjang. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan momen dapat dilihat pada Persamaan (2-31) :

$$M = 0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \quad (2-31)$$

Dengan qu sebagai beban total pada pelat dan lx sebagai jarak pada bentang terpendek. Untuk nilai x yang merupakan koefisien momen dapat diperoleh pada tabel koefisien momen yang terdapat dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971.

3.7.1.4 Persamaan perhitungan ketebalan pelat

Pelat lantai dengan sistem *Waffle Slab* terdiri dari pelat dan balok rusuk. Perhitungan ketebalan pelat lantai untuk mengendalikan lendutan yang mungkin terjadi mengacu untuk struktur *Waffle Slab* pada SNI-2847-2019. Tebal slab dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-32) :

$$\frac{S-br}{12} \leq t \geq 50 \text{ mm} \quad (2-32)$$

Dengan,

S = Jarak bersih antara rusuk balok *Waffle Slab* dimana harus lebih kecil dari 750 mm. (SNI-2847-2019)

t = Tebal pelat

3.8 Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal, beban yang bekerja pada balok berupa beban lentur, beban geser maupun torsi atau biasa disebut dengan momen punter, sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan yang digunakan berupa tulangan longitudinal untuk menahan beban lentur, dan tulangan geser atau begel untuk menahan geser dan torsi.

Pada praktik di lapangan jarang sekali ditemukan balok dengan tulangan tunggal melainkan selalu dipasang tulangan rangkap. Balok beton dengan tulangan rangkap ialah balok yang diberi tulangan pada penampang beton di daerah tarik dan tekan. Dipasanginya tulangan di daerah tarik dan tekan bertujuan untuk menerima beban yang terjadi berupa momen lentur. Untuk balok yang menahan momen lentur besar tulangan tarik dipasang lebih banyak daripada tulangan tekan, keadaan ini disebabkan oleh kekuatan beton pada daerah tarik

yang diabaikan, sehingga semua beban tarik ditahan oleh tulangan longitudinal tarik.

3.8.1 Rasio tulangan (ρ)

Rasio tulangan pada perancangan balok lentur tergantung pada mutu beton (f'_c) dan mutu tulangan baja (f_y) yang digunakan, dan tidak bergantung pada besar-kecilnya dimensi struktur. Nilai dari rasio tulangan ini juga berkaitan dengan keruntuhan yang terjadi pada balok lentur, dimana keruntuhan ini dibagi menjadi tiga jenis, yaitu keruntuhan tekan, keruntuhan seimbang, dan keruntuhan tarik.

3.8.1.1 Keruntuhan tekan (*Over-reinforced*)

Pada keadaan ini beton akan hancur sebelum baja tulangan saat leleh, sehingga lendutan yang terjadi pada balok relatif tetap. Namun apabila balok diberikan beban berlebih maka akan terjadi keruntuhan mendadak. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini memiliki rasio tulangan yang besar, sehingga tidak boleh melebihi rasio tulangan maksimum yang dihitung berdasarkan Persamaan (2-33).

$$\rho_m = 0,75 \cdot \rho_b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) \cdot f_y} \quad (2-33)$$

3.8.1.2 Keruntuhan seimbang (*Balance*)

Pada keadaan ini beton akan hancur bersamaan dengan baja tulangan saat leleh, sehingga kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Perencanaan balok dengan keruntuhan ini merupakan perencanaan yang ideal namun juga sulit untuk terpenuhi. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini memiliki rasio tulangan yang seimbang dan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-34).

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \quad (2-34)$$

3.8.1.3 Keruntuhan tarik (*Under-reinforced*)

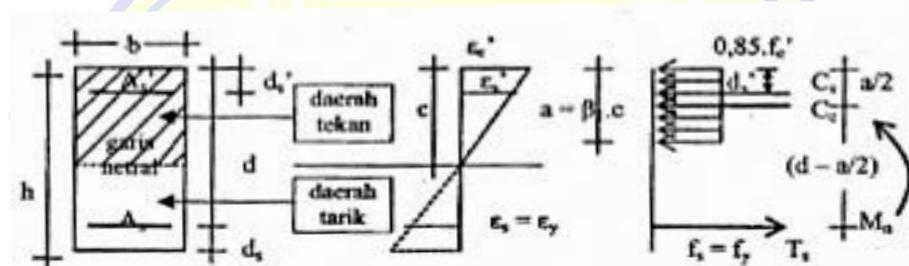
Pada keadaan ini baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur, sehingga beton masih kuat menahan beban dan terjadi lendutan akibat baja

tulangan yang leleh dan menjadi plastis. Lendutan ini dapat menjadi peringatan sebelum terjadi keruntuhan, sehingga dianggap aman dan diperbolehkan dalam perencanaan. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini memiliki resiko tulangan yang kecil tetapi tidak kurang dari rasio tulangan minimum dan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-35).

$$\rho_m = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} \text{ atau } \rho_m = \frac{1,4}{f_y} \quad (2-35)$$

3.8.2 Distribusi regangan dan tegangan balok

Regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan penampang beton bertulang rangkap seperti yang terlihat pada Gambar 2.11 berikut.



(a). Penampang balok (b). Distribusi regangan (c). Distribusi tegangan beton tekan persegi ekuivalen

Gambar 2.11 Distribusi Regangan dan Tegangan Pada Balok Bertulang Rangkap

Sumber : Asroni, 2010

Pada perencanaan beton bertulang regangan tulangan tarik selalu diperhitungkan setelah leleh. Sedangkan untuk tulangan tekan (ϵ'_s) regangan tulangan tekan sebelum leleh. Nilai regangan tulangan tekan dapat dihitung dengan Persamaan (2-36).

$$\epsilon'_s = \frac{a - \beta_1 d_s'}{a} \times 0,003 \quad (2-36)$$

Tegangan tekan baja tulangan f'_s dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-37).

$$f'_s = 600 \left[1 - \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d_s'}{(\rho - \rho') f_y d} \right] \quad (2-37)$$

dengan,

$$\epsilon_s' = \text{regangan tekan baja tulangan} = f'_s / E_s$$

$$a = \text{tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen} = \beta_1 \cdot c$$

$$d_s' = \text{jarak antara titik berat tulangan tekan dan tepi serat beton tekan}$$

$$f'_s = \text{tegangan tekan baja tulangan} = \epsilon_s' \cdot E_s$$

Untuk mengetahui tulangan tekan sudah leleh atau belum, maka dikontrol dengan Persamaan (2-38).

$$(\rho - \rho') \geq \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b}{f_y} \times \frac{d'}{d} \times \frac{600}{600 - f_y} \quad (2-38)$$

Untuk menghitung tinggi balok tekan beton digunakan Persamaan (2-39)

$$a = \frac{(A_s f_y - A'_s f'_s')}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2-39)$$

3.8.3 Momen nominal dan rencana balok

Pada balok bertulangan rangkap bagian atas bekerja 2 buah gaya tekan ke kiri, sedangkan penampang balok bagian bawah bekerja 1 buah gaya tarik ke kanan. Gaya tekan dan gaya tarik tersebut sama besar dan bekerja berlawanan arah, sehingga menimbulkan momen yang disebut momen nominal aktual (M_n) yang terdapat pada Persamaan (2-40) sampai dengan Persamaan (2-43).

