

TESIS
STUDI EVALUASI DIMENSI DAN PENULANGAN
KOLOM BANGUNAN GEDUNG TERMINAL TIPE A
DI SALATIGA

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



Oleh :
HASTU TATAS HERARKHI
NIM : 20202100022

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025

TESIS
STUDI EVALUASI DIMENSI DAN PENULANGAN
KOLOM BANGUNAN GEDUNG TERMINAL TIPE A
DI SALATIGA

Ditusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



NIM : 20202100022

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2025

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

STUDI EVALUASI DIMENSI DAN PENULANGAN KOLOM BANGUNAN GEDUNG TERMINAL TIPE A DI SALATIGA

Disusun oleh :

HASTU TATAS HERARKHI

NIM : 20202100022

Telah disetujui oleh :

Tanggal, 20 Agustus 2025

Pembimbing 1,

Tanggal, 20 Agustus 2025

Pembimbing 2,

Dr. Ir. H. Sunarini, MS

NIK. 220288009

Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D

NIK. 210293018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

STUDI EVALUASI DIMENSI DAN PENULANGAN KOLOM BANGUNAN GEDUNG TERMINAL TIPE A DI SALATIGA

Disusun oleh :

HASTU TATAS HERARKHI

NIM : 20202100022

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
20 Agustus 2025

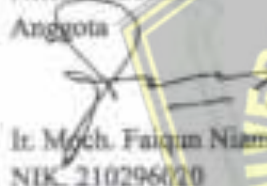
Tim Penguji:

1. Ketua



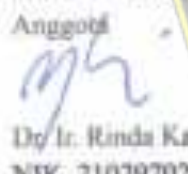
Dr. Ir. H. Somirin, MS
NIK. 220288009

2. Anggota



Ir. Moch. Fauzan Nizam, MT, Ph.D.
NIK. 210296020

3. Anggota



Dr. Ir. Rinda Karlina Sari, MT
NIK. 210297022

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, 20 Agustus 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK. 210202033

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Abdul Rochim, ST, MT
NIK. 210200031

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ
بِاللهِ وَأُوْا اٰمَنَ اَهْلَ الْكِتٰبِ لَکَانَ خَيْرًا اَلَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَاَكْثَرُهُمُ الْفٰسِقُونَ

"Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik."

-QS Ali 'Imran, Ayat 110-

وَقَضٰى رَبِّكَ اَلَّا تَعْبُدُوْا اِلَّا اِيَّاهُ رَبَّ الدِّیْنِ اَیُّهَا الَّذِیْنَ اٰمَنُوا عَلٰی صَدَقَ الْکَیْرُ اُخَذْهُمَا
اَوْ کَلٰهُمَا فَلَا تَقُلْ لِّهٰمَا اَنْتَ وَلَا تَنْهَرْهُمَا وَقُلْ لِّهٰمَا قَوْلًا کَرِیْمًا

"Dan Tuhanmu telah memerintahkan agar kamu jangan menyembah selain Dia dan hendaklah berbuat baik kepada ibu bapak. Jika salah seorang di antara keduanya atau kedua-duanya sampai berusa lanjut dalam pemeliharaanmu, maka janganlah engkau mengatakan kepada keduanya perkataan 'ah' dan janganlah engkau membentak keduanya, dan ucapkanlah kepada keduanya perkataan yang baik."

-QS Al-Isrâ', Ayat 23-

"Jika seseorang meninggal dunia, maka terputuslah amalannya kecuali tiga perkara: sedekah jariyah, ilmu yang bermanfaat, dan anak saleh yang mendoakannya."

-HR. Muslim-

"Barang siapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga."

-HR. Muslim-

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur kepada Allah Subhānahu wa Ta'ālā, tesis ini saya persembahkan kepada:

Istri dan anak-anakku tersayang, yang dengan doa, kasih sayang, dan pengorbanannya waktu yang tak pernah henti mendampingi setiap langkahku.

Kedua orang tuuku tercinta, terima kasih atas cinta yang tulus dan tanpa syarat, kalian adalah sumber kekuatanku.

Para dosen dan pembimbing, yang telah membimbing dengan ilmu, dedikasi, dan keteladanan selama masa studi. Terima kasih atas segala ilmu yang telah ditanamkan.

Segenap Civitas Akademik Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.

Dan tentu saja, untuk seluruh insan yang berkontribusi dalam bidang teknik sipil, semoga karya ini menjadi setitik manfaat yang mampu berperan dalam membangun negeri.



ABSTRAK

Peningkatan infrastruktur transportasi publik menuntut kualitas struktur yang andal, terutama pada kolom sebagai elemen utama penopang beban vertikal dan lateral. Terminal Tipe A di Salawiga perlu dievaluasi secara teknis agar sesuai dengan standar SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019, terutama karena lokasinya berada di zona rawan gempa. Evaluasi dimensi dan penulangan kolom penting dilakukan untuk memastikan kekuatan struktur sekaligus efisiensi penggunaan material. Analisis numerik dengan perangkat lunak teknik sipil dapat membantu mengidentifikasi potensi risiko dan memberikan rekomendasi teknis perbaikan. Penyesuaian desain di lapangan sering terjadi, sehingga evaluasi struktur diperlukan agar bangunan tetap aman dan sesuai fungsi aktual. Penelitian ini bertujuan menyusun alternatif perancangan yang efisien, adaptif terhadap risiko, dan tetap memenuhi aspek keselamatan.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kondisi eksisting bangunan terminal yang telah direvitalisasi, dengan memperhitungkan beban gravitasi dan beban gempa sesuai dengan standar SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak struktur bangunan untuk memperoleh respons struktur dan evaluasi kekuatan elemen kolom. Evaluasi dan optimisasi dilakukan dengan dasar dari perhitungan struktur kolom eksisting, dari hasil perhitungan tersebut terdapat dua opsi pada kolom eksisting, untuk kolom yang tidak memenuhi persyaratan teknis maka akan ditambah pekerjaan kolom dengan jacket beton dan untuk kolom yang memenuhi persyaratan teknis maka masih bisa dilakukan optimisasi dengan memvariasikan penulangan untuk mendapatkan hasil yang paling efisien dalam hal biaya tulangan.

Metode perkuatan menggunakan jacket beton dengan ketebalan 50 cm dapat dijadikan solusi efektif untuk kolom tengah lantai 1 dan lantai 2. Desain dengan tulangan 16D13 terbukti memenuhi persyaratan kekuatan (1%) lebih ekonomis dibanding teknik mengganti kolom secara penuh, sehingga direkomendasikan sebagai opsi perkuatan utama. Hasil analisis biaya menunjukkan penghematan 9% pada semua pekerjaan kolom dan 13% khusus pekerjaan besi. Optimisasi desain kolom tepi dengan penggunaan konfigurasi tulangan yang seragam (16D13) memberikan efisiensi biaya konstruksi yang signifikan. Oleh karena itu, pendekatan optimisasi ini disarankan diterapkan pada kolom dengan kondisi serupa untuk mengurangi biaya material dan pekerjaan tanpa mengurangi standar keamanan. Hasil analisis biaya menunjukkan penghematan 9% pada kolom tengah dan 13% khusus pekerjaan besi.

Kata Kunci: Evaluasi dan optimisasi, efisiensi struktur, Terminal Tipe A.

ABSTRACT

The development of public transportation infrastructure demands reliable structural quality, especially for columns as the primary elements supporting vertical and lateral loads. The Type A Terminal in Saluings needs to be technically evaluated to comply with the standards of SNI 2847:2019 and SNI 1726:2019, particularly because the site is located in an earthquake-prone zone. Evaluating the dimensions and reinforcement of columns is essential to ensure structural strength as well as material efficiency. Numerical analysis using civil engineering software can help identify potential risks and provide technical recommendations for improvement. On-site design adjustments often occur, making structural evaluation necessary to ensure the building remains safe and fit for its intended function. This study aims to propose efficient planning alternatives that are risk-adaptive while maintaining safety standards.

This research is based on the existing conditions of the revitalized terminal building, considering gravity and seismic loads according to SNI 2847:2019 and SNI 1726:2019. The analysis was conducted using structural software to obtain the structural response and assess the strength of column elements. Evaluation and optimization were carried out based on the calculations of the existing column structure, resulting in two options: for columns that do not meet technical requirements, strengthening will be done using concrete jacketing, while for those that meet the requirements, optimization can be performed by varying the reinforcement to achieve the most efficient rebar weight.

The strengthening method using 30 mm thick concrete jacketing is found to be an effective solution for the center columns on the first and second floors. A design with 16D13 reinforcement has proven to meet strength requirements and is more economical than full column replacement, then recommended as the primary strengthening option. Cost analysis results show a 9% saving on all column work and 13% on rebar-related work. Optimization of edge column design using uniform 16D13 reinforcement provides significant construction cost efficiency. Therefore, this optimization approach is recommended for columns in similar conditions to reduce material and labor costs without compromising safety standards. The cost analysis showed a 9% saving on center columns and 13% on rebar work specifically.

Keywords: Evaluation and optimization, structural efficiency, Type A Terminal.

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hastu Tatas Herarkhi

NIM : 20202100022

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesi yang berjudul:

STUDI EVALUASI DIMENSI DAN PENULANGAN KOLOM BANGUNAN GEDUNG TERMINAL TIRE A DI SALATIGA

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 20 Agustus

2025

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

Hastu Tatas Herarkhi

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis haturkan ke hadirat Allah Subhānahu wa Ta'ālā, Tuhan semesta alam, atas anugerah rahmat, taufik, serta hidayah-Nya. Berkat karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **"Studi Evaluasi Dimensi dan Penulangan Kolom Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Salatiga"** dengan baik hingga tahap akhir.

Tesis ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan persyaratan untuk meraih gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil. Selama proses penyusunan, penulis mendapatkan banyak bantuan dalam bentuk ilmu, pengarahan, serta nasihat dari berbagai pihak.

Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam kepada Bapak **Dr. Ir. H. Sumirin, MS** selaku Pembimbing I dan Bapak **Ir. H. Rachmat Mulyono, MT., Ph.D.** selaku Pembimbing II yang dengan penuh kesabaran telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi hingga tesis ini dapat terselesaikan.

Terselesaikannya tesis ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih serta penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam bentuk apa pun selama proses penyusunan karya ilmiah ini.

1. Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung;
2. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung;
3. Ir. Moch. Faizun Niam, MT, Ph.D selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, serta Penguji pada saat Seminar Proposal dan Seminar Tesis, yang telah banyak memberikan saran serta masukan terhadap perbaikan tesis ini;
4. Bapak Cayoko dan Ibu Supriyatin merupakan kedua orang tua saya yang saya sayangi, yang selama ini sudah mendukung setiap keputusan dan perjalanan yang saya tempuh;

5. Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T. selaku Penguji pada saat Seminar Proposal dan Seminar Hasil Tesis, yang telah banyak memberikan saran serta masukan terhadap perbaikan tesis ini;
6. Dr. Ir. Juni Andry Sulistyio, ST.,MT, selaku Penguji pada saat Seminar Hasil Tesis, yang telah banyak memberikan saran serta masukan terhadap perbaikan tesis ini;
7. Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, selaku Penguji pada saat Seminar Tesis, yang telah banyak memberikan saran serta masukan terhadap perbaikan tesis ini;
8. Semua Bapak/ Ibu Dosen di lingkungan Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung telah mengantarkan kami menjadi mahasiswa yang berpikir kritis;
9. Bapak Imam Buwono, ST., Ibu Tista Yachinta, ST., MT., Ibu Indamardi Handayani, SS., serta segenap Staff Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah membantu penulis dalam segala urusan perkuliahan dari tesis;
10. Nyonya Sipatul Janah, Amd. Keb., Istri tercinta yang selalu meluangkan waktu untuk membantu dan memenuhi pembuatan tesis ini;
11. Bapak Ipang Prasajo, S.Kom., MT., dari Balai Pengelola Transportasi Darat Kelas I Jawa Tengah telah membantu penulis sebagai pembimbing dalam mempersiapkan seminar dan sidang tesis;
12. Bapak Puji Rahmadi, S.T., yang telah membantu penulis sebagai pemberi masukan dalam penulisan tesis;
13. Seluruh pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data dan proses penelitian, baik di lapangan maupun di lingkungan akademik.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, masukan serta kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan guna menyempurnakan karya ini di masa yang akan datang.

Sebagai penutup, besar harapan penulis agar hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat serta sumbangsih, baik dalam lingkup akademis maupun aplikatif, khususnya dalam pengembangan sektor konstruksi di Indonesia.

Semarang, 20 Agustus 2025

Penulis,



Hastu Tatas Herarkhi



DAFTAR ISI

JUDUL TESIS	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.5 Sistematika Penelitian	5
1.6 Keaslian Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Struktur Kolom Beton Bertulang	7
2.2 Struktur Kolom pada Bangunan Gedung	8
2.2.1. Jenis dan Klasifikasi Kolom	11
2.2.2. Beban-Beban yang Bekerja pada Kolom	15
2.2.3. Kombinasi Pembebanan	41
2.3 Dimensi dan Penulangan Kolom	42
2.3.1 Parameter yang Mempengaruhi Dimensi Kolom	42
2.3.2 Prinsip Dasar Desain Tulangan Longitudinal dan Transversal menurut SNI 2847:2019	43
2.3.3 Persyaratan Kolom SNI 2847:2019	57

2.4	Optimasi dalam Teknik Sipil	62
2.4.1.	Efisiensi dan Efektivitas.....	62
2.4.2.	Konsep Biaya dalam Perencanaan Struktur	63
2.5	Penelitian Terdahulu	67
BAB III METODE PENELITIAN		72
3.1	Jenis Penelitian	72
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	72
3.3	Sumber Data	75
3.3.1	Data Primer	76
3.3.2	Data Sekunder	77
3.4	Teknik Pengumpulan Data	79
3.5	Metode Analisis Data	80
3.5.1	Metode Analisa Menggunakan Software Bangunan Gedung	80
3.5.2	Metode Perbandingan Biaya Pekerjaan.....	80
3.6	Rencana Pelaksanaan Penelitian	81
BAB IV PEMBAHASAN		84
4.1	Tahap Informasi Bangunan	84
4.2	Tahap Evaluasi Struktur Kolom Sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019	85
4.2.1	Tipe Kolom Eksisting (400x400, 4D22 dan 8D16)	86
4.2.2	Tipe Kolom Perkuatan dengan Jaket Beton	91
4.2.3	Tipe Kolom Optimalisasi dengan Perubahan Desain Penulangan	99
4.2.4	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Struktur Kolom Sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019	107
4.3	Tahap Analisis Volume Kolom	109
4.4	Tahap Analisis Biaya Pekerjaan Kolom	112
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		118
5.1	Kesimpulan	118
5.2	Saran	118
DAFTAR PUSTAKA		120
LAMPIRAN		121

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beban mati desain minimum	20
Tabel 2.2	Densitas minimum untuk beban desain dari material.....	22
Tabel 2.3	Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum.....	25
Tabel 2.4	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa.....	37
Tabel 2.5	Faktor Keutamaan untuk Berbagai Gedung dan Bangunan	39
Tabel 2.6	Klasifikasi Situs.....	40
Tabel 2.7	Momen Inersia dan Luas Penampang yang diizinkan Untuk Analisis Elastis pada Level Beban Terfaktor	48
Tabel 2.8	Perhitungan V_e untuk Geser Dua Arah.....	53
Tabel 2.9	Nilai V_u Maksimum untuk Komponen Dua Arah dengan Tulangan Geser.....	54
Tabel 2.10	Nilai V_u Maksimum untuk Komponen Dua Arah dengan Tulangan Geser.....	54
Tabel 2.11	Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser	55
Tabel 2.12	Tulangan Transversal Untuk Kolom-Kolom SRPMK.....	61
Tabel 2.13	Rangkuman Penelitian Terdahulu dan Perbedaan Penelitian yang akan Dilakukan.....	67
Tabel 3.1	Tabel Rencana Optimalisasi Dimensi dan Penulangan Kolom	80
Tabel 4.1	Tabel Informasi Bangunan	84
Tabel 4.2	Tabel Rencana Evaluasi Dimensi dan Penulangan	84
Tabel 4.3	Tabel Rekapitulasi Hasil Pengecekan Kolom Eksisting	89
Tabel 4.4	Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Kolom Perkuatan	107
Tabel 4.5	Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Kolom Optimalisasi	108
Tabel 4.6	Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Keseluruhan Kolom	108
Tabel 4.7	Tabel Rekapitulasi Hasil Perhitungan Volume	109
Tabel 4.8	Tabel Penamaan Jenis Kolom	110
Tabel 4.9	Harga Satuan Pekerjaan Besi.....	113

Tabel 4.10	Harga Satuan Pekerjaan Beton	113
Tabel 4.11	Harga Satuan Pekerjaan Bekisting	114
Tabel 4.12	Harga Pekerjaan Beton	114
Tabel 4.13	Harga Pekerjaan Besi	115
Tabel 4.14	Harga Pekerjaan Bekisting	115
Tabel 4.15	Rekapitulasi Total Biaya Beton, Besi dan Bekisting	116
Tabel 4.16	Tabel Perbandingan Biaya Besi	116
Tabel 4.17	Tabel Perbandingan Biaya Total	117



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Regangan Tipe Keruntuhan Penampang.....	13
Gambar 2.2	Beban Mati Kolom.....	19
Gambar 2.3	Peta Parameter Gerak Tanah S_r , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-detik (Redaman Kritis 5 %)	34
Gambar 2.4	Parameter Gerak Tanah S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,3- detik (Redaman Kritis 5 %).....	34
Gambar 2.5	PGA, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-Rata Geometrik (MCEG) Wilayah Indonesia	35
Gambar 2.6	Spektrum Respons.....	35
Gambar 2.7	Grafik Spektrum Respons Gempa Sembarang.....	36
Gambar 2.8	Jenis Kolom Beton Bertulang.....	45
Gambar 2.9	Panjang Efektif Kolom Tumpuan Jelit dan Sendi.....	46
Gambar 2.10	Faktor Panjang Efektif, k	47
Gambar 2.11	(a) Lentur Satu Arah Terhadap Sumbu x ; (b) Lentur Satu Arah Terhadap Sumbu y ; (c) Lentur Dua Arah	50
Gambar 2.12	Jenis Sengking Pengikat.....	52
Gambar 2.13	Contoh Penulangan Transversal Pada Kolom.....	60
Gambar 2.14	Contoh Penulangan Transversal Pada Kolom.....	60
Gambar 3.1	Lokasi Terminal Tipe A Tingkir.....	73
Gambar 3.2	Terminal Tipe A Tingkir.....	74
Gambar 3.3	Potongan A dan B Bangunan Terminal Tipe A Tingkir.....	74
Gambar 3.4	Potongan C dan D Bangunan Terminal Tipe A Tingkir.....	75
Gambar 3.5	Denah Lantai 1 Bangunan Terminal.....	76
Gambar 3.6	Denah Lantai 2 Bangunan Terminal.....	77
Gambar 3.7	Peta Wilayah Gempa Indonesia.....	79
Gambar 3.8	Bagan Alur Penelitian.....	83
Gambar 4.1	Pemodelan 3D.....	85
Gambar 4.2	Penampang melintang kolom eksisting 400x400 mm	87

Gambar 4.3	Diagram Interaksi Kondisi Kolom Eksisting	87
Gambar 4.4	Detail Penulangan Kolom Eksisting	89
Gambar 4.5	Denah Pembagian Jenis Kolom	91
Gambar 4.6	Penampang melintang Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)	92
Gambar 4.7	Diagram Interaksi Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)	93
Gambar 4.8	Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)	94
Gambar 4.9	Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)	95
Gambar 4.10	Diagram Interaksi Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)	95
Gambar 4.11	Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)	96
Gambar 4.12	Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)	97
Gambar 4.13	Diagram Interaksi Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)	98
Gambar 4.14	Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)	99
Gambar 4.15	Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)	100
Gambar 4.16	Diagram Interaksi Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)	101
Gambar 4.17	Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)	101
Gambar 4.18	Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)	103
Gambar 4.19	Diagram Interaksi Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)	103

Gambar 4.20	Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)	104
Gambar 4.21	Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)	105
Gambar 4.22	Diagram Interaksi Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)	106
Gambar 4.23	Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)	106
Gambar 4.24	Diagram perbandingan volume beton kolom kekuatan	109
Gambar 4.25	Diagram perbandingan volume beton kolom optimalisasi	109
Gambar 4.26	Diagram perbandingan volume besi kolom kekuatan	110
Gambar 4.27	Diagram perbandingan volume besi kolom optimalisasi	110
Gambar 4.28	Diagram perbandingan volume bekisting kolom kekuatan	111
Gambar 4.29	Diagram perbandingan volume bekisting kolom optimalisasi	111



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah Minipile.....	122
Lampiran 2. Detail Pilecap 1	123
Lampiran 3. Detail Pilecap 2	124
Lampiran 4. Denah Pilecap.....	125
Lampiran 5. Denah Pedestal	126
Lampiran 6. Denah Sloof.....	127
Lampiran 7. Denah Kolom Lt. 1	128
Lampiran 8. Denah Kolom Lt. 2	129
Lampiran 9. Denah Balok Lt. 1	130
Lampiran 10. Denah Balok Lt. 2	131
Lampiran 11. Denah Balok Atap	132
Lampiran 12. Denah Balok Atap	133
Lampiran 13. Denah Balok Atap	134
Lampiran 14. Denah Plat Portal	135
Lampiran 15. Denah Plat Atap	136
Lampiran 16. Denah Plat Atap	137
Lampiran 17. Plat Atap	138
Lampiran 18. Plat Atap	139
Lampiran 19. Perhitungan	140

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan pembangunan sarana transportasi umum menjadi bagian penting dalam memperlancar arus mobilitas masyarakat serta mendukung pertumbuhan ekonomi wilayah. Terminal tipe A berfungsi sebagai pusat konektivitas antar wilayah dan harus memiliki kualitas konstruksi yang aman dan andal. Dalam struktur bangunan terminal, kolom menjadi komponen utama karena bertugas memikul beban vertikal dan menjaga stabilitas bangunan secara keseluruhan. Oleh sebab itu, perencanaan dimensi dan penulangan kolom harus dilakukan secara presisi sesuai dengan ketentuan standar teknis yang berlaku, seperti yang tercantum dalam SNI 2847:2019. Proyek Terminal Tipe A di Salatiga perlu dipastikan memenuhi persyaratan tersebut agar struktur aman digunakan dalam jangka panjang. Evaluasi teknis menjadi langkah penting terutama ketika terdapat perubahan desain atau perbedaan pelaksanaan di lapangan.

