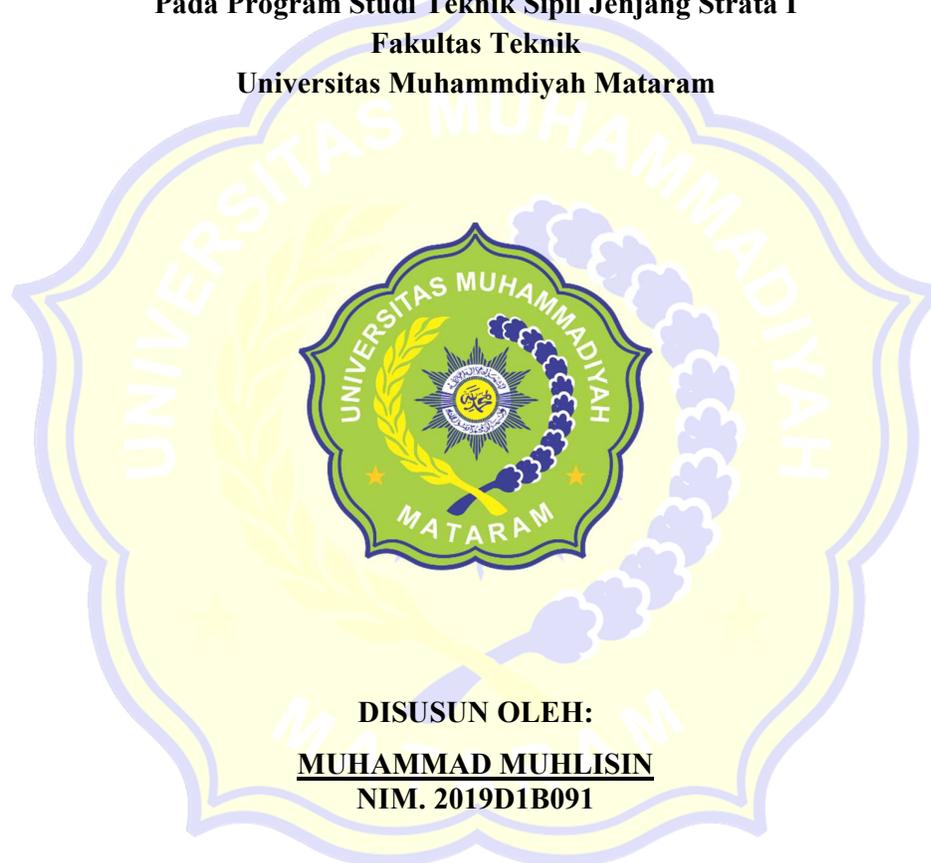


SKRIPSI

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN
BALOK NONPRISMATIS DENGAN BETON BERTULANG
(Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)**

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



DISUSUN OLEH:

MUHAMMAD MUHLISIN

NIM. 2019D1B091

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

REDESAIN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN
BALOK NONPRISMATIS DENGAN BETON BERTULANG
(Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)

Disusun Oleh:

MUHAMMAD MUHLISIN
NIM. 2019D1B091

Mataram, 22 Juni 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

NIDN. 0027107301

Aulia Muttaqin, ST., M. Eng.

NIDN. 080208401

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,

Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc.

NIDN. 0805027101

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI**

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN
BALOK NONPRISMATIS DENGAN BETON BERTULANG
(Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)**

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

MUHAMMAD MUHLISIN
2019D1B091

Telah Dipertahankan di Depan Tim Penguji
Pada Hari Senin, 26 Juni 2023
dan dinyatakan Telah Memenuhi Syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc(Eng)
2. Penguji II : Aulia Muttaqin, ST., M.Eng
3. Penguji III : Hafiz Hamdani, ST., MT.

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan

Dr. H. Aji Syallendra / baidillah, ST., M.Sc.

NIDN. 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

REDESAIN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN BALOK NONPRISMATIS DENGAN BETON BERTULANG (Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dan karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Apalagi terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 26 Juni 2023

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD MUHLISIN

NIM : 2019D1B091



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 : MUHAMMAD MUHJISIN
 NIM : 2019D18091
 Tempat/Tgl Lahir : Balin gagak, 09 Januari 1998
 Program Studi : Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 No. Hp : 087892922930
 Email : gagakputih09@gmail.com

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

Redesain Struktur gedung Bertingkat Menggunakan Balok Nonprismatis
 Dengan Beton Bertulang
 (Studi Kasus: Gedung Infrastruktur Basics Tower 1)

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 38%

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

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

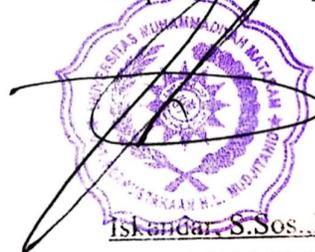
Mataram, Rabu, 05 Juli 2023

Penulis



Muhammad Muhjisin
 NIM. 2019D18091

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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

*pilih salah satu yang sesuai



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

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

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : Muhammad Muhlisin
NIM : 2019018091
Tempat/Tgl Lahir : Balin Gagak, 09 Januari 1998
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 087 892 922 930
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:

Redesain Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Balok Nonprismatik
Dengan Beton Batulang
(Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)

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, Rabu, 05 Juli 2023
Penulis



Muhammad Muhlisin
NIM. 2019018091

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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

MOTTO

“Hidup hanya sekali, maka nikmatilah hidup ini selama masih hidup. Tetapi ingat juga kalau mati hanya sekali, maka persiapkanlah bekal untuk kehidupan selanjutnya”

(Anonim)

“Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatu apa pun, dan Dia memberimu pendengaran, penglihatan dan hati agar kamu bersyukur”

(Q.S. An-Nahl: 78)

“Allah akan mencukupi orang yang bertawakal”

(Q.S. At-Thalaq: 3)



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji dan rasa syukur hanyalah milik Allah Yang Maha Esa. Kepunyaan-Nya lah segala apa yang ada di bumi dan di langit serta apa yang berada diantara keduanya. Oleh karena itu kita harus senantiasa bersyukur kepada-Nya. Salawat serta salam selalu dilimpahkan atas nabi akhir zaman, Nabi Muhammad *sallallohu'alaihi wa sallam* yang telah membawa cahaya bagi umat manusia, yaitu agama Islam. Semoga kelak kita semua diberi syafaat beliau di yaumul akhir.

Dalam skripsi ini penulis secara khusus ingin menyampaikan ungkapan terima kasih yang sebesar-sebesarnya kepada semua orang yang telah begitu banyak membantu serta mendukung penulis hingga mampu sampai pada titik akhir ini dalam masa menempuh jenjang S1. Atas izin Allah *azzawajalla* dan bantuan merekalah sehingga begitu banyaknya kendala dan hambatan yang dialami penulis selama menempuh jenjang S1 penulis dapat melalui itu semua. Banyaknya bantuan tenaga, pikiran, moral maupun material tidak dapat penulis balas satu per satu. Semoga Allah *azzawajalla* memberikan balasan yang terbaik di dunia dan di akhirat atas semua hal yang telah dikorbankan untuk penulis, sehingga dalam kesempatan yang baik ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Munire dan Bapak Mahdi yang merupakan orang tua terbaik dan terhebat bagi penulis yang telah begitu banyak mengorbankan segalanya sehingga penulis dapat tumbuh dan berkembang seperti saat ini.
2. Saudara penulis, Kak Mahli yang juga telah berjuang membantu penulis baik moral dan material.
3. Bapak Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Bapak Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc(Eng) selaku pembimbing I penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Aulia Muttaqin, ST., M.Eng, selaku pembimbing II penyusunan skripsi ini.

6. Dosen-dosen dan para staf Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
7. Semua keluarga besar penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang juga selalu memberikan dukungan semasa perkuliahan.
8. Adinda Cita Santuni, wanita hebat yang telah menemani penulis berjuang sampai titik ini.
9. Semua rekan seperjuangan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terutama Mukhta Riqi dan Subandi, yang telah berjuang bersama sampai dapat menyelesaikan skripsi.



PRAKATA

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, karunianya dan nikmat yang tiada tara sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul “Redesain Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Balok Nonprismatis Dengan Beton Bertulang (Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)”. Penyusunan Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak hambatan yang dihadapi penulis. Namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Allhamdulillah skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Drs. Abdul Wahab, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram
2. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram
3. Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc(Eng), selaku dosen pembimbing I.
5. Aulia Muttaqin, ST., M.Eng, selaku dosen pembimbing II
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Penulis menyadari dalam menyusun skripsi ini masih jauh dari sempurna, dan banyak sekali kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun yang kemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya.

Mataram, 24 Juni 2023

Muhammad Muhlisin

ABSTRAK

Balok merupakan salah satu elemen struktur atas yang berfungsi sebagai rangka pengaku dan dirancang untuk memikul dan mendistribusikan beban menuju kolom. Besarnya momen lentur yang bekerja pada balok yang disebabkan oleh beban yang bekerja memiliki nilai yang berbeda-beda di sepanjang bentangnya sehingga perlu optimalisasi kapasitas momen pada titik sepanjang bentang balok. Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan memodifikasi balok prismatis menjadi bentuk penampang yang nonprismatis. Tujuan perencanaan ini untuk mendesain ulang sistem balok prismatis menjadi sistem balok nonprismatis dengan bentuk tirus serta meninjau perbandingan dari aspek volume dan berat struktur. Meskipun demikian penerapan teknologi ini masih terbatas hanya pada struktur bangunan dengan material profil baja.

Dalam studi kasus ini, struktur gedung Infrastruktur BASICS masih menggunakan material beton bertulang sehingga akan didesain menggunakan material beton bertulang. Pemanfaatan gedung BASICS akan digunakan sebagai laboratorium penelitian dan ruang *co-working space* yang terdiri tiga gedung utama yaitu, *Tower 1*, *Tower 2* dan Gedung *Workshop*. Pada *Tower 1* terdiri dari 5 lantai dan 1 lantai DAK dengan tinggi total gedung 28 m dan luas bangunan 6227 m². Jenis material yang digunakan adalah beton bertulang dengan mutu $f'_c = 30$ MPa, mutu tulangan longitudinal, $f_y = 420$ MPa dan mutu tulangan transversal, $f_y = 240$ MPa. Analisis yang dilakukan terbatas hanya pada struktur atas bangunan yang meliputi pelat, balok dan kolom. Untuk menganalisa gaya dalam menggunakan *software* ETABS v.18.1.1 dan *Detail Engineering Design* menggunakan *software* AutoCAD 2020.

Hasil analisis desain struktur balok pada gedung *Tower 1* BASICS menggunakan sistem balok nonprismatis-tirus telah menghemat penggunaan beton hingga 14,29% terhadap balok yang ditinjau dan hemat 12,96% dari perhitungan total volume stuktur atas bangunan. Sedangkan penulangan pada balok redesain yang ditinjau membutuhkan penulangan longitudinal sedikit lebih banyak yaitu 10% dari balok eksisting di daerah tumpuan dan memiliki jumlah tulangan yang sama pada daerah lapangan, baik tulangan lentur maupun tulangan geser. Hal ini menunjukkan sistem balok nonprismatis-tirus sangat layak untuk diaplikasikan pada desain struktur gedung dengan material beton bertulang.

Kata kunci: Balok, Optimalisasi, Beton Bertulang, Kapasitas Momen, Nonprismatik.

ABSTRACT

Beams are structural elements that support and distribute column loads. The magnitude of bending moments caused by applied loads varies along the span of a beam, necessitating the optimization of moment capacities at various locations along the beam. One way to accomplish this is by transforming prismatic beams into non-prism sections. This research seeks to redesign a prismatic beam system as a non-prismatic tapered beam system and evaluate the volume and weight comparisons. However, this technology is presently only applicable to steel profile structures. In this case study, the BASICS Infrastructure building's primary material is reinforced concrete; therefore, the design will be founded on this material. The BASICS building will serve as a research laboratory and coworking space, comprising three primary structures: Tower 1, Tower 2, and the Workshop Building. Tower 1 consists of 5 floors and a rooftop floor, with a total height of 28 m and a building area of 6227 m². The material used is reinforced concrete with a compressive strength of $f_c = 30$ MPa, longitudinal reinforcement with a yield strength of $f_y = 420$ MPa, and transverse reinforcement with $f_y = 240$ MPa. The analysis focuses on the superstructure, including slabs, beams, and columns. ETABS v.18.1.1 software analyzes internal forces, while AutoCAD 2020 is used for the Detail Engineering Design. The analysis results show that redesigning the beam structure in Tower 1 BASICS using a non-prismatic tapered beam system reduces the concrete usage by 14.29% compared to the original beams and reduces the total volume of the superstructure by 12.96%. The redesigned beams require slightly more longitudinal reinforcement, approximately 10% more in the support regions, while the reinforcement in the field regions remains the same for flexural and shear reinforcement. It demonstrates that the non-prismatic tapered beam system is suitable for designing reinforced concrete structures.

Keywords: Beams, Optimization, Reinforced Concrete, Moment Capacity, Non-prismatic.



DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN SAMPUL | |
| HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS | iv |
| SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME | v |
| SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | vi |
| MOTTO | vii |
| UCAPAN TERIMA KASIH | viii |
| PRAKATA | x |
| ABSTRAK | xi |
| ABSTRACT | xii |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Perencanaan | 2 |
| 1.4. Batasan Perencanaan | 3 |
| 1.5. Manfaat Perencanaan | 3 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 4 |
| 2.1. Landasan Perencanaan | 4 |
| 2.2. Tinjauan Pustaka | 4 |
| 2.2.1. Penelitian Terdahulu | 4 |
| 2.2.2. Gedung Bertingkat | 6 |
| 2.3. Landasan Teori | 7 |
| 2.3.1. Beton Bertulang | 7 |
| 2.3.2. Persyaratan Struktur | 11 |
| 2.3.3. Struktur Pelat Beton Bertulang | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.3.3.1. Definisi Pelat | 13 |
| 2.3.3.2. Fungsi Pelat | 14 |
| 2.3.3.3. Jenis Tumpuan dan Perletakan Pelat | 14 |
| 2.3.3.4. Tipe Pelat | 15 |
| 2.3.3.5. Sistem Penulangan Pelat | 18 |
| 2.3.3.6. Perencanaan Tulangan Pelat | 21 |
| 2.3.4. Struktur Balok Beton Bertulang | 28 |
| 2.3.4.1. Definisi Balok | 28 |
| 2.3.4.2. Persyaratan Balok | 29 |
| 2.3.4.3. Klasifikasi Balok | 30 |
| 2.3.4.4. Tinggi Penampang Minimal Balok | 31 |
| 2.3.4.5. Distribusi Regangan dan Tegangan | 32 |
| 2.3.4.6. Momen Nominal dan Momen Rencana Balok | 34 |
| 2.3.4.7. Konstruksi Balok T | 34 |
| 2.3.4.8. Penulangan Geser Balok | 47 |
| 2.3.5. Struktur Kolom Beton Bertulang | 48 |
| 2.3.5.1. Definisi Kolom | 48 |
| 2.3.5.2. Jenis Kolom | 48 |
| 2.3.5.3. Asumsi Dasar Perencanaan Kolom | 52 |
| 2.3.5.4. Kolom Pendek dan Kolom Panjang | 53 |
| 2.3.5.5. Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris | 53 |
| 2.3.5.6. Penulangan Geser Kolom | 54 |
| 2.3.5.7. Batasan Komponen Struktural | 55 |
| 2.3.5.8. Penulangan Transversal | 55 |
| 2.3.5.9. Sambungan Balok Kolom | 56 |
| 2.3.6. Konsep Pembebanan pada Gedung | 57 |
| 2.3.6.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i> /DL) | 58 |
| 2.3.6.2. Beban Hidup (<i>Live Load</i> /LL) | 59 |
| 2.3.6.3. Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i> /EL) | 60 |
| 2.3.6.4. Faktor Reduksi Kekuatan | 74 |
| 2.3.6.5. Kombinasi Pembebanan | 75 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.7. ETABS | 76 |
| BAB III METODOLOGI PERENCANAAN | 77 |
| 3.1. Diskripsi Model Struktur | 77 |
| 3.2. Pengumpulan Data | 79 |
| 3.3. Lokasi Penelitian | 81 |
| 3.4. <i>Preliminary</i> Desain | 82 |
| 3.5. Perencanaan Struktural | 82 |
| 3.5.1. Perencanaan Pelat | 82 |
| 3.5.2. Perencanaan Balok <i>Tapered</i> | 82 |
| 3.5.3. Perencanaan Kolom | 83 |
| 3.5.4. Perencanaan Sambungan Balok-Kolom | 83 |
| 3.6. Metode Analisis..... | 83 |
| 3.6.1. Penentuan Tipe dan Dimensi Balok | 83 |
| 3.6.2. Analisis Beban | 84 |
| 3.6.3. <i>Modelling</i> dengan ETABS | 84 |
| 3.6.4. Analisis Gaya Dalam | 84 |
| 3.6.5. Analisis Perencanaan Pelat | 84 |
| 3.6.6. Analisis Perencanaan Balok | 84 |
| 3.6.7. Analisis Perencanaan Kolom | 85 |
| 3.6.8. Analisis Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom | 85 |
| 3.6.9. <i>Detail Engineering Design (DED)</i> | 85 |
| 3.7. Bagan Alir Perencanaan | 85 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 89 |
| 4.1. Umum | 89 |
| 4.2. Desain Eksisting | 89 |
| 4.3. Data Masukan | 89 |
| 4.3.1. Model Struktur | 89 |
| 4.3.2. Material Struktur | 89 |
| 4.3.2.1. Beton | 89 |
| 4.3.2.2. Baja Tulangan | 90 |
| 4.3.3. Dimensi Elemen-Elemen Struktur | 90 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.3.1. Pelat | 90 |
| 4.3.3.2. Balok | 91 |
| 4.3.4. Kombinasi Pembebanan Struktur | 93 |
| 4.4. Pembebanan Struktur | 94 |
| 4.4.1. Perhitungan Beban Pelat | 95 |
| 4.4.1.1. Beban Mati Pelat | 95 |
| 4.4.1.2. Beban Hidup Pelat | 95 |
| 4.4.2. Perhitungan Beban Balok | 96 |
| 4.4.3. Perhitungan Beban Akibat Tangga | 97 |
| 4.4.4. Perhitungan Beban Akibat Lift | 99 |
| 4.4.5. Perhitungan Beban Gempa | 100 |
| 4.4.5.1. Perhitungan gempa statik ekuivalen | 100 |
| 4.4.6. Beban Tanah Lateral | 106 |
| 4.5. Perencanaan Struktur | 107 |
| 4.5.1. Desain Pelat | 107 |
| 4.5.2. Desain <i>Retaining Wall</i> | 115 |
| 4.5.3. Desain Balok | 128 |
| 4.5.3.1. Penulangan balok G2 eksisting | 128 |
| 4.5.3.2. Penulangan balok G1 <i>redesign</i> | 140 |
| 4.5.4. Desain Kolom | 155 |
| 4.5.4.1. Pembesaran Momen | 155 |
| 4.5.4.2. Penulangan Kolom | 170 |
| 4.5.5. Sambungan Balok – Kolom | 179 |
| BAB V PENUTUP | 187 |
| 5.1. Kesimpulan | 187 |
| 5.2. Saran | 187 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

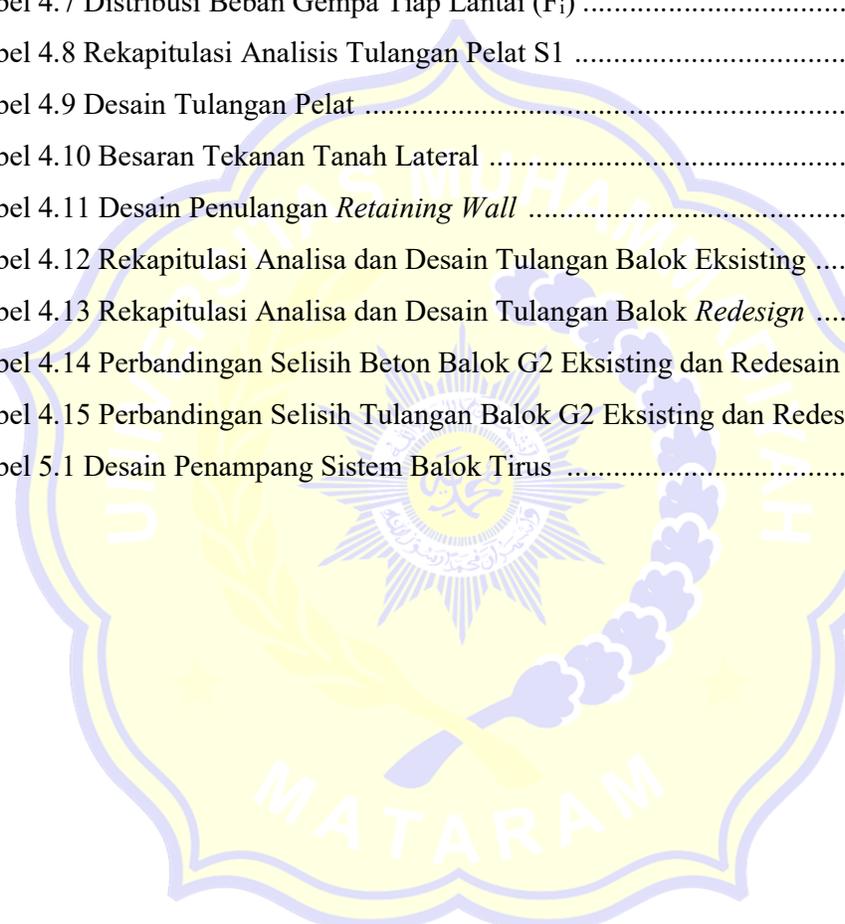
| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Balok Non Prismatis Bentuk “ <i>Tapered</i> ” | 5 |
| Gambar 2.2 Penampang Rancangan Model Blok Tirus | 5 |
| Gambar 2.3 Model Struktur Balok Non Prismatis | 6 |
| Gambar 2.4 Jenis Bangunan Berdasarkan Ketinggian dan Jumlah Lantai | 7 |
| Gambar 2.5 Jenis Tumpuan Pelat Lantai | 14 |
| Gambar 2.6 Jenis Perletakan Pelat pada Balok | 15 |
| Gambar 2.7 Gaya-Gaya Dalam pada Berbagai Jenis Pelat | 18 |
| Gambar 2.8 Penulangan Pelat Satu Arah | 19 |
| Gambar 2.9 Penulangan Pelat Dua Arah | 21 |
| Gambar 2.10 Penentuan Panjang Bentang Pelat (<i>l</i>) | 22 |
| Gambar 2.11 Pola Keruntuhan pada Balok Beton Bertulang | 29 |
| Gambar 2.12 Jenis-Jenis Balok Non Prismatis | 31 |
| Gambar 2.13 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Tunggal | 33 |
| Gambar 2.14 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap | 33 |
| Gambar 2.15 Analogi Penampang Balok Persegi dan Balok “T” | 35 |
| Gambar 2.16 Penampang Balok “T” | 36 |
| Gambar 2.17 Ketentuan Panjang Bentang | 37 |
| Gambar 2.18 Daerah Tekan pada Balok “T” | 37 |
| Gambar 2.19 Balok “T” dengan Sayap pada Dua Sisi | 39 |
| Gambar 2.20 Balok “T” dengan Sayap pada Satu Sisi | 39 |
| Gambar 2.21 Analogi Diagram Tegangan Regangan Balok “T” Bertulang Tunggal | 39 |
| Gambar 2.22 Ilustrasi Diagram Regangan- Tegangan Balok “T” Bertulangan Rangkap | 43 |
| Gambar 2.23 Jenis-Jenis Kolom | 49 |
| Gambar 2.24 Jenis Kolom Berdasarkan Letak Beban Aksial | 50 |
| Gambar 2.25 Penampang Kolom, Diagram Regangan dan Diagram | |