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \quad (2-40)$$

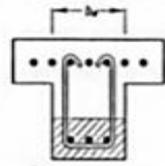
$$M_{nc} = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (2-41)$$

$$M_{ns} = T_s \cdot (d - d') \text{ dengan } T_s = A_s f'_s \quad (2-42)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n \text{ dengan } \phi = 0,9 \quad (2-43)$$

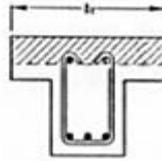
3.8.4 Konstruksi balok T

Jika momen yang bekerja pada penampang adalah momen negatif, maka balok T akan berperilaku sebagai balok persegi biasa (bagian yang diarsir pada gambar a), dimana bagian beton yang tertekan, berbentuk empat persegi dengan lebar yang tertekan sebesar b_w , sehingga analisis dan desainnya sama seperti balok persegi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut.



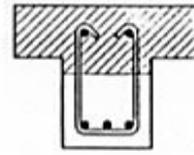
Daerah tekan persegi akibat momen negatif (seperti balok persegi selebar b_w)

(a)



Daerah tekan persegi akibat momen positif (seperti balok persegi selebar b_f)

(b)



Daerah tekan "T" akibat momen positif (balok T)

(c)

Gambar 2.12 Bagian Tekan Pada Balok T

Sumber : Asroni, 2010

Jika momen yang bekerja pada penampang adalah momen positif, maka ada dua kemungkinan yang terjadi yaitu :

- 1) Balok akan berperilaku sebagai balok persegi jika bagian yang tertekan hanya pada bagian sayap saja seperti yang terlihat pada gambar (b), dengan lebar bagian tekan b_f .
- 2) Balok akan berperilaku sebagai balok T murni jika bagian yang tertekan meliputi sayap dan badan balok T.

Berikut adalah ketentuan balok T untuk lebar efektif pelat (b_f) berdasarkan SNI-2847-2019 :

- a) Untuk balok interior berbentuk T ketentuannya adalah :
 - $b_f \leq \frac{1}{4}$ bentang balok, dan
 - lebar pelat efektif sayap menggantung pada masing-masing sisi badan tidak boleh melebihi :
 - Delapan kali tebal pelat, dan
 - Setengah jarak bersih ke badan disebelahnya.
- b) Untuk balok eksterior berbentuk L ketentuannya adalah :
 - $b_f \leq \frac{l}{12}$ bentang balok
 - Enam kali tebal pelat, dan
 - Setengah jarak bersih ke badan disebelahnya

Penulangan lentur pada balok T dapat dihitung seperti penulangan lentur pada balok persegi biasa apabila kemampuan menahan momen akibat beton tekan *flens* lebih besar daripada momen nominal yang mampu menahan balok ($M_{Cc} \geq M_n$). Kuat tekan beton sisi tekan setebal *flens* dihitung dengan Persamaan (2-44).

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (2-44)$$

Maka kemampuan menahan momen akibat beton tekan *flens* dapat dihitung dengan Persamaan (2-45).

$$M_{Cc} = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-45)$$

Jika balok yang digunakan berpenampang bukan persegi, maka kuat tekan beton dihitung dengan Persamaan (2-46).

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot (b_1 + a \cos \alpha) \cdot a \quad (2-46)$$

3.8.5 Penulangan geser dan torsi balok

Tulangan geser dibutuhkan untuk menahan gaya geser atau gaya lintang yang bekerja pada bagian ujung balok sehingga dapat menimbulkan retak miring pada balok. Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok atau elemen struktur yang dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut. Berdasarkan SNI-2847-2019 pengaruh torsi atau puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u memenuhi syarat pada Persamaan (2-47).

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} (\sum x^2 y); \text{ dengan } \phi = 0,75 \quad (2-47)$$

Dengan :

$$\sum x^2 y = x_1^2 y_1 + 2x_2^2 (3x_2) \text{ untuk balok berpenampang persegi.}$$

Kuat momen torsi yang diberikan balok beton, dapat dihitung dengan Persamaan (2-48).

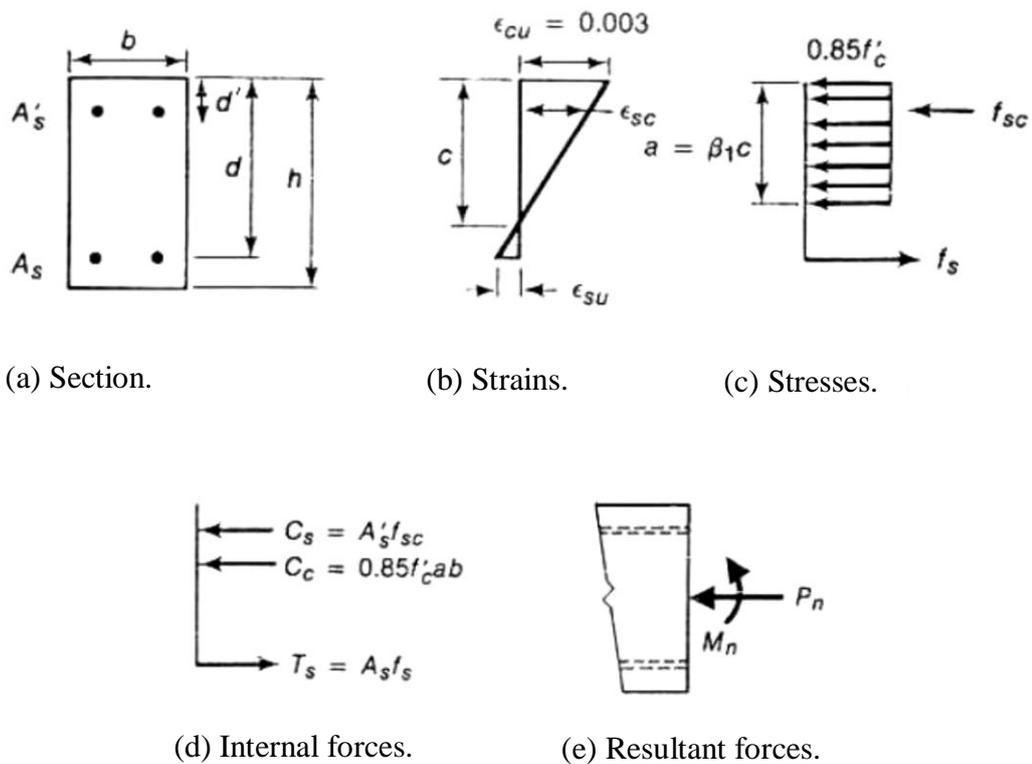
$$T_c = \frac{\sqrt{f'_c} \sum x^2 y}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \frac{T_u}{V_u})^2}} \quad (2-48)$$