Perencanaan dimensi dan tulangan kolom pada bangunan satu lantai seperti terminal harus mempertimbangkan berbagai jenis beban, seperti beban mati, hidup, serta gaya lateral akibat gempa. Indonesia berada pada zona rawan gempa, sehingga bangunan publik wajib dirancang berdasarkan prinsip ketahanan seismik sesuai SNI 1726:2019. Penelitian oleh Setiawan dkk. (2020) mengungkapkan bahwa beberapa gedung publik mengalami penurunan kualitas struktur akibat lemahnya desain awal atau ketidaksesuaian dengan standar terbaru. Oleh karena itu, dibutuhkan evaluasi teknis terhadap struktur kolom untuk menilai sejauh mana desain masih layak digunakan, atau perlu dilakukan penguatan. Upaya ini tidak hanya untuk menjaga keselamatan pengguna, tetapi juga untuk meningkatkan umur layanan struktur bangunan.

Sebagai elemen tekan utama, kolom memiliki perilaku struktural yang kompleks dan sangat dipengaruhi oleh desain geometri serta konfigurasi penulangan. Kesalahan dalam perencanaan dapat menyebabkan ketidakstabilan bahkan kegagalan struktur, terutama jika beban aksial dan lentur tidak tertangani

dengan baik. Berdasarkan studi Azhari & Lubis (2021), banyak keruntuhan struktur berawal dari kelemahan elemen kolom yang kurang diperhatikan. Oleh karena itu, dalam perencanaan kolom terminal, perlu dilakukan pengecekan menyeluruh terhadap kemampuan struktur dalam menerima kombinasi beban. Evaluasi ini menjadi penting agar kolom mampu menunjang beban dari elemen-elemen struktural dan non-struktural lainnya secara optimal.

Analisis struktur terhadap kolom beton bertulang umumnya dilakukan dengan pendekatan numerik berbasis perangkat lunak teknik sipil. Perbandingan hasil perhitungan dengan desain awal dapat mengungkap adanya kekurangan atau potensi risiko kegagalan. Penelitian oleh Nugroho dkk. (2019) menunjukkan bahwa software seperti SAP2000 mampu memberikan gambaran menyeluruh terhadap kekuatan struktur dan membantu insinyur dalam menyusun rekomendasi teknis. Analisis ini juga mendukung proses inspeksi teknis oleh pihak berwenang yang bertanggung jawab terhadap keselamatan bangunan publik. Dengan begitu, evaluasi kolom bukan hanya untuk memastikan kekuatan struktural, tapi juga mendukung tata kelola konstruksi yang berkelanjutan dan aman.

Terminal tipe A di Kota Salatiga merupakan salah satu fasilitas publik yang memiliki tingkat aktivitas tinggi dan menampung banyak pengguna setiap harinya. Oleh sebab itu, desain struktural bangunan ini harus mampu menghadapi beban dinamis dan risiko gempa yang cukup tinggi. Berdasarkan data dari lembaga geologi nasional, wilayah Salatiga tergolong dalam kategori zona seismik sedang hingga tinggi. Hal tersebut menuntut perencanaan struktur, terutama kolom, yang benar-benar sesuai standar dan mampu bertahan dalam kondisi ekstrem. Evaluasi menjadi langkah antisipatif untuk memastikan struktur tetap layak dan aman sesuai dengan perkembangan risiko seismik terbaru.

Selain memperhatikan kekuatan struktur, efisiensi penggunaan material juga harus menjadi pertimbangan dalam desain kolom. Dimensi kolom yang terlalu besar dapat menyebabkan pemborosan bahan konstruksi, sedangkan tulangan yang berlebihan justru menyulitkan proses pengecoran. Oleh karena itu, evaluasi struktur harus mempertimbangkan aspek teknis sekaligus efisiensi biaya. Studi oleh Wijayanto (2018) menyarankan bahwa desain optimal bukan hanya yang kuat, tetapi juga hemat biaya dan praktis dalam pelaksanaan. Dalam konteks terminal

publik, efisiensi ini penting agar biaya pembangunan tidak membebani anggaran tanpa mengurangi aspek keselamatan dan kualitas.

Kondisi di lapangan sering kali menuntut adanya penyesuaian terhadap desain awal struktur karena perubahan teknis atau kebutuhan fungsional. Oleh karena itu, proyek seperti Terminal Salatiga perlu dikaji ulang elemen strukturnya, terutama kolom, untuk memastikan tetap sesuai dengan fungsi dan kondisi aktual. Evaluasi struktur tidak hanya bermanfaat untuk mendeteksi kelemahan, tetapi juga sebagai dasar dalam merancang intervensi perbaikan yang efektif. Dengan adanya tinjauan ini, bangunan dapat disesuaikan dengan kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan keselamatan pengguna. Hal ini juga sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan dalam bidang konstruksi.

Penelitian oleh Sumirin dkk. (2020) menunjukkan bahwa untuk desain bangunan gedung tahan gempa dapat menggunakan sistem struktur seperti SRPM. SRPM (Sistem Rangka Pemikul Momen) adalah salah satu pilihan metode untuk merencanakan sebuah bangunan tahan gempa. Dimana peran balok, kolom dan sambungan balok kolom menjadi penting karena beban lateral khususnya beban gempa akan ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Tidak menggunakan tambahan dinding geser, adapun dinding maka dinding tersebut tidak didesain untuk menahan beban lateral. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah salah satu macam sistem struktur dari pembagian SRPM. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah sistem rangka beton bertulang yang didesain mempunyai kapasitas daktilitas struktur maksimal. Dari SRPMK maka dapat dilakukan analisa desain kapasitas gedung tahan gempa dan kinerja struktur suatu bangunan gedung.

Melihat berbagai latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap dimensi dan penulangan kolom pada proyek Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Kota Salatiga. Evaluasi akan dilakukan dengan menganalisis dokumen perencanaan awal, mengacu pada standar teknis terbaru, serta menggunakan perangkat lunak analisis struktur untuk mendapatkan hasil yang obyektif. Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan masukan yang bermanfaat dalam bentuk rekomendasi teknis bagi penguatan struktur atau perbaikan desain. Penelitian ini juga bertujuan mendukung peningkatan kualitas

bangunan publik di Indonesia yang adaptif terhadap risiko dan efisien dalam penggunaannya.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Salatiga. Evaluasi dimensi dan penulangan kolom dilakukan dengan mempertimbangkan beban gempa, beban gravitasi, serta ketentuan yang tercantum dalam SNI terkait, seperti SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan alternatif perencanaan struktur yang lebih efisien dan ekonomis tanpa mengurangi aspek keselamatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat ditarik rumusan masalah untuk penelitian yang berjudul Pada penelitian terhadap Studi Evaluasi Dimensi dan Penulangan Kolom Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Salatiga, sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis dan mengevaluasi dimensi serta penulangan kolom struktur agar sesuai dengan persyaratan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas berdasarkan standar SNI yang berlaku?
2. Apa metode perkuatan yang paling efektif untuk meningkatkan kapasitas kolom yang tidak memenuhi ketentuan SNI, baik dari segi kekuatan aksial, lentur, maupun ketahanan gempa?
3. Bagaimana melakukan optimasi biaya struktur kolom melalui redesain dimensi dan penulangan tanpa mengurangi aspek keamanan dan keandalan struktur sesuai standar?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terfokuskan pada hal-hal sebagai berikut antara lain:

1. Kajian ini dibatasi pada analisis struktur kolom sebagai elemen utama gedung terminal, tanpa mencakup evaluasi terhadap balok, pelat lantai, pondasi, maupun elemen struktural lainnya.
2. Evaluasi dilakukan dengan mengacu pada dokumen gambar rencana struktur yang tersedia, kemudian hasilnya dibandingkan terhadap persyaratan teknis yang tercantum dalam SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.

3. Aspek penulangan yang ditinjau terbatas pada kuantitas, ukuran diameter, serta tata letak tulangan pokok dan tulangan geser (senggang), tanpa mempertimbangkan kualitas pelaksanaan konstruksi di lapangan.
4. Penentuan beban gempa dalam analisis ini menggunakan parameter wilayah berdasarkan posisi geografis Kota Salatiga, yang merujuk pada peta zonasi seismik dalam SNI 1726:2019.
5. Dalam proses analisis struktur menggunakan satu software struktur bangunan, sehingga tidak dilakukan perbandingan hasil dengan software lainnya.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan dua jenis tujuan dan manfaat, yakni secara teoritis dan secara praktis. Secara teoritis, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan memberikan sumbangan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya yang berkaitan dengan struktur beton bertulang. Sementara itu, secara praktis dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kesesuaian dimensi dan penulangan kolom struktur terhadap ketentuan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.
2. Merumuskan strategi perkuatan kolom yang tidak memenuhi persyaratan dengan metode yang efektif, praktis, dan sesuai standar.
3. Menghasilkan alternatif desain kolom yang lebih ekonomis melalui optimasi material dan dimensi, sekaligus tetap memenuhi aspek keselamatan dan ketahanan gempa.

1.5 Sistematika Penelitian

Rancangan sistematika penulisan pada tesis ini terdiri dari 5 bab, dimana uraian untuk masing-masing bab antara lain adalah :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, sistematika penelitian dan keaslian penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat uraian sistematika tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan rumusan masalah yang akan dibahas.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode penelitian, tahapan penelitian, sumber data, objek penelitian, pengumpulan data dan pembahasan data, tahapan analisis data.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil pembahasan mengenai analisis struktur bangunan pada kondisi eksisting dan kondisi rencana optimalisasi bangunan terminal serta perbandingan anggaran biaya antara kondisi eksisting dan rencana optimalisasi bangunan terminal.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang ada dan saran-saran.