| | |
|---|-----|
| Tegangan | 53 |
| Gambar 2.26 Gaya-Gaya Dalam Pertemuan Rangka Balok-Kolom | 57 |
| Gambar 2.27 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia | 68 |
| Gambar 2.28 Spektrum Respon Desain | 68 |
| Gambar 3.1 Lokasi Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS | 77 |
| Gambar 3.2 Denah Site Plan 2D Proyek BASICS | 78 |
| Gambar 3.3 Bird 3D View Gedung BASICS | 78 |
| Gambar 3.4 Perspektif Gedung BASICS | 78 |
| Gambar 3.5 Lokasi Gedung Infrastruktur BASICS | 81 |
| Gambar 3.6 Balok Non Prismatis Bentuk Tirus | 84 |
| Gambar 3.7 Bagan Alir Perencanaan Struktur Portal Gedung | 86 |
| Gambar 3.8. Bagan Alir Perencanaan Sistem Balok <i>Tapered</i> | 87 |
| Gambar 4.1 Penampang Rancangan Model Balok <i>Tapered</i> G1 | 92 |
| Gambar 4.2 Pemodelan 3D Struktur Gedunga BASICS Tower 1 (Redesain) | 93 |
| Gambar 4.3 Pemodelan dan Reaksi Tumpuan pada Tangga | 99 |
| Gambar 4.3 Denah Tata Letak Unit Elevator | 100 |
| Gambar 4.4 Sketsa Pelat Tipe S1 | 107 |
| Gambar 4.5 Analogi Distribusi Tekanan Tanah Lateral Pada <i>Retaining Wall</i> . | 116 |
| Gambar 4.6 Grafik Distribusi Tekanan Tanah Lateral <i>Retainning Wall</i> | 118 |
| Gambar 4.7 Posisi Balok B25 dalam Pemodelan ETABS | 129 |
| Gambar 4.8 Penampang dan Diagram Tegangan Rencana Balok Bagian Tumpuan | 129 |
| Gambar 4.9 Penampang dan Diagram Tegangan Rencana Balok Bagian Lapangan | 135 |
| Gambar 4.10 Penampang dan Diagram Tegangan Rencana Balok Bagian Tumpuan | 141 |
| Gambar 4.11 Penampang dan Diagram Tegangan Rencana Balok Bagian Lapangan | 146 |
| Gambar 4.12 Nilai Rasio Kapasitas Momen Uniaksial | 177 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan Nilai Momen Internal | 6 |
| Tabel 2.2 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos | 9 |
| Tabel 2.3 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir | 10 |
| Tabel 2.4 Tebal Minimum Pelat Satu Arah Nonprategang | 22 |
| Tabel 2.5 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm) ^[1] | 24 |
| Tabel 2.6 $A_{s \text{ min}}$ Pelat Satu Arah Nonprategang | 26 |
| Tabel 2. 7 Rasio Luas Tulangan Ulir Susut Minimum Terhadap Penampang Bruto Beton | 26 |
| Tabel 2.8 Momen di dalam Pelat Persegi yang Menumpu pada Keempat Tepinya Akibat Beban Terbagi Merata | 27 |
| Tabel 2.9 Tinggi Minimum Balok Nonprategang | 32 |
| Tabel 2.10 Batasan Dimensi Lebar Sayap Efektif untuk Balok “T” | 38 |
| Tabel 2.11 Spasi Maksimum Tulangan Geser | 55 |
| Tabel 2.12 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung | 58 |
| Tabel 2.13 Beban Hidup Pada Lantai Gedung | 60 |
| Tabel 2.14 Faktor Keutamaan Gempa | 61 |
| Tabel 2.15 Klasifikasi Situs | 63 |
| Tabel 2.16 Koefisien Situs, F_a | 65 |
| Tabel 2.17 Koefisien Situs, F_v | 66 |
| Tabel 2.18 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode Pendek | 69 |
| Tabel 2.19 Kategori Desain Seismik Peridoe 1 Detik | 69 |
| Tabel 2.20 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung | 71 |
| Tabel 2.21 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x | 72 |
| Tabel 2.22 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Seismik | 73 |
| Tabel 3.1 Data Tinggi Antar Lantai | 79 |
| Tabel 3.2 Data Mutu Beton Struktur | 80 |
| Tabel 3.3 Data Mutu Baja Tulangan (f_y) | 80 |
| Tabel 4.1 Tipe Pelat Lantai Eksisting | 91 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4.2 Desain Dimensi Balok <i>Tapered</i> | 92 |
| Tabel 4.3 Beban Hidup Berdasarkan Fungsi Ruang | 96 |
| Tabel 4.4 Reaksi Tumpuan Tangga | 98 |
| Tabel 4.5 Data Spesifikasi lift LARSSON Elevator Co.,Ltd | 100 |
| Tabel 4.5 Analisis Klasifikasi Situs Titik BH1 | 101 |
| Tabel 4.6 Analisis Klasifikasi Situs Titik BH2 | 102 |
| Tabel 4.7 Distribusi Beban Gempa Tiap Lantai (F_i) | 106 |
| Tabel 4.8 Rekapitulasi Analisis Tulangan Pelat S1 | 115 |
| Tabel 4.9 Desain Tulangan Pelat | 115 |
| Tabel 4.10 Besaran Tekanan Tanah Lateral | 117 |
| Tabel 4.11 Desain Penulangan <i>Retaining Wall</i> | 127 |
| Tabel 4.12 Rekapitulasi Analisa dan Desain Tulangan Balok Eksisting | 140 |
| Tabel 4.13 Rekapitulasi Analisa dan Desain Tulangan Balok <i>Redesign</i> | 153 |
| Tabel 4.14 Perbandingan Selisih Beton Balok G2 Eksisting dan Redesain | 153 |
| Tabel 4.15 Perbandingan Selisih Tulangan Balok G2 Eksisting dan Redesain | 154 |
| Tabel 5.1 Desain Penampang Sistem Balok Tirus | 187 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, teknologi dan kebudayaan, kebutuhan pembangunan gedung kian meningkat dan terus berkembang pesat. Hal ini dapat dibuktikan salah satunya dengan melihat perbedaan metode serta teknologi konstruksi pada abad ke-19 dengan abad ke-20. Pembangunan prasarana gedung tersebut juga tidak terlepas dari fungsi, tujuan serta budaya setempat sehingga masing-masing konstruksi gedung memiliki keunikan dan variasi tersendiri. Gedung dapat difungsikan sebagai sentral dalam melaksanakan kegiatan sehari-hari seperti perkantoran, pendidikan, penelitian, usaha maupun industri.

Salah satu pembangunan konstruksi gedung yaitu Gedung Infrastruktur BASICS. Gedung BASICS sendiri merupakan gedung yang difungsikan sebagai kampus untuk pusat penelitian di kota Bandung yang dibangun oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang dikoordinasi oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Pembangunan proyek *Bandung Advanced Sciences and Creative Engineering Space* (BASICS) pada intinya terdiri dari dua menara (*tower*) yang berisikan fasilitas-fasilitas riset berupa ruangan-ruangan laboratorium lengkap dengan peralatan riset dan fasilitas-fasilitas pendukung inovasi lainnya.

Dalam perencanaan struktur gedung, umumnya seorang perencana akan mendesain struktur dengan memilih bentuk penampang struktur yang prismatis. Artinya struktur tersebut memiliki bentuk penampang yang sama di sepanjang bentang struktur tersebut. Akan tetapi dalam hal lain, banyak juga perencana menggunakan struktur yang non prismatis. Artinya struktur tersebut memiliki penampang yang tidak seragam pada bentangan tertentu (Gultom, 2018). Pemilihan bentuk penampang struktur yang tidak seragam terkadang bertujuan hanya untuk memenuhi aspek arsitektural. Tapi di sisi lain dapat menjadi upaya untuk meningkatkan efisiensi struktur tersebut.

Tipe struktur pada Gedung Infrastruktur BASICS menggunakan rangka beton

bertulang dengan sistem struktur pelat yang bertumpu pada balok. Struktur balok beton bertulang tersebut memiliki penampang yang seragam di sepanjang bentangnya. Balok yang terdiri dari balok induk dan balok anak yang menanggung beban dari pemanfaatan lantai dalam arah transversal akan menyebabkan terjadinya momen lentur dan gaya geser di sepanjang bentang balok tersebut.

Besaran momen lentur yang bekerja pada balok memiliki nilai yang berbeda-beda di sepanjang bentangnya. Sehingga perlu untuk melakukan optimalisasi kapasitas momen pada tiap titik sepanjang bentangan balok. Upaya yang dapat dilakukan diantaranya dengan modifikasi balok yang prismatis menjadi bentuk penampang yang nonprismatis, salah satunya dengan bentuk ‘*tapered*’ atau tirus. Konsep ini dilakukan dengan menyesuaikan tinggi tampang balok dengan besarnya momen yang bekerja pada titik yang bersesuaian.

Dalam penelitian ini akan merencanakan balok induk struktur Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1 dengan penampang balok nonprismatis berbentuk tirus dan kemudian dilakukan analisis menggunakan bantuan *software* ETABS v.18.1.1 untuk mengetahui kekuatan struktur balok tersebut dalam menahan beban-beban dan gaya yang bekerja.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat dalam penyusunan skripsi ini antara lain:

1. Bagaimana merencanakan struktur Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1 dengan sistem balok berpenampang nonprismatis.
2. Bagaimana perbandingan perencanaan ulang balok struktur Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1 terhadap desain eksisting yang ditinjau dari segi volume struktur utama gedung.

1.3. Tujuan Perencanaan

Adapun tujuan berdasarkan rumusan masalah di atas antara lain sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui cara merencanakan struktur Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1 dengan balok berpenampang nonprismatis.

2. Untuk mengetahui perbandingan perencanaan ulang balok struktur Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1 terhadap desain eksisting yang ditinjau dari segi volume struktur utama gedung.

1.4. Batasan Perencanaan

Agar masalah dalam penyusunan skripsi ini dapat lebih sederhana maka perlu dibuatkan batasan masalah. Adapun penyusunan skripsi ini dibatasi dengan hal-hal sebagai berikut:

1. Bangunan gedung dimanfaatkan sebagai fasilitas penelitian.
2. Gambar dan pemodelan struktur mengacu pada *shop drawing*.
3. Tinggi gedung 5 lantai dengan ditambah atap menggunakan dak beton.
4. Penelitian hanya membahas mengenai perencanaan struktur, tidak dengan analisis biaya dan manajemen konstruksi.
5. Pemodelan analisis struktur menggunakan *software* ETABS v.18.1.1, besaran momen dan geser didapat dari hasil *output software* ETABS v.18.1.1.
6. Beban angin tidak diperhitungkan.
7. Perhitungan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen.
8. Analisis struktur hanya menghitunga struktur atas, meliputi pelat, balok dan kolom.
9. Gambar *Detail Engineering Design* (DED) hanya fokus pada gambar struktural. Gambar arsitektural dan mekanikal elektrikl tidak termasuk. Hasil desain digambar menggunakan AutoCad 2020.

1.5. Manfaat Perencanaan

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merencanakan gedung dengan struktur beton bertulang menggunakan sistem balok tirus yang memenuhi aspek keamanan berdasarkan SNI yang berlaku.
2. Sebagai alternatif solusi pengurangan risiko kegagalan struktur akibat gempa dengan pengurangan volume dan berat struktur.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Landasan Perencanaan

Perencanaan suatu gedung tentunya harus mengacu pada standar dan peraturan yang sudah ditetapkan oleh pemerintah ataupun pihak yang berwenang. Dalam penyusunan skripsi ini, “Redesain Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Balok Non-Prismatis dengan Beton Bertulang (Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS Tower 1)” mengacu pada:

- a. PPPURG 1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung)
- b. SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung Struktur Lain
- c. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelesan
- d. SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton
- e. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
- f. SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
- g. SNI 03-6816:2002 tentang Tata Cara Pendetailan Tulangan Beton
- h. SNI 03-1727:1989 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung
- i. PP No. 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No. 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung

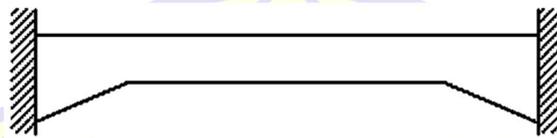
2.2. Tinjauan Pustaka

2.2.1. Penelitian Terdahulu

Berikut peneliti terdahulu yang telah melakukan analisis atau penelitian yang relevan dengan perencanaan yang akan dilaksanakan ini diantaranya:

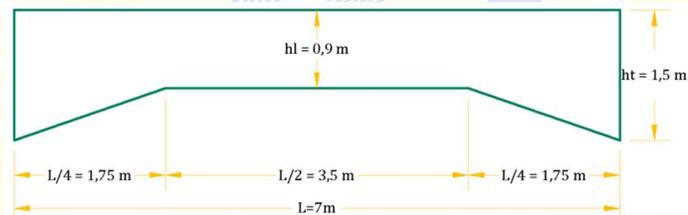
1. Wah Jantung Mama (2022), melakukan perencanaan ulang terhadap struktur gedung hotel Amarsvati dengan judul, “Studi Perancangan Struktur Gedung

Hotel Amarsvati Menggunakan Sistem Balok Beton Nonprismatik”. Proses analisis gaya dalam struktur Hotel Amarsvati menggunakan *software* ETABS 2016. Bentuk balok yang digunakan yaitu sistem ‘*tapered beam*’ atau balok tirus seperti pada Gambar 2.1 di bawah. Tujuan perancangan yaitu untuk membandingkan efisiensi desain eksisting dengan desain ulang struktur menggunakan sistem balok nonprismatik yang ditinjau berdasarkan volume dan berat struktur.



Gambar 2.1 Balok Non Prismatis Bentuk “*Tapered*”

(Sumber: Agus Setiawan, 2011)



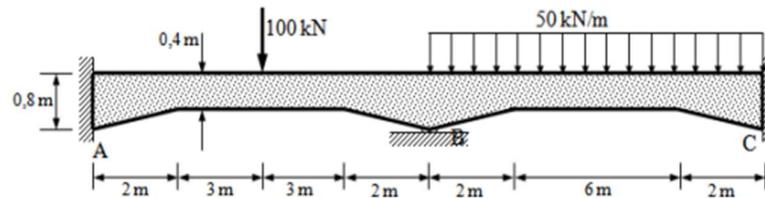
Gambar 2.2 Penampang Rancangan Model Blok Tirus

(Sumber: Wah Jantung Mama, 2022)

Berdasarkan hasil analisis, volume beton pada elemen balok *redesign* lebih hemat sebesar 15% s/d 40% sehingga volume balok secara keseluruhan hemat hingga 14,48% terhadap total volume balok atau 5,09% (1316,09 m³) dari volume total struktur atas. Sedangkan volume tulangan longitudinal dan transversal pada balok *redesign* lebih hemat secara berturut-turut 15,38% dan 12,55%.

2. Agus Setiawan (2011), dengan judul “*Analisis Struktur Balok Non Prismatis Menggunakan Metode Persamaan Slope – Deflection*”. Dalam analisis yang dilakukan tersebut dilakukan analisis terhadap balok non prismatis dengan

bentuk ‘*tapered*’ seperti pada Gambar 2.1 di atas. Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan hasil analisis suatu balok non prismatis dengan menggunakan metode persamaan *slope – deflection* dengan *software* SAP 2000 v.11.00.



Gambar 2.3 Model Struktur Balok Non Prismatis

(Sumber: Agus Setiawan, 2011)

Tabel 2.1 Perbandingan Nilai Momen Internal

| Momen Internal | <i>Slope-Deflection</i> (kN.m) | SAP 2000 v.11.00 (kN.m) | Selisih (%) |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------|
| M_{AB} | - 37,74 | - 40,38 | 6,54 |
| M_{BA} | + 334,5 | + 326,6 | 2,42 |
| M_{BC} | - 334,5 | - 326,6 | 2,42 |
| M_{CB} | + 631,3 | + 612,3 | 3,01 |

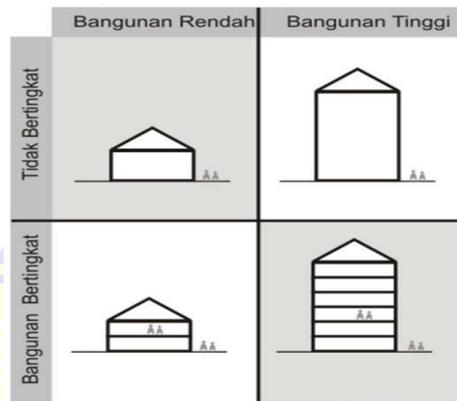
(Sumber: Agus Setiawan, 2011)

Hasil analisis menggunakan metode persamaan *slope – deflection* dan cara analisis dengan menggunakan program bantu SAP 2000 dapat dijelaskan bahwa perbedaan *output* momen internal yang dihasilkan dari kedua cara tersebut tidak terlalu signifikan hanya berkisar antara 2% hingga 6%. Pemodelan yang tepat menggunakan *software* SAP 2000 akan menghasilkan *output* yang akurat.

2.2.2. Gedung Bertingkat

Berdasarkan PP No. 16 Tahun 2021 menjelaskan bangunan gedung sebagai wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya

yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, aktivitas keagamaan, aktivitas usaha, aktivitas sosial, budaya maupun aktivitas khusus. Klasifikasi suatu gedung dapat dibedakan sesuai dengan zonasi gempa, tingkat kompleksitas, tingkat permanensi, lokasi, ketinggian maupun kepemilikan.



Gambar 2.4 Jenis Bangunan Berdasarkan Ketinggian dan Jumlah Lantai
(Sumber: Nandan Supriatna, 2021)

Gedung bertingkat adalah suatu sistem struktur yang terdiri dari beberapa lapis lantai, umumnya bertingkat ke atas namun terdapat juga yang bertingkat ke dalam tanah. Suatu bangunan gedung dikatakan bertingkat jika memiliki beberapa lantai yang tersusun secara vertikal di dalamnya. Bangunan tinggi belum tentu disebut sebagai gedung bertingkat jika tidak memiliki sejumlah lantai di dalamnya. Sebaliknya bangunan rendah juga dapat disebut sebagai gedung bertingkat jika memiliki beberapa lantai secara vertikal di dalamnya. Zuhri (2011) menyatakan bahwa bangunan bertingkat sebagai tempat manusia melakukan aktivitasnya diklasifikasikan sebagai bangunan rendah (*low rise building*), bangunan menengah (*middle rise building*) dan bangunan tinggi (*high rise building*).

2.3. Landasan Teori

2.3.1. Beton Bertulang

Beton dapat dijelaskan sebagai suatu campuran antara agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen *Portland*, air serta bahan tambahan lainnya (jika

diperlukan) yang diaduk secara merata sehingga terlihat seperti pasta atau membentuk ikatan fisika. SNI 2847:2019 menjelaskan bahwa beton merupakan campuran semen *Portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Agregat halus yang dimaksud yakni pasir alam sebagai hasil pemecahan alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai butir terbesar 5,0 mm. Sedangkan agregat kasar yang dimaksud yakni kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 55 mm – 40 mm (SNI 03-2834:2000)

Sifat utama dari beton adalah sangat kuat dalam menahan beban tekan tetapi mudah patah/getas terhadap beban tarik. Dikarenakan sifat beton yang getas terhadap beban tarik, maka diperlukan baja tulangan pada beton tersebut karena sifat baja yang kuat terhadap beban tarik. Sehingga beton dengan tulangan baja disebut beton bertulang. Beton bertulang (*reinforced concrete*) merupakan beton struktural yang ditulangi dengan sejumlah baja prategang atau tulangan nonprategang. Sehingga beton bertulang termasuk elemen-elemen yang memenuhi persyaratan untuk beton prategang dan nonprategang (SNI 2847:2019).

Beberapa kelebihan penggunaan beton bertulang sebagai bahan konstruksi diantaranya (Tampubolon, 2022):

- Memiliki ketahanan yang relatif tinggi terhadap air dan api.
- Struktur beton bertulang sangat kokoh
- Memiliki usia layan yang sangat panjang karena kekuatan beton tidak menurun seiring waktu
- Tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi
- Mudah dalam pengerjaan dan tidak memerlukan keahlian yang tinggi.

Tulangan yang digunakan pada beton bertulang berupa baja baik baja karbon maupun baja paduan dengan permukaan polos atau ulir/sirip. Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton yang memiliki penampang bundar dengan permukaan rata tanpa ulir/sirip. Sedangkan baja tulangan beton sirip/ulir adalah baja tulangan beton yang memiliki permukaan yang bersirip/berulir memanjang dan melintang untuk meningkatkan daya lekat dan menahan gerakan membujur dari

batang secara relatif terhadap beton. Detail baja tulangan beton polos (BjTP) disajikan pada Tabel 2.2. Sedangkan detail baja tulangan beton sirip/ulir (BjTS) disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos

| No | Penamaan | Diameter Nominal (d) | Luas Penampang Nominal (A) | Berat Nominal per meter* |
|--|----------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | | mm | mm ² | kg/m |
| 1 | P 6 | 6 | 28 | 0,222 |
| 2 | P 8 | 8 | 50 | 0,395 |
| 3 | P 10 | 10 | 79 | 0,617 |
| 4 | P 12 | 12 | 113 | 0,888 |
| 5 | P 14 | 14 | 154 | 1,208 |
| 6 | P 16 | 16 | 201 | 1,578 |
| 7 | P 19 | 19 | 284 | 2,226 |
| 8 | P 22 | 22 | 390 | 2,984 |
| 9 | P 25 | 25 | 491 | 3,853 |
| 10 | P 28 | 28 | 616 | 4,834 |
| 11 | P 32 | 32 | 804 | 6,313 |
| 12 | P 36 | 36 | 1018 | 7,990 |
| 13 | P 40 | 40 | 1257 | 9,865 |
| 14 | P 50 | 50 | 1964 | 15,413 |
| a) Luas penampang nominal (A) = $0,7854 \times d^2$ (mm ²) b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100}$ (kg/m) | | | | |

(Sumber: SNI 2052:2017 Tabel 2)

Tabel 2.3 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir

| No | Penamaan | Diameter Nominal (d) | Luas Penampang Nominal (A) | Tinggi Sirip (H) | | Jarak Sirip Melintang (P) Maks | Lebar Sirip Membujur (T) Maks | Berat Nominal per meter |
|----|----------|----------------------|----------------------------|------------------|------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | | | | min | maks | | | |
| | | | | mm | mm | | | |
| 1 | S 6 | 6 | 28 | 0,3 | 0,6 | 4,2 | 4,7 | 0,222 |
| 2 | S 8 | 8 | 50 | 0,4 | 0,8 | 5,6 | 6,3 | 0,395 |
| 3 | S 10 | 10 | 79 | 0,5 | 1,0 | 7,0 | 7,9 | 0,617 |
| 4 | S 13 | 13 | 133 | 0,7 | 1,3 | 9,1 | 10,2 | 1,042 |
| 5 | S 16 | 16 | 201 | 0,8 | 1,6 | 11,2 | 12,6 | 1,578 |
| 6 | S 19 | 19 | 284 | 1,0 | 1,9 | 13,3 | 14,9 | 2,226 |
| 7 | S 22 | 22 | 380 | 1,1 | 2,2 | 15,4 | 17,3 | 2,984 |
| 8 | S 25 | 25 | 491 | 1,3 | 2,5 | 17,5 | 19,7 | 3,853 |
| 9 | S 29 | 29 | 661 | 1,5 | 2,9 | 20,3 | 22,8 | 5,185 |
| 10 | S 32 | 32 | 804 | 1,6 | 3,2 | 22,4 | 25,1 | 6,313 |
| 11 | S 36 | 36 | 1018 | 1,8 | 3,6 | 25,2 | 28,3 | 7,990 |
| 12 | S 40 | 40 | 1257 | 2,0 | 4,0 | 28,0 | 31,4 | 9,865 |
| 13 | S 50 | 50 | 1964 | 2,5 | 5,0 | 35,0 | 39,3 | 15,413 |
| 14 | S 54 | 54 | 2290 | 2,7 | 5,4 | 37,8 | 42,3 | 17,978 |
| 15 | S 57 | 57 | 2552 | 2,9 | 5,7 | 39,9 | 44,6 | 20,031 |

Catatan:

1. Diameter nominal hanya dipergunakan untuk perhitungan parameter nominal lainnya dan tidak perlu diukur
2. Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran adalah sebagai berikut:
 - a) Luas penampang nominal (A)
$$A = 0,7854 \times d^2 \quad (\text{mm}^2)$$

d = diameter nominal (mm)
 - b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100} \quad (\text{kg/m})$
 - c) Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d
 - d) Tinggi sirip minimum = 0,05 d
Tinggi sirip maksimum = 0,10 d
 - e) Jumlah 2 (dua) sirip membujur maksimum = 0,25 K
 - f) Keliling nominal (K)
$$K = 0,3142 \times d \quad (\text{mm})$$

(Sumber: SNI 2052:2017 Tabel 3)

2.3.2. Persyaratan Struktur

Struktur pada bangunan gedung merupakan kerangka yang menopang semua beban dan elemen-elemen yang terdapat pada bangunan gedung. Seperti yang diketahui bahwa kekuatan dari struktur gedung merupakan faktor utama pendukung keamanan dan keselamatan dari gedung tersebut. Sehingga perencanaan harus dilakukan dengan seteliti mungkin. Dalam PP No. 16 tahun 2021 Pasal 55 ayat (1) dijelaskan bahwa struktur bangunan gedung harus direncanakan mampu memikul semua jenis beban dan/atau pengaruh luar yang mungkin bekerja selama kurun waktu umur layan struktur. Dalam Pasal 29 ayat (2) juga dijelaskan bahwa struktur bangunan gedung harus direncanakan kuat, stabil dan memenuhi ketentuan pelayanan (*serviceability*) dalam memikul beban selama umur layanan yang direncanakan dengan mempertimbangkan fungsi bangunan gedung, lokasi, keawetan dan kemudahan pelaksanaan konstruksi. Selanjutnya pada SNI 1727:2020 Pasal 1.3 dinyatakan bahwa bangunan dan struktur lain dan semua bagiannya, harus dirancang dan dibangun dengan kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk memberikan stabilitas struktural, melindungi komponen nonstruktural dan sistem, dan memenuhi persyaratan kemampuan layan.