Kemampuan maksimum menahan geser pada balok beton dihitung dengan Persamaan (2-49).

$$V_C = \frac{\sqrt{\frac{f'_c}{15}bw.d}}{\sqrt{1+(2.5.C_t\frac{T_u}{V_u})^2}} \quad (2-49)$$

3.9 Kolom

Pada dasarnya konsep perencanaan kolom hampir sama dengan perencanaan balok, hanya saja ada penambahan beban aksial, kondisi penampang kolom bila dibebani tekan dan lentur maka kondisi dari tegangan dan regangan pada kolom digambarkan oleh diagram tegangan dan regangan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Diagram Tegangan dan Regangan Kolom

Sumber : Gregor, 1992

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok (jika ada). Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi. Dalam merencanakan kolom perlu diwaspadai, yaitu dengan memberikan

kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktural horizontal lainnya, terlebih lagi karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas (Nawy, 1998).

3.9.1 Batas komponen tulangan struktural

Menurut Sudarmoko (1994) luas tulangan komponen struktur tekan dibatasi oleh kekuatan berikut :

- 1) Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non komposit tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas pada bruto penampang A_g .
- 2) Jumlah minimum batang tulangan longitudinal komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang ikat segi empat dan lingkaran, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang ikat segitiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dikelilingi oleh spiral.

3.9.2 Panjang tekuk kolom

Panjang tekuk kolom adalah panjang bersih antara pelat lantai atau balok ujung-ujungnya dikalikan dengan suatu faktor tekuk (k) yang besarnya :

- a) $k \geq 1$ untuk kolom tanpa pengaku samping (*unbraced*)
- b) $k \leq 1$ untuk kolom pengaku samping (*braced*)

Faktor tekuk (k) merupakan fungsi dari tingkat penjepitan ujung atas (μ_A) dan tingkat penjepitan bawah (μ_B) dimana tingkat penjepitan ujung kolom tersebut dihitung dengan Persamaan (2-50) :

$$\mu = \frac{\sum EI/L_u \text{ Kolom}}{\sum EI/L_u \text{ Balok}} \quad (2-50)$$

Dengan :

μ : Tingkat penjepitan ujung kolom

EI/L_u : faktor kekakuan kolom atau balok yang ditinjau

Nilai dari faktor tekuk (k) dapat diperoleh dari nimogram atau grafik alignment dari *structure stability research council guide* dengan memasukkan

nilai-nilai μ_A dan μ_B kemudian menarik garis lurus melewati titik-titik μ_A dan μ_B tersebut sehingga didapat nilai k .

Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa struktur tekan pada kolom/portal dengan beban aksial murni ($e = 0$) merupakan hal yang sangat mustahil. Umumnya kolom memikul beban aksial dan momen. Momen pada kolom terjadi akibat :

- 1) Kekuatan ujung
- 2) Pengecoran yang monolit dengan balok-balok lantai
- 3) Ketidaktepatan letak ukuran kolom
- 4) Beban yang tidak simetris akibat perbedaan tebal pelat lantai disekitar kolom
- 5) Ketidaksempurnaan pelaksanaannya dan lain sebagainya.

Apabila menurut hitungan, suatu kolom secara teoritis hanya mendukung gaya aksial sentris dan untuk eksentris tambahan harus diperhitungkan. SNI-2847-2019 pasal 10.8 menetapkan eksentrisitas minimum (dalam mm) dengan Persamaan (2-51) sebesar :

$$e_{min} = 15 + 0,03h \quad (2-51)$$

dengan :

h = Tinggi kolom (mm)

3.9.3 Perencanaan kolom

Dalam perencanaan kolom yang dibebani beban aksial dan lentur atau kombinasi dari beban lentur dan aksial harus memenuhi peraturan pada SNI-2847-2019, yaitu sebagai berikut :

- 1) Perencanaan penampang yang dibebani lentur dan aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas regangan dan tegangan dengan menggunakan asumsi dalam pasal 10.2 SNI-2847-2019.
- 2) Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh f_y pada saat yang bersamaan dengan tercapainya regangan batas 0,003 pada bagian beton yang tertekan.

- 3) Penampang adalah terkendali tekan jika regangan resiko neto dalam baja tarik terjauh, ϵ_t sama dengan atau kurang batas regangan terkontrol tarik bila beton tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Batas regangan terkendali tekan adalah regangan tarik neto dalam tulangan pada kondisi regangan seimbang. Untuk tulangan Mutu 420 MPa, dan untuk semua tulangan prategang, diizinkan untuk menetapkan batas regangan, terkendali tekan sama dengan 0,002.
- 4) Penampang adalah terkendali tarik jika tegangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, ϵ_t sama dengan atau lebih besar dari 0,005 bila beton tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Penampang dengan ϵ_t antara batas regangan terkendali tekan dan 0,005 membentuk daerah transisi antara penampang terkendali tekan dan terkendali tarik.
- 5) Untuk komponen struktur lentur non-prategang dan komponen struktur non-prategang dengan beban tekan aksial terfaktor kurang dari $0,10 f'_c A_g \epsilon_t$ pada kekuatan nominal tidak boleh kurang dari 0,004. Pemakaian tulangan tekan diizinkan terkait dengan tulangan tarik tambahan untuk meningkatkan kekuatan komponen struktur lentur.
- 6) Desain beban aksial ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari $\phi P_{n(max)}$ yang dihitung dengan Persamaan (2-52) dan Persamaan (2-53).
 - Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral yang memenuhi pasal 7.10.4 atau komponen struktur komposit yang memenuhi pasal 10.13.

$$\phi P_{n(max)} = 0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) f_y A_{st}) \quad (2-52)$$
 - Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat yang memenuhi pasal 7.10.5.

$$\phi P_{n(max)} = 0,80 \cdot \phi (0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) f_y A_{st}) \quad (2-53)$$
 - Untuk komponen struktur prategang, kekuatan aksial desain, ϕP_n tidak boleh diambil lebih besar dari 0,85 (untuk komponen struktur dengan tulangan spiral) atau 0,80 (untuk komponen struktur dengan tulangan pengikat) dengan kekuatan aksial desain pada eksentrisitas nol ϕP_0 .