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian ini secara khusus ditujukan untuk menelaah dimensi serta sistem penulangan kolom pada Bangunan Terminal Tipe A yang berlokasi di Salatiga, yang sampai saat ini belum ditemukan adanya studi sejenis dengan fokus dan lokasi serupa. Beberapa studi sebelumnya memang pernah membahas topik tentang struktur kolom pada bangunan bertingkat atau gedung publik, namun tidak ada yang secara eksplisit meneliti terminal tipe A di wilayah tersebut sebagai objek utama. Hal ini menunjukkan adanya ruang untuk kontribusi baru dalam konteks struktur bangunan terminal.

Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan dkk. (2020) dan Nugroho dkk. (2019), misalnya, lebih menyoroti aspek evaluasi struktur bangunan terhadap beban gempa, terutama pada gedung bertingkat, atau mengulas efisiensi penulangan secara umum. Sementara itu, kajian dari Azhari dan Lubis (2021) fokus pada analisis keruntuhan struktur kolom pada sekolah. Meskipun tema besar dari penelitian-penelitian tersebut masih dalam lingkup teknik sipil, perbedaan konteks

bangunan, lokasi geografis, dan pendekatan analisis menjadikan penelitian ini memiliki sisi pembeda. Dengan demikian, aspek kebaruan dapat dilihat dari objek, lingkup, dan pendekatan teknis yang diterapkan.

Penelitian ini memiliki unsur orisinalitas karena membahas secara langsung struktur kolom bangunan terminal satu lantai, menggunakan data riil dari proyek yang sedang atau telah dilaksanakan di Salatiga. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan desain eksisting terhadap peraturan terbaru dalam SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019, serta diakhiri dengan penyusunan rekomendasi teknis yang relevan untuk perbaikan atau penguatan. Oleh karena itu, hasil dari studi ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah yang berbeda dan memperluas pemahaman mengenai evaluasi struktur bangunan terminal, yang belum banyak dikaji dalam penelitian-penelitian sebelumnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Kolom Beton Bertulang

Kolom adalah elemen struktural vertikal penting dalam konstruksi bangunan yang berfungsi menyalurkan beban dari elemen di atas seperti lantai dan balok menuju pondasi. Elemen ini terutama menerima beban aksial tekan, dan kadang juga beban lentur karena eksentrisitas. Stabilitas dan kekuatan keseluruhan bangunan sangat tergantung pada keandalan kolom, terutama untuk bangunan bertingkat. Kegagalan pada kolom dapat menyebabkan keruntuhan besar yang bersifat progresif. Oleh karena itu, ukuran dimensi dan sistem penulangan kolom harus dirancang dengan akurat agar dapat menahan beban sesuai dengan standar keamanan. Faktor-faktor seperti panjang kolom, posisi dalam sistem struktur, dan jenis sambungan akan mempengaruhi pola aliran beban.

Penelitian oleh Mulyana dan Suranto (2016) mengungkapkan bahwa salah satu penyebab utama kegagalan struktur bangunan adalah kesalahan pada desain penulangan kolom. Hasil studi menunjukkan bahwa rendahnya rasio tulangan dan tidak sesuai detailing terhadap standar teknis sering kali menjadi pemicu kegagalan. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan ketentuan SNI harus dilakukan secara konsisten, terutama untuk struktur penting seperti terminal atau fasilitas umum lainnya. Evaluasi penulangan perlu juga mempertimbangkan adanya kemungkinan perubahan fungsi ruang atau beban setelah bangunan digunakan. Desain yang fleksibel dan dapat disesuaikan sangat penting dalam menjaga keamanan struktur di masa depan. Dengan demikian, pendekatan evaluatif memiliki peran strategis dalam mendukung keberlanjutan struktur.

Selain beban vertikal, kolom pada bangunan di daerah rawan gempa seperti Salafiga juga harus dirancang untuk menahan beban lateral. Dalam hal ini, pendekatan capacity design digunakan, yaitu memastikan bahwa balok yang mengalami kerusakan terlebih dahulu, bukan kolom. SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 memberikan panduan detail penulangan khusus untuk kolom tahan gempa, seperti pengaturan panjang sengkang, jarak, dan diameter minimum. Tujuan

dari ketentuan ini adalah agar struktur memiliki daktilitas tinggi dan dapat menyerap energi gempa secara optimal. Dengan desain yang baik, struktur akan lebih aman dan tidak mengalami kegagalan mendadak. Hal ini mendasari pentingnya evaluasi ulang desain kolom untuk bangunan publik di zona seismik tinggi.

Analisis terhadap dimensi kolom dilakukan untuk mengetahui kemampuan kolom dalam menahan kombinasi beban tekan dan momen. Faktor-faktor seperti ukuran penampang, tinggi efektif, kuat tekan beton (f_c), serta luas dan susunan tulangan menjadi parameter penting dalam perhitungan ini. Selain itu, eksentrisitas beban dan zona sambungan juga harus diperhitungkan untuk mencegah terjadinya konsentrasi tegangan yang berlebihan. Kolom dengan ukuran yang terlalu kecil berpotensi menjadi titik lemah dalam sistem struktur. Untuk meningkatkan akurasi, software analisis struktur seperti ETABS atau SAP2000 sering digunakan dalam validasi desain. Alat bantu ini sangat bermanfaat dalam memastikan bahwa desain memenuhi persyaratan kekuatan dan keamanan.

Pada bangunan terminal, kolom memiliki peran ganda yaitu menahan beban vertikal dari atap dan lantai serta mentransfer gaya horizontal dari gempa melalui sistem rangka. Terminal tipe A yang melayani aktivitas transportasi dengan intensitas tinggi menuntut struktur yang kuat, efisien, dan aman. Oleh karena itu, penentuan ukuran dan penulangan kolom tidak hanya mempertimbangkan aspek kekuatan, tetapi juga fungsi, kemudahan pelaksanaan, dan efisiensi biaya. Evaluasi dimensi dan penulangan sangat diperlukan untuk memastikan bahwa struktur memenuhi standar yang berlaku. Dengan melakukan kajian ulang seperti ini, desain teknis bangunan dapat ditingkatkan kualitasnya. Selain itu, hasil evaluasi juga dapat dijadikan acuan pada proyek serupa di masa depan.

2.2 Struktur Kolom pada Bangunan Gedung

Perencanaan kolom beton bertulang di Indonesia mengacu pada standar yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019. Standar ini mengatur bagaimana elemen struktural, termasuk kolom, dirancang agar mampu menahan beban vertikal dan horizontal. Dalam perancangannya, kolom harus diperhitungkan dengan beban aksial maksimum dan momen lentur akibat eksentrisitas. Selain itu, evaluasi

terhadap kondisi batas, seperti sambungan pada lantai dan balok, juga menjadi bagian penting dalam proses desain. Peraturan ini juga menyebutkan pentingnya faktor reduksi kekuatan (ϕ) dalam menjaga keamanan desain. Hal ini memungkinkan toleransi terhadap variasi material dan ketidaksempurnaan konstruksi.

Untuk mengakomodasi beban yang diterima, SNI mensyaratkan adanya tulangan longitudinal dan transversal dalam kolom. Tulangan longitudinal berfungsi menahan gaya tarik maupun tekan, sedangkan tulangan transversal (senggang atau spiral) membantu menahan gaya geser serta menjaga kestabilan batang tulangan utama. Penempatan dan jarak antar tulangan ini diatur secara rinci dalam peraturan. SNI 2847:2019 menetapkan bahwa rasio tulangan longitudinal minimum adalah 1% dan maksimum 8% dari luas penampang beton. Jika rasio ini terlalu kecil, kolom akan kekurangan kekuatan, sebaliknya, rasio yang terlalu besar dapat menyulitkan dalam pengecoran beton. Oleh sebab itu, keseimbangan antara kekuatan dan kemudahan konstruksi menjadi pertimbangan penting.

Selain desain kolom dalam kondisi normal, SNI 1726:2019 juga mengatur desain kolom pada struktur tahan gempa. Dalam konteks bangunan di daerah seismik seperti Salatiga, desain kolom harus memperhatikan disipasi energi serta daktilitas. Penulangan kolom pada zona plastis diluruskan lebih rapat dan diperkuat dengan detailing khusus seperti pengait 135°, jarak maksimum antar senggang, dan panjang penyaluran tertentu. Hal ini bertujuan untuk menjaga integritas struktur saat terjadi gempa, sehingga kerusakan tidak bersifat mendadak. Prinsip strong column-weak beam diterapkan untuk memastikan bahwa kerusakan terjadi pada balok, bukan kolom. Strategi ini menjamin bahwa bangunan tetap berdiri meski mengalami kerusakan lokal.

Studi yang dilakukan oleh Ardiansyah dan Wijaya (2020) menyimpulkan bahwa penerapan detailing penulangan kolom tahan gempa secara signifikan meningkatkan kapasitas deformasi struktur. Dalam penelitian mereka, perbedaan kapasitas daktilitas antara kolom dengan detailing biasa dan yang mengikuti ketentuan gempa mencapai lebih dari 25%. Penelitian ini menguatkan pentingnya penerapan SNI 1726:2019 secara ketat untuk bangunan yang berada di zona gempa tinggi. Detailing yang tepat tidak hanya meningkatkan kekuatan, tetapi juga waktu

tahan struktur terhadap gaya gempa. Hal ini memberikan peluang bagi penghuni untuk evakuasi lebih aman. Oleh karena itu, penulangan kolom dalam konteks gempa tidak boleh diabaikan.

Masalah yang sering terjadi dalam praktik di lapangan adalah ketidaksesuaian antara desain dan pelaksanaan penulangan. Hal ini dapat disebabkan oleh keterbatasan tenaga kerja, perubahan gambar kerja, atau kurangnya pengawasan teknis. Menurut penelitian oleh Putra dan Firmansyah (2021), sekitar 30% proyek mengalami perubahan konfigurasi penulangan selama konstruksi. Perubahan ini dapat memengaruhi kinerja struktur dan berpotensi menurunkan kekuatan kolom jika tidak disesuaikan kembali dengan analisis struktural. Oleh karena itu, dokumentasi dan revisi teknis sangat penting dilakukan apabila terjadi perubahan di lapangan. Evaluasi desain terhadap hasil pelaksanaan menjadi langkah penting untuk menjamin keselamatan.

Dalam proyek-proyek bangunan gedung seperti Terminal Tipe A, perencanaan kolom menjadi salah satu aspek kritis yang harus diperhatikan sejak awal. Aktivitas operasional yang tinggi serta kebutuhan terhadap ruang yang luas menyebabkan kolom harus dirancang kuat namun tetap ekonomis. Oleh karena itu, evaluasi desain kolom berdasarkan standar terbaru menjadi keharusan. Hal ini juga mencakup pengujian ulang kapasitas berdasarkan perubahan fungsi, penambahan beban, atau perubahan regulasi. Dengan pendekatan tersebut, perencanaan dapat bersifat adaptif. Tujuan akhirnya adalah mewujudkan struktur yang aman dan berfungsi optimal.