Persyaratan sistem struktur beton bertulang yang tertuang dalam SNI 2847:2019 antara lain:

- a. Material Beton (Pasal 19)
 - Kekuatan tekan beton dinyatakan dengan f_c' dengan nilai f_c' minimum untuk beton secara umum sebesar 17 MPa dan tidak ada batasan maksimum kecuali ditentukan secara spesifik. Nilai f_c' diambil dari hasil pengujian beton dengan umur 28 hari.
 - Modulus elastisitas beton dinyatakan dalam E_c dengan nilai E_c pada beton normal dicari dengan rumus:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.1)$$

- b. Material Baja Tulangan (Pasal 20)
 - Kekuatan leleh baja tulangan dinyatakan dalam f_y dan diambil berdasarkan mutu tulangan yang digunakan serta tidak boleh melebihi nilai yang telah ditetapkan.

- Modulus elastisitas baja tulangan dinyatakan dengan E_s dan nilainya sebesar 200000 MPa.

c. Beban Rencana (Pasal 5.2)

Jenis beban yang bekerja secara umum pada suatu struktur dapat dikategorikan sebagai berat sendiri, beban operasional, dan pengaruh dari gaya prategang, gempa, kekangan terhadap perubahan volume dan perbedaan penurunan.

d. Sistem Struktural (Pasal 4.4)

Desain struktur beton awalnya dianggap sebagai komponen terpisah yang berdiri sendiri. Seiring dengan berkembangnya ilmu dan teknologi bidang keteknikan, perencanaan struktur gedung kini dianggap sebagai suatu sistem yang saling terkait. Sistem struktur yang dimaksud adalah elemen-elemen struktur diantaranya:

- Konstruksi pelat lantai dan pelat atap
- Balok dan pelat bertulang
- Kolom
- Dinding
- Diafragma
- Fondasi
- *Joint* dan ankur

e. Analisis Struktur (Pasal 4.5)

Saat melakukan perhitungan terhadap struktur gedung persyaratan kompatibilitas (*compatibility*) deformasi dan keseimbangan gaya harus terpenuhi. Dengan begitu dapat diperkirakan gaya dalam dan deformasi sistem struktur untuk memastikan kekuatan dan stabilitasnya.

f. Kekuatan (Pasal 4.6)

Kekuatan rancangan komponen struktur dihitung dengan mengalikan kekuatan nominalnya (S_n) dengan faktor reduksi (ϕ). Persyaratan yang harus terpenuhi untuk kekuatan perencanaan struktur harus berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Kekuatan desain} \geq \text{kekuatan perlu}$$

$$\phi S_n \geq U \dots\dots\dots(2.2)$$

g. Kemampuan Layan (Pasal 4.7)

Ketika beban layan bekerja pada struktur, perencanaan perlu untuk mempertimbangkan gaya reaksi, momen, gaya torsi, gaya geser, dan gaya aksial yang ditimbulkan oleh prategang, rangkak (*creep*), susut (*shrinkage*), perubahan temperature, deformasi aksial, kekangan dari komponen struktur yang tersambung dan penurunan fondasi. Kemampuan layan mengacu pada kemampuan sistem struktur untuk menopang beban dan menunjukkan perilaku dan fungsi yang diharapkan pada saat beban layan bekerja.

2.3.3. Struktur Pelat Beton Bertulang

2.3.3.1. Definisi Pelat

Secara umum pelat lantai dapat diartikan sebagai lantai yang tidak terletak di atas tanah secara langsung. Pelat lantai pada gedung-gedung tinggi biasa terbuat dari beton bertulang. Selain pengerjaannya yang lebih mudah dibandingkan pelat baja, harga pelat beton juga relatif lebih murah. Pelat beton bertulang merupakan struktur tertipis pada struktur bangunan yang terbuat dari beton bertulang dengan arah bidangnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Perbandingan ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dilihat pada sisi panjang atau lebar bidangnya. Konstruksi pelat lantai biasanya bertumpu pada balok dan kolom dalam arah horizontal yang dibangun secara monolit sehingga sangat bermanfaat untuk mendukung kekakuan balok portal. Ketebalan pelat lantai biasanya ditentukan berdasarkan:

- Besar lendutan yang diinginkan
- Lebar bentangan atau spasi antara balok-balok penyangga
- Bahan material konstruksi dan pelat lantai.

Perencanaan pelat lantai harus kaku, rata, lurus dan memiliki ketinggian yang sama (diperbolehkan miring untuk kondisi tertentu). Pemodelan struktur pelat lantai dapat dinyatakan dalam tiga dimensi dengan elemen tebal (*h*), panjang (*b*) dan lebar (*l*).

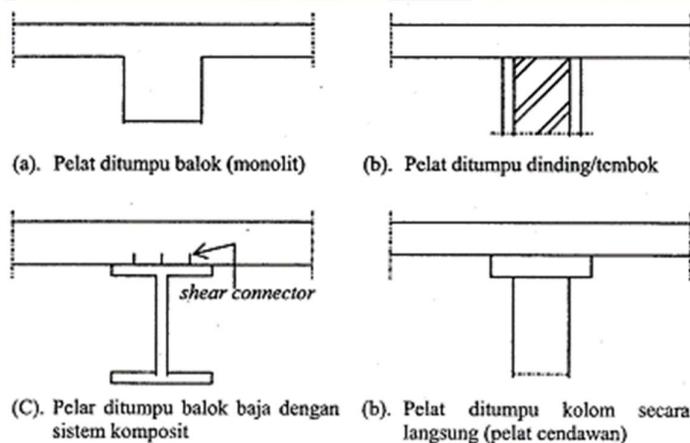
2.3.3.2. Fungsi Pelat

Beberapa fungsi pelat lantai secara umum diantaranya sebagai berikut:

- Sebagai penyekat antara lantai atas dan lantai bawah
- Sebagai tempat pijakan pengguna dalam beraktivitas di atas lantai
- Meredam suara yang berasal dari ruang bawah maupun ruang atas
- Tempat pemasangan kabel listrik dan lampu atau penggantung (plafond) ruang bawah
- Mendukung kekakuan bangunan dalam arah horizontal.

2.3.3.3. Jenis Tumpuan dan Perletakan Pelat

Perencanaan pelat beton bertulang tidak hanya mengacu berdasarkan pada pembebanan saja, namun juga perlu dipertimbangkan jenis perletakan serta jenis penghubung di tempat tumpuan. Kekakuan hubungan antara pelat dan tumpuan akan menentukan besar momen lentur yang terjadi pada pelat (Asroni, 2010). Pelat beton bertulang biasanya dicor di tempat bersamaan dengan balok-balok penumpu sehingga menjadi satu kesatuan memberikan hubungan yang kuat dan monolit. Selain menumpu pada balok beton bertulang, jenis konstruksi pelat lantai juga dapat ditumpu oleh dinding-dinding bangunan, balok-balok baja dengan sistem komposit, maupun menumpu pada kolom secara langsung tanpa balok, atau biasa disebut sebagai pelat cendawan.



Gambar 2.5 Jenis Tumpuan Pelat Lantai

(Sumber: Asroni, 2010)

Kekakuan hubungan antara balok dan pelat lantai merupakan salah satu parameter dalam perencanaan pelat. Ada tiga jenis perletakan pelat pada balok diantaranya (Asroni, 2010):

a) Terletak bebas

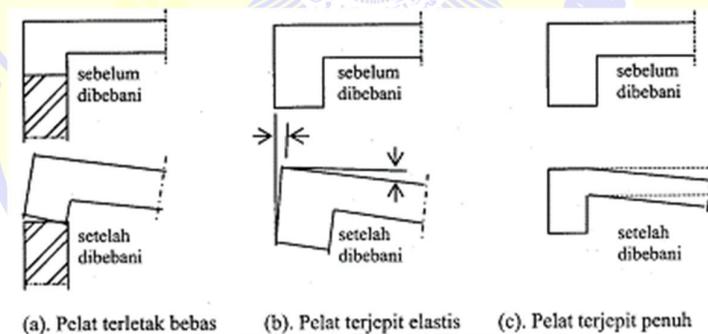
Keadaan ini terjadi apabila pelat diletakkan begitu secara bebas di atas balok atau antara pelat dan balok tidak dicor bersama-sama, sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut. Pelat yang menumpu pada tembok termasuk juga ke dalam jenis terletak bebas.

b) Terjepit elastis

Keadaan ini terjadi saat pelat dan balok dicor bersama-sama, namun dimensi balok sangat kecil sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah pelat berputar.

c) Terjepit penuh

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersamaan secara monolit dan dimensi balok cukup besar sehingga mampu untuk mencegah terhadinya rotasi pelat.



Gambar 2.6 Jenis Perletakan Pelat pada Balok

(Sumber: Asroni, 2010)

2.3.3.4. Tipe Pelat

Perbedaan jenis pelat lantai lantai dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis material yang digunakan sebagai konstruksi pelat lantai. Beberapa tipe pelat antara lain:

- **Pelat kayu.** Material dasar yang digunakan pada pelat tipe ini adalah kayu. Beberapa kelebihan dan kekurangan pelat kayu antara lain sebagai berikut:

Kelebihan:

- Harga yang relatif ekonomis
- Beratnya yang relatif ringan sehingga hemat ukuran balok dan pondasi
- Mudah dalam pengerjaan

Kekurangan:

- Hanya dapat dipergunakan dalam konstruksi bangunan yang sederhana dan ringan
- Bukan benda peredam yang baik
- Mudah terbakar dan tidak tahan air (mudah bocor)
- Cepat terpengaruh oleh cuaca seperti panas, hujan, dll
- Tidak bisa dipasang keramik di atasnya
- Umurnya relatif pendek dibandingkan dengan tipe yang lainnya

- **Pelat beton.** Pelat beton merupakan tipe pelat lantai yang banyak digunakan terutama pada jenis konstruksi gedung-gedung bertingkat tinggi. Pelat beton biasanya diberikan tulangan dan dicor ditempat bersama dengan balok penumpu dan kolom pendukungnya. Namun terdapat juga jenis pelat beton pracetak dan prategang sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Tulangan yang dipasang pada pelat beton berfungsi sebagai penahan momen tarik dan momen lentur.

Kelebihan:

- Memiliki daya dukung yang tinggi terhadap beban yang besar
- Kedap air dan tidak dapat terbakar
- Dapat dipasangkan penutup lantai di permukaan atasnya seperti keramik/granit
- Pengerjaan yang tidak memerlukan keahlian tinggi
- Materialnya awet, kuat, berumur panjang dan perawatan yang mudah.

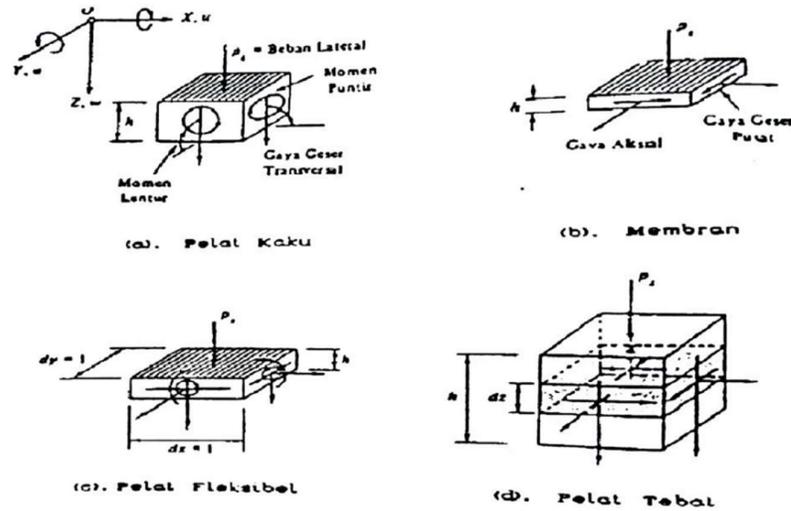
- **Pelat baja.** Penggunaan lempengan baja sebagai pelat lantai biasanya diaplikasikan pada jenis konstruksi bangunan semi permanen seperti bangunan

gudang, bengkel dan lain-lain. Pelat lantai baja akan sering dijumpai pada komponen strukturbangunan yang dominan menggunakan material baja.

- **Pelat yumen.** Pelat yumen merupakan singkatan dari “pelat kayu-semen”. Seperti namanya, pelat ini terbuat dari campuran material kayu yang dipotong kecil-kecil dan semen dan dibuat dengan ukuran 90x80 cm. Tipe pelat ini masih tergolong baru dan masih jarang digunakan.

Menurut Szilard (1974) jenis pelat lantai berdasarkan aksi strukturalnya dapat dikategorikan menjadi empat kategori utama antara lain sebagai berikut:

- **Pelat Kaku.** Tipe pelat ini mempunyai ketebalan yang relatif tipis yang memiliki ketegangan lentur (*flexural rigidity*) dan memikul beban dengan aksi dua dimensi, terutama dengan momen internal (lentur dan puntir) serta kekuatan geser transversal, yang biasanya sama dengan balok.
- **Membran.** Membran adalah pelat tipis tanpa tegangan lentur dan memikul beban lateral dengan gaya geser aksial dan gaya geser terpusat. Aksi pemikul beban seperti ini bisa didekati dengan jaringan kabel yang tegang karena ketebalannya yang sangat tipis membuat daya tahan momennya dapat diabaikan.
- **Pelat Fleksibel.** Struktur pelat fleksibel merupakan kombinasi dari pelat kaku dan membran yang mendukung beban eksternal dengan aksi momen internal, gaya geser dan gaya geser terpusat, serta gaya aksial. Pelat seperti ini sering dipakai dalam industri ruang angkasa karena perbandingan berat dengan bebannya menguntungkan.
- **Pelat Tebal.** Merupakan pelat yang keadaan tegangan dalamnya menyerupai keadaan kontinyu tiga dimensi.



Gambar 2.7 Gaya-Gaya Dalam pada Berbagai Jenis Pelat
(Sumber: Szilard, 1974)

2.3.3.5. Sistem Penulangan Pelat

Secara umum sistem perencanaan penulangan pelat pada dasarnya dibagi menjadi 2 macam, yaitu sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah (pelat satu arah/*one way slab*) dan sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok dua arah (pelat dua arah/*two way slab*).

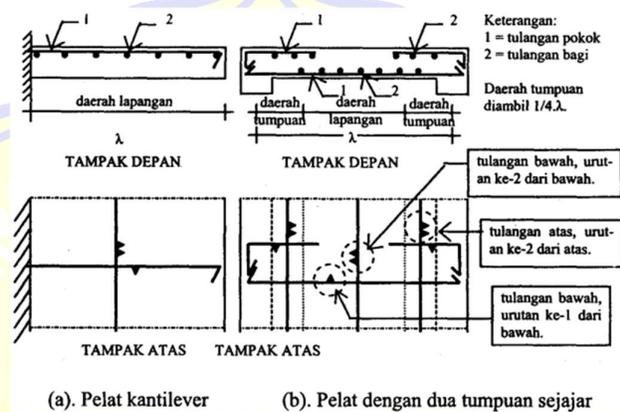
1) Penulangan Pelat Satu Arah

a) Konstruksi pelat satu arah

Pelat lantai dengan tulangan utama satu arah biasanya dijumpai pada sistem pelat beton yang lebih banyak menopang beban berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Diantara bentuk pelat satu arah yaitu pelat kantilever serta pelat yang ditahan oleh dua tumpuan sejajar.

Pada pelat tipe ini, tulangan pokok hanya dipasang pada satu arah saja karena momen lentur hanya bekerja pada satu arah, yaitu searah λ saja. Agar posisi tulangan utama (pada saat pengecoran beton) tidak mengalami perubahan dari posisi awal maka diperlukan adanya penambahan tulangan bagi, yaitu tulangan tambahan yang memiliki arah tegak lurus dengan tulangan utama.

Posisi pemasangan tulangan pokok dan tulangan bagi selalu bersilangan tegak lurus. Tepat pada titik persilangan tersebut, kedua tulangan diikat dengan kuat menggunakan kawat *bindrad*. Tulangan utama diposisikan dekat dengan bagian tepi luar beton, sedangkan tulangan bagi ditempelkan tepat pada bagian dalam tulangan utama. Tulangan bagi dapat berfungsi sebagai penguat kedudukan tulangan pokok dan penahan retak beton akibat susut dan perbedaan suhu pada beton.



Gambar 2.8 Penulangan Pelat Satu Arah

(Sumber: Asroni, 2010)

b) Simbol Gambar Penulangan

Momen yang terjadi pada pelat kantilever adalah momen negatif sehingga tulangan utama (dan tulangan bagi) dipasang di atas. Jika dilihat dari gambar penulangan TAMPAK DEPAN di atas, maka terlihat jelas bahwa tulangan pokok dipasang paling atas (dekat dengan tepi luar beton), sedangkan tulangan bagi menempel di bawahnya. Tetapi apabila diperhatikan pada gambar TAMPAK ATAS, pada garis tersebut hanya tampak tulangan horizontal dan vertikal yang bersilangan, sehingga sulit dipahami tulangan manan yang seharusnya dipasang di atas atau yang menempel di bawahnya. Untuk mengatasi kesulitan ini, diperlukan beberapa aturan penggambaran dan simbol-simbol sebagai berikut (Asroni, 2010):

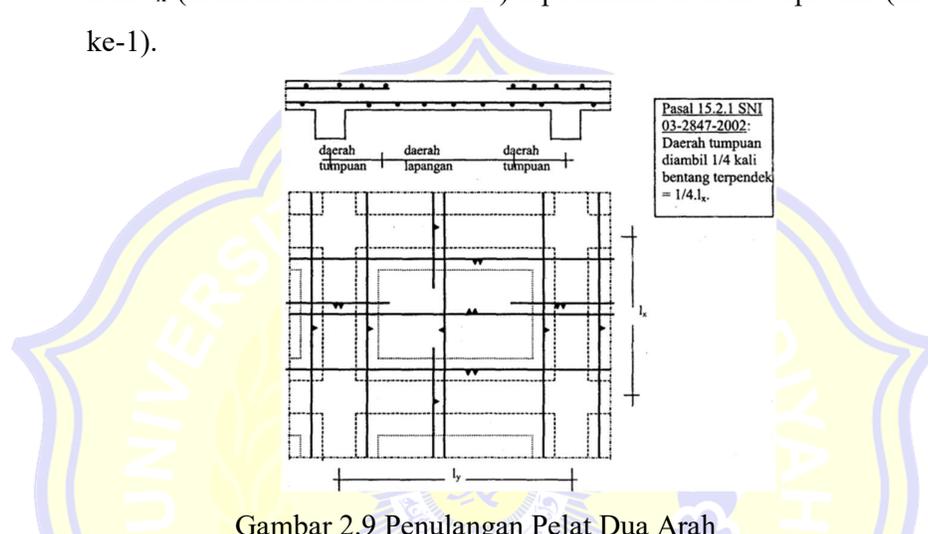
- Aturan secara umum dalam penggambaran yaitu harus dapat dibaca dari bawah dan/atau sebelah kanan diputar ke bawah.
- Tulangan yang dirancang di bagian atas dinotasikan dengan segitiga yang bagian lancip mengarah ke bawah, disebut simbol mendukung (∇).
- Tulangan yang dipasang di bawah dinotasikan dengan segitiga yang bagian lancip mengarah ke atas, disebut: simbol menginjak (\blacktriangle).
- Pada Gambar 2.8 (a) TAMPAK DEPAN, tulangan utama ataupun tulangan bagi di pasang di atas. Tulangan utama berada di urutan ke-1 dari paling atas, dan posisi tulangan bagi berada di urutan ke-2 tepat bawah tulangan utama.
- Pada Gambar 2.8 (a) TAMPAK ATAS, tulangan utama jika dilihat dari atas tampak sebagai garis horizontal, dan dinotasikan dengan: mendukung berjumlah 1 buah (∇), artinya tulangan dipasang di atas dan pada urutan ke-1. Jika dilihat dari atas tampak tulangan bagi tampak sebagai garis vertikal, dan diberi simbol mendukung berjumlah 2 buah (∇), artinya tulangan ditempatkan di atas pada urutan ke-2.
- Berdasarkan poin ke-1 sampai poin ke-5 maka sesuai Gambar 2.8 (b) TAMPAK ATAS, tulangan bagi di daerah tumpuan diberi tanda 2 buah segitiga dengan sisi lancip mengarah ke kanan. Karena tulangannya dipasang di atas dan pada urutan ke-2 dari atas, sedangkan tulangan bagi dengan sisi lancip mengarah ke kiri, tulangannya ditempatkan di bawah dan pada urutan ke-2.

2) Penulangan Pelat Dua Arah

a) Konstruksi pelat dua arah

Sistem penulangan pokok pelat dua arah ini terjadi ketika pelat beton memikul beban berupa momen lentur pada bentang dua arah. Contoh pelat dua arah adalah pelat yang ditopang oleh empat sisi yang saling sejajar. Momen lentur yang bekerja memiliki dua arah, yaitu searah dengan bentang l_x dan l_y , maka tulangan pokok juga dipasang pada dua arah yang

saling tegak lurus (berpotongan), sehingga tidak perlu tulangan bagi. Tetapi pada pelat di daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur satu arah saja, sehingga untuk daerah tumpuan ini tetap memerlukan tulangan bagi, sesuai yang terlihat pada Gambar 2.9. Bentang l_y selalu dipilih lebih besar atau sama dengan bentang l_x ($l_y \geq l_x$), tetapi momennya M_{ly} selalu lebih kecil atau sama dengan momen M_{lx} ($M_{ly} \leq M_{lx}$), sehingga tulangan yang arah l_x (momen lentur lebih besar) diposisikan di dekat tepi luar (urutan ke-1).



Gambar 2.9 Penulangan Pelat Dua Arah

(Sumber: Asroni, 2010)

b) Membaca gambar penulangan

Aturan dalam penggambaran pelat dua arah (dan semua pelat lainnya) adalah sama seperti aturan penggambaran pada pelat satu arah, jadi simbol-simbol yang digunakan juga sama. Perlu diperhatikan bahwa di daerah lapangan pada sistem pelat dua arah hanya memiliki tulangan pokok saja (baik arah l_y maupun arah l_x) yang saling bersilangan, akan tetapi di daerah tumpuan mempunyai tulangan pokok dan tulangan bagi.