- Komponen struktur yang dibebani aksial tekan harus didesain terhadap momen maksimum yang mungkin menyertai beban aksial. Beban aksial terfaktor P_u dengan eksentrisitas yang ada tidak boleh melampaui nilai yang diberikan dalam pasal 10.3.6. Momen terfaktor maksimum M_u harus diperbesar untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan sesuai dengan pasal 10.10.

3.9.4 Kolom pendek

Suatu komponen struktur tekan dikatakan pendek apabila perbandingan kelangsingan yaitu perbandingan panjang tekuk kolom (kl_n) terhadap radius girasi (r). Dapat dilihat pada Persamaan (2-54) :

$$\frac{kl_n}{r} \left\langle \left(34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \right\rangle \quad (2-54)$$

Dengan :

Nilai M_{1b}/M_{2b} = 1 untuk *unbraced frame*

Nilai r = 0,3h untuk kolom persegi

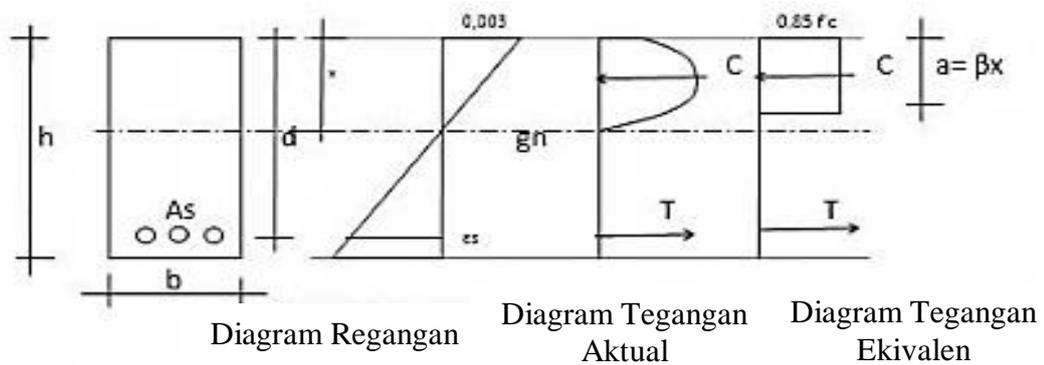
3.9.4.1 Kekuatan kolom pendek dengan beban sentris

Beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang. Pada SNI-2847-2019 pasal 9.10(5) dan pada pasal 12.3.5.2 mengenai prinsip perencanaan didapat Persamaan (2-55) :

$$P_{n(max)} = 0,80(0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2-55)$$

3.9.4.2 Kekuatan kolom pendek dengan akibat beban uniaksial

Penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan distribusi regangan tegangan dan gaya yang bekerja, dapat dilihat pada gambar berikut 2.14.



Gambar 2.14 Tegangan Gaya-Gaya Kolom

Sumber : Amrinsyah, 2009

Persamaan keseimbangan gaya dan momen pada kolom pendek dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-56) :

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_c + C_s - T_s \\
 &= 0,85f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_y
 \end{aligned} \quad (2-56)$$

Momen tahanan nominal dihitung dengan Persamaan (2-57) keseimbangan momen terhadap sumbu lentur kolom.

$$\begin{aligned}
 M_n &= P_n \cdot e \\
 &= C_c(y - a/2) + C_s(y - d') + T_s(d - y) \\
 &= 0,85f'_c \cdot b \cdot a(y - a/2) + A'_s \cdot f'_s(y - d') + (A_s + f_s(d - y))
 \end{aligned} \quad (2-57)$$

Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial dalam kondisi *balance* maka ada tiga kemungkinan jenis keruntuhan :

- 1) $P_n < P_{nb}$ terjadi keruntuhan tarik
- 2) $P_n = P_{nb}$ terjadi keruntuhan *balanced*
- 3) $P_n > P_{nb}$ terjadi keruntuhan tekan

1) Kekuatan tarik menentukan

Awal keadaan runtuh dalam hal eksentrisitas yang besarnya dapat terjadi dengan lelehnya tulangan baja yang tertarik. Jika $e > e_b$ atau $P_n > P_{nb}$ maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang diawali dengan

lelehnya tulangan tarik beban aksial nominal pada kondisi tarik. Dapat dilihat pada Persamaan (2-58) :

$$P_n = 0,85f'_c \cdot b \left[\left(\frac{h-2e}{2d} \sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d} \right)^2 + 2mp \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right) \right] \quad (2-58)$$

2) Kondisi keruntuhan *balanced*

Jika eksentrisitas semakin kecil maka ada suatu transisi dari keruntuhan tarik ke keruntuhan tekan. Kondisi keruntuhan *balanced* tercapai apabila tulangan tarik mengalami regangan leleh dan saat itu pula beton mengalami regangan batasnya. Persamaan (2-59) tinggi balok tekan pada kondisi seimbang :

$$ab = \beta_1 \cdot e_b = \beta_1 \cdot \frac{600d}{600+f_y} \quad (2-59)$$

Besarnya gaya aksial dan momen yang mampu ditahan kolom pada kondisi *balanced* dapat dihitung dengan Persamaan (2-60) dan Persamaan (2-61) berikut :

$$P_{nb} = 0,85f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_y \quad (2-60)$$

$$M_{nb} = 0,85f'_c \cdot b \cdot a_b \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) A_s f_y \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (2-61)$$

3) Kondisi tekan menentukan

Terjadinya keuntungan tekan diawali dengan hancurnya beton. Eksentrisitas yang terjadi lebih daripada eksentrisitas *balanced* dan beban tekan melampaui kekuatan berimbang. Besar beban aksial nominal dapat dihitung dengan Persamaan (2-62) :

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{e}{a} - d' + 0,5} + b \cdot h \cdot \frac{f'_c}{\frac{3h \cdot e}{a^2} + 1,18} \quad (2-62)$$

3.9.5 Kolom panjang

Apabila nilai perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek tidak terpenuhi, maka komponen struktur tekan dikatakan kolom panjang. Sehingga

diperlukan suatu faktor pembesaran momen agar dapat menambah kekuatan nominal dari kolom panjang tersebut yang dinyatakan dengan Persamaan (2-63).

$$\delta s_y = \frac{1}{1 - (\sum P_u / \phi \sum P_c)} > 1 \quad (2-63)$$

Sehingga diperoleh momen rencana terfaktor yang diperbesar dinyatakan dengan Persamaan (2-64) sampai dengan Persamaan (2-69).

$$M_c = M_{2b} + \delta s M_{2s} \quad (2-64)$$

Dengan,

$$\delta b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1 \quad (2-65)$$

$$\delta s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c}} \geq 1 \quad (2-66)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 M_{1b} / M_{2b} \geq 0,4 \quad (2-67)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kL_u)^2} \quad (2-68)$$

$$EI = \frac{E_c I_g}{2,5(1 + \beta_d)} \quad (2-69)$$

Dengan :

M_c = Momen rencana kolom setelah diperbesar

M_{2b} = Momen terfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban gravitasi

M_{2s} = Momen terfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping seperti beban gempa.