Perencanaan tulangan kolom juga mempertimbangkan kemungkinan gangguan dari faktor lingkungan, seperti korosi akibat kelembaban tinggi atau zat agresif dari luar. Perlindungan terhadap tulangan bisa dilakukan dengan memberikan selimut beton sesuai ketentuan. Ketebalan selimut beton bertujuan untuk menjaga tulangan dari paparan langsung yang dapat mempercepat kerusakan. SNI menetapkan ketebalan minimum selimut berdasarkan eksposur lingkungan dan jenis struktur. Jika ketentuan ini tidak dipenuhi, maka umur rencana struktur bisa berkurang drastis. Oleh karena itu, aspek perlindungan terhadap durabilitas sangat penting dalam desain kolom.

Evaluasi terhadap dimensi dan penulangan kolom sangat diperlukan, khususnya untuk bangunan eksisting. Evaluasi ini mencakup pemeriksaan dimensi penampang, konfigurasi tulangan, rasio tulangan, hingga mutu material yang digunakan. Hasil evaluasi dapat menjadi dasar untuk perkuatan atau modifikasi struktur jika ditemukan ketidaksesuaian dengan standar saat ini. Pada proyek Terminal Tipe A Salatiga, kajian ini penting karena bangunan tersebut memiliki fungsi publik yang melibatkan keselamatan banyak orang. Dengan melakukan evaluasi berdasarkan SNI terbaru, diharapkan struktur dapat dipastikan aman. Selain itu, hasil evaluasi juga bisa menjadi referensi perbaikan di masa depan.

2.2.1 Jenis dan Klasifikasi Kolom

Kolom merupakan bagian utama struktur vertikal yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas menuju fondasi. Berdasarkan karakteristik pembebanan dan kondisi geometri, kolom dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai jenis. Penentuan klasifikasi ini penting karena masing-masing jenis memerlukan pendekatan perancangan yang berbeda. Kolom bisa menerima beban aksial murni, atau kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Selain itu, pengaruh lateral seperti gaya gempa juga dapat mengubah perilaku kolom. Oleh karena itu, pemahaman terhadap jenis dan sifat kolom menjadi fondasi penting dalam proses desain struktur.

Klasifikasi lain dilakukan berdasarkan jenis bahan penyusunnya, seperti kolom beton bertulang, kolom baja, atau kolom komposit. Kolom beton bertulang banyak digunakan dalam gedung bertingkat karena memiliki kekuatan tekan tinggi dan ketahanan terhadap korosi. Kolom baja biasanya digunakan pada struktur yang membutuhkan kekuatan besar dengan bobot ringan. Sementara kolom komposit, yang merupakan gabungan antara baja dan beton, memiliki keunggulan dari kedua material tersebut. Pemilihan bahan kolom bergantung pada kebutuhan teknis dan efisiensi biaya konstruksi.

Dalam konteks perencanaan struktur beton bertulang, klasifikasi kolom berdasarkan kelangsingan sangat penting karena berhubungan dengan stabilitas struktur. Kolom pendek cenderung gagal akibat tekan murni, sedangkan kolom langsing rentan terhadap tekuk. Rasio kelangsingan diperoleh dari perbandingan

antara panjang efektif dan radius girasi penampang. Menurut SNI 2847:2019, kolom dengan rasio kelangsingan melebihi batas tertentu harus memperhitungkan efek tambahan akibat tekuk. Hal ini mengharuskan adanya penyesuaian dalam desain penulangan.

Menurut Hibbeler (2016), kolom langsing memiliki kecenderungan untuk mengalami deformasi lateral akibat beban aksial, yang mengakibatkan penurunan kapasitas tekan secara signifikan. Untuk itu, dalam kolom langsing, beban yang dihitung harus dikalikan dengan faktor reduksi tertentu agar struktur tetap aman. Sementara pada kolom pendek, deformasi lateral umumnya diabaikan karena kontribusinya sangat kecil. Oleh karena itu, pengklasifikasian jenis kolom juga menjadi dasar penting dalam pengambilan keputusan struktur secara menyeluruh. Ini sangat relevan pada bangunan dengan fungsi publik seperti terminal.

Dalam desain gempa, kolom termasuk dalam elemen struktur utama yang harus dirancang untuk berperilaku daktil. Kolom yang tidak memenuhi syarat kekuatan dan daktilitas dapat menyebabkan keruntuhan global saat terjadi gempa. Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, kolom pada sistem rangka pemikul momen harus memiliki kekuatan lebih besar dari balok yang terhubung padanya. Hal ini dikenal sebagai prinsip "strong column – weak beam". Pendekatan ini memastikan bahwa kerusakan terjadi pada balok, bukan kolom, untuk menjaga stabilitas vertikal bangunan.

Penelitian oleh Kusuma dan Wibowo (2017) menunjukkan bahwa kolom yang tidak memenuhi proporsi kekuatan minimal dibanding balok cenderung menyebabkan mekanisme keruntuhan mekanis yang tidak terkendali. Studi tersebut menegaskan pentingnya klasifikasi dan pengecekan ulang kekuatan kolom pada bangunan di daerah rawan gempa. Hal ini juga berlaku dalam desain kolom terminal Tipe A, yang menjadi pusat aktivitas dengan potensi beban dinamis tinggi. Evaluasi ulang terhadap kekuatan kolom pada struktur tersebut sangat penting dilakukan. Dengan demikian, klasifikasi jenis kolom menjadi tahap krusial dalam evaluasi desain.

Penelitian oleh Prakoso et al. (2021) menyatakan bahwa kegagalan struktural pada bangunan umum sering disebabkan oleh kesalahan dalam klasifikasi dan perencanaan kolom. Studi tersebut menekankan pentingnya sinkronisasi antara

perhitungan struktur, kondisi lapangan, dan metode konstruksi. Dalam praktiknya, kesalahan klasifikasi sering terjadi karena perubahan desain atau kebutuhan fungsi yang berbeda. Evaluasi terhadap jenis kolom perlu dilakukan sebelum, selama, dan sesudah konstruksi berlangsung. Pendekatan ini menjadi salah satu strategi pengendalian mutu bangunan.

Sebagai penutup, klasifikasi kolom bukan hanya soal pembagian teknis, melainkan menjadi bagian integral dari strategi desain bangunan yang aman dan efisien. Pemahaman menyeluruh terhadap jenis-jenis kolom memudahkan insinyur dalam memilih pendekatan perencanaan dan konstruksi yang tepat. Dalam konteks proyek publik seperti terminal, klasifikasi ini turut menentukan keberhasilan fungsi bangunan secara keseluruhan. Dengan mengklasifikasikan kolom secara tepat, risiko kegagalan dapat diminimalisir dan efisiensi biaya dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, pemahaman dan penerapan klasifikasi kolom wajib menjadi prioritas dalam setiap tahap proyek konstruksi.

1. Keruntuhan Lentur Akibat Kondisi Batas (*Ultimate*)

Keruntuhan lentur dapat terjadi dalam tiga cara yang berbeda :

- a. Keruntuhan Tarik;
- b. Keruntuhan Tekan;
- c. Keruntuhan Balans.



Gambar 2.1 Diagram Regangan Tipe Keruntuhan Penampang

Sumber : SNI 2847:2019 Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

2. Batas Kelangsingan Kolom

Kolom dalam struktur bangunan diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu kolom pendek dan kolom panjang (atau disebut juga kolom langsing).

Pengelompokan ini didasarkan pada rasio kelangsingan kolom, yakni perbandingan antara tinggi kolom dengan dimensi lateralnya. Pada kolom pendek, kegagalan umumnya disebabkan oleh keruntuhan material seperti beton yang hancur atau baja tulangan yang tidak mampu menahan beban. Sebaliknya, kegagalan yang terjadi pada kolom panjang biasanya disebabkan oleh fenomena tekuk, yaitu batang kolom melengkung hingga mengalami patah. Berdasarkan respons deformasi terhadap beban lateral, kolom juga dapat dibedakan menjadi dua tipe: kolom yang bersifat kaku atau tidak mengalami goyangan, dan kolom yang memiliki kemampuan untuk bergoyang. Terkait hal ini, SNI 03-2847-2013 menetapkan kriteria teknis tertentu sebagai batasan pengelompokannya.

- a. Untuk kolom yang dapat bergoyang (Pasal 10.10.1a)

$$\frac{k \cdot L_u}{r} \leq 22$$

$$r = \sqrt{I/A}$$

- b. Untuk Kolom yang tidak dapat bergoyang (Pasal 10.10.1b)

$$\frac{k \cdot L_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

Dimana M_1 / M_2 (kNm) adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda, dengan:

k = faktor panjang efektif kolom

= panjang bersih kolom, m

r = radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom, m

= $0,3 \cdot h$ (jika kolom berbentuk persegi)

= $0,25 \times$ diameter kolom (jika kolom berbentuk bulat)

I dan A = momen inersia dan luas penampang kolom, m⁴ dan m²

Mengacu pada standar perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung menurut SNI 03-1726-2002, kolom didefinisikan sebagai elemen struktural yang bekerja dalam kondisi tekan dan merupakan bagian dari struktur utama suatu bangunan. Fungsi utama kolom adalah untuk menahan serta meneruskan beban vertikal yang diterimanya dari elemen struktur di atasnya.

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$\rho_d = \frac{1,2 \cdot M_d}{1,2 \cdot M_d + 1,6 \cdot M_L}$$

$$E_{ikolom} = \frac{0,7 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \rho_d}$$

$$E_{ibalok} = \frac{0,25 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \rho_d}$$

Faktor ν (derajat hambatan kolom) pada satu ujung kolom menggunakan persamaan berikut :

$$\nu_m = \frac{\nu_A + \nu_B}{2}$$

$$\nu_A = \frac{\sum (E_c \cdot I_b / l_{bA})}{\sum (E_c \cdot I_b / l_{bA}) + \sum (E_c \cdot I_b / l_{bB})}$$

Satu dari dua nilai tersebut A, yang lain disebut B. Faktor panjang efektif k didapat dengan titik perpotongan antara A dan B dengan nomograf tengah adalah k .

2.2.2 Beban-Beban yang Bekerja pada Kolom

Kolom merupakan elemen struktur vertikal yang berperan dalam meneruskan beban dari elemen horizontal seperti pelat dan balok menuju pondasi. Beban yang diterima kolom biasanya bersifat aksial, termasuk beban mati, beban hidup, dan beban lateral. Perhitungan beban ini harus dilakukan secara cermat guna memastikan kestabilan dan kekuatan struktur secara keseluruhan. Kesalahan dalam memperkirakan besar beban dapat menyebabkan kerusakan dini pada sistem struktur. Oleh karena itu, jenis dan besarnya beban harus disesuaikan dengan kondisi nyata di lapangan serta mengacu pada standar teknis yang berlaku. Tekanan aksial yang tinggi tanpa desain yang tepat dapat menyebabkan keruntuhan akibat tekuk atau tekan pada kolom.