2.3.3.6. Perencanaan Tulangan Pelat

1) Dasar pertimbangan analisis tulangan pelat

Beberapa persyaratan/ketentuan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pelat beton bertulang antara lain sebagai berikut:

- a) Lebar pelat dalam perhitungan diambil 1,0 meter ($b = 1000 \text{ mm}$).....(2.3)

b) Panjang bentang (l) (pasal 10.7 SNI 03-2847-2002):

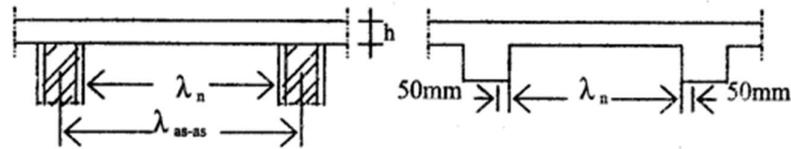
- Pelat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung (sesuai Gambar 2.10 (a))

$$l = l_n + h \text{ dan } l \leq l_{as-as} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Pelat yang menyatu dengan struktur pendukung (sesuai Gambar 2.10 (b))

$$\text{Jika } l \leq 3,0 \text{ m, maka } l = l_n \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Jika } l_n > 3,0, \text{ maka } l = l_n + 2 \times 0 \text{ mm (PBI-1971)} \dots\dots\dots(2.6)$$



(a). Pelat tidak menyatu dengan pendukung

Pelat menyatu dengan pendukung

Gambar 2.10 Penentuan Panjang Bentang Pelat (l)

(Sumber Asoroni: 2010)

c) Tebal minimal pelat (h) (Pasal 7 dan Pasal 8 SNI 2847:2019)

- Ketebalan minimum pelat satu arah ditentukan sesuai pada Tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.4 Tebal Minimum Pelat Satu Arah Nonprategang

| Kondisi Tumpuan | $h^{(1)}$ Minimum |
|---------------------|-------------------|
| Tumpuan Sederhana | $l/20$ |
| Satu Ujung Menerus | $l/24$ |
| Kedua Ujung Menerus | $l/28$ |
| Kantilever | $l/10$ |

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1)

Catatan:

(1) Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa.
 Untuk kasus lain ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai persamaan (2.7) – persamaan (2.9)

- Jika nilai f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.4 di atas harus dikalikan dengan persamaan (2.7) berikut:

$$0,4 + \frac{f_y}{700} \dots\dots\dots(2.7)$$

- Jika pelat nonprategang terbuat dari beton ringan dengan nilai berat isi, w_c , berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, ketentuan pada Tabel 2.4 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari persamaan (2.8) dan (2.9) berikut:

$$1,65 - 0,0003w_c \dots\dots\dots(2.8)$$

$$1,09 \dots\dots\dots(2.9)$$

- Untuk pelat dua arah, tebal minimal pelat dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah.

Rasio kekakuan lentur (α) penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dapat dihitung dengan rumus:

$$\alpha = \frac{E_{cb}/I_b}{E_{cs}/I_s} \dots\dots\dots(2.10)$$

- Jika $\alpha_m < 0,2$ maka:

$$h \geq 125 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.11)$$

- Jika $0,2 \leq \alpha_m \leq 0,2$ maka:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \text{ dan } \geq 125 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.12)$$

- Jika $\alpha_m > 2$ maka:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 - \left(\frac{f_y}{1400} \right) \right)}{36 - 9 \cdot \beta} \text{ dan } \geq 90 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan β = rasio antara bentang bersih pelat arah memanjang dan arah memendek (l_{my}/l_{nx}).

Tabel 2.5 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang
Tanpa Balok Interior (mm)^[1]

| fy MPa ^[2] | Tanpa drop panel ^[3] | | | Dengan drop panel ^[3] | | |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|
| | Panel eksterior | | Panel interior | Panel eksterior | | Panel interior |
| | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | |
| 280 | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/3$ | $l_n/40$ | $l_n/40$ |
| 420 | $l_n/30$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ |
| 520 | $l_n/28$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/34$ | $l_n/34$ |

^[1] adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)

^[2] untuk f_y dengan nilai di antara yang diberikan di dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear.

^[3] drop panel sesuai pasal 8.2.4 SNI 2847:2019

^[4] pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior.

Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai pasal 8.10.2.7 SNI 2847:2019

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1)

- d) Tebal selimut beton minimal (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)
- Pelat yang dicor secara permanen kontak langsung dengan tanah memiliki tebal selimut beton 75 mm
 - Pelat yang terkena cuaca atau kontak langsung dengan tanah:
Batang D19 – batang D57 → tebal selimut beton 50 mm

Batang D16, kawat D13 atau lebih kecil → tebal selimut beton 40 mm

- Pelat yang tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah:

Batang D43 – batang D57 → tebal selimut beton 40 mm

Batang D36 atau lebih kecil → tebal selimut beton 20 mm

e) Jarak bersih antar tulangan, s (SNI 2847:2019 Pasal 25.2)

Spasi bersih tulangan tidak boleh kurang dan diambil nilai terbesar dari:

$$s \geq 25 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$s \geq d_b \dots\dots\dots(2.15)$$

$$s \geq 4/3d_{agg} \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan d_b adalah diameter tulangan dan d_{agg} adalah diameter agregat.

f) Jarak maksimum tulangan pelat, s (SNI 2847:2019)

- Jarak maksimum tulangan pelat 1 arah diambil nilai terkecil dari persamaan (2.17) dan persamaan (2.18) di bawah ini (Pasal 7.7.2.2):

$$s \leq 3h \dots\dots\dots(2.17)$$

$$s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.18)$$

- Sedangkan pelat 2 arah harus diambil nilai terkecil dari persamaan (2.19) dan persamaan (2.18) untuk penampang kritis dan nilai terkecil dari persamaan (2.19) dan persamaan (2.20) untuk penampang lainnya (Pasal 8.7.2.2).

$$s \leq 2h \dots\dots\dots(2.19)$$

Untuk tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari persamaan (2.20) dan persamaan (2.18) (Pasal 7.7.6.2.1)

$$s \leq 5h \dots\dots\dots(2.20)$$

g) Luas tulangan lentur minimal pelat, $A_{s \text{ min}}$

- Luas minimum tulangan lentur untuk pelat satu arah dan dua arah sesuai dengan Tabel 2.6

Tabel 2.6 $A_{s \text{ min}}$ Pelat Satu Arah Nonprategang

| Tipe Tulangan | f_y , MPa | $A_{s \text{ min}}$, mm ² | |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Batang ulir | < 420 | 0,0020 A_g | |
| Batang ulir atau kawat las | ≥ 420 | Terbesar dari: | $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$ |
| | | | 0,0014 A_g |

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 7.6.1.1)

Dimana A_g adalah luas bruto penampang beton, mm². Untuk tulangan susut dihitung berdasarkan rasio luasannya terhadap luas penampang beton bruto sesuai pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2. 7 Rasio Luas Tulangan Ulir Susut Minimum Terhadap Penampang Bruto Beton

| Tipe 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 Tabel 24.4.3.2)

2) Penulangan pelat dua arah (empat tumpuan terjepit penuh)

Langkah perhitungan tulangan tumpuan dan lapangan pelat adalah sebagai berikut:

- Menentukan dimensi pelat (h, d, d_s)
- Menghitung beban dan momen ultimit

$$M_u \leq \phi \cdot M_n \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana M_n merupakan momen nominal yang nilainya ditentukan berdasarkan persamaan (2.22) di bawah ini.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b} \dots\dots\dots(2.22)$$

Untuk perhitungan momen pada pelat lantai dapat digunakan aturan pada Tabel 2.8 di bawah ini.

Tabel 2.8 Momen di dalam Pelat Persegi yang Menumpu pada Keempat Tepinya Akibat Beban Terbagi Merata

| l_y/l_x | | | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | >2,5 |
|-----------|--|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| I | | Mlx = +0,001 ql ² X | 44 | 52 | 59 | 66 | 73 | 78 | 84 | 88 | 93 | 97 | 100 | 103 | 106 | 108 | 110 | 112 | 125 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 44 | 45 | 45 | 44 | 44 | 43 | 41 | 40 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 25 |
| II | | Mlx = +0,001 ql ² X | 21 | 25 | 28 | 31 | 34 | 36 | 37 | 38 | 40 | 40 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 21 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 14 | 13 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 10 | 10 | 8 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 52 | 59 | 64 | 69 | 73 | 76 | 79 | 81 | 82 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 |
| III | | Mlx = +0,001 ql ² X | 28 | 33 | 38 | 42 | 45 | 48 | 51 | 53 | 55 | 57 | 58 | 59 | 59 | 60 | 61 | 61 | 63 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 28 | 28 | 27 | 26 | 25 | 23 | 23 | 22 | 21 | 19 | 18 | 17 | 17 | 16 | 16 | 13 | |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 68 | 77 | 85 | 92 | 98 | 103 | 107 | 111 | 113 | 116 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 122 | 125 |
| IVA | | Mlx = +0,001 ql ² X | 22 | 28 | 34 | 42 | 49 | 55 | 62 | 68 | 74 | 80 | 85 | 89 | 93 | 97 | 100 | 103 | 125 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 32 | 35 | 37 | 39 | 40 | 41 | 41 | 41 | 40 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 25 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 70 | 79 | 87 | 94 | 100 | 105 | 109 | 112 | 115 | 117 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 123 | 125 |
| IVB | | Mlx = +0,001 ql ² X | 32 | 34 | 36 | 38 | 39 | 40 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 22 | 20 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 70 | 74 | 77 | 79 | 81 | 82 | 83 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 83 | 83 | 83 | 83 |
| VA | | Mtx = +0,001 ql ² X | 31 | 38 | 45 | 53 | 60 | 66 | 72 | 78 | 83 | 88 | 92 | 96 | 99 | 102 | 105 | 108 | 125 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 37 | 39 | 41 | 41 | 42 | 42 | 41 | 41 | 40 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 25 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 84 | 92 | 99 | 104 | 109 | 112 | 115 | 117 | 119 | 121 | 122 | 122 | 122 | 123 | 123 | 124 | 124 |
| VB | | Mlx = +0,001 ql ² X | 37 | 41 | 45 | 48 | 51 | 53 | 55 | 56 | 58 | 59 | 60 | 60 | 60 | 61 | 61 | 62 | 63 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 31 | 30 | 28 | 27 | 25 | 24 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 17 | 16 | 16 | 15 | 13 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 84 | 92 | 98 | 103 | 108 | 111 | 114 | 117 | 119 | 120 | 121 | 122 | 122 | 123 | 123 | 123 | 124 |
| VIA | | Mlx = +0,001 ql ² X | 21 | 26 | 31 | 36 | 40 | 43 | 46 | 49 | 51 | 53 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 63 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 26 | 27 | 28 | 28 | 27 | 26 | 25 | 23 | 22 | 21 | 21 | 20 | 20 | 19 | 19 | 18 | 13 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 55 | 65 | 74 | 82 | 89 | 94 | 99 | 103 | 106 | 110 | 114 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 125 |
| VIB | | Mlx = +0,001 ql ² X | 26 | 29 | 32 | 35 | 36 | 38 | 39 | 40 | 40 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 60 | 66 | 71 | 74 | 77 | 79 | 80 | 82 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 |
| VIB | | Mlx = +0,001 ql ² X | 55 | 57 | 57 | 57 | 58 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| | | Mly = +0,001 ql ² X | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 |
| | | Mty = -0,001 ql ² X | 60 | 66 | 71 | 74 | 77 | 79 | 80 | 82 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 |

— = Tergantung bebas
 = Tergantung penuh

(Sumber: PBI 1971 Tabel 13.3.1)

- Menghitung rasio tulangan perlu, ρ_u

$$\rho_u = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right) \dots\dots\dots(2.23)$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{2f_y} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana $\rho_u \geq \rho_{min}$. Apabila $\rho_u < \rho_{min}$ maka digunakan nilai ρ_{min} untuk menghitung nilai luas tulangan.

- Menghitung luas tulangan perlu, A_s :

$$A_s = \rho_u \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.25)$$

- Jarak tulangan perlu, s_u

$$s_u = \frac{A_{stl} \cdot b}{A_s} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan A_{stl} merupakan luas tulangan yang digunakan (mm).

2.3.4. Struktur Balok Beton Bertulang

2.3.4.1. Definisi Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktural yang berperan sebagai pengaku dan dirancang untuk memikul dan mendistribusikan beban menuju kolom. Selain itu, balok juga berfungsi sebagai pengikat kolom sehingga struktur kolom tetap berada pada posisinya apabila terjadi pergerakan atau pembebanan. Dalam SNI 2847:2019 dijelaskan bahwa balok (*beam*) adalah komponen struktur yang utamanya menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi. Balok termasuk bagian dari sistem penahan gaya lateral yang umumnya arah horizontal.

Rasio tulangan pada perencanaan balok bergantung pada mutu beton (f_c') dan mutu baja tulangan (f_y). Selain itu rasio penulangan balok juga berkaitan dengan keruntuhan yang terjadi pada balok lentur. Berdasarkan jenis keruntuhannya ada beberapa keruntuhan yang terjadi pada balok diantaranya:

1. Keruntuhan Seimbang (*Balance*)

Tulangan tarik beton mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batas dan akan hancur karena tekan. Pada saat awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003 sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/\epsilon_c$. Pada kondisi ini beton mengalami kehancuran bersamaan dengan baja tulangan leleh, sehingga kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Keruntuhan pada balok yang seperti ini memiliki rasio tulangan yang seimbang dan dapat dihitung nilainya menggunakan persamaan (2.27) berikut.

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \dots\dots\dots(2.27)$$

2. Keruntuhan Tekan (*Over Reinforced*)

Pada keadaan ini keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan sebelum baja tulangan leleh. Pada awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil dari regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil dari tegangan lelehnya f_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balance*. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini memiliki rasio tulangan yang besar. Oleh karena

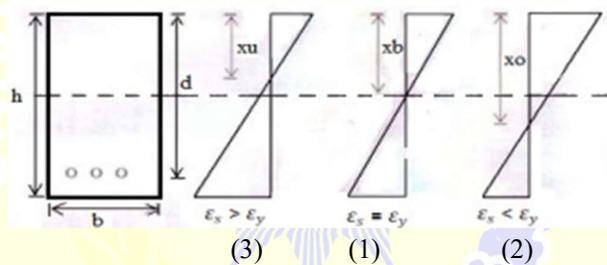
itu rasio tulangan pada jenis keruntuhan ini tidak boleh melebihi rasio tulangan maksimum yang dihitung berdasarkan persamaan (2.28) berikut.

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{(600 + f_y) \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.28)$$

3. Keruntuhan Tarik (*Under Reinforced*)

Keruntuhan terjadi ditandai dengan lelehnya tulangan baja sebelum beton mengalami kehancuran, sehingga beton masih kuat menahan beban dan terjadi lendutan akibat baja tulangan leleh dan menjadi plastis. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi seimbang. Balok yang mengalami jenis keruntuhan seperti ini mempunyai rasio tulangan yang kecil tetapi tidak boleh kurang dari rasio tulangan minimum yang dihitung dengan persamaan (2.29)

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.29)$$



Gambar 2.11 Pola Keruntuhan pada Balok Beton Bertulang

2.3.4.2. Persyaratan Balok

Kriteria perencanaan balok nonprategang yang dibebani beban lentur atau aksial sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 9 sebagai berikut:

- a. Rasio Perbandingan lebar dan tinggi balok

Ketinggian balok nonprategang (h) dapat direncanakan dengan perbandingan lebar terhadap tinggi balok (b/h) tidak boleh kurang dari 0,3.

- b. Gaya Aksial Terfaktor

Besarnya gaya aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada struktur balok tidak melebihi $0,1f_c A_g$ ($P_u < 0,1f_c A_g$) dengan regangan tarik bersih lapisan dalam tulangan tarik longitudinal sekurang-kurangnya 0,004.

c. Momen Terfaktor

Konstruksi balok yang dibuat menyatu dengan tumpuan, momen terfaktor (M_u) di tumpuan dapat dihitung pada muka tumpuan.

d. Gaya Geser Terfaktor

Konstruksi balok yang dibuat menyatu dengan tumpuan, gaya geser terfaktor (V_u) di tumpuan dapat dihitung pada muka tumpuan.

e. Kekuatan Rencana

Perencanaan struktur gedung harus memperhitungkan kekuatan desain di semua penampang serta memenuhi pada persamaan 2.30 meliputi:

$$\phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots (2.30a)$$

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.30b)$$

$$\phi P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2.30c)$$

Faktor reduksi kekuatan (ϕ) pada struktur disesuaikan dengan jenis gaya atau elemen struktur yang ditinjau.

2.3.4.3. Klasifikasi Balok

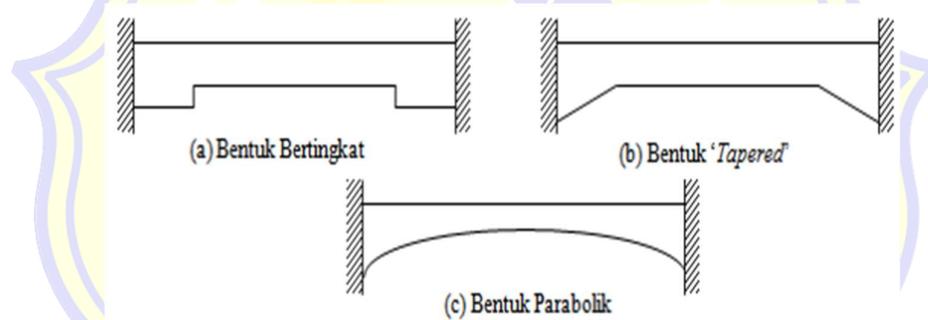
Beberapa jenis balok yang dapat diketahui dalam sistem struktur diantaranya:

- Balok sederhana (*simple beam*), merupakan jenis balok yang ditumpu oleh sendi pada salah satu ujungnya dan ditumpu oleh rol pada ujung lainnya. Dalam analisis balok sederhana, nilai pada reaksi-reaksi tumpuan, gaya geser serta momennya tidak dipengaruhi oleh bentuk penampang dan materialnya.
- Balok teritisan, merupakan balok sederhana yang memanjang dan melewati kolom tumpuannya di salah satu ujungnya.
- Balok kantilever, adalah balok yang disangga hanya pada salah satu ujungnya sedangkan ujung lainnya menggantung atau tidak ditopang.
- Balok menerus (*continuous beam*), merupakan balok yang memanjang yang melewati lebih dari dua kolom tumpuan dengan tujuan memperoleh nilai momen yang lebih kecil serta kekakuan yang lebih besar dari pada serangkaian balok tidak menerus dengan bentangan dan beban yang sama.
- Bentangan tersuspensi adalah balok sederhana yang ditumpu dari dua bentang oleh teritisan dengan konstruksi sambungan pin pada momen nol.

- Balok ujung tetap, adalah balok yang ujung-ujungnya disambung secara kaku dan kuat agar mampu menahan translasi dan rotasi yang terjadi akibat momen.

Selanjutnya berdasarkan bentuk penampang melintang, balok dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Balok prismatis merupakan balok dengan bentuk penampang melintang yang seragam (uniform) sepanjang bentangan struktur.
- Balok non prismatis merupakan balok yang memiliki bentuk penampang melintang yang tidak seragam sepanjang bentangan struktur. Adapun jenis balok non prismatis dapat dibedakan menjadi tiga bentuk yang disajikan pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Jenis-Jenis Balok Non Prismatis

(Sumber: Agus Setiawan, 2011)

2.3.4.4. Tinggi Penampang Minimal Balok

Penampang balok beton bertulang pada umumnya diasumsikan berbentuk persegi panjang. Ukuran lebar penampang balok dinyatakan dengan notasi “b” dan ukuran tinggi penampang balok dinyatakan dengan notasi “h”. Dimensi penampang suatu balok sangat mempengaruhi lendutan yang dapat terjadi pada balok tersebut.

Apabila dimensi balok terlalu kecil maka akan terjadi lendutan yang sangat berbahaya bagi keamanan struktur balok, bahkan akan timbul retak yang lebar sehingga dapat meruntuhkan balok (Asroni, 2010). Adapun tinggi minimum balok nonprategang dapat dilihat pada Tabel 2.9 di bawah ini.

Tabel 2.9 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

| Kondisi Perletakan | Minimum $h^{[1]}$ |
|---|-------------------|
| Perletakan sederhana | $l/16$ |
| Menerus satu sisi | $l/18,5$ |
| Menerus dua sisi | $l/21$ |
| Kantilever | $l/8$ |
| [1] rumusan dapat diaplikasikan untuk beton normal dan tulangan mutu 420 MPa. | |

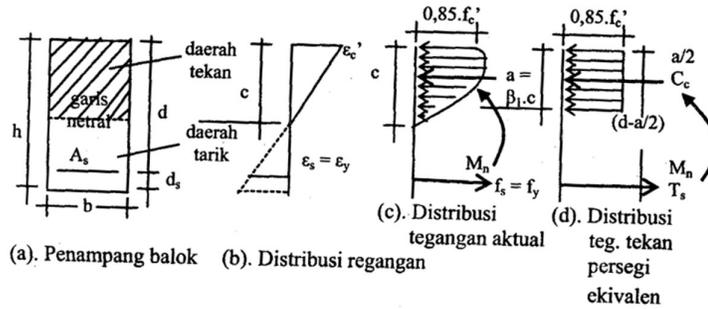
(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1)

Jika f_y lebih besar daripada 420 MPa, ketentuan pada Tabel 2.9 di atas harus dikalikan dengan persamaan (2.5) dan Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, ketentuan pada Tabel 2.9 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari persamaan (2.8) dan (2.9).

2.3.4.5. Distribusi Regangan dan Tegangan

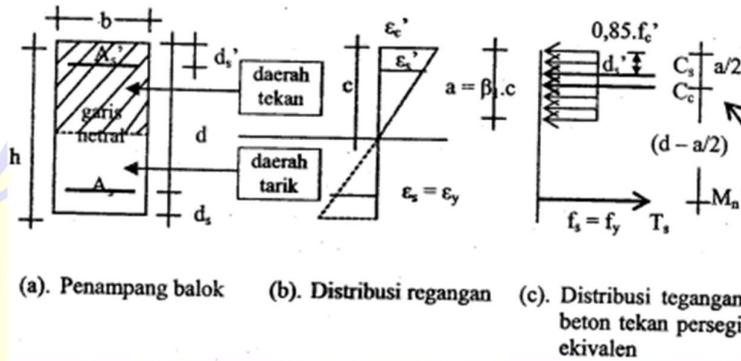
Perencanaan tulangan lentur pada balok persegi hanya menggunakan tulangan tarik saja (tulangan tunggal) atau biasa disebut dengan balok bertulangan sebelah. Penambahan tulangan tekan (menjadi tulangan rangkap) direncanakan apabila rasio tulangan tarik yang diperlukan melebihi dari yang disyaratkan.

Akan tetapi aplikasi di lapangan akan sering dijumpai hampir semua balok menggunakan tulangan rangkap. Saat mendesain beton bertulang, regangan tulangan tarik selalu diasumsikan sudah leleh. Sedangkan untuk tulangan tekan, regangannya dianggap belum tentu leleh. Adapun distribusi regangan dan tegangan yang terjadi pada balok beton dengan penampang persegi dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.13 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Tunggal

(Sumber: Asroni, 2010)



Gambar 2.14 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap

(Sumber: Asroni, 2010)

Berdasarkan penjabaran gambar distribusi regangan dan tegangan di atas maka nilai regangan tulangan tekan dapat dihitung dengan persamaan (2.31) berikut,

$$\epsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d's}{a} \times 0,003 \dots\dots\dots(2.31)$$

Tegangan tekan baja tulangan, f_s' dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.32) berikut dengan modulus elastisitas baja, $E_s = 200000$ MPa.

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d's}{a} \times 600 \text{ dan } f_s' \geq 0 \dots\dots\dots(2.32)$$

2.3.4.6. Momen Nominal dan Momen Rencana Balok

Jika ada dua buah gaya sama besar yang bekerja dengan arah berlawanan pada jarak tertentu, maka akan menimbulkan momen kopel yang besarnya sama dengan gaya yang bekerja dikalikan dengan jaraknya. Pada penampang balok bertulangan rangkap, bagian atasnya bekerja dua buah gaya tekan ke kiri (C_c dan C_s), sedangkan penampang balok bagian bawah bekerja satu buah gaya tarik ke kanan (T_s) (sesuai Gambar 2.14). Gaya tekan dan gaya tarik tersebut memiliki nilai yang sama besar dan bekerja berlawanan arah yang menyebabkan timbulnya momen yang disebut momen nominal aktual (M_n). Untuk memudahkan dalam perhitungan maka nilai momen nominal M_n pada penampang balok diperhitungkan dengan cara menentukan/menghitung besar gaya tekan kemudian dikalikan dengan jarak antara gaya tekan dan gaya tarik pada penampang (Asroni, 2010). Jika momen nomina M_n sudah dapat dihitung, maka dengan mudah dapat dihitung pula momen rencana, M_r .