3.9.6 Penulangan geser kolom

Penulangan geser kolom pada dasarnya adalah sama dengan penulangan geser pada balok. Hanya pada kolom daerah ujung-ujung kolom harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan bertulang yang tahan gempa.

Menurut SNI-2847-2019 mengenai kemampuan geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial dan untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar yaitu dengan Persamaan (2-70) dan Persamaan (2-71) :

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2-70)$$

Untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar.

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (2-71)$$

Tapi tidak kurang daripada nol, dengan N_u adalah negatif untuk tarik.

Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa.

Apabila geser yang bekerja lebih besar dari kemampuan beton menahan geser, maka kelebihan gaya geser dilimpahkan pada tulangan baja geser sesuai perhitungan seperti halnya balok. Sebaliknya apabila gaya geser yang terjadi kurang dari kemampuan beton, maka dipasang tulangan geser minimum dihitung menggunakan Persamaan (2-72) :

$$S = \frac{3A_v f_y}{b_w} \quad (2-72)$$

Menurut SNI-2847-2019 jarak ikat sengkang tidak boleh melebihi :

- 1) 16 kali diameter tulangan pokok
- 2) 48 kali diameter tulangan pokok
- 3) Lebar kolom

3.10 Pondasi

Menurut Sardjono (1991), pondasi merupakan elemen struktur paling bawah dan berfungsi meneruskan beban yang diterima dari bangunan yang ada di atasnya. Secara umum pondasi dibagi menjadi dua yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*).

Secara umum pondasi yang digunakan untuk bangunan gedung tinggi adalah pondasi *bore pile*. Pada umumnya *bore pile* dibor tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal maka *bore pile* dibor secara miring.

3.10.1 Daya dukung *bore pile*

Jika tiang dibor sampai ke tanah keras melalui lapisan tanah lempung, maka daya dukung tiang dihitung berdasarkan tahanan ujung (*end bearing*) dan cleef (*friction pile*).

Daya dukung bore pile tunggal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-73) sampai dengan Persamaan (2-75).

$$Q_{\text{tiang}} = c_b \cdot N_c \cdot A + k \cdot c_b \cdot \odot \cdot l \quad (2-73)$$

Berdasarkan *end bearing* dan *friction pile*

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times p}{3} + \frac{\odot \times l \times c_b}{5}, \text{ untuk beban statis} \quad (2-74)$$

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times p}{5} + \frac{\odot \times l \times c_b}{8}, \text{ untuk beban dinamis} \quad (2-75)$$

dipilih yang paling besar diantara keduanya.

dengan,

Q_{tiang} = daya dukung kesetimbangan tiang (kg).

p = nilai konus dari hasil sondir (kg/cm^2).

\odot = keliling *bore pile* (cm).

l = panjang tiang yang berada dalam tanah (cm).

c_b = kohesi tanah di sekitar ujung tiang (kg/cm^2).

Selain itu, daya dukung *bore pile* juga dapat dihitung berdasarkan nilai N-SPT dengan Persamaan (2-76).

$$Q_u = \frac{Q_b + Q_s}{SF} - W_B \quad (2-76)$$

dengan,

Q_u = Daya dukung ultimit (kN)

Q_b = Tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = Tahanan ujung gesek (kN)

SF = Safety Factor (2,5 – 3,0)

W = Berat *bore pile* (kN)

Daya dukung kelompok *bore pile* dapat dihitung dengan Persamaan (2-77) dan Persamaan (2-78).

Berdasarkan *point bearing piles*

$$Q_{pg} = n \times Q_s \quad (2-77)$$

dengan,

Q_{pg} = daya dukung kelompok tiang

n = jumlah *bore pile*

Q_s = daya dukung *bore pile* tunggal

Berdasarkan *cleef friction piles*

$$Q_{pg} = \frac{Q_t}{3} = \frac{c \cdot N_c \cdot A + 2 \cdot (b+y) \cdot l \cdot c}{3} \quad (2-78)$$

dengan,

Q_{pg} = daya dukung yang diijinkan pada kelompok *bore pile*.

Q_t = daya dukung keseimbangan pada kelompok tiang.

3 = faktor keamanan.

c = kekuatan geser tanah.

N_c = faktor daya dukung yang dipakai dari grafik *Skempton*.

A = Luas kelompok *bore pile*, $b \times y$.

b = lebar kelompok *bore pile*.

y = panjang kelompok *bore pile*.