Beban mati atau beban permanen mencakup seluruh berat struktur bangunan yang bersifat tetap, seperti komponen pelat lantai, dinding, dan elemen tetap lainnya. Nilainya dihitung berdasarkan berat jenis dan volume dari material yang digunakan. Karena sifatnya konstan, beban mati digunakan sebagai dasar penting dalam kombinasi beban saat desain struktur. SNI 1727:2020 memberikan pedoman

jelas mengenai cara penghitungan beban mati berdasarkan karakteristik bahan bangunan. Akurasi dalam menentukan nilai beban ini sangat penting untuk mencegah kesalahan desain. Jika beban mati tidak dihitung dengan tepat, risiko kegagalan struktural dapat meningkat secara signifikan.

Beban hidup merupakan beban variabel yang berasal dari aktivitas penghuni dan benda bergerak di dalam bangunan. Nilainya dapat berubah tergantung dari fungsi ruang dan jenis penggunaan bangunan. Untuk bangunan seperti terminal penumpang, beban hidup tergolong tinggi akibat padatnya pergerakan orang dan barang. Dalam SNI 1727:2020 telah diatur besaran minimum beban hidup yang harus diperhitungkan berdasarkan jenis dan fungsi bangunan. Nilai ini kemudian dipadukan dalam analisis kombinasi beban maksimum saat perencanaan struktur. Karena sifatnya berubah-ubah, maka faktor keamanan tambahan digunakan untuk mengantisipasi ketidakpastian beban hidup.

Kolom juga mengalami beban lateral seperti gaya angin dan gaya gempa yang bekerja secara horizontal terhadap bangunan. Beban ini dapat menimbulkan momen lentur serta gaya puntir pada kolom. Di wilayah dengan potensi gempa tinggi seperti Indonesia, beban gempa menjadi salah satu faktor utama dalam perencanaan struktur. Berdasarkan SNI 1726:2019, perhitungan gaya gempa harus memperhatikan klasifikasi risiko, jenis tanah, serta respons spektrum daerah tersebut. Kegagalan memperhitungkan beban lateral berpotensi menyebabkan ketidakstabilan total bangunan. Oleh karena itu, penulangan kolom dirancang agar mampu menahan beban aksial bersamaan dengan efek momen akibat beban horizontal.

Beban angin menjadi faktor penting dalam desain struktur tinggi karena mampu memberikan gaya tekan dan tarik secara signifikan. Pengaruh angin tergantung pada lokasi geografis, bentuk bangunan, dan tinggi struktur. SNI 1727:2020 memberikan panduan tentang tekanan angin berdasarkan kecepatan angin rencana dan eksposur permukaan bangunan. Dalam kasus kolom, gaya angin menghasilkan gaya lateral yang menyebabkan momen lentur tambahan. Maka dari itu, analisis struktur harus mempertimbangkan kemungkinan perpindahan lateral dan stabilitas keseluruhan bangunan. Ketepatan dalam mempertimbangkan gaya

angin membantu meminimalkan risiko kegagalan struktural yang disebabkan oleh beban horizontal.

Salah satu pendekatan dalam menentukan kombinasi beban adalah menggunakan metode probabilistik. Metode ini menggabungkan kemungkinan terjadinya berbagai jenis beban dalam satu skenario desain. Dalam SNI 1727:2020, kombinasi beban disusun berdasarkan prinsip keamanan maksimum dengan faktor pengali tertentu. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga struktur tetap aman meskipun menghadapi beban terburuk secara bersamaan. Dalam desain kolom, kombinasi antara beban mati, hidup, angin, dan gempa menjadi dasar utama. Ketepatan dalam memilih kombinasi sangat memengaruhi hasil akhir desain penulangan dan dimensi kolom.

Standar nasional Indonesia (SNI) menyediakan pedoman lengkap untuk peninjauan dan penilaian terhadap seluruh beban yang bekerja pada struktur. SNI 2847:2019 mengatur detail mengenai kekuatan struktur beton, termasuk ketentuan pembebanan pada kolom. Ketentuan tersebut meliputi batas minimum dan maksimum beban serta faktor modifikasi untuk kondisi khusus. Pemahaman terhadap ketentuan ini sangat penting agar desain struktur dapat memenuhi syarat teknis dan keselamatan. Di samping itu, SNI juga menjadi dasar dalam audit teknis saat proyek berlangsung. Kepatuhan terhadap SNI menjamin struktur dirancang dengan praktik terbaik yang telah terbukti efektif.

Dalam analisis pembebanan untuk rancangan gedung bertingkat, perbedaan antara beban statis dan beban dinamis menjadi hal yang sangat penting. Tujuan dari pemisahan ini adalah untuk mempermudah proses klasifikasi pembebanan, terutama dalam kaitannya dengan penyusunan kombinasi beban (load combination) yang akan digunakan pada tahap analisis selanjutnya.

1. Beban Statis

Beban statis merupakan jenis beban yang bekerja secara konstan sepanjang umur bangunan dan terus memengaruhi struktur tanpa mengalami perubahan yang berarti. Secara umum, beban statis dibagi menjadi tiga kategori utama: beban mati, beban hidup, dan beban khusus. Beban khusus sendiri merupakan beban yang timbul akibat penurunan pondasi atau pengaruh perubahan suhu. Beban statis juga diidentifikasi sebagai beban yang muncul secara perlahan dan

memiliki besaran yang cenderung stabil atau tidak berubah secara signifikan (*steady state*). Oleh karena itu, jika suatu beban mengalami perubahan intensitas secara bertahap dengan laju yang cukup lambat sehingga pengaruh waktu tidak terlalu memengaruhinya, maka beban tersebut termasuk dalam kategori beban statis. Akibat dari beban statis ini, struktur akan mengalami deformasi maksimal ketika beban mencapai titik tertingginya.

a. Beban Mati

Beban mati adalah jenis beban permanen yang berasal dari berat elemen-elemen bangunan itu sendiri, baik yang bersifat struktural maupun non-struktural. Komponen seperti pelat lantai, balok, kolom, serta dinding menyumbang terhadap total beban ini. Beban mati bersifat tetap dan tidak mengalami perubahan signifikan sepanjang masa pakai struktur bangunan. Oleh karena itu, perannya sangat vital dalam perancangan karena mempengaruhi ukuran dan kekuatan elemen struktural. SNI 1727:2020 menjelaskan bahwa perhitungan beban mati didasarkan pada berat jenis bahan yang digunakan. Maka dari itu, pemilihan material konstruksi menjadi salah satu faktor kunci dalam menentukan besar kecilnya beban mati pada suatu struktur.

Dalam bangunan bertingkat, beban mati memegang peran signifikan karena menyumbang bagian terbesar dari beban vertikal yang harus ditopang struktur. Seluruh elemen mulai dari dasar hingga atap menyalurkan beban tetap ke sistem pendukungnya. Beban ini sangat berpengaruh terhadap deformasi struktural jangka panjang seperti momen dan lendutan. Tawio dan Budianto (2018) mengemukakan bahwa kesalahan dalam estimasi beban mati dapat mengakibatkan ketidaksesuaian antara rancangan dan pelaksanaan di lapangan. Oleh karena itu, penting bagi para perancang untuk memperhitungkan seluruh elemen tetap secara menyeluruh. Estimasi beban mati biasanya menggunakan data berat satuan bahan dari sumber teknis atau pengujian laboratorium.

Selain berasal dari elemen struktural, beban mati juga mencakup beban yang ditimbulkan oleh komponen non-struktural seperti plafon, penutup

lantai, sistem utilitas, dan pelapis dinding. Meskipun sering kali dianggap kecil, jika dikalkulasi secara keseluruhan, komponen tersebut dapat memberikan beban signifikan terhadap sistem struktur. Setiawan et al. (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa komponen non-struktural bisa menyumbang hingga 25–30% dari total beban mati. Ini menunjukkan pentingnya perencanaan yang matang terhadap unsur-unsur arsitektural selain struktur utama. Oleh karena itu, kerja sama antara arsitek dan insinyur sipil sangat penting untuk memperoleh data pembebanan yang akurat.



Gambar 2.2 Beban Mati Kolom

Sumber: SN 2847:2019 *Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*

Beban mati sangat memengaruhi efisiensi dalam desain struktur, khususnya dalam menentukan ukuran elemen-elemen utama bangunan. Salah satu cara untuk mengurangi beban mati adalah dengan memilih material yang ringan namun tetap memiliki kekuatan struktural memadai, seperti baja profil tipis atau beton ringan. Pengurangan beban mati berdampak langsung pada efisiensi biaya pembangunan serta pemeliharaan jangka panjang. Selain itu, struktur dengan beban mati rendah juga akan memberikan respons dinamis yang lebih baik terhadap beban gempa. Susilo dan Aryanto (2021) menyebutkan bahwa pengurangan beban mati merupakan strategi penting dalam desain bangunan tahan gempa. Oleh karena itu, penguasaan konsep beban mati

sangat penting tidak hanya dalam aspek kekuatan bangunan, tetapi juga dalam konteks keberlanjutan dan keselamatan.

Tabel 2.1 Beban mati desain minimum

Komponen	Beban (kN/m ²)
CEILING	
Acoustical fibroboard	0.05
Gypsum board (per mm thickness)	0.008
Mechanical duct allowance	0.19
Plaster on tile or concrete	0.24
Plaster on wood lath	0.38
Suspended steel channel system	0.10
Suspended metal lath and cement plaster	0.72
Suspended metal lath and gypsum plaster	0.48
Wood furring-suspension system	0.12
COVERINGS, ROOF, AND WALL	
Asbestos-cement shingles	0.18
Asphalt shingles	0.10
Cement tile	0.77
Clay tile (for mortar add 0.48 kN/m ²)	
Hook tile, 51 mm	0.57
Hook tile, 76 mm	0.66
Lodowe	0.48
Roman	0.57
Spanish	0.61
Composition:	
Three-ply ready-roofing	0.05
Four-ply felt and gravel	0.26
Five-ply felt and gravel	0.29
Copper or tin	0.05
Corrugated asbestos-cement roofing	0.18
Deck, metal, 33 gauge	0.12
Deck, metal, 18 gauge	0.14
Decking, 51-mm wood (2x4s or 4s)	0.24
Decking, 76-mm wood (2x6s or 6s)	0.38
Fiberboard, 13 mm	0.04
Gypsum sheathing, 13 mm	0.10
Insulation, roof boards (per mm thickness)	
Cellular glass	0.0013
Fibrous glass	0.0021
Fiberboard	0.0028
Perlite	0.0015
Polystyrene foam	0.0004
Urethane foam with foil	0.0004
Plywood (per mm thickness)	0.006
Rigid insulation, 73 mm	0.04
Skylight, metal frame, 10-mm wire glass	0.28
Slate, 5 mm	0.34
Slate, 6 mm	0.48
Waterproofing membranes:	
Bituminous, gravel-covered	0.28
Bituminous, smooth-surface	0.07
Liquid applied	0.05
Single-ply, sheet	0.03
Wood sheathing (per mm thickness)	
Plywood	0.0057
Oriented strand board	0.0062
Wood shingles	0.14
FLOOR FILL	
Cinder concrete, per mm	0.017
Lightweight concrete, per mm	0.016
Sand, per mm	0.015
Stone concrete, per mm	0.023
FLOORS AND FLOOR FINISHES	
Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar	1.44
Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill	1.53
Ceramic or quarry tile (18 mm) on 13-mm mortar bed	0.77
Ceramic or quarry tile (18 mm) on 25-mm mortar bed	1.10