Berdasarkan penjelasan di atas dapat diperoleh beberapa rumus sebagai berikut:

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot (d - a/2) \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(2.34)$$

$$M_{ns} = C_s \cdot (d - d_s') \text{ dengan } C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots(2.35)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n \text{ Dengan } \phi \text{ adalah faktor reduksi beban lentur} = 0,8 \dots\dots(2.36)$$

Dengan:

M_n = momen nominal aktual penampang balok, kNm

M_{nc} = momen nominal yang diakibatkan oleh gaya tekan beton, kNm

M_{ns} = momen nominal yang diakibatkan oleh gaya tekan tulangan, kNm

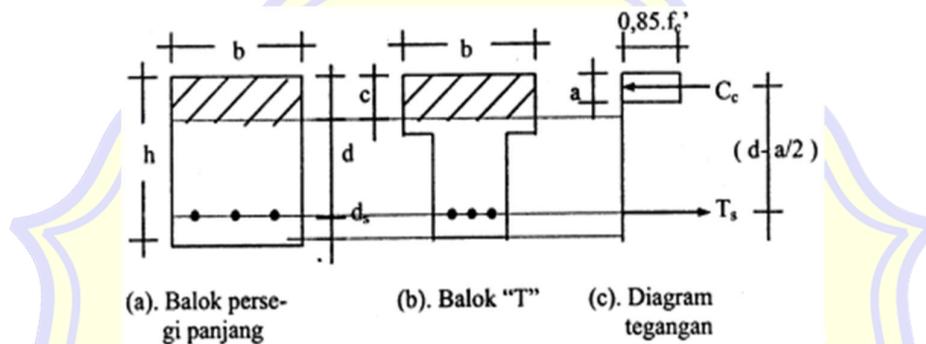
M_r = momen rencana pada penampang balok, kNm

2.3.4.7. Konstruksi Balok T

1) Dasar Pemikiran

Pada hitungan struktur beton bertulang, dianggap bahwa beton merupakan bahan yang getas, artinya meskipun beton sangat kuat untuk menahan beban tekan, tetapi tidak kuat menahan beban tarik sehingga mudah retak atau patah. Sehingga beban tarik yang bekerja pada struktur beton sepenuhnya ditahan oleh baja

tulangan, sedangkan luas penampang pada daerah tarik tidak dapat dimanfaatkan untuk mendukung beban. Oleh karena itu, luas penampang beton tarik yang tidak dapat digunakan ini secara teoritis dapat dioptimalisasi atau dipangkas sehingga penampang melintang balok beton berbentuk seperti huruf “T”, dan disebut balok “T”. Meskipun penampang beton dipangkas pada bagian bawah, kekuatan balok “T” ini secara teoritis masih tetap sama dengan kekuatan balok persegi panjang asalkan tinggi garis netral (c) kedua balok sama (Asroni, 2010). Adapun ilustrasi dari penampang balok persegi dan balok “T” dapat dilihat pada Gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15 Analogi Penampang Balok Persegi dan Balok “T”

Uraian berdasarkan pada Gambar 2.15 di atas sebagai berikut:

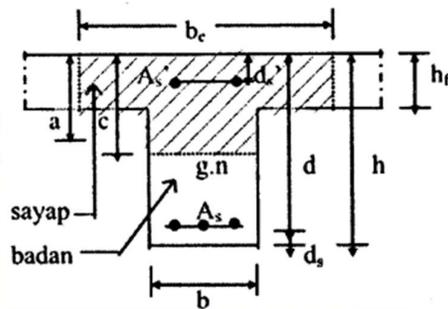
- Penulangan pada balok persegi panjang dan balok “T” memiliki jumlah yang sama, yaitu 3 batang, sehingga gaya tarik oleh baja tulangan juga sama besar, T_s .
- Lebar serta jarak antara garis dan garis tepi serat beton tekan pada balok persegi panjang maupun balok “T” sama, masing-masing sebesar b dan c , sehingga gaya tekan beton juga sama sebesar:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(2.37)$$

- Jumlah gaya horizontal = 0 jadi diperoleh gaya tarik T_s = gaya tekan C_c
- Berdasarkan tiga uraian di atas, maka diperoleh momen nominal balok persegi panjang maupun balok “T” sama, yaitu sebesar $M_n = T_s \cdot (d - a/2)$. Jadi kekuatan balok persegi panjang dan balok “T”.

2) Penampang Balok “T”

Pada pelaksanaan di lapangan, pengecoran balok dan pelat umumnya dilaksanakan secara bersamaan, sehingga menghasilkan pengecoran yang monolit. Dengan kondisi ini, pelat beton akan berfungsi sebagai sayap dari balok “T”. Bentuk penampang balok “T” lengkap dengan lambang atau notasi balok dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.16 Penampang Balok “T”

Keterangan:

$a = \beta_1 \cdot c$ tinggi blok tekan beton persegi ekuivalen, mm.

A_s = Luas tulangan tarik, mm².

A_s' = Luas tulangan tekan, mm².

b = Lebar badan balok, mm.

b_e = Lebar sayap efektif balok “T”, mm.

c = Jarak garis netral ke serat tekan terluar beton, mm.

d = Tinggi efektif balok, mm.

d_s = Jarak pusat tulangan tarik (A_s) ke serat tarik terluar beton, mm.

d_s' = Jarak pusat tulangan tekan (A_s') ke serat tekan terluar beton, mm.

$g.n$ = Garis netral balok “T”.

h = Tinggi penampang balok “T”, mm.

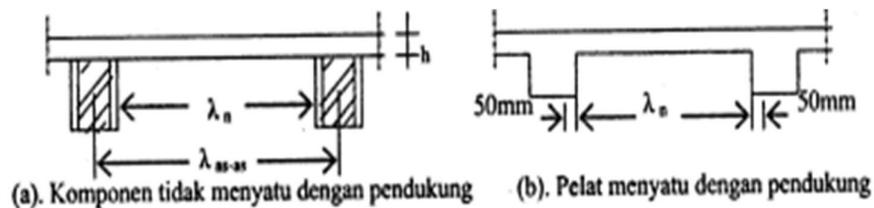
h_f = Tebal/tinggi sayap balok “T”, mm.

3) Ketentuan Perencanaan

1. Panjang dan lebar bentang (l)

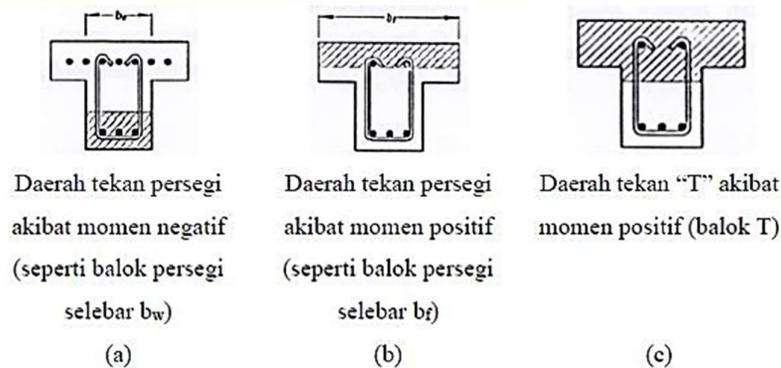
Pada umumnya dikenal 2 macam panjang bentang struktur (balok atau pelat), yaitu panjang bentang bruto dan panjang bentang neto. Panjang bentang

bruto merupakan panjang bentang struktur yang diukur dari as ke as penumpu (l_{as-as}), sedangkan panjang bentang neto (l_n) merupakan bentang bersih yang diukur dari muka penumpuan yang satu ke muka enumpu yang lain. Bentang neto atau bentang bersih struktur ini sering pula disebut dengan bentang bebas (Asroni, 2010).



Gambar 2.17 Ketentuan Panjang Bentang

Apabila momen yang bekerja pada penampang balok “T” adalah momen negatif, maka balok “T” akan berperilaku seperti balok persegi biasa (seperti bagian yang diarsir pada Gambar 2.18 (a)), dimana elemen beton yang tertekan berbentuk persegi empat dengan lebar sisi yang menerima gaya tekan sebesar b_w , sehingga analisis dan desainnya sama seperti balok persegi.



Gambar 2.18 Daerah Tekan pada Balok “T”

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

- Balok akan berperilaku sebagai balok “T” murni jika bagian yang tertekan meliputi sayap (*flange*) dan badan (*web*) balok “T”

- Balok akan berperilaku sebagai balok persegi jika bagian yang tertekan hanya pada bagian sayap (*flange*) saja (Gambar 2.18 (b)) dengan lebar bagian tekan b_f .

Jika balok menerima beban yang cukup berat, maka tidak semua pelat yang berada di atasnya akan ikut berdeformasi bersama-sama dengan balok. Semakin jauh posisi pelat dari sumbu balok maka semakin kecil pengaruh pelat tersebut terhadap deformasi yang terjadi pada balok (Asroni, 2010). Bagian dari pelat yang menyatu dengan badan balok (*web*) disebut sayap (*flens*), sedangkan lebar badan balok dan bagian sayap yang bersama-sama ketika terjadi deformasi disebut sebagai lebar pelat efektif (b_e). Batasan dimensi lebar sayap efektif untuk balok “T” dapat dilihat pada Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Batasan Dimensi Lebar Sayap Efektif untuk Balok “T”

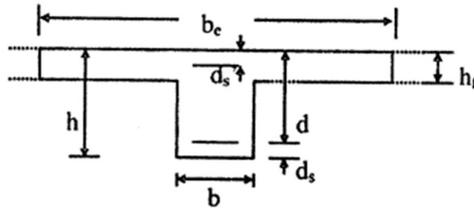
| Lokasi Sayap | Lebar Sayap Efektif, di Luar Penampang Balok | |
|------------------|--|----------|
| Kedua sisi balok | Sekurangnya: | 8h |
| | | $s_w/2$ |
| | | $l_n/8$ |
| Satu sisi balok | Sekurangnya: | 6h |
| | | $s_w/2$ |
| | | $l_n/12$ |

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 6.3.2.1)

Balok “T” nonprategang terpisah, dimana sayap T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap sesuai persamaan (2.38) dan lebar efektif sayap berdasarkan persamaan (2.39).

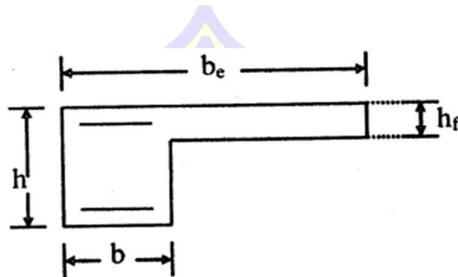
$$h_f \geq 0,5 b_w \dots\dots\dots(2.38)$$

$$b_f \leq 4,0 b_w \dots\dots\dots(2.39)$$



Gambar 2.19 Balok “T” dengan Sayap pada Dua Sisi

(Sumber: Asroni, 2010)

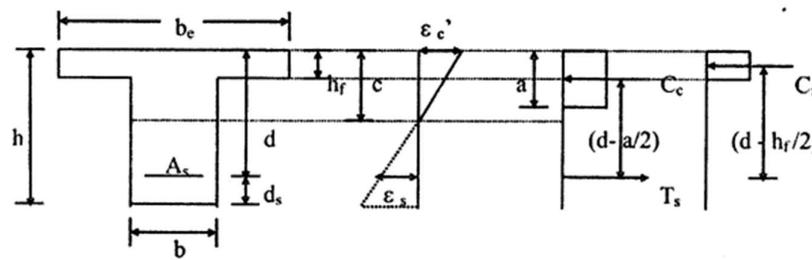


Gambar 2.20 Balok “T” dengan Sayap pada Satu Sisi

(Sumber: Asroni, 2010)

4) Perencanaan Balok “T”

1. Balok “T” dengan Tulangan Tunggal



(a). Penampang balok T (b). Diagram regangan (c). Diagram tegangan

Gambar 2.21 Analogi Diagram Tegangan Regangan Balok “T”

Bertulang Tunggal

a) Hitungan tulangan longitudinal

Adapun langkah perhitungan tulangan longitudinal balok “T” dengan tulangan tunggal sebagai berikut:

- Dihitung faktor momen pikul, K

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b_e \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f_c'}{(600 + f_y)^2} \dots\dots\dots(2.41)$$

Jika $K > K_{maks}$ maka dihitung dengan tulangan rangkap.

- Menghitung tinggi blok tegangan beton tekan ekuivalen, a

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c'}}\right) \cdot d \dots\dots\dots(2.42)$$

jika $a < h_f$: beton tekan berada di sayap (*flange*) atau biasa disebut balok “T” palsu. Langkah analisis dengan balok persegi panjang dengan lebar balok = b_e

jika $a > h_f$: beton tekan berada di badan atau disebut balok T asli. Dihitung sebagai balok T, mula-mula dihitung luas sayap = A_f

- Untuk nilai $a < h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:
 - Dihitung luas tulangan perlu ($A_{s,u}$) dengan memilih yang besar dari nilai A_s atau $A_{s,min}$ pada persamaan (2.43) dan persamaan (2.44) atau persamaan (2.45):

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e}{f_y} \dots\dots\dots(2.43)$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 12,5 ditentukan:

$$f_c' \leq 31,36 \text{ MPa} \rightarrow A_{s,min} = \frac{1,4 \cdot b_e \cdot d}{f_y} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$f_c' > 31,36 \text{ MPa} \rightarrow A_{s,min} = \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_e \cdot d}{4 \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.45)$$

- Dilanjutkan ke perhitungan jumlah penulangan

- Untuk nilai $a > h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:
 - Analisis luas transformasi sayap (A_f) dan momen nominal sayap (M_{nf})

$$A_f = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b)}{f_y} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$M_{nf} = A_f \cdot f_y \cdot (d - h_f/2) \dots\dots\dots(2.47)$$

- Dihitung momen nominal badan balok (*web*), M_{nw} dan faktor momen pikul, K_w

$$M_{nw} = (M_u/\phi) - M_{nf} \dots\dots\dots(2.48)$$

$$K_{nw} = M_{nw}/(b \cdot d^2) \dots\dots\dots(2.49)$$

- Analisis tinggi blok beton tekan persegi ekuivalen (a) dan luas tulangan (A_1)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K_w}{0,85 \cdot f_c'}}\right) \cdot d \dots\dots\dots(2.50)$$

$$A_1 = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots(2.51)$$

- Dihitung luas tulangan perlu ($A_{s,u}$) dengan memilih yang besar dari nilai A_s pada persamaan (2.52) atau A_{smin} pada persamaan (2.44) dan persamaan (2.45) berikut.
- Dilanjutkan ke perhitungan jumlah penulangan, n dengan diameter D

$$n = \frac{A_{s,u}}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} \dots\dots\dots(2.52)$$

b) Hitungan momen rencana

Langkah-langkah dalam menghitung momen rencana pada balok “T” bertulang tunggal adalah sebagai berikut:

- Hitung tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (a),

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \dots\dots\dots(2.53)$$

jika $a < h_f$: beton tekan berada di sayap (*flange*) atau biasa disebut balok “T” palsu. Langkah analisis dengan balok persegi panjang dengan lebar balok = b_e

jika $a > h_f$: beton tekan berada di badan atau disebut balok T asli. Dihitung sebagai balok T, mula-mula dihitung luas sayap = A_f

- Untuk nilai $a < h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:

- Dikontrol: rasio tulangan harus $\rho_1 \leq \rho_{maks}$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_e \cdot d} \dots\dots\dots(2.54)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{(600 + f_y) \cdot f_y} \times 100\% \dots\dots\dots(2.55)$$

Jika $\rho_1 > \rho_{maks}$ maka ukuran balok harus diperbesar.

- Dikontrol: semua tulangan tarik harus dalam kondisi sudah leleh ($a \leq a_{maks,leleh}$)

$$a_{maks,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2.56)$$

Dengan d_d adalah jarak antara titik berat tulangan tarik paling dalam dan tepi serta beton tekan.

Jika $a > a_{maks,leleh}$ maka dimensi balok perlu diperbesar.

- Hitung momen nominal (M_n) dan momen rencana (M_r) penampang balok

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \dots\dots\dots(2.57)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots(2.58)$$

- Untuk nilai $a > h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:

- Dihitung luas transformasi sayap A_f dan momen nominalnya M_{nf} sesuai dengan persamaan (2.46) dan persamaan (2.47).

- Dikontrol rasio tulangan $\rho_1 \leq \rho_{maks}$

$$\rho_1 = \frac{A_s - A_f}{b \cdot d} \dots\dots\dots(2.59)$$

ρ_{maks} dihitung sesuai dengan dengan persamaan (2.55)

Jika $\rho_1 > \rho_{maks}$ maka ukuran balok harus diperbesar.

- Dihitung tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivale a dengan syarat: $a \leq a_{maks,leleh}$

$$a = \frac{(A_s - A_f) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(2.60)$$

untuk nilai $a_{maks,leleh}$ dihitung sesuai dengan persamaan (2.56)

Jika $a > a_{maks,leleh}$ maka dimensi balok perlu diperbesar.

- Hitung momen nominal (M_n) dan momen rencana (M_r) penampang balok

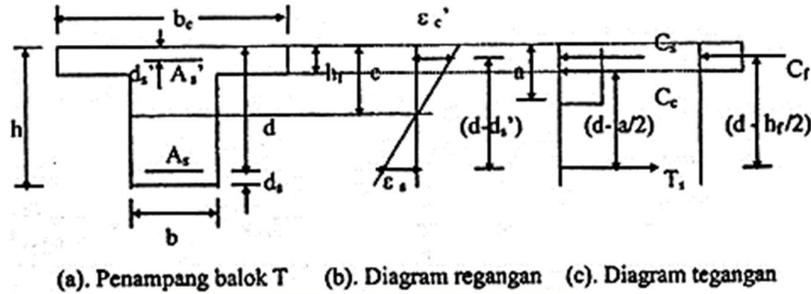
$$M_{nw} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) \dots\dots\dots(2.61)$$

$$M_{nf} = (\text{sesuai persamaan 2.47})$$

$$M_n = M_{nw} + M_{nf} \dots\dots\dots(2.62)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots(2.63)$$

2. Balok “T” dengan Tulangan Ganda



(a). Penampang balok T (b). Diagram regangan (c). Diagram tegangan

Gambar 2.22 Ilustrasi Diagram Regangan- Tegangan Balok “T” Bertulangan Rangkap

a) Hitungan tulangan longitudinal

Adapun langkah-langkah perhitungan tulangan longitudinal untuk balok “T” tulangan ganda sebagai berikut:

- Menghitung faktor momen pikul K dan K_{maks} sesuai persamaan (2.40) dan persamaan (2.41).

Syarat: $K < K_{maks}$

Agar hemat dipakai $K_1 = 0,8K_{maks}$

- Perhitungan tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (a)

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K_1}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \cdot d \dots\dots\dots(2.64)$$

jika $a < h_f$: beton tekan berada di sayap (*flange*) atau biasa disebut balok “T” palsu. Langkah analisis dengan balok persegi panjang dengan lebar balok = b_e

jika $a > h_f$: beton tekan berada di badan atau disebut balok T asli. Dihitung sebagai balok T, mula-mula dihitung luas sayap = A_f

- Untuk nilai $a < h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:
 - Dihitung nilai A_1 dan A_2

$$A_1 = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a_1 \cdot b_e}{f_y} \dots\dots\dots(2.65)$$

$$A_2 = \frac{(K-K_1) \cdot b_e \cdot d^2}{(d-d_s') \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.66)$$

- Dihitung luas tulangan tarik perlu ($A_{s,u}$) dan tulangan tekan perlu ($A'_{s,u}$)

$$A_{s,u} = A_1 + A_2 \dots\dots\dots(2.67)$$

$$A_{s,u}' = A_2 \dots\dots\dots(2.68)$$

- Digunakan tulangan tarik $A_s = nDD$, luasnya harus $\geq A_{s,u}$
Digunakan tulangan tekan $A'_{s,u} = n'DD$, luasnya harus $\geq A'_{s,u}$

- Untuk nilai $a > h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:

- Dihitung luas transformasi sayap A_f dan momen nominalnya M_{nf}
- Dihitung momen nominal badan M_{nw} sesuai persamaan (2.48), faktor momen pikul K_w sesuai persamaan (2.49) dan K_1 dihitung $\leq K_{max}$ (agar lebih hemat dipilih $K_1 = 0,8 \cdot K_{maks}$)
- Dihitung tinggi blok tegangan beton persegi ekuivalen a sesuai persamaa (2.64), luas tulangan A_1 sesuai persamaan (2.51) dan A_2 sesuai persamaan (2.69) berikut.

$$A_2 = \frac{(K_w - K_1) \cdot b \cdot d^2}{(d - d_s') \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.69)$$

- Dihitung luas tulangan tarik perlu ($A_{s,u}$) dan tulangan tekan perlu ($A_{s,u}'$) balok T

$$A_{s,u} = A_f + A_1 + A_2 \dots\dots\dots(2.70)$$

$$A_{s,u}' = A_2 \dots\dots\dots(2.71)$$

- Digunakan tulangan tarik $A_s = nDD$, luasnya harus $\geq A_{s,u}$
Digunakan tulangan tekan $A'_{s,u} = n'DD$, luasnya harus $\geq A'_{s,u}$

b) Hitungan momen rencana

Langkah-langkah perhitungan momen rencana untuk balok “T” tulangan rangkap adalah sebagai berikut.

- Perhitungan tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (a_1)

$$a_1 = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \dots\dots\dots(2.72)$$

jika $a_1 < h_f$: maka beton tekan berada di sayap (disebut balok “T” palsu), dihitung sebagai balok persegi panjang dengan lebar balok = b_e

jika $a_1 > h_f$: maka beton tekan berada di badan (disebut balok T asli), dihitung sebagai balok T, mula-mula dihitung luas sayap = A_f

- Untuk nilai $a_1 < h_f$, langkah analisis dilanjutkan sebagai berikut:

- Dikontrol rasio tulangan $\rho_1 \leq \rho_{maks}$

$$\rho_1 = \frac{A_s - A_s'}{b_e \cdot d} \dots\dots\dots(2.73)$$

ρ_{maks} dihitung sesuai dengan persamaan (2.55) di atas.

Jika $\rho_1 > \rho_{maks}$ maka ukuran balok harus diperbesar.

- Dihitung nilai batas tulangan tekan leleh ($a_{min,leleh}$)

$$a_{min,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_s'}{600 - f_y} \dots\dots\dots(2.74)$$

- Untuk $a_1 \geq a_{min,leleh}$ hitungan dilanjutkan sebagai berikut:

- o Dikontrol $a_1 \leq a_{maks,leleh}$

$a_{maks,leleh}$ dihitung sesuai dengan persamaan (2.56)

- o Dihitung momen nominal (M_{nc} , M_{ns} , M_n) dan momen rencana M_r :

$$M_{nc} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_1 \cdot b_e \cdot (d - a_1/2) \dots\dots\dots(2.75)$$

$$M_{ns} = A_s' \cdot f_y \cdot (d - d_s') \dots\dots\dots(2.76)$$

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots(2.77)$$

$$M_r = (\text{sesuai persamaan 2.63})$$

- Untuk $a_1 < a_{min,leleh}$ hitungan dilanjutkan sebagai berikut:

- o Dihitung nilai p, q, a dan tegangan baja tekan f_s'

$$p = \frac{600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c' \cdot b_e} \dots\dots\dots(2.78)$$

$$q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot A_s' \cdot d_s'}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \dots\dots\dots(2.79)$$

$$a = \sqrt{p^2 + q} - p \text{ dengan syarat: } a \leq a_{\text{maks,leleh}} \text{ (2.80)}$$

$$f_s' = 600 \cdot \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \right) \dots\dots\dots(2.81)$$

- o Dihitung momen nominal (M_{nc} , M_{ns} , M_n) dan momen rencana M_r :

$$M_{nc} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_e \cdot (d - a/2) \dots\dots\dots(2.82)$$

$$M_{ns} = A_s' \cdot f_y' \cdot (d - d_s') \dots\dots\dots(2.83)$$

$$M_n = (\text{sesuai persamaan (2.77)})$$

$$M_r = (\text{sesuai persamaan (2.63)})$$

- Untuk nilai $a_1 > h_f$, hitungan dilanjutkan sebagai berikut:

- Dihitung luas transformasi sayap A_f dan momen nominal sayap M_{nf} sesuai dengan persamaan (2.46) dan persamaan (2.47).