3.10.2 Kontrol gaya geser dua arah (Geser pons)

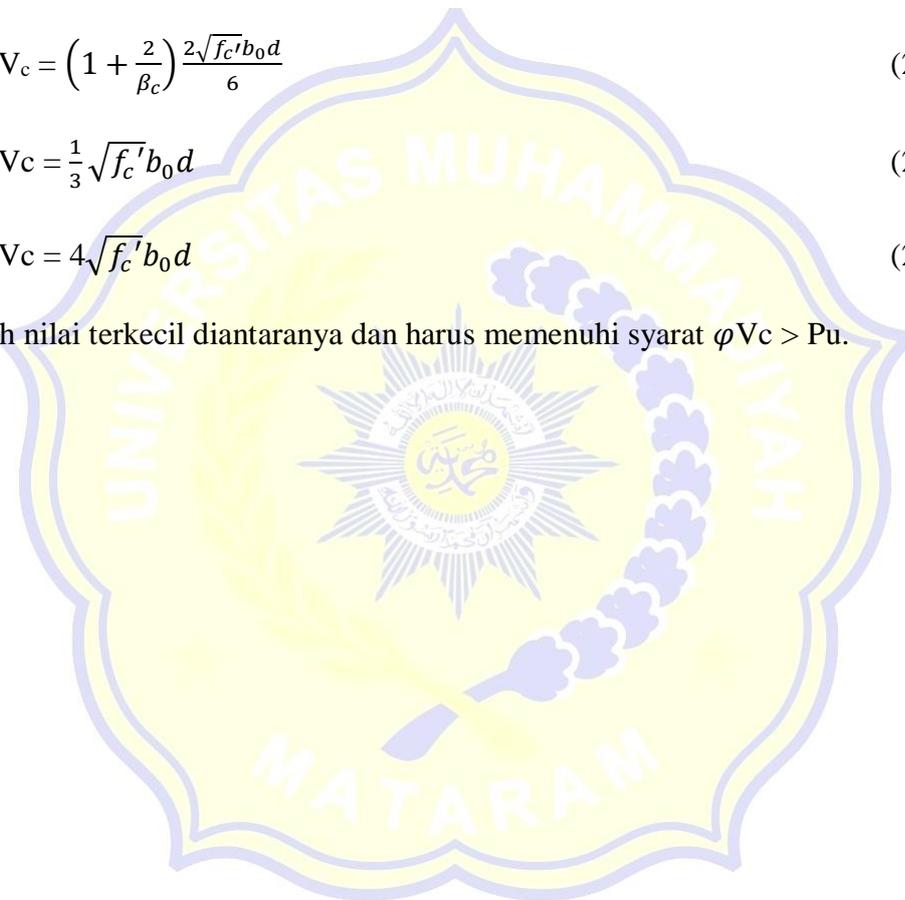
Perhitungan geser pons bertujuan untuk mengetahui apakah tebal *pile cap* cukup kuat untuk menahan beban terpusat yang terjadi. Bidang kritis untuk perhitungan geser pons dapat dianggap tegak lurus bidang pelat yang terletak pada jarak $0,5d$ dari keliling beban reaksi terpusat tersebut, dimana d adalah tinggi efektif dari pelat. Untuk mengontrol geser pons pada *pile cap* dapat digunakan Persamaan (2-79) sampai dengan Persamaan (2-81).

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{2\sqrt{f_c'}b_0d}{6} \quad (2-79)$$

$$V_c = \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}b_0d \quad (2-80)$$

$$V_c = 4\sqrt{f_c'}b_0d \quad (2-81)$$

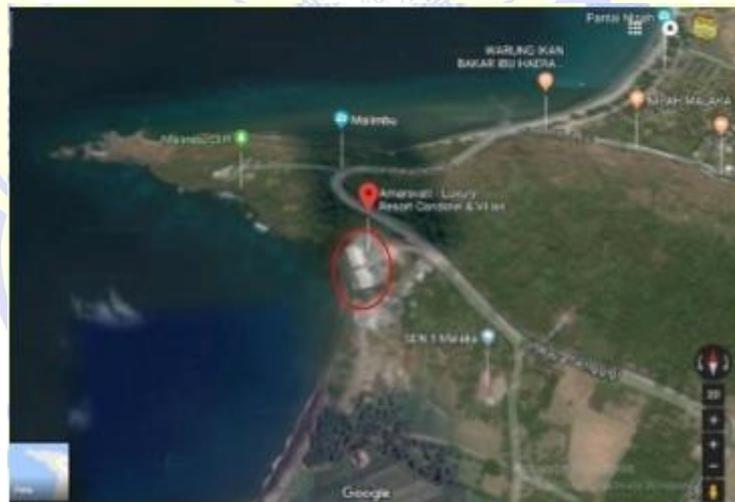
Dipilih nilai terkecil diantaranya dan harus memenuhi syarat $\phi V_c > P_u$.



BAB III METODE PERENCANAAN

4.1 Deskripsi Model Struktur

Hotel Amarsvati merupakan struktur gedung yang difungsikan sebagai penginapan dengan bentuk struktur beraturan. Yang terdiri dari 2 tower yang terpisah. Bangunan tower hotel ini terdiri dari 13 lantai + 1 lantai dak atap. Struktur bangunan ini dirancang dengan menggunakan konstruksi beton. Bangunan kondominium Hotel Amarsvati berada di daerah Malimbu-Lombok Utara yang berdiri pada lokasi tanah lunak (*Se*) dan sistem pelat lantai yang digunakan adalah sistem pelat lantai dua arah serta menggunakan struktur beton konvensional. Adapun gambar-gambar gedung Hotel Amarsvati dapat dilihat pada gambar 3.1 sampai dengan gambar 3.7.