Komponen	Beban (kN/m ²)			
Concrete fill finish (per mm thickness) 0.023				0.023
Hardwood flooring, 22 mm @ 19				0.19
Limestone or asphalt tile, 6 mm @ 0.05				0.05
Mortar and mortar on stone-concrete fill 1.58				1.58
Slate (per mm thickness) 0.028				0.028
Solid flat tile on 25-mm mortar base 1.10				1.10
Subflooring, 19 mm @ 14				0.14
Terazzo (38 mm) directly on slab @ 81				0.81
Terazzo (25 mm) on stone-concrete fill 1.53				1.53
Terazzo (25 mm), 51-mm stone concrete 1.53				1.53
Wood block (76 mm) on mastic, no fill @ 48				0.48
Wood block (76 mm) on 13-mm mortar base @ 77				0.77
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)				
DOUBLE WOOD FLOOR				
Joist sizes (mm)	305-mm spacing	406-mm spacing	610-mm spacing	
	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	
51 × 152	0.29	0.24	0.24	
51 × 203	0.29	0.29	0.24	
51 × 254	0.34	0.29	0.29	
51 × 305	0.38	0.24	0.29	
FRAME PARTITIONS				
Movable steel partitions				0.19
Wood or steel studs, 13-mm gypsum board each side				0.38
Wood studs, 51 × 102, unplastered				0.19
Wood studs, 51 × 102, plastered one side				0.57
Wood studs, 51 × 102, plastered two sides				0.96
FRAME WALLS				
Exterior stud walls				
51 mm × 102 mm @ 406 mm, 13-mm gypsum, insulated, 10-mm siding				0.93
51 mm × 152 mm @ 406 mm, 13-mm gypsum, insulated, 10-mm siding				0.97
Exterior stud walls with brick veneer				2.30
Windows, glass, frame, and sash				0.38
Clay brick wythes				
102 mm				1.87
203 mm				3.78
305 mm				5.51
406 mm				7.42
Hollow concrete masonry unit wythes				
Wythe thickness (in mm)	102	152	203	254
Density of unit (16.01 kN/m ³) with grout spacing as follows				
No grout	1.05	1.29	1.58	2.07
1.219 mm		1.45	1.92	2.79
1.016 mm		1.58	2.08	3.02
813 mm		1.63	2.15	3.68
610 mm		1.77	2.38	3.45
406 mm		2.07	2.68	4.02
Full grout		2.21	3.45	4.69
Density of unit (10.04 kN/m ³) with grout spacing as follows				
No grout	1.25	1.34	1.72	2.11
1.219 mm		1.58	2.11	2.59
1.016 mm		1.63	2.15	2.88
813 mm		1.72	2.25	3.28
610 mm		1.87	2.44	3.69
406 mm		2.11	2.78	4.17
Full grout		2.83	3.68	4.89
Density of unit (21.21 kN/m ³) with grout spacing as follows				
No grout	1.39	1.68	2.19	3.02
1.219 mm		1.70	2.39	3.45
1.016 mm		1.72	2.54	3.69
813 mm		1.82	2.83	3.83
610 mm		1.96	3.82	4.72
406 mm		2.25	3.18	4.69
Full grout		3.06	4.17	5.27

Sumber : SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain

Tabel 2.2 Densitas minimum untuk beban desain dari material

Material	Densitas (lb/ft ³)	Densitas (kN/m ³)
Aluminum	170	27
Bituminous products		
Asphaltum	81	12.7
Graphite	135	21.2
Paraffin	56	8.8
Petroleum, crude	55	8.6
Petroleum, refined	50	7.8
Petroleum, benzene	48	7.2
Petroleum, gasoline	42	6.6
Pitch	69	10.8
Tar	75	11.8
Brass	528	82.6
Bronze	522	80.7
Cast-stone masonry (cement, stone, sand)	144	22.6
Cement, Portland, loose	90	14.1
Ceramic tile	93	23.6
Charcoal	12	1.9
Cinder fill	57	9.0
Cinders, dry, bulk	40	7.1
Coal		
Anthracite, piled	52	8.2
Bituminous, piled	47	7.4
Lignite, piled	47	7.4
Peat, dry, piled	11	3.6
Concrete, plain		
Cinder	108	17.0
Expanded-slag aggregate	103	15.7
Haydite (burned-clay aggregate)	90	14.1
Slag	135	20.7
Stone (including gravel)	144	22.6
Vermiculite and perlite aggregate, nonload-bearing	20-25	3.0-3.9
Other light aggregate, load-bearing	70-105	11.0-16.5
Concrete, reinforced		
Cinder	111	17.4
Slag	138	21.7
Stone (including gravel)	150	23.6
Copper	555	87.3
Cork, compressed	14	2.2
Earth (not submerged)		
Clay, dry	63	9.9
Clay, damp	110	17.3
Clay and gravel, dry	100	15.7
Silt, moist, loose	78	12.3

Material	Densitas (lb/ft ³)	Densitas (kN/m ³)
Silt, moist, packed	96	15.1
Silt, flowing	108	17.0
Sand and gravel, dry, loose	100	15.7
Sand and gravel, dry, packed	110	17.3
Sand and gravel, wet	120	18.9
Earth (submerged)		
Clay	80	12.6
Soil	70	11.0
River mud	90	14.1
Sand or gravel	60	9.4
Sand or gravel and clay	65	10.2
Glass	160	25.1
Gravel, dry	104	16.3
Gypsum, loose	70	11.0
Gypsum, wallboard	50	7.9
Ice	57	9.0
Iron		
Cast	450	70.7
Wrought	490	75.4
Lead	710	111.5
Lime		
Hydrated, loose	32	5.0
Hydrated, compacted	45	7.1
Masonry, ashlar stone		
Granite	165	25.9
Limestone, crystalline	155	25.9
Limestone, oolitic	135	21.2
Marble	173	27.2
Sandstone	144	22.6
Masonry, brick		
Hard (low absorption)	130	20.4
Medium (medium absorption)	115	18.1
Soft (high absorption)	100	15.7
Masonry, concrete		
Lightweight units	105	16.5
Medium weight units	125	19.6
Normal weight units	135	21.2
Masonry grout	140	22.0
Masonry, rubble stone		
Granite	153	24.0
Limestone, crystalline	147	23.1
Limestone, oolitic	138	21.7
Marble	156	24.5
Sandstone	137	21.5

Material	Densitas (lb/ft ³)	Densitas (kN/m ³)
Mortar, cement or lime	130	20.4
Particleboard	48	7.1
Plywood	36	5.7
Refrap (not submerged)		
Limestone	83	13.0
Sandstone	90	14.1
Sand		
Clean and dry	90	14.1
River, dry	108	16.7
Slag		
Bank	70	11.0
Bank screenings	108	17.0
Machine	96	15.1
Sand	52	8.2
Slate	172	27.0
Steel, cold-drawn	490	77.3
Stone, quarried, piled		
Basalt, granite, gneiss	96	15.1
Limestone, marble, quartz	85	14.0
Sandstone	82	12.9
Shale	93	14.5
Greenstone, hornblende	107	16.8
Terra cotta, architectural		
Voids filled	120	18.9
Voids unfilled	72	11.3
Tin	458	72.1
Water		
Fresh	62	9.7
Sea	64	10.1
Wood, seasoned		
Ash, commercial white	41	6.4
Cypress, southern	34	5.3
Fir, Douglas, coast region	34	5.3
Hem fir	36	4.4
Oak, commercial red and whites	47	7.4
Pine, southern yellow	37	5.8
Redwood	38	4.4
Spruce, red, white, and Soka	30	4.6
Western hemlock	32	5.0
Zinc, rolled sheet	448	70.5

Sumber : SNI 1727:2020 *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah jenis pembebanan yang tidak bersifat tetap karena tergantung pada aktivitas dan keberadaan penghuni maupun benda bergerak di dalam bangunan. Beban ini meliputi manusia, peralatan, furnitur, dan objek lainnya yang dapat berpindah tempat. Nilai beban hidup tidak konstan dan bisa berubah-ubah sesuai waktu dan fungsi ruang. Menurut SNI 1727:2020, beban hidup mencakup semua beban dari penggunaan ruang bangunan, selain dari beban mati, beban angin, dan beban gempa. Karena sifatnya yang fluktuatif, beban ini memerlukan

perhatian khusus dalam proses desain struktur bangunan. Biasanya, beban hidup ditetapkan dalam satuan kN/m^2 dan disesuaikan dengan jenis ruang serta penggunaan bangunan.

Tabel 2.3 Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m^2)	Reduksi beban hidup dizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak dizinkan? (No. Pasal)
Apartemen (lihat rumah tinggal)			
Sistem lantai akses			
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Gudang persenjataan dan ruang latihan			
	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Ruang pertemuan			
Kursi tetap (berkat 0 lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (berkat 0 lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Balkon dan dek			
	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m^2)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Jalur untuk akses pemeliharaan			
	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Koridor			
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain		
Ruang makan dan restoran			
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Hunian (lihat rumah tinggal)			
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-

Hunian atau penggunaan	Merata, L_p psf (kN/m^2)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup bertantai banyak diizinkan? (No. Pasal)
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Hunian satu keluarga saja	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Tangga pembaruan	-	-	-
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)			
Mobil penumpang saja	40 (1.92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-
Helipad (Lihat Pasal 4.11)			
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13.35 kN) atau kurang	40 (1.92)	Tidak (4.11.1)	-
Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3.000 lb (13.35 kN)	50 (2.37)	Tidak (4.11.1)	-
Rumah sakit			
Ruang operasi, laboratorium	60 (2.87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Ruang pasien	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3.83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Hotel (lihat rumah tinggal)			
Perpustakaan			
Ruang baca	50 (2.37)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Ruang penyimpanan	150 (7.18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3.83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Pabrik			
Ringan	125 (6.00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Berat	250 (12.00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Gedung perkantoran			
Ruang anjip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian			
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Kantor	50 (2.40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3.83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Lembaga hukum			
Blok sel	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Koridor	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Tempat rekreasi			
Tempat bowling, biliar, dan penggunaan sejenis	75 (3.59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Ruang dansa dan ballroom	100 (4.79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Gimnasium	100 (4.79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)