- Dihitung tinggi blok beton tekan persegi ekuivalen a dan $a_{\text{min,leleh}}$

$$a = \frac{(A_s - A_s' - A_f) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(2.84)$$

untuk perhitungan $a_{\text{min,leleh}}$ menggunakan persamaan (2.75)

- Jika nilai $a \geq a_{\text{min,leleh}}$ maka tulangan tekan sudah leleh (dipakai $f_s' = f_y$), dan dilanjutkan sebagai berikut:

- o Dikontrol: $a \leq a_{\text{maks,leleh}}$ (semua tulangan tarik harus sudah leleh)

- o Dihitung momen nominal M_n dan momen rencana M_r

$$M_{nw} = (\text{sesuai persamaan (2.61)})$$

$$M_{nf} = (\text{sesuai persamaan (2.47)})$$

$$M_{ns} = (\text{sesuai persamaan (2.76)})$$

$$M_n = M_{nw} + M_{nf} + M_{ns} \dots\dots\dots(2.85)$$

$$M_r = (\text{sesuai persamaan (2.63)})$$

- Jika nilai $a < a_{\min, \text{leleh}}$ maka tulangan belum leleh dan dihitung sebagai berikut:

o Dihitung nilai p , q , a , dan tegangan baja tekan f_s'

$$p = \frac{600 \cdot A_s' - (A_s - A_f) \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(2.86)$$

$$q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot A_s' \cdot d_s'}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(2.87)$$

$$a = (\text{sesuai persamaan (2.80)})$$

$$f_s' = (\text{sesuai persamaan (2.81)})$$

o Dihitung momen nominal M_n dan momen rencana

M_r

$$M_{nw} = (\text{sesuai persamaan (2.61)})$$

$$M_{nf} = (\text{sesuai persamaan (2.47)})$$

$$M_{ns} = (\text{sesuai persamaan (2.76)})$$

$$M_n = (\text{sesuai persamaan (2.85)})$$

$$M_r = (\text{sesuai persamaan (2.63)})$$

2.3.4.8. Penulangan Geser Balok

Pada konstruksi balok, tulangan geser diperlukan sebagai penahan gaya lintang atau gaya geser yang bekerja pada bagian ujung balok yang dapat menimbulkan retak miring pada balok. Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja pada sumbu longitudinal balok/bagian struktur yang terjadi akibat 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 (2.88)

$$T_u \leq \Phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \cdot (\sum x^2 y) \text{ dengan } \Phi = 0,75 \dots\dots\dots(2.88)$$

Dengan,

$$\sum x^2 y = x_1^2 y_1 + 2x_2^2 (3x_2) \text{ (untuk balok berpenampang persegi) } \dots\dots\dots(2.89)$$

Kuat momen torsi yang diberikan balok beton dihitung sesuai persamaan (2.90)

$$T_c = \frac{\frac{\sqrt{f_c'}}{15} \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left[\frac{0,4 \cdot v_u}{c_t T_u} \right]^2}} \dots\dots\dots(2.90)$$

Untuk kemampuan maksimum menahan gaya geser pada balok beton dihitung dengan persamaan (2.91) berikut.

$$T_c = \frac{\frac{\sqrt{f_c'}}{15} b_w d}{\sqrt{1 + \left[2,5 \cdot c_t \frac{T_u}{v_u} \right]^2}} \dots\dots\dots(2.91)$$

2.3.5. Struktur Kolom Beton Bertulang

2.3.5.1. Definisi Kolom

Dalam SK SNI T-15-1991-03 dijelaskan bahwa kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral kecil. Sedangkan komponen struktur yang menahan beban aksial vertikal dengan rasio bagian tinggi dengan dimensi lateral terkecil kurang dari tiga dinamakan pedestal (Dipohusodo, 1993). Sedangkan dalam SNI 2847:2019 menjelaskan kolom (*column*) adalah komponen struktur umumnya vertikal, digunakan untuk memikul beban tekan aksial, tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Struktur kolom merupakan salah satu struktur bangunan atas yang berfungsi sebagai pendukung dan penyaluran beban-beban dari balok dan pelat dan kemudian diteruskan ke tanah melalui sistem pondasi.

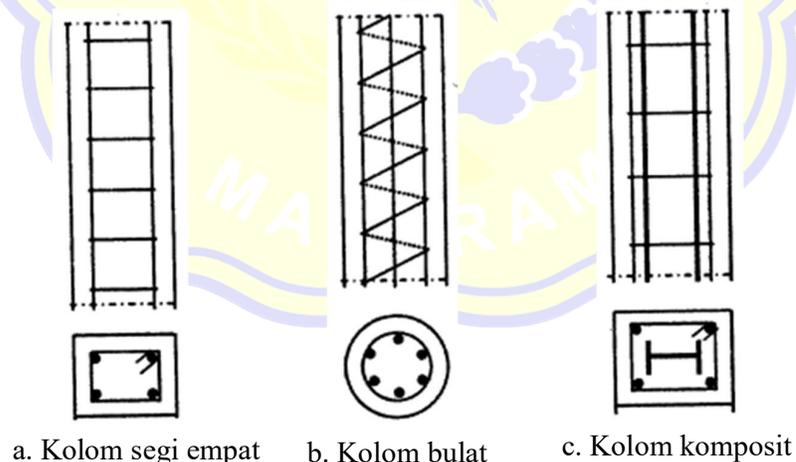
Kegagalan atau keruntuhan pada struktur atas pada umumnya tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas, artinya keruntuhan terjadi secara spontan dan mendadak. Sehingga perencanaan struktur harus dilakukan dengan sangat cermat dan teliti. Perencanaan kolom sebagai komponen struktur atas sangat penting untuk

diperhatikan karena kegagalan kolom dapat menyebabkan seluruh struktur atas bangunan mengalami keruntuhan.

2.3.5.2. Jenis Kolom

Dipohusodo (1993) menjelaskan secara umum terdapat tiga jenis kolom beton bertulang seperti tampak pada Gambar 2.23 diantaranya sebagai berikut:

- a. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Jenis kolom ini merupakan kolom beton bertulang dengan tulangan pokok memanjang, yang pada spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral, sedemikian rupa sehingga penulangan keseluruhan membentuk kerangka sesuai Gambar 2.23a.
- b. Kolom menggunakan pengikat spiral. Merupakan jenis yang sama seperti kolom segi empat hanya saja memiliki penampang yang bulat dan sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom seperti pada Gambar 2.23b.
- c. Struktur kolom komposit. Kolom ini merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi tulangan pokok memanjang seperti Gambar 2.23c.



a. Kolom segi empat b. Kolom bulat c. Kolom komposit

Gambar 2.23 Jenis-Jenis Kolom

(Sumber: Asroni, 2010)

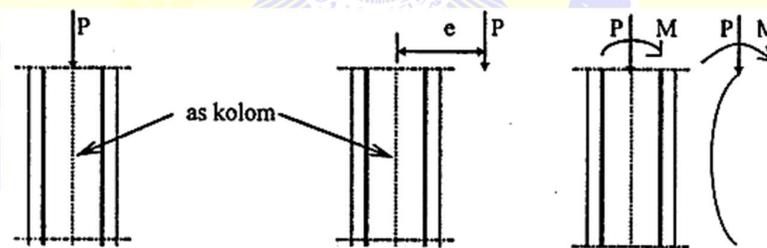
Dari ketiga bentuk di atas, kolom tipe segi empat lebih banyak digunakan dalam konstruksi gedung dikarenakan pengerjaannya yang lebih mudah serta harga yang lebih terjangkau.

Kolom juga dapat dibedakan berdasarkan letak beban aksial yang bekerja pada penampang kolom diantaranya sebagai berikut:

- a. Kolom dengan posisi beban sentris. Kolom ini menahan beban aksial yang bekerja tepat pada sumbunya. Pada kondisi ini seluruh permukaan penampang beton berserta tulangan kolom menahan beban tekan.
- b. Kolom dengan posisi beban eksentris. Pada keadaan ini beban aksial bekerja di luar sumbu kolom dengan eksentrisitas yang terjadi sebesar e (lihat Gambar 2.24b). Beban P dengan eksentrisitas e inilah yang akan menimbulkan momen sebesar M .

$$M = P \cdot e \dots\dots\dots(2.92)$$

Sehingga kolom yang menahan beban aksial eksentris ini memiliki pengaruh yang sama dengan kolom yang menopang beban aksial sentris P dan momen M seperti pada Gambar 2.24c di bawah.



(a). Beban P sentries (b). Beban P eksentris (c). Beban P dan M

Gambar 2.24 Jenis Kolom Berdasarkan Letak Beban Aksial

(Sumber: Asroni, 2010)

Berdasarkan nilai eksentrisnya, kolom juga dapat dibedakan lagi menjadi empat jenis antara lain sebagai berikut:

- a. Nilai eksentrisitas e kecil

Pada kondisi ini, momen M yang ditimbulkan oleh beban aksil P dan eksentrisitas e juga kecil ($M = P \cdot e$). Kolom mengalami lengkung sesuai dengan arah momen lentur, sehingga terdapat sebagian kecil beton serta baja tulangan di sebelah kiri menahan tarik dan sebagian besar beton dan baja tulangan di sebelah kanan menahan tegangan tekan (lihat Gambar 2.2c). Kegagalan pada kolom dalam kondisi ini ditentukan oleh hancurnya material beton tekan sebelah kanan karena baja tulangan di sebelah kiri mengalami tegangan tarik yang relative kecil. Keadaan ini disebut kolom pada kondisi patah tekan atau kolom pada kondisi beton tekan menentukan.

$$P_n = \frac{A_s f_y}{\frac{e}{d-d'} + 0,5} + \frac{b h f_c t}{\frac{3 h e}{d^2} + 1,18} \dots\dots\dots(2.93)$$

b. Nilai eksentrisitas e sedang

Nilai e sedang juga tidak menimbulkan momen terlalu besar. Pada kondisi ini sebagian beton dan baja tulangan sebelah kiri menahan tegangan tarik dan sebaliknya sebagian beton dan baja tulangan sebelah kanan akan menahan tegangan tekan. Tegangan tarik yang terjadi pada baja tulangan di sebelah kiri dapat mencapai titik leleh pada saat yang bersamaan dengan hancurnya material beton sebelah kanan yang memikul tegangan tekan. Keadaan ini sering disebut kolom pada kondisi seimbang (*balance*).

$$P_n = 0,85 f_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2.94)$$

c. Nilai eksentrisitas e besar

Pada kondisi ini, momen M yang ditimbulkan juga besar. Tegangan tarik yang terjadi pada baja tulangan di sebelah kiri semakin besar sehingga mencapai titik leleh, tetapi material beton di sebelah kanan masih kuat menahan beban tekan. Sehingga keruntuhan yang terjadi ditentukan oleh lelehnya baja tulangan tersebut. Keadaan ini sering disebut kolom pada kondisi tarik menentukan atau kolom pada kondisi keruntuhan tarik.

$$P_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \left[\left(\frac{h-2e}{2d} \right) + \sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d}{d'} \right)} \right] \dots\dots\dots(2.95)$$

d. Nilai eksentrisitas e sangat besar

Pada kondisi ini nilai eksentrisitas sangat besar, akibatnya momen yang ditimbulkan juga sangat besar, sehingga beban aksial P dapat diabaikan besarnya (relatif kecil terhadap M). Pada keadaan ini kolom hanya dianggap hanya menahan momen lentur M saja sehingga analisis perhitungan dapat dihitung seperti balok biasa.

Selain tipe di atas, kolom juga dapat dibedakan berdasarkan ukuran panjang dan pendeknya, yaitu kolom pendek (kolom gemuk) dan kolom panjang (kolom kurus). Kegagalan konstruksi pada kolom lebih banyak dijumpai pada kolom panjang karena lebih cepat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk. Sedangkan pada kolom pendek jarang dijumpai bahkan tidak pernah terjadi kegagalan atau keruntuhan akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk. Jadi kegagalan struktur yang terjadi pada kolom pendek sering diakibatkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan atau hancurnya beton).

2.3.5.3. Asumsi Dasar Perencanaan Kolom

Asumsi dasar yang digunakan dalam perencanaan kolom antara lain sebagai berikut:

- a. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.2: Distribusi regangan di sepanjang tebal kolom dianggap berupa garis lurus (linear), sesuai Gambar 2.3b.
- b. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.2: Tidak terjadi slip antara beton dan tulangan
- c. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.3: Regangan tekan maksimal beton dibatasi pada kondisi ultimit $\epsilon_{cu}' = 0,003$ (lihat Gambar 2.3b).
- d. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.4: tegangan baja tulangan tarik maupun tekan (f_s maupun f_s') yang belum mencapai leleh ($< f_y$) dihitung sebesar modulus elastisitas baja (E_s) dikalikan dengan regangannya (ϵ_s maupun ϵ_s').
- e. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.5: Kekuatan tarik beton diabaikan
- f. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.6: hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya.
- g. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.1: bila hubungan antara distribusi tegangan dan regangan beton diasumsikan berbentuk tegangan beton persegi ekuivalen,

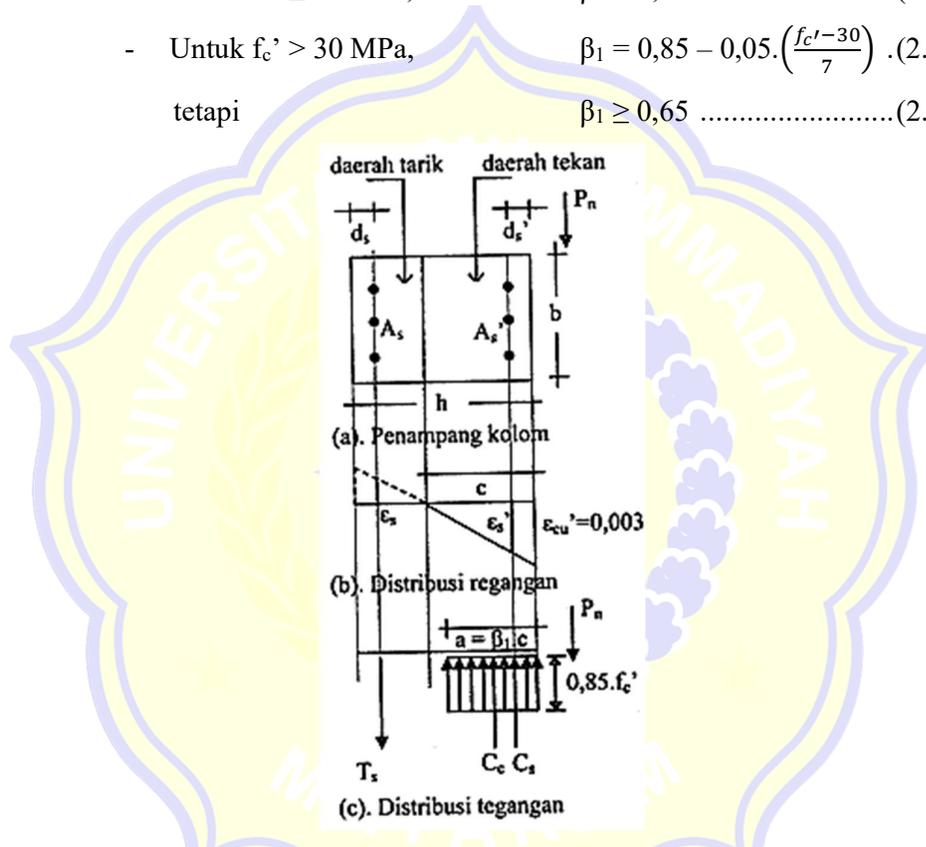
maka dipakai nilai tegangan beton sebesar $0,85f_c'$ yang terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen (lihat Gambar 2.3c) yang dibatasi oleh tepipenampang dan satu garis lurus yang sejajar garis netral sejauh $a = \beta_1 \cdot c$ dari serat tekan maksimal.

h. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.3: Faktor β_1 diambil sesuai persamaan (2.96) dan persamaan (2.98) berikut:

- Untuk $f_c' \leq 30$ MPa, $\beta_1 = 0,85$ (2.96)

- Untuk $f_c' > 30$ MPa, $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \left(\frac{f_c' - 30}{7}\right)$.(2.97)

tetapi $\beta_1 \geq 0,65$ (2.98)



Gambar 2.25 Penampang Kolom, Diagram Regangan dan Diagram Tegangan
(Sumber: Asroni, 2010)

2.3.5.4. Kolom Pendek dan Kolom Panjang

Suatu komponen struktur tekan pada portal bergoyang, dikatakan sebagai kolom pendek atau kolo, panjang jika rasio perbandingan kelangsingannya memenuhi syarat perbandingan panjang tekuk kolom (k_{lu}) terhadap radius girasi (r) seperti yang terdapat dalam persamaan (2.99) dan persamaan (2.100) berikut.

$$\frac{k_{lu}}{r} \leq 22, \text{ untuk kolom pendek(2.99)}$$

$$22 < \frac{k_{lu}}{r} \leq 100, \text{ untuk kolom panjang(2.100)}$$

Nilai r boleh diambil 0,3h untuk kolom persegi.

2.3.5.5. Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris

Beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang. SNI 2847:2013 memberikan persyaratan bahwa kuat tekan nominal dari struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan sesuai dengan persamaan (2.101).

$$\phi P_n = 0,8\phi[0,85f_c' (A_g - A_s) + f_y A_s] \text{(2.101)}$$

Jika P_n adalah beban aksial dan P_{nb} merupakan beban aksial dalam kondisi *balanced* maka ada 3 kemungkinan jenis runtuhannya yaitu:

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

2.3.5.6. Penulangan Geser Kolom

Bagian ujung kolom merupakan bagian yang paling kritis sehingga perlu mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa. Jika diperlukan tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengekan atau sengkang spiral. Kemampuan geser beton untuk struktur yang dibebani beban aksial tekan dihitung sesuai persamaan (2.102) berikut.

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \text{(2.102)}$$

Spasi maksimum tulangan geser disajikan pada Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.11 Spasi Maksimum Tulangan Geser

| Vs | Spasi maksimum, s, mm | | |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| | | Kolom nonprategang | Kolom prategang |
| $\leq 0,33\sqrt{f_c'}b_wd$ | Terkecil | d/2 | 3h/4 |
| | dari: | 600 | |
| $> 0,33\sqrt{f_c'}b_wd$ | Terkecil | d/4 | 3h/8 |
| | dari: | 300 | |

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 10.7.6.5.2)

2.3.5.7. Batasan Komponen Struktural

Sudarmoko (1994) menjelaskan luas tulangan komponen struktural tekan dibatasi beberapa ketentuan berikut:

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

2.3.5.8. Penulangan Transversal

Tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang l_0 dari setiap muka *joint* dan pada kedua sisi sembarang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi akibat dari perpindahan lateral inelastik rangka. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar a, b dan c berikut:

- Tinggi penampang struktur pada muka sambungan atau pada penampang dimana pelelehan lentur mungkin terjadi.
- $1/6 l_n$
- 450 mm

Pelaksanaan pekerjaan pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_0 sepanjang l_0 diukur dari muka sambungan. Spasi s_0 tidak boleh melebihi yang terkecil dari ketentuan a, b dan c berikut:

- a. Seperempat dimensi kolom minimum
- b. Enam kali diameter batang longitudinal minimum
- c. s_0 dihitung berdasarkan persamaan (2.103):

$$s_0 = 100 + \frac{350-h_x}{3} \dots\dots\dots(2.103)$$

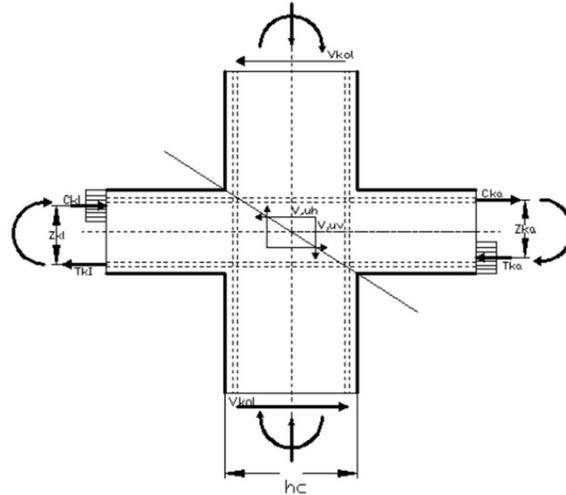
Jumlah tulangan transversal penampang persegi dihitung dengan mengambil nilai terkecil dari persamaan (2.104) dan persamaan (2.105) berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \frac{S_{bc} \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.104)$$

$$A_{sh} = 0,09 \cdot \frac{S_{bc} \cdot f_c'}{f_y} \dots\dots\dots(2.105)$$

2.3.5.9. Sambungan Balok Kolom

Menurut Dipohusodo (1993), dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, titik pertemuan (joint) rangka harus memenuhi beberapa ketentuan. Momen lentur dan gaya geser kolom, serta geser horizontal V_{jh} dan geser vertikal V_{jv} yang melewati inti joint harus di analisis dengan memperhitungkan seluruh pengaruh gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada titik pertemuan (joint). Gaya yang bekerja pada tulangan pokok memanjang balok pada sisi muka kolom harus ditentukan dengan anggapan bahwa tegangan didalam tulangan tarik lentur adalah $1,25 f_y$, keseimbangan titik pertemuan rangka dapat dilihat pada Gambar 2.26 dengan persamaan (2.106).



Gambar 2.26 Gaya-Gaya Dalam Pertemuan Rangka Balok-Kolom

(Sumber: Mama, 2022)

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \dots\dots\dots(2.106)$$

Dengan:

$$V_{kol} = \frac{0,7(I_{ki}/I_{ki} \cdot M_{kap,bki} + I_{ka}/I_{ka} \cdot M_{ka,bkap})}{1/2(h_{ka} + h_{ki})} \dots\dots\dots(2.107)$$

$$C_{ki} = 0,7 \frac{M_{kap,bki}}{z_{ki}} \dots\dots\dots(2.108)$$

$$T_{ka} = 0,7 \frac{M_{kap,bka}}{z_{ka}} \dots\dots\dots(2.109)$$

Sedangkan tegangan geser horizontal nominal dalam *joint* harus sesuai pada persamaan (2.110) berikut:

$$V_{jh} = \frac{h_c}{b_j} V_{jv} < 1,50 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2.110)$$

Dimana:

b_j = lebar efektif *joint*,

h_c = tinggi penampang kolom dalam arah yang ditinjau

V_{jv} = geser vertikal nominal

2.3.6. Konsep Pembebanan pada Gedung

Perencanaan struktur gedung tentu harus memperhatikan jenis-jenis beban yang dipikul serta diijinkan bekerja pada struktur tersebut. Hal ini guna untuk

menghindari terjadinya kegagalan struktur akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut tidak sesuai dengan struktur yang direncanakan (*overload*). Beberapa jenis beban yang umum terdapat pada konstruksi gedung diantaranya seperti beban mati, beban hidup, beban gempa, gaya tekanan tanah, beban angin, beban air dan lain sebagainya.