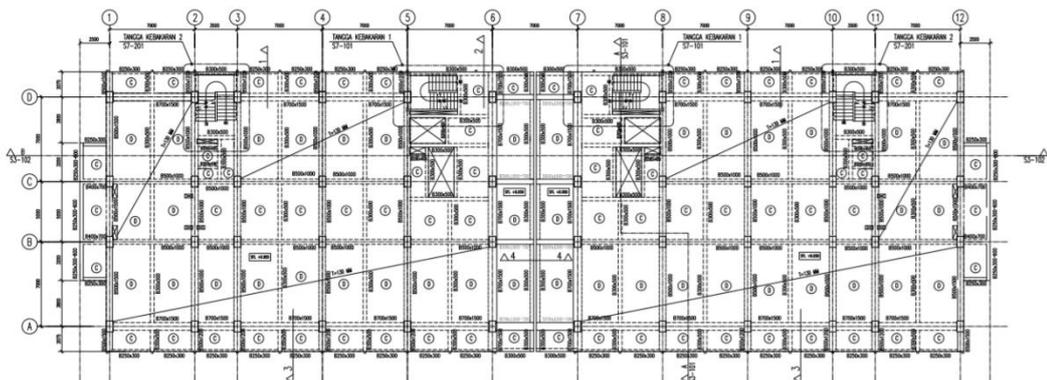
Gambar 3.1 Lokasi Hotel Amarsvati

Sumber : *Google Maps*, 2018



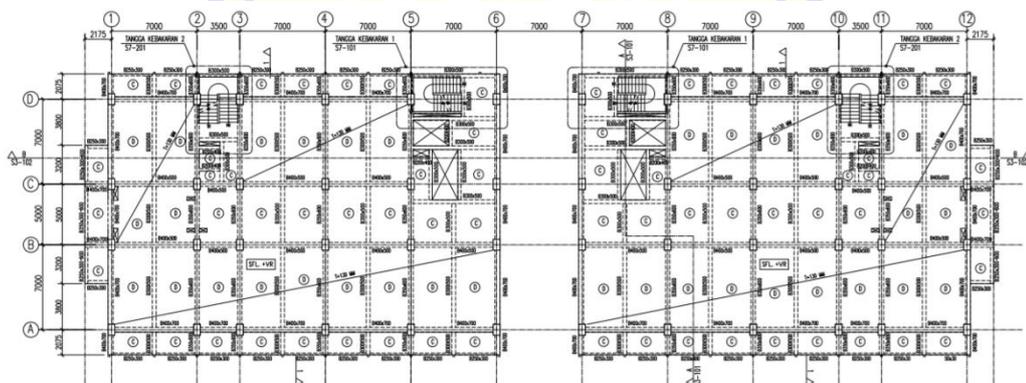
Gambar 3.2 Tampak 3D Hotel Amarsvati

Sumber : *Housingstate*, 2014



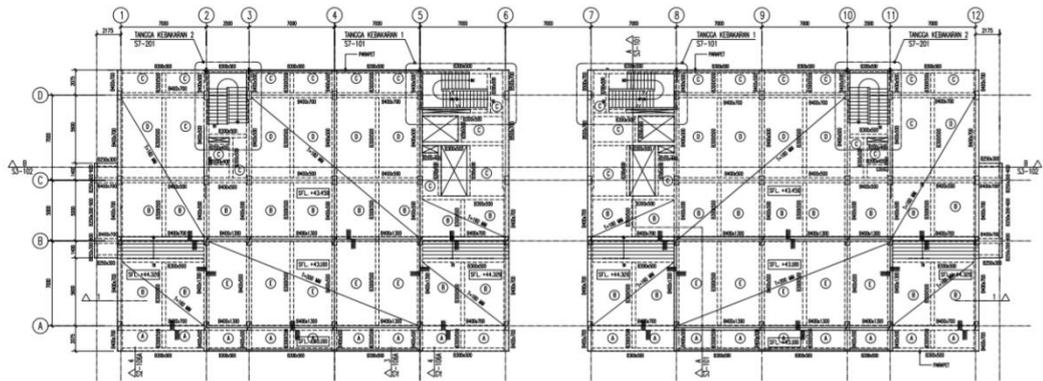
Gambar 3.3 Denah Lantai 1

Sumber : Penulis, 2020



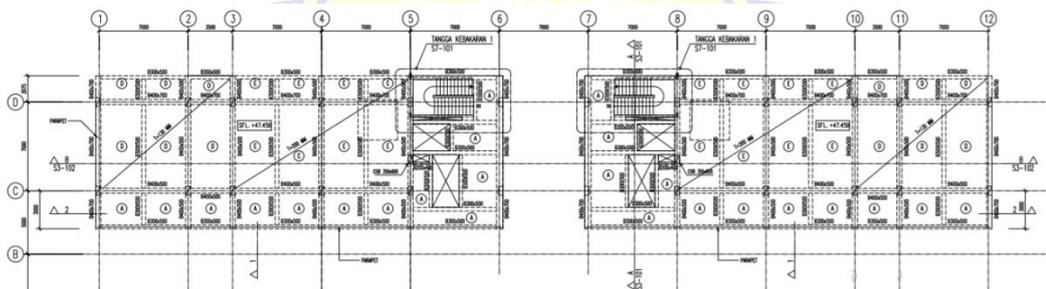
Gambar 3.4 Denah Lantai 2-11

Sumber : Penulis, 2020



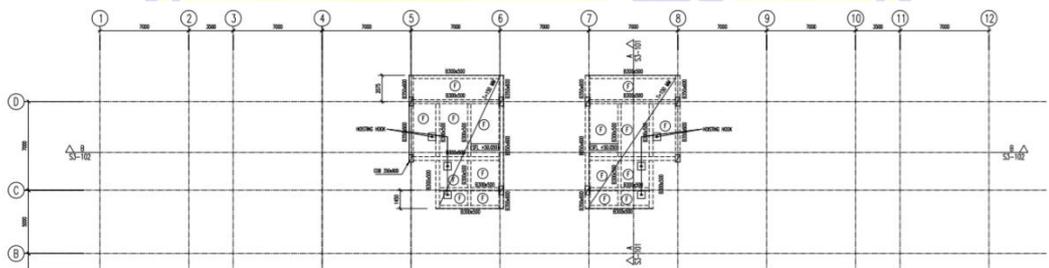
Gambar 3.5 Denah Lantai 12

Sumber : Penulis, 2020



Gambar 3.6 Denah Lantai 13

Sumber : Penulis, 2020



Gambar 3.7 Denah Lantai Atap

Sumber : Penulis, 2020

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data umum bangunan

- a) Nama gedung : Hotel Amarsvati
- b) Fungsi : Penginapan dan Pertemuan

- c) Jumlah lantai : 13 Lantai
- d) Tinggi lantai : Lantai dasar = 7.000 m
 Lantai 1 – 10 = 3.250 m
 Lantai 11 – 12 = 4.000 m
 Lantai 13 = 2.600 m
- e) Tinggi gedung : 50,1 m
- f) Sistem pelat : Sistem Pelat Konvensional

4.2.2 Data bahan

a) Mutu beton

Mutu beton yang digunakan pada balok, kolom, pelat lantai struktural serta konstruksi beton bertulang lainnya adalah mutu beton dengan kuat tekan (f'_c) = 30 MPa

b) Mutu baja tulangan

Baja tulangan yang digunakan pada gedung kondominium Hotel Amarsvati ini adalah baja tulangan ulir dengan kuat leleh (f_y) = 400 MPa dan baja tulangan polos dengan kuat leleh (f_y) = 240 MPa

c) Modulus elastisitas beton

Mutu beton dengan kuat tekan (f'_c) = 30 MPa = $4700\sqrt{f'_c}$ = 25742,960 MPa

d) Gambar kerja dan desain gedung

Adapun gambar kerja yang terlampir yaitu :

- Denah balok dan kolom Hotel Amarsvati
- Potongan gedung Hotel Amarsvati
- Data penampang elemen gedung Hotel Amarsvati

4.2.3 Data tanah

Data tanah yang digunakan berasal dari tempat yang akan dijadikan pembangunan gedung Hotel Amarsvati berupa data boring.

4.2.4 Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur gedung Hotel Amarsvati ini berdasarkan SNI-1727-2013, SNI-1726-2019 dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan antara lain :

a. Beban mati

Beban mati merupakan berat dari seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektur dan struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran, berdasarkan SNI-1727-2018 pasal 3.1.

b. Beban hidup lantai dan atap

Beban hidup termasuk beban yang dapat mempengaruhi struktur gedung hotel tersebut, yang termasuk beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati, hal ini berdasarkan SNI-1727-2018 pasal 4.1

c. Beban angin

Pada pembebanan angin untuk gedung Hotel Amarsvati digunakan system pembebanan berdasarkan SNI-1727-2018 pasal 26 dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983).

d. Beban gempa

Gempa bumi merupakan proses pelepasan energy gelombang *seismic* yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi, dari definisi gempa sebelumnya dapat dipastikan bahwa perhitungan beban gempa berpengaruh penting pada gedung Hotel Amarsvati, untuk pembebanan gempa ini direncanakan sesuai dengan SNI-1726-2019 dengan metode dinamik respon spektrum.