Hunian atau penggunaan	Rata-rata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup dizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban bertantai banyak dizinkan? (No. Pasal)
Rumah tinggal			
Hunian satu dan dua keluarga			
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0.48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0.96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1.44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Semua ruang kecuali tangga	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Semua hunian rumah tinggal lainnya			
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Ruang publik	100 (4.79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)
Koridor ruang publik	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Atap			
Atap datar, berbubungan, dan loteng	20 (0.96)	Ya (4.8.2)	Ya (4.8.2)
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang diijazkan	Ya (4.8.3)	Ya (4.8.3)
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4.79)	Ya (4.8.3)	Ya (4.8.3)
Atap vegetatif dan atap tanam			
Atap bukan untuk hunian	20 (0.96)	Ya (4.8.2)	Ya (4.8.2)
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4.79)	Ya (4.8.3)	Ya (4.8.3)
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang diijazkan	Ya (4.8.3)	Ya (4.8.3)
Awning dan kanopi			
Atap konstruksi beton yang didukung oleh struktur rangka kaki ringan	5 (0.24)	Tidak (4.8.2)	Tidak (4.8.2)
Rangka penutupi layar penutup	5 (0.24) berdasarkan tenggat tiruan dan atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	Tidak (4.8.2)
Semua konstruksi lainnya	20 (0.96)	Ya (4.8.2)	Ya (4.8.2)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja			
Tek panel tunggal dari kord bawah rangka betang atap atau suatu tek sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas patnik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bangkai			
Semua komponen struktur atap utama lainnya			
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan			

Hunian atau penggunaan	Merata, L_{pef} (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup bertantai banyak diizinkan? (No. Pasal)
Sekolah	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Ruang kelas	80 (3.83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Koridor di atas lantai pertama	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Koridor lantai pertama			
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses			
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11.97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Tangga dan jalan keluar	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1.92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Gudang diatas langit-langit	20 (0.96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)			
Rongam	125 (5.90)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Berat	250 (11.97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Toko			
Eceran	100 (4.79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Lantai pertama	75 (3.59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Lantai diatasnya	125 (5.90)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)
Grosir, di semua lantai			
Penghalang kendaraan			
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	80 (3.83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4.79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)

Sumber : SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain

Hubungan antara jenis ruang dan beban hidup sangat erat, karena setiap jenis ruang memiliki karakteristik beban yang berbeda. Misalnya, ruang yang digunakan oleh publik cenderung memiliki nilai beban hidup lebih besar dibandingkan ruang pribadi seperti kamar tidur. Oleh karena itu, pemahaman terhadap fungsi ruang sejak tahap awal perencanaannya sangat menentukan akurasi perhitungan beban hidup. Untuk bangunan dengan fungsi ganda, perlu dilakukan pendekatan yang lebih kompleks agar nilai

beban yang dipilih mencerminkan kondisi aktual. Gunawan dan Surahman (2021) mencatat bahwa kesalahan dalam menentukan beban hidup dapat menimbulkan konsekuensi berupa kelebihan atau kekurangan dalam dimensi struktur. Maka dari itu, analisis aktivitas pengguna dan distribusi beban dalam ruang menjadi elemen penting dalam merancang struktur bangunan yang efisien.

e. **Beban Angin**

Beban angin merupakan gaya yang timbul akibat hembusan udara terhadap suatu struktur, baik berupa tekanan positif maupun hisapan. Besarnya beban ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor seperti kecepatan angin, arah datangnya angin, bentuk arsitektur bangunan, serta kontur permukaan tanah di sekitarnya. Beban ini bersifat lateral dan dinamis, yang dapat mengakibatkan gaya geser maupun torsi pada struktur. Berdasarkan SNI 1727:2020, beban angin diklasifikasikan sebagai gaya horizontal yang wajib diperhitungkan dalam proses perencanaan, khususnya pada struktur tinggi, ramping, atau ringan. Beban ini sangat penting untuk diperhitungkan, terutama pada bangunan seperti menara, gedung bertingkat, dan struktur terbuka. Dengan demikian, analisis beban angin menjadi bagian esensial dalam perancangan struktur agar tahan terhadap tekanan atmosfer yang berubah-ubah.

Dalam proses desain struktur, beban angin tidak dihitung secara tunggal melainkan dikombinasikan dengan beban lainnya seperti beban mati, beban hidup, atau beban gempa. Kombinasi ini disusun sesuai dengan ketentuan dalam standar seperti SNI 1726 dan SNI 1727 yang mengatur faktor keamanan dan koefisien reduksi. Tujuannya adalah agar struktur mampu menahan beban dalam berbagai kondisi ekstrem. Khusus untuk bangunan tinggi, ketidakpastian dalam arah dan intensitas angin mengharuskan penerapan pendekatan limit state yang mempertimbangkan variabilitas beban secara realistis.

Memasukkan faktor beban angin ke dalam desain struktur bukan hanya soal menjaga keselamatan, tetapi juga kenyamanan pengguna serta keawetan material bangunan. Jika tidak dirancang dengan baik, beban

angin dapat menimbulkan deformasi yang mengganggu dan mempercepat kelelahan bahan struktur. Maka dari itu, pengetahuan yang mendalam tentang perilaku angin, termasuk variasinya secara waktu dan ruang, sangat penting bagi insinyur struktur. Kemajuan teknologi seperti simulasi numerik dan penggunaan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) kini semakin sering digunakan untuk menganalisis efek angin terhadap bangunan yang memiliki geometri kompleks.

1) Tekanan Tiap

- a) Nilai tekanan angin minimum yang harus digunakan adalah sebesar 25 kg/m^2 .
- b) Untuk wilayah laut maupun daerah pesisir hingga radius 5 kilometer dari garis pantai, tekanan angin minimum yang harus diperhitungkan adalah sebesar 40 kg/m^2 .
- c) Pada struktur seperti cerobong asap, besarnya tekanan angin dalam satuan kg/m^2 dihitung menggunakan rumus $(42,5 + 0,6 \times h)$, dengan h merupakan tinggi total cerobong dalam meter yang diukur dari permukaan tanah di sekitarnya.
- d) Jika sebuah bangunan dapat dipastikan mendapatkan perlindungan efektif dari arah angin tertentu karena keberadaan gedung-gedung lain, maka nilai tekanan angin dari arah tersebut dapat dikalikan dengan koefisien pengurang sebesar 0,5.

2) Koefisien Angin

a) Gedung Tertutup

Untuk bidang-bidang luar, koefisien angin (+ berarti tekanan dan - berarti isapan) adalah sebagai berikut :

- Dinding vertikal
- Atap segitiga dengan sudut kemiringan α
- Atap Lengkung dengan sudut pangkal β

b) Gedung terbuka sebelah

Untuk permukaan luar bangunan, koefisien angin yang digunakan tetap mengacu pada tekanan angin dari luar. Sementara itu, secara bersamaan, bagian dalam bangunan diasumsikan mengalami

tekanan positif dengan koefisien $+0,6$ jika bukaan berada pada sisi yang menghadap arah datangnya angin. Sebaliknya, apabila bukaan terletak di sisi yang membelakangi arah angin, maka diasumsikan terdapat tekanan negatif dengan koefisien angin sebesar $-0,3$.

c) Atap tanpa dinding

Dalam merancang atap pelana konvensional yang tidak memiliki dinding, perhitungan beban angin dari suatu arah tertentu harus mempertimbangkan kondisi terburuk dari dua kemungkinan yang ada. Nilai koefisien angin untuk masing-masing bidang atap digunakan sesuai dengan ketentuan perhitungan yang paling kritis terhadap stabilitas struktur.

Untuk atap-atap miring seperti atap tanpa dinding, untuk bidang atas berlaku koefisien angin $(-)$ atau $(+)$ bergantung pada arah angin).

d) Dinding yang berdiri bebas

Pada dinding-dinding yang berdiri sendiri tanpa penahan tambahan, nilai koefisien angin ditetapkan sebesar $+0,9$ untuk sisi yang menghadap langsung arah datangnya angin (windward side), dan sebesar $-0,4$ untuk sisi yang membelakangi arah angin (leeward side). Jika dijumlahkan, total pengaruh tekanan angin pada kedua sisi tersebut adalah $1,3$.

e) Cerobong dengan penampang lingkaran

Pada cerobong yang memiliki bentuk penampang melingkar, nilai koefisien angin yang digunakan untuk menghitung kombinasi antara tekanan positif dan negatif adalah sebesar $0,7$. Nilai koefisien ini diterapkan terhadap bidang cerobong yang diproyeksikan secara vertikal sejajar dengan sumbu cerobong tersebut.

f) Struktur rangka (*Lattice Structures*)

Koefisien angin pada struktur rangka diterapkan terhadap bidang-bidang yang terbentuk oleh elemen batang rangka. Bidang ini

diperoleh dari hasil proyeksi batang-batang struktur tersebut ke bidang yang sejajar dengan sumbu masing-masing batang.

g) Gedung dan Bangunan Lain

Untuk bangunan atau gedung yang memiliki bentuk penampang berbeda dari yang dijelaskan dalam ketentuan pasal ini, nilai koefisien anginnya dapat diambil dari nilai yang berlaku untuk bentuk penampang yang memiliki kemiripan. Namun, apabila tersedia hasil pengujian melalui terowongan angin, maka koefisien angin sebaiknya ditetapkan berdasarkan hasil percobaan tersebut.

2. Beban Dinamis

Gaya dinamis adalah jenis pembebanan yang berubah-ubah dalam hal besaran maupun arah seiring waktu. Sumbernya bisa berasal dari kejadian alam seperti gempa bumi, angin kuat, atau dari aktivitas buatan seperti lalu lintas kendaraan atau mesin bergetar. Selain berdampak pada kekuatan struktur, beban dinamis juga bisa menimbulkan gangguan kenyamanan bagi pengguna bangunan. Misalnya, gedung tinggi atau jembatan yang terkena getaran bisa menyebabkan rasa tidak nyaman, meskipun struktur tersebut tidak mengalami kerusakan. Aturan seperti dalam SNI 1726:2019 telah memuat standar minimum ketahanan struktur terhadap guncangan seismik. Bangunan publik seperti rumah sakit dan perkantoran harus memperhatikan kenyamanan penghuni dari segi getaran. Beban dinamis memiliki peran signifikan dalam menentukan performa jangka panjang suatu struktur. Tidak hanya bangunan biasa, tetapi juga jembatan dan bendungan harus diuji terhadap gaya dinamis ekstrem. Seiring berkembangnya metode perancangan, pendekatan probabilistik mulai digunakan untuk memprediksi respons struktur yang lebih realistis.

a. Beban Gempa

Dalam bidang rekayasa struktur, beban gempa dikategorikan sebagai beban horizontal karena bekerja menyamping terhadap sistem bangunan. Gaya ini dapat menimbulkan deformasi dan tegangan pada elemen-elemen vertikal seperti kolom dan shear wall. Jika tidak dianalisis dan didesain dengan tepat, beban gempa dapat menyebabkan kerusakan serius bahkan