2.3.6.1. Beban Mati (*Dead Load/DL*)

Beban mati dalam SNI 1727:2020 didefinisikan sebagai berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lainnya. Sedangkan dalam PPURG 1987 dijelaskan bahwa beban mati merupakan berat sendiri dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

Adapun beberapa jenis berat sendiri material maupun komponen yang terdapat pada gedung sesuai dengan PPURG 1987 dapat dilihat pada Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2.12 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

| No | Jenis Bahan atau Komponen Gedung | Berat |
|----|----------------------------------|------------------------|
| 1 | Baja | 7850 kg/m ³ |
| 2 | Beton | 2200 kg/m ³ |
| 3 | Beton bertulang | 2400 kg/m ³ |
| 4 | Pasangan bata merah | 1700 kg/m ³ |
| 5 | Pasangan batu kali | 2200 kg/m ³ |
| 6 | Pasir | 1600 kg/m ³ |
| 7 | Mortar, spesi | 2200 kg/m ³ |
| 8 | Dinding pasangan bata ½ batu | 250 kg/m ² |
| 9 | Air | 1000 kg/m ³ |

| No | Jenis Bahan atau Komponen Gedung | Berat |
|----|---|------------------------|
| 10 | Curtain wall kaca + rangka | 60 kg/m ³ |
| 11 | Penutup lantai (ubin, beton) per cm tebal | 24 kg/m ² |
| 12 | Finishing lantai (tegel atau keramik) | 220 kg/m ³ |
| 13 | Marmer, granit per cm tebal | 240 kg/m ² |
| 14 | Kayu (kelas I) | 1000 kg/m ³ |
| 15 | Adukan semen per cm | 21 kg/m ² |
| 16 | Adukan kapur, semen merah atau tras | 17 kg/m ² |

(Sumber: PPURG 1987)

Beban mati dapat dikalikan dengan faktor reduksi 0,9 apabila beban mati tersebut dapat memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap kemandapan serta pengerahan kekuatan struktur (PPURG, 1987 Pasal 2.1.1.2.).

2.3.6.2. Beban Hidup (*Live Load/LL*)

Sesuai dengan SNI 2847:2019, beban hidup didefinisikan sebagai beban tidak tetap yang bekerja pada struktur tetapi pada periode waktu tertentu atau selama masa layan struktur (tidak termasuk beban lingkungan). Beban hidup terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung yang dapat berubah-ubah. Beban hidup dapat berupa beban-beban pada lantai seperti barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin dan peralatan yang tidak menyatu dengan konstruksi struktur atau gedung. Beban-beban pada saat pelaksanaan konstruksi tidak diartikan sebagai beban hidup. Begitu pula dengan beban lingkungan, beban angin, serta beban banjir tidak termasuk sebagai beban hidup.

Penggunaan lantai gedung untuk berbagai aktivitas dan tujuan, maka perencanaannya harus menggunakan beban hidup terberat yang mungkin bekerja pada lantai tersebut (PPURG, 1987). Beban hidup yang bekerja pada lantai gedung dapat dilihat pada Tabel 2.13 di bawah ini.

Tabel 2.13 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

| No | Jenis Penggunaan Lantai | Berat |
|----|---|------------------------|
| 1 | Lantai dan tangga rumah tinggal | 200 kg/cm ² |
| 2 | Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana | 125 kg/cm ² |
| 3 | Lantai sekolah, runag kuliah, kantor, toko, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit | 250 kg/cm ² |
| 4 | Lantai ruang olah aga | 400 kg/cm ² |
| 5 | Lantai ruang dansa | 500 kg/cm ² |
| 6 | Lantai dan balkon ruang untuk pertemuan seperti masjid, gereja, ruang rapat, bioskop | 400 kg/cm ² |
| 7 | Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri | 500 kg/cm ² |
| 8 | Tangga, bordes tangga dan gang dari <i>point</i> 3 | 300 kg/cm ² |
| 9 | Tangga, bordes tangga dan gang dari <i>point</i> 4-7 | 500 kg/cm ² |
| 10 | Lantai ruang pelengkap dari <i>point</i> 3-7 | 250 kg/cm ² |
| 11 | Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko bukum toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan sendiri, dengan minimum | 400 kg/cm ² |

(Sumber: PPURG 1987)

2.3.6.3. Beban Gempa (*Earthquake Load/EL*)

Gempa bumi merupakan fenomena berguncangnya bumi karena adanya tumbukan antar lempeng bumi, runtuhan batuan ataupun patahan aktif aktivitas gunung api. Indonesia sendiri terletak diantara pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Australia dan lempeng Eurasia. Sehingga tidak heran Indonesia sering mengalami bencana gempa bumi. Kerusakan yang fasilitas maupun infrastruktur lainnya yang disebabkan oleh gempa tidaklah sedikit. Kerugian yang terjadi tidak hanya pada infrastruktur saja, melainkan dapat menimbulkan korban jiwa. Sehingga penting sekali untuk merencanakan infrastruktur yang aman terhadap gempa.

Beban gempa merupakan seluruh beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang mengikuti pengaruh gerakan tanah akibat gempa itu sendiri (PPURG, 1987). Secara khusus pembebanan struktur yang terkait beban gempa diatur dalam SNI 1726:2019. Analisis beban gempa pada struktur dapat dilakukan dengan metode statik (statik ekuivalen dan autoloan) dan metode dinamis (respon spectrum dan *time history*).

a. Gempa Rencana

Penentuan beban gempa rencana pada struktur gedung maupun non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya sebesar 2% selama umur struktur bangunan 50 tahun.

b. Faktor Keutamaan Gempa, *Ie*

Pada perencanaan struktur gedung dan non gedung untuk semua kategori risiko pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa, *Ie*. Untuk struktur bangunan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV (SNI 1726:2019).

Tabel 2.14 Faktor Keutamaan Gempa

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, <i>Ie</i> |
|--|-----------------|-----------------------------------|
| <p>- Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, diantaranya:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah ibadah | IV | 1,50 |

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, <i>Ie</i> |
|---|-----------------|-----------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Rumah sakit dengan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi keadaan gawat darurat • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, 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>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | | |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 3 & Tabel 4)

c. Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi situs desain seismik suatu bangunan di atas permukaan tanah harus dilakukan melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Pada umumnya kedalaman penyelidikan tanah yang diambil untuk menentukan kelas situs adalah lapisan 30 m paling atas dan secara spesifik diatur dalam SNI 1726 tahun 2019. Apabila data tanah tidak tersedia secara spesifik pada kedalaman 30 m di

situs tersebut maka dapat diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/izin keahlian. Adapun klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 disajikan pada Tabel 2.15 berikut.

Tabel 2.15 Klasifikasi Situs

| Kelas Situs | \bar{V}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{S}_u (kPa) |
|--|--|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras) | > 1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350 sampai 750 | > 50 | ≥ 100 |
| SD (tanah sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (tanah lunak) | < 175 | < 15 | < 50 |
| | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa | | |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah | | |

| Kelas Situs | \bar{V}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{S}_u (kPa) |
|---|-----------------------|-------------------------------|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa |
| Catatan: N/A = tidak dapat dipakai | | | |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 5)

Berdasarkan uraian di atas dapat dijelaskan bahwa sifat-sifat tanah pada situs dapat diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE atau SF. Apabila pada saat dilakukan penyelidikan tanah pada situs tertentu yang menunjukkan adanya kondisi batuan yang konsisten dengan kelas situs SB, namun tidak dilakukan pengukuran terhadap kecepatan gelombang geser situs-spesifik, maka koefisien situs F_a , F_v dan F_{PGA} harus diambil sebesar 1,0.

d. Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa

Dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan adanya faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 0,1 detik. Faktor amplifikasi tersebut meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Faktor amplifikasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai elemen dalam menghitung parameter respon spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan

dengan pengaruh klasifikasi situs, yang harus ditentukan sesuai dengan Persamaan (2.111) dan Persamaan (2.112) di bawah ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots \dots \dots (2.111)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots \dots \dots (2.112)$$

Keterangan:

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Penentuan nilai koefisien F_a dan F_v secara rinci diatur dalam SNI 1726:2019 atau dapat disajikan dalam Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 di bawah ini. Jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs, maka tidak boleh kurang dari 1,2. Nilai yang berada di antara interval nilai yang tertera dalam Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 dapat ditentukan dengan menggunakan interpolasi linear.

Tabel 2.16 Koefisien Situs, F_a

| Kelas Situs | Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan pada Periode Pendek $T = 0,2$ detik, S_s | | | | | |
|--|---|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s = 1,25$ | $S_s \geq 1,5$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| SC | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SE | 2,4 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 0,8 |
| SF | SS ^(a) | | | | | |
| Catatan: (a) SS = sistus yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik | | | | | | |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 6)

Tabel 2.17 Koefisien Situs, F_v

| Kelas Situs | Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE _R Terpetakan pada Periode Pendek T = 1,0 detik, S ₁ | | | | | |
|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | S ₁ ≤ 0,1 | S ₁ = 0,2 | S ₁ = 0,3 | S ₁ = 0,4 | S ₁ = 0,5 | S ₁ ≥ 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 | 0,9 |
| 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) | | | | | |
| Catatan: (a) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik | | | | | | |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 7)

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.113) dan persamaan (2.114) berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.113)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2.114)$$

e. Spektrum Respon Desain

Pada kasus dimana spektrum desain diperlukan dan prosedur gerakan tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka penggunaan kurva spektrum respons desain wajib dikembangkan dengan mengikuti ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- 1) Jika periode desain yang digunakan yang lebih kecil dari T_0 ($T < T_0$), spektrum respons percepatan desain, S_a , harus sesuai dengan persamaan berikut:

$T < T_0$, maka:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.115)$$

- 2) Jika periode desain yang digunakan lebih besar dari atau sama dengan T_0 ($T \geq T_0$) dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T \leq T_s$), spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

$T_0 \leq T \leq T_s$, maka:

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots(2.116)$$

- 3) Jika periode desain yang digunakan lebih besar dari T_s dan lebih kecil atau sama dengan T_L ($T_s < T < T_L$), respons spektral percepatan desain, S_a , harus sesuai dengan persamaan berikut:

$T_s < T < T_L$, maka:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.117)$$

- 4) Jika periode desain yang digunakan lebih besar dari T_L ($T > T_L$), spektrum respons percepatan, S_a , harus sesuai dengan persamaan berikut:

($T > T_L$), maka:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.118)$$

Keterangan:

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

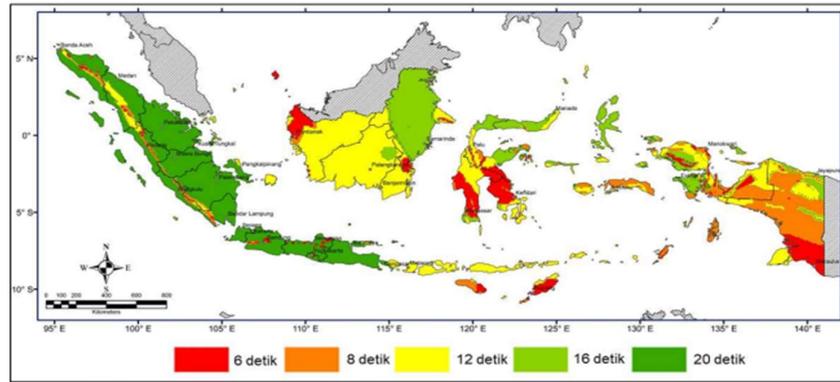
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

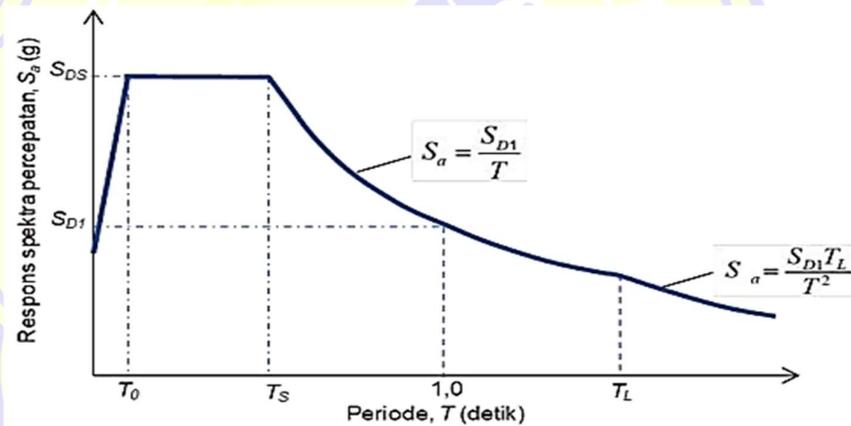
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta transisi periode panjang sesuai Gambar 2.7 yang nilainya sesuai Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.27 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.27 Spektrum Respon Desain
(Sumber: SNI 1726:2019)

f. Kategori Desain Seismik

Dalam SNI 1726:2019 dijelaskan struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai

struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} .

Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.10 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , adalah kurang dari $0,8T_s$;
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s ;
3. Persamaan (2.15) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s ;
4. Diafragma struktural adalah kaku, untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Tabel 2.18 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode Pendek

| Nilai S_{Ds} | Kategori Risiko | |
|--------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 < S_{DS} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 < S_{DS} < 0,50$ | C | D |
| $0,50 < S_{DS}$ | D | D |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 8)

Tabel 2.19 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik

| Nilai S_{D1} | Kategori Risiko | |
|------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$ | A | A |

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

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 8)

g. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.14) berikut ini.

$$V = C_s W \dots\dots\dots(2.119)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

Perhitungan koefisien respon seismik, C_s , harus ditentukan berdasarkan persamaan (2.15) berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.120)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spectral desain periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons sesuai Tabel 2.22

I_e = Faktor keutamaan gempa sesuai Tabel 2.14

Kontrol nilai koefisien C_s yang dihitung sesuai persamaan (2.121) harus sesuai dengan ketentuan berikut.

❖ Tidak perlu melebihi dari:

- Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.121)$$

- Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.122)$$

❖ Tidak boleh kurang dari:

- $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.123)$

- $S_1 \geq 0,6g$

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.124)$$

h. Periode Fundamental

Periode fundamental struktur, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.20 dan periode fundamental pendekatan, T_a . Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T, diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a .

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan berdasarkan persamaan (2.125) berikut ini.

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots(2.125)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur. C_t dan x merupakan koefisien yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.21 di bawah ini.

Tabel 2.20 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

| Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 Detik, S_{D1} | Koefisien C_u |
|---|-----------------|
| $\geq 0,4$ | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |

| Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 Detik, S_{D1} | Koefisien C_u |
|---|-----------------|
| 0,1 | 1,6 |
| $\leq 0,1$ | 1,7 |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 17)

Tabel 2.21 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 eksentris | 0,0731 | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731 | 9,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488 | 0,75 |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 18)

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan, T_a , diizinkan menggunakan persamaan (2.126) sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0005}{\sqrt{C_w}} h_n \dots\dots\dots (2.126)$$

Nilai C_w dihitung berdasarkan persamaan (2.127) berikut ini:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2\right]} \dots\dots\dots (2.127)$$

Keterangan:

A_B = luas dasar struktur (m^2)

A_i = luas dinding geser ke-i (m^2)

D_i = panjang dinding geser ke-i (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

Tabel 2.22 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Seismik

| Sistem Penahan Gaya Seismik | Koefisien Modifikasi Respons, R^a | Faktor Kuat lebih Sistem, Ω_0^b | Faktor Pembesaran Defleksi, C_d^c | Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m) ^d | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|----|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | Kategori Desain Seismik | | | | |
| | | | | B | C | D ^e | E ^e | F ^f |
| Sistem Rangka Pemikul Momen (Beton) | | | | | | | | |
| SRPMK | 8 | 3 | 5 ^{1/2} | TB | TB | TB | TB | TB |
| SRPMM | 5 | 3 | 4 ^{1/2} | TB | TB | TI | TI | TI |
| SRPMB | 3 | 3 | 2 ^{1/2} | TB | TI | TI | TI | TI |
| Sistem Rangka Pemikul Momen (Baja) | | | | | | | | |
| SRPMK | 8 | 3 | 5 ^{1/2} | TB | TB | TB | TB | TB |
| SRPMM | 4 ^{1/2} | 3 | 4 | TB | TB | 10 ^k | TI ^k | TI ^k |
| SRPMB | 3 ^{1/2} | 3 | 3 | TB | TB | TI ^l | TI ^l | TI ^l |

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 12)

i. Distribusi Vertikal dan Horizontal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral, F, (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan (2.128) berikut ini:

$$F_x = C_{vx} \times V \dots\dots\dots(2.128)$$

Dengan nilai C_{vx} dihitung menggunakan persamaan (2.128) berikut:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(2.128)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

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

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

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

Geser tingkat desai seismik di semua tingkat, V_x , (kN), harus ditentukan dari persamaan (2.129) berikut ini:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots(2.129)$$

Dengan F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN). Geser tingkat desain seismik, V_x (kN), harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.3.6.4. Faktor Reduksi Kekuatan

Dalam SNI 2847:2019 Pasal 21.1 dijelaskan bahwa fungsi faktor reduksi kekuatan, ϕ , adalah untuk memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi (*under-strength*) karena perbedaan dimensi dan kekuatan material. Selain itu faktor reduksi kekuatan juga sebagai upaya antisipasi terhadap ketidaktepatan pada tahap perancangan. Serta dapat menyatakan seberapa penting komponen struktur terhadap keseluruhan struktur. Adapun faktor reduksi kekuatan yang digunakan dalam berbagai mekanisme perencanaan adalah berikut ini.

- | | |
|---|---------------|
| a) Momen, gaya aksial atau kombinasi keduanya | = 0,65 – 0,90 |
| b) Geser | = 0,75 |
| c) Torsi | = 0,75 |
| d) Tumpuan (<i>bearing</i>) | = 0,65 |
| e) Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>) | = 0,85 |
| f) Bracker dan korbel | = 0,75 |
| g) <i>Strut, ties</i> , zona nodal dan daerah tumpuan dengan <i>strut-tie</i> | = 0,75 |

- h) Komponen sambungan beton pracetak terkontrol = 0,90
- i) Beton polos = 0,60
- j) Angkur dalam elemen beton = 0,45 – 0,75

2.3.6.5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban desain (*design load combination*) merupakan gabungan beban dan gaya terfaktor yang bekerja pada struktur bangunan gedung. Kombinasi beban yang disyaratkan dalam SNI 2847:2019 untuk memperoleh kekuatan yang diperlukan dalam mendesain struktur antara lain:

- 1,4D(2.130)
- 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)(2.131)
- 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)(2.132)
- 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr atau R)(2.133)
- 1,2D + 1,0E + 1,0L(2.134)
- 0,9D + 1,0W(2.135)
- 0,9D + 1,0E(2.136)

Keterangan:

- D = Beban mati pada struktur akibat dari konstruksi yang tetap (*permanent*), seperti dinding, berat sendiri, pelat lantai, atap, partisi tetap, tangga, dan peralatan layanan tetap
- L = Beban hidup yang bekerja akibat pemanfaatan gedung, termasuk kejut, namun tidak termasuk beban angin, hujan, maupun beban lingkungan
- Lr = Beban hidup yang bekerja di atap selama pelaksanaan *maintenance* oleh pekerja, peralatan dan material, atau penggunaan lainnya.
- R = Beban hujan, dan bukan termasuk yang disebabkan genangan air hujan
- W = Beban angin
- E = Beban gempa, sesuai dengan SNI 1726:2019

Kombinasi beban mesti diperhitungkan dalam berbagai kondisi untuk memperoleh kekuatan desain yang paling ideal. Hal ini menjadi penting jika kekuatan desain diperoleh akibat lebih dari satu pengaruh beban. Pada kondisi tertentu, beban mati, beban hidup dan beban angin dapat dikalikan dengan suatu faktor reduksi. Pengurangan beban-beban tersebut wajib dilakukan jika menimbulkan keadaan bahaya terhadap struktur atau unsur struktur yang ditinjau (PPURG, 1987).

2.3.6. ETABS

Dalam perencanaan struktur gedung, baik beton maupun baja, diperlukan suatu alat untuk membantu dalam menganalisis atau menghitung beban-beban yang bekerja pada elemen-elemen struktur. Hal ini dikarenakan struktur yang direncanakan tidak sederhana dan memerlukan ketelitian yang tinggi akibat kompleksnya perhitungan. Dalam SNI 2847:2019 Pasal R4.5 dijelaskan bahwa penggunaan komputer dalam rekayasa struktur (*structural engineering*) telah menjadikan analisis struktur yang rumit dapat dilakukan. Dengan adanya alat bantu, maka pekerjaan analisis dan perencanaan struktur menjadi lebih mudah dan mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi.

Program *Extended Three-Dimensional Analysis of Building System* atau biasa disebut ETABS secara khusus difungsikan untuk menganalisis lima perencanaan struktur, yaitu analisis frame baja, analisis frame beton, analisis balok komposit, analisis baja rangka batang, analisis dinding geser. Penggunaan program ini untuk menganalisis struktur, terutama untuk bangunan tinggi sangat tepat bagi perencana struktur karena tingkat ketelitian *output* yang dihasilkan sangat tinggi dan waktu yang dibutuhkan dalam menganalisis struktur relatif cepat dan efisien.

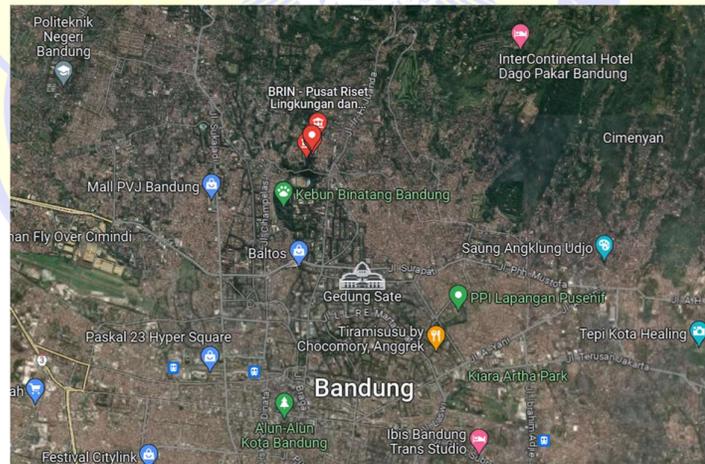
Meskipun terdapat beberapa jenis program yang digunakan dalam analisis struktur, program ETABS dinilai lebih mudah, terutama untuk menganalisis struktur gedung-gedung pencakar langit. Program ETABS sendiri telah teruji aplikasinya di lapangan. Di Indonesia, konsultan-konsultan perencana struktur ternama telah menggunakan program ini untuk analisis struktur dan banyak gedung yang telah dibangun dari hasil perencanaan tersebut.

BAB III

METODOLOGI PERENCANAAN

3.1. Diskripsi Model Struktur

Gedung Infrastruktur BASICS (*Bandung Advanced Sciences and Creative Engineering Space*) merupakan gedung laboratoirum penelitian yang dibangun di bawah naungan BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional). Bangunan ini terdiri dari tiga gedung utama, yaitu tower 1, tower 2 dan gedung workshop. Tinggi total gedung ini mencapai 28 m dengan 5 lantai dan 1 lantai dak. Gedung ini didirikan di Kawasan perkotaan yang lumayan pada di daerah Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung. Kondisi tanah berdasarkan hasil data penyelidikan menunjukkan bahwa kondisi tanah merupakan kelas tanah lunak. Konstruksi bangunan ini dirancang menggunakan beton konvensional. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan desain ulang (*redesign*) terhadap struktur Gedung Tower 1 dengan menerapkan sistem balok tirus (*tapered beam*) pada balok-balok induk strukturnya. Analisis terhadap kekuatan struktur menggunakan bantuan program ETABS v18.1.1.