4.2.5 Analisa struktur dengan ETABS V9.6.0

4.2.5.1 Proses *input* data

Proses input data untuk perencanaan struktur dengan pengoperasian program ETABS V9.6.0 terdiri atas beberapa tahapan diantaranya, yaitu permodelan struktur, pembuatan *Grid Lines* (Geometri struktur), pendefinisian material struktur, perencanaan dimensi elemen struktur, pembebanan struktur, dan analisa struktur.

4.2.5.2 Proses *output* data

Proses output yaitu membuat tabulasi dari hasil analisa struktur yang dilakukan pada struktur bangunan. Dari hasil analisa struktur akan digunakan dalam merencanakan analisa dalam mendesain struktur kolom yang aman sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Sebelum merencanakan elemen struktur, sebelumnya harus memenuhi hasil dari analisis struktur yang akan di tabulasi. Jika belum memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan dalam SNI yang berlaku, maka akan dilakukan analisis ulang.

4.3 Perencanaan Struktur

4.3.1 Perencanaan pelat

Langkah-langkah perencanaan pelat sebagai berikut :

- a) Menentukan jarak antar pelat,
- b) Menentukan dimensi pelat,
- c) Menghitung pembebanan pada pelat,
- d) Menghitung penulangan pada pelat,

4.3.2 Perencanaan balok grid

Langkah-langkah perencanaan balok grid sebagai berikut :

- a) Menentukan dimensi balok,
- b) Menghitung pembebanan pada balok,
- c) Menghitung statika balok dengan menggunakan *software* ETABS V9.6.0
- d) Menghitung penulangan balok

4.3.3 Perencanaan kolom

Langkah-langkah perencanaan kolom sebagai berikut :

- a) Menghitung dimensi kolom,
- b) Menghitung pembebanan kolom,
- c) Menghitung statika dengan *software* ETABS V9.6.0,
- d) Menghitung tulangan kolom.

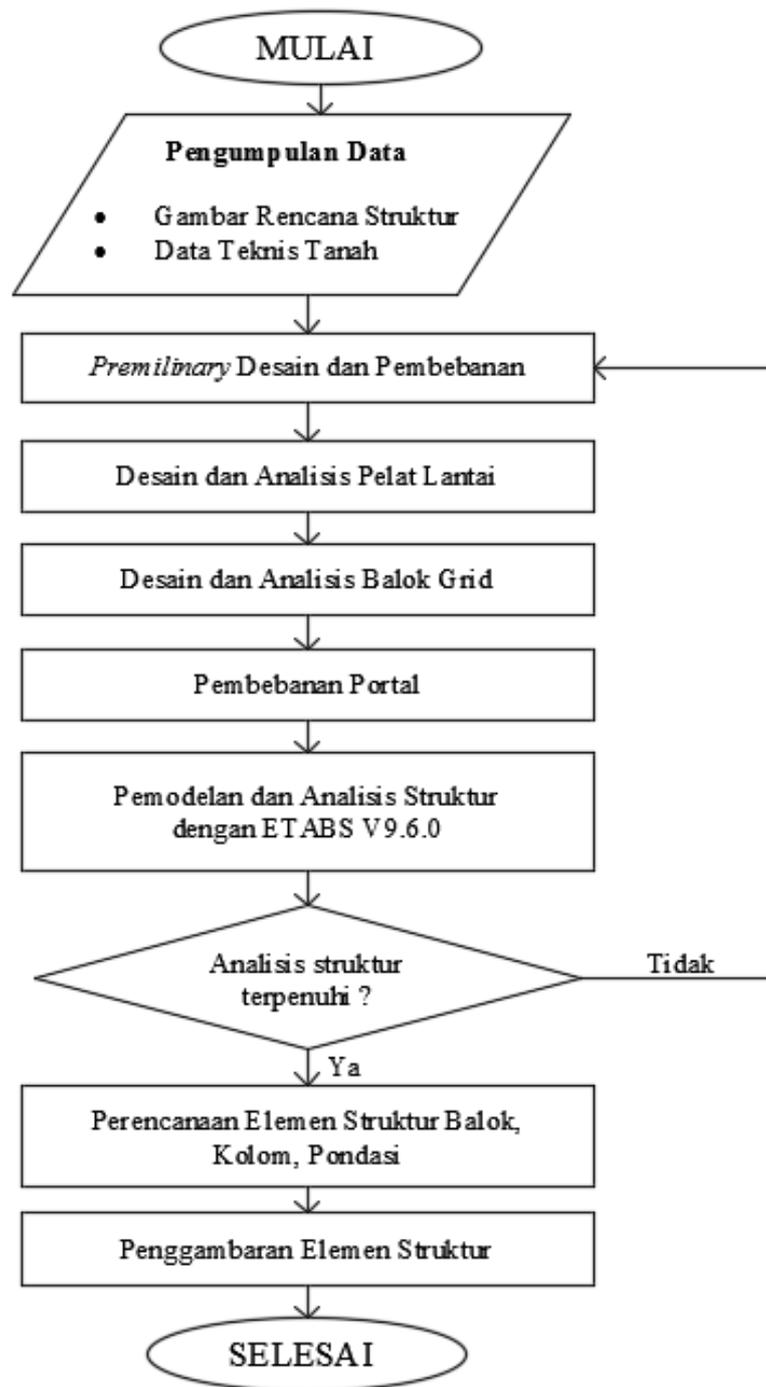
4.3.4 Perencanaan pondasi

Langkah-langkah perencanaan pondasi yang direncanakan menggunakan *bore pile* adalah sebagai berikut :

- a) Menganalisa karakter tanah,
- b) Menghitung pembebanan untuk menentukan daya dukung tanah,
- c) Menghitung jenis dan dimensi tiang *bore*,
- d) Menghitung daya dukung individual tiang *bore*,
- e) Menentukan jarak antar tiang dan jumlah tiang *bore*,
- f) Menghitung daya dukung kelompok tiang *bore*,
- g) Merencanakan tulangan kepala tiang *pilecap*.

4.4 Bagan Alir Perencanaan Struktur

Untuk lebih jelasnya proses perencanaan, berikut ini disajikan bagan alir pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Bagan Alir Perencanaan Struktur