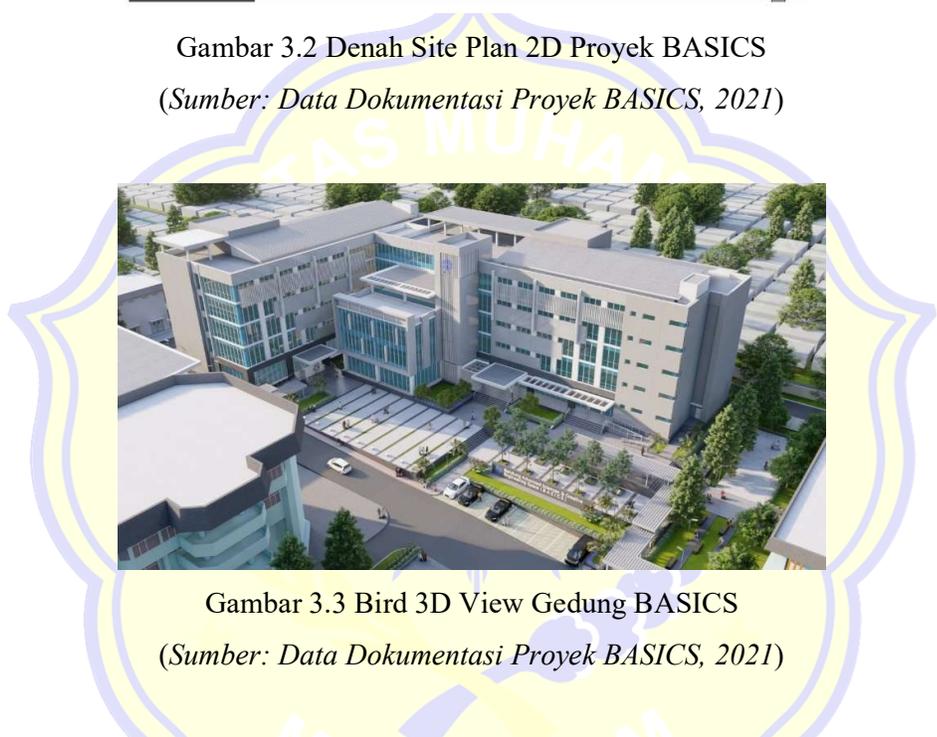


Gambar 3.1 Lokasi Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS

(Sumber: GoogleMaps, 2023)



Gambar 3.2 Denah Site Plan 2D Proyek BASICS
 (Sumber: Data Dokumentasi Proyek BASICS, 2021)



Gambar 3.3 Bird 3D View Gedung BASICS
 (Sumber: Data Dokumentasi Proyek BASICS, 2021)



Gambar 3.4 Perspektif Gedung BASICS
 (Sumber: Dokumentasi Proyek BASICS, 2021)

3.2. Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan instrumen penelitian yang berupa data teknis proyek dan *shop drawing* diantaranya:

1. Data Teknis Arsitektur

Berdasarkan dokumen teknis Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS, data teknis arsitektur tower 1 sebagai berikut:

| | |
|-------------------------|--|
| Lokasi | : Jl. Sangkuriang, Komplek LIPI Gd. 20, Jl. Cisitu Lama, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia. |
| Luas daerah perencanaan | : 11000 m ² |
| Luas bangunan | : 6227 m ² |
| Tinggi total bangunan | : 28 m |
| Fungsi bangunan | : Ruang Laboratorium dan Ruang <i>Co-Working Space</i> |

2. Data Teknis Struktur

Sesuai dengan gambar *shop drawing*, didapatkan data struktur Gedung Infrastruktur BASICS tower 1 sebagai berikut:

- Fungsi : Laboratorium penelitian dan gedung kantor
- Jumlah lantai : 6 lantai
- Tinggi antar lantai : (*sesuai Tabel 3.1*)

Tabel 3.1 Data Tinggi Antar Lantai

| Level Lantai | Tinggi (m) |
|---------------------|------------|
| Lantai Basement | 3,00 |
| Lantai 1 | 5,00 |
| Lantai 2 | 4,00 |
| Lantai 3 | 4,00 |
| Lantai 4 | 4,00 |
| Lantai 5 | 4,00 |
| Lantai Parsial LMR | 4,00 |
| Total tinggi gedung | 28,00 |

(Sumber: Data Teknis Gedung Infrastruktur BASICS, 2021)

d. Modulus elastisitas beton (E_c) dan Mutu beton (f_c')

Mutu beton merupakan nilai yang menunjukkan kekuatan atau kualitas beton yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan. Mutu beton untuk pekerjaan struktur Gedung BASICS Tower 1 dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sedangkan modulus elastisitas beton (E_c) untuk mutu beton (f_c') = 30 MPa adalah 25742,96 MPa.

Tabel 3.2 Data Mutu Beton Struktur

| Jenis Struktur | Mutu Beton (MPa) |
|-------------------|------------------|
| <i>Pile cap</i> | 30 |
| <i>Tie beam</i> | 30 |
| Pelat lantai | 30 |
| Kolom | 30 |
| Balok | 30 |
| <i>Bored pile</i> | 30 |

(Sumber: Data Teknis Gedung Infrastruktur BASICS, 2021)

e. Mutu baja tulangan (f_y)

Mutu baja tulangan (f_y) untuk pekerjaan struktur Gedung BASICS Tower 1 disajikan sesuai Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Data Mutu Baja Tulangan (f_y)

| Jenis Tulangan | Mutu Baja | Kuat Leleh (MPa) |
|-----------------------|-----------|------------------|
| Ulir (D) | BJTS 420B | 420 |
| Polos (\emptyset) | BJTP 240 | 240 |

(Sumber: Data Teknis Gedung Infrastruktur BASICS, 2021)

f. Data tanah

Data tanah yang digunakan merupakan data hasil investigasi tanah untuk proyek pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS yang dilakukan di dua titik yang berbeda dengan kedalaman pengeboran sedalam 30 m. Hasil pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) menunjukkan tanah termasuk

kelas tanah lunak. Adapun hasil invetigasi tanah tempat dibangunnya Gedung BASICS disajikan pada lampiran A.

- g. Gambar kerja dan desain Gedung
- Denah struktur (balok dan kolom) Gedung BASICS Tower 1
 - Potongan Gedung BASICS Tower 1
 - Schedule penulangan elemen struktur Gedung BASICS Tower 1

Adapun gambar desain eksisting struktur Gedung BASICS Tower 1 dapat dilihat pada lapiran B.

3.3. Lokasi Penelitian

Gedung Infrastruktur BASICS terletak di Kawasan Kampus LIPI – Bandung, Jl. Sangkuriang, Komplek LIPI Gd. 20, Gd. 30, Gd. 40, Gd. 50 dan Gd. 60, Jl. Cisitu Lama, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia. Lokasi sebelah timur berbatasan dengan Jl. Cisitu Lama, sisi barat berbatasan dengan Balai Besar Logam dan Mesin, Metal Industries Development Center - MIDC, Kementerian Perindustrian, dan bagian utara berbatasan dengan Kampung Parigi RT.05. Lokasi dari proyek tersebut dapa dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.5 Lokasi Gedung Infrastruktur BASICS
(Sumber: Google Earth Pro)

3.4. Preliminary Desain

Lingkup perencanaan struktur bangunan gedung ini mencakup pelat lantai, balok, kolom dan pondasi. Sedangkan elemen struktur yang digunakan dalam menghitung gaya luar adalah pelat, balok dan kolom. Dimensi awal pelat, balok dan kolom tersebut ditentukan melalui perkiraan atau estimasi terlebih dahulu.

1) Kolom

Kolom akan menerima beban aksial arah vertikal dan horizontal yang bekerja pada struktur gedung tersebut. Sehingga dimensi kolom akan disesuaikan berdasarkan besaran beban yang bekerja pada kolom tersebut.

2) Balok

Balok juga menerima jenis beban yang sama sebagaimana kolom yang menerima beban aksial arah vertikal dan horizontal. Dimensi awal balok ditentukan berdasarkan besaran beban yang bekerja pada balok tersebut.

3) Pelat

Pelat direncanakan menerima beban vertikal atau tegak lurus terhadap bidangnya. Beban ini akan menimbulkan momen dan geser yang bekerja pada pelat sehingga dimensi awal pelat dihitung berdasarkan besarnya beban yang bekerja tersebut.

3.5. Perencanaan Struktural

3.5.1. Perencanaan Pelat

Langkah-langkah perencanaan pelat diantaranya sebagai berikut:

- a. Menentukan dimensi pelat
- b. Menghitung pembebanan pelat
- c. Menghitung penulangan pelat

3.5.2. Perencanaan Balok *Tapered*

Langkah-langkah perencanaan balok *tapered* adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan jarak antar balok
- b. Menentukan dimensi balok normal berdasarkan panjang bentang (L)

- c. Menentukan dimensi balok *tirus* dengan menyesuaikan pada momen tumpuan dan lapangan
- d. Menghitung pembebanan pada balok *tapered*
- e. Menghitung statika balok *tapered* dengan program ETABS
- f. Menghitung penulangan balok *tapered* berdasarkan momen, geser dan torsi yang terjadi akibat pembebanan.

3.5.3. Perencanaan Kolom

Langkah-langkah perencanaan kolom diantaranya sebagai berikut:

- a. Menentukan dimensi kolom
- b. Menghitung pembebanan kolom
- c. Menghitung statika kolom dengan program ETABS
- d. Menghitung penulangan kolom

3.5.4. Perencanaan Sambungan Balok-Kolom

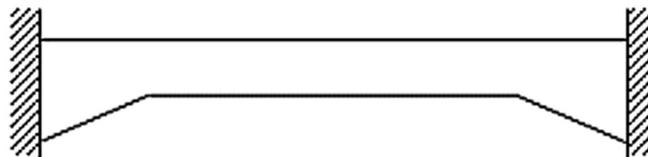
Langkah-langkah perencanaan sambungan balok-kolom yaitu sebagai berikut:

- a. Mengambil gaya-gaya dalam ujung-ujung balok dan kolom pada sambungan bersangkutan.
- b. Menghitung penulangan sambungan balok dan kolom.

3.6. Metode Analisis

3.6.1. Penentuan Tipe dan Dimensi Balok

Desain struktur balok non primastis menggunakan bentuk bertingkat. Adapun bentuk yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Balok Non Prismatic Bentuk Tirus

(Sumber: Setiawan, 2011)

3.6.2. Analisis Beban

Jenis-jenis beban yang bekerja berupa beban mati, beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa. Untuk beban gempa dianalisis menggunakan spektrum desain. Perhitungan beban-beban yang bekerja pada struktur gedung mengacu pada standar-standar yang berlaku di Indonesia diantaranya SNI 1727:2020, SNI 1726:2019 dan PPURG tahun 1987.

3.6.3. Modelling dengan ETABS

Pemodelan struktur gedung harus dilakukan secara tepat untuk memperoleh hasil desain yang valid. *Software* yang digunakan untuk mempercepat analisis pada perencanaan portal dan/atau gaya dalam yaitu ETABS v.18.1.1.

3.6.4. Analisis Gaya Dalam

Setelah *modelling* struktur menggunakan ETABS v.18.1.1 selesai, selanjutnya model struktur tersebut di-*running*. Proses *running* pada ETABS v.18.1.1 bertujuan untuk memperoleh gaya dalam pada struktur berupa momen lentur, gaya geser dan gaya aksial. Gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk perencanaan elemen-elemen struktur gedung.

3.6.5. Analisis Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat lantai perlu memperhatikan jenis pelat, apakah termasuk pelat satu arah atau dua arah. Selanjutnya menentukan dimensi serta penulangan pelat lantai. Standar yang digunakan dalam perencanaan pelat lantai yaitu SNI 2847:2019 dan SNI 2052: 2017.

3.6.6. Analisis Perencanaan Balok

Hasil analisis gaya dalam pada struktur balok digunakan sebagai acuan dalam mendesain tulangan balok. Nilai gaya dalam yang digunakan adalah pada balok yang memiliki nilai gaya dalam paling besar. Standar yang digunakan dalam perencanaan yaitu SNI 2847:2019 dan SNI 2052:2017.

3.6.7. Analisis Perencanaan Kolom

Hasil analisis gaya dalam pada struktur kolom digunakan sebagai acuan dalam mendesain tulangan kolom tanpa merubah dimensi maupun bentuk penampang. Nilai gaya dalam yang digunakan adalah pada kolom yang memiliki nilai gaya dalam paling besar. Standar yang digunakan dalam perencanaan yaitu SNI 2847:2019 dan SNI 2052:2017.

3.6.8. Analisis Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

Sambungan balok dan kolom (*joint*) harus direncanakan dengan mendetail untuk menghindari kegagalan struktur saat terjadi bencana selama umur layan. Menentukan kekuatan *joint* dengan menganalisa pada pengaruh beban aksial dan geser pada sambungan balok dan kolom. Standar yang digunakan dalam perencanaan yaitu SNI 2847:2019 dan SNI 2052:2017.

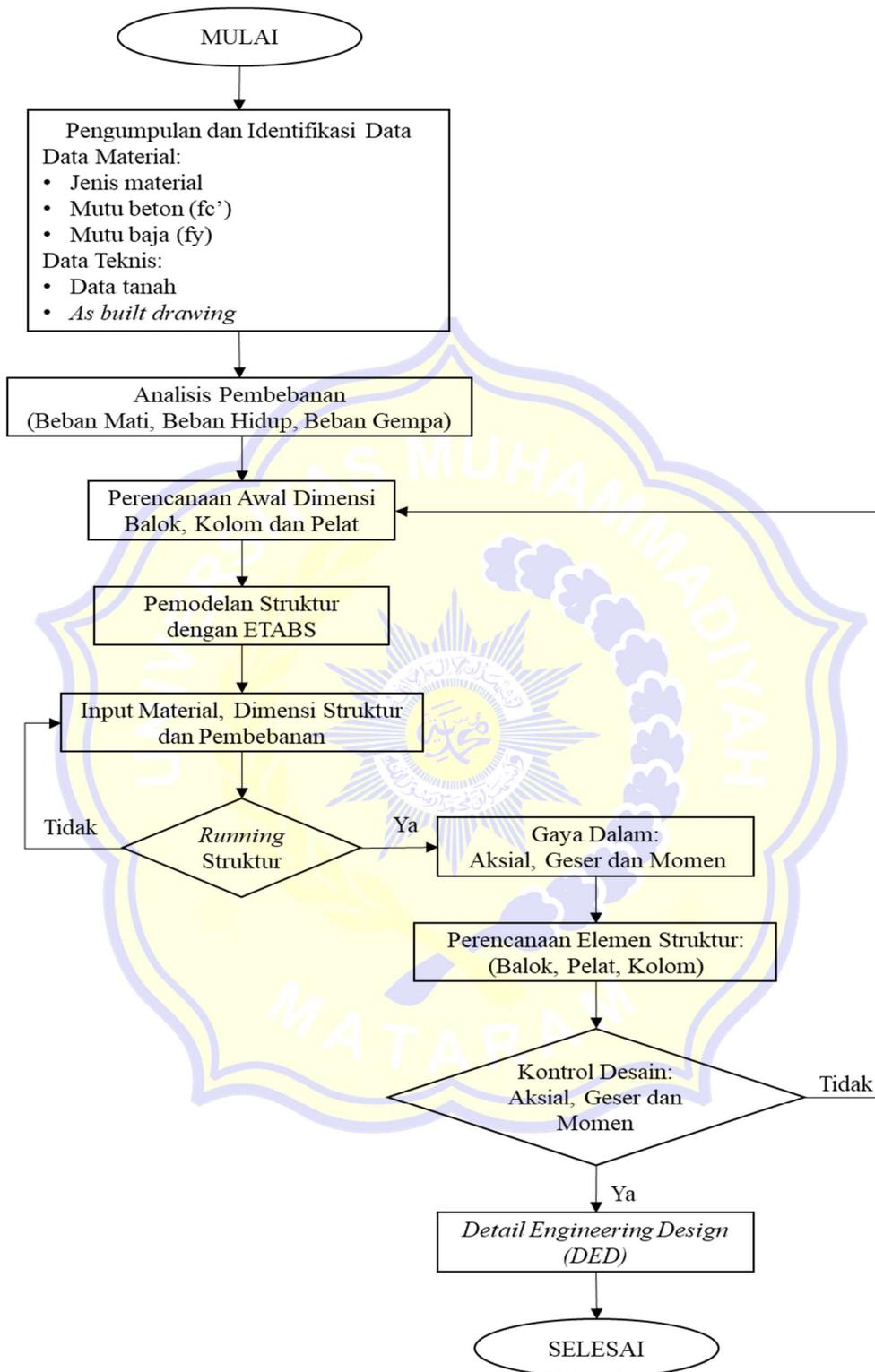
3.6.9. Detail Engineering Design (DED)

Gambar DED disusun berdasarkan hasil analisis perencanaan struktur yang sudah sesuai. Gambar DED diperlukan guna memudahkan pembaca dalam memahami desain struktur serta hasil analisis yang dilakukan. *Detail Engineering Design* dibuat menggunakan Autodesk AutoCad tahun 2020. Standar yang digunakan dalam menggambar DED diantaranya yaitu SNI 03-6816-2002.

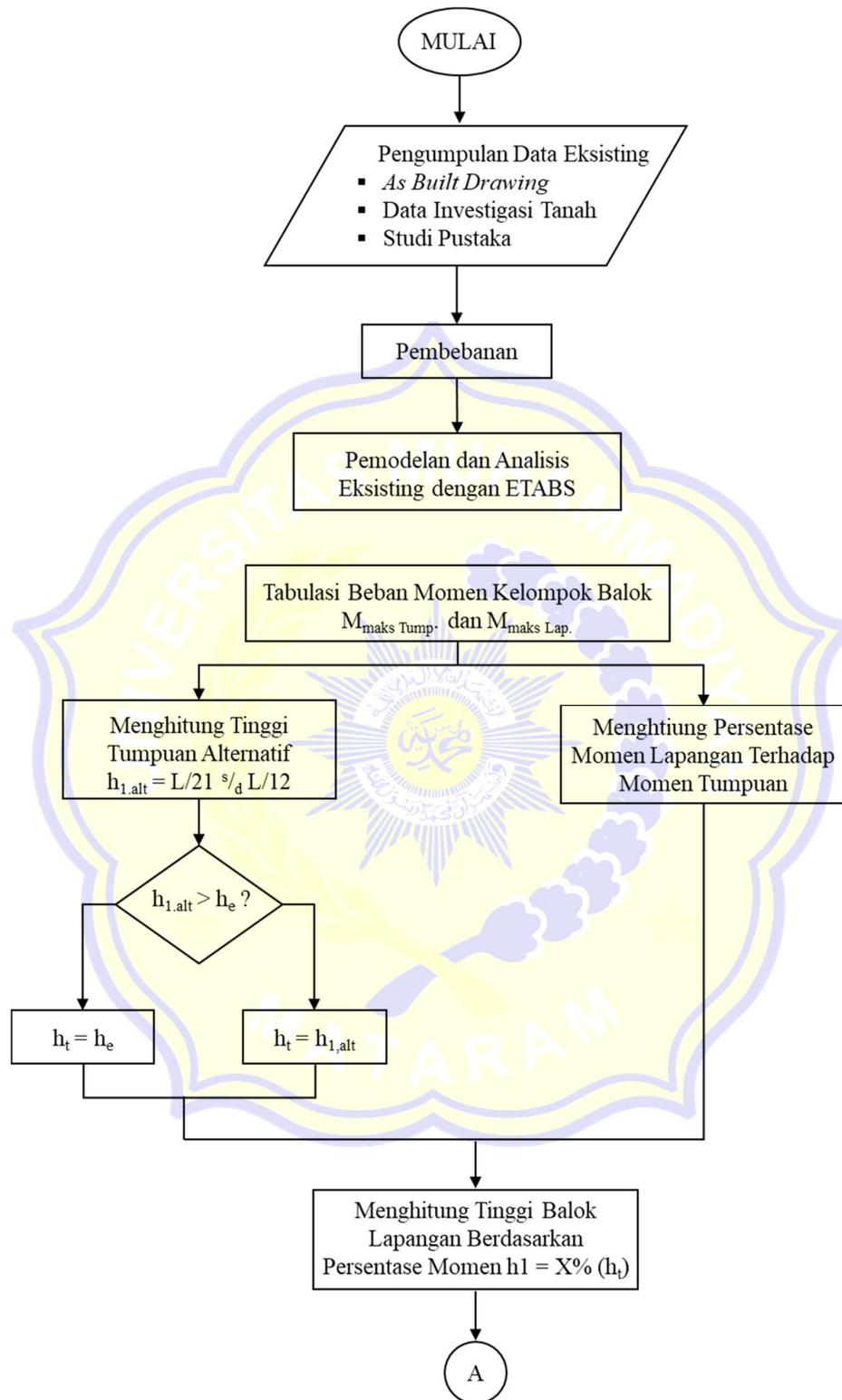
3.7. Bagan Alir Perencanaan

Dalam pelaksanaan suatu penelitian, setiap prosedur penelitian harus dilakukan secara terstruktur. Penataan ini bertujuan untuk memperoleh hasil penelitian yang maksimal serta menghindari terjadinya kesalahan interpretasi data akibat metode pelaksanaan kegiatan yang tumpang tindih dan tidak sistematis.

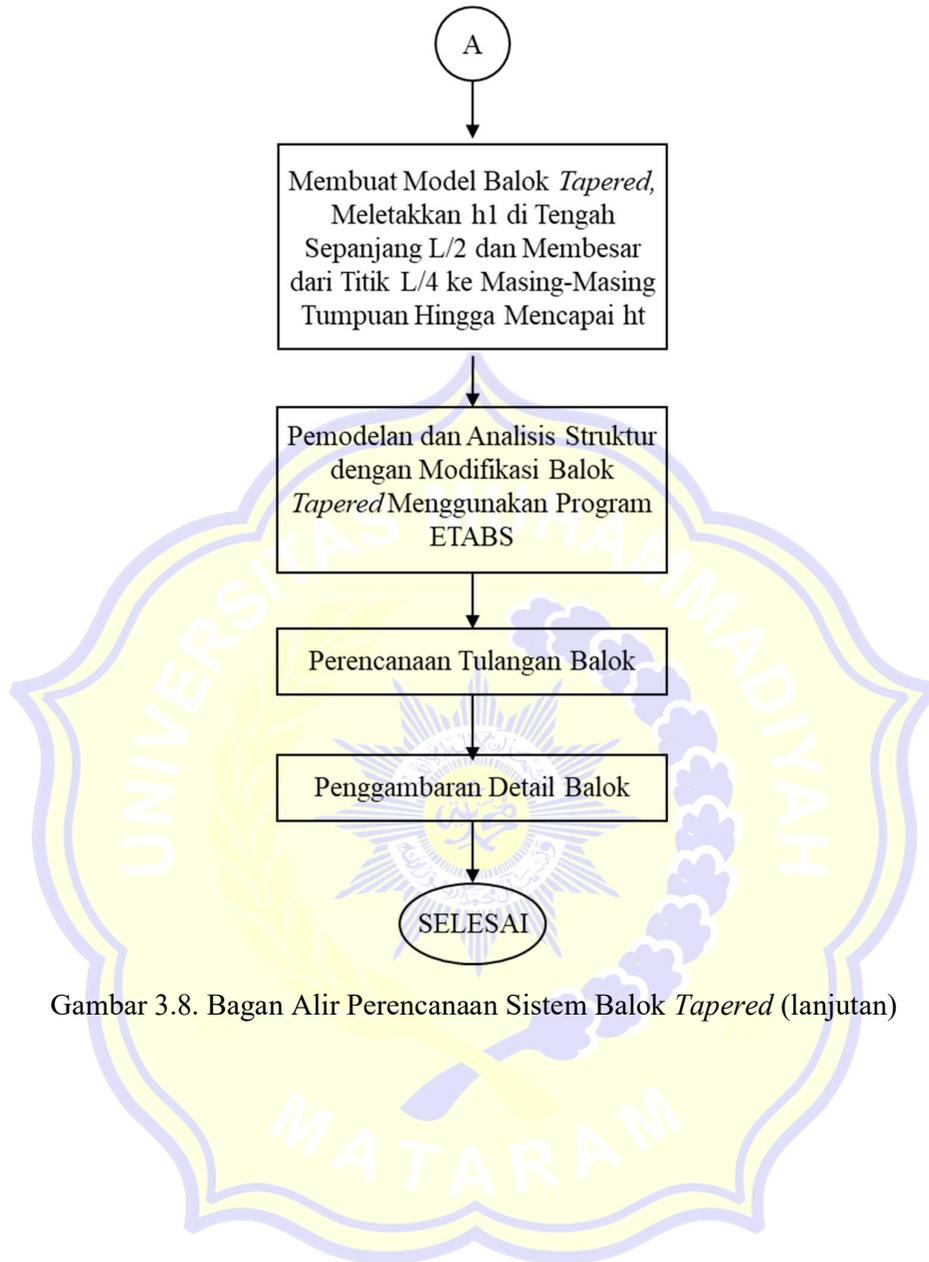
Adapun alur perencanaan yang akan dilaksanakan dalam skripsi ini disajikan pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Bagan Alir Perencanaan Struktur Portal Gedung



Gambar 3.8. Bagan Alir Perencanaan Sistem Balok *Tapered*



Gambar 3.8. Bagan Alir Perencanaan Sistem Balok *Tapered* (lanjutan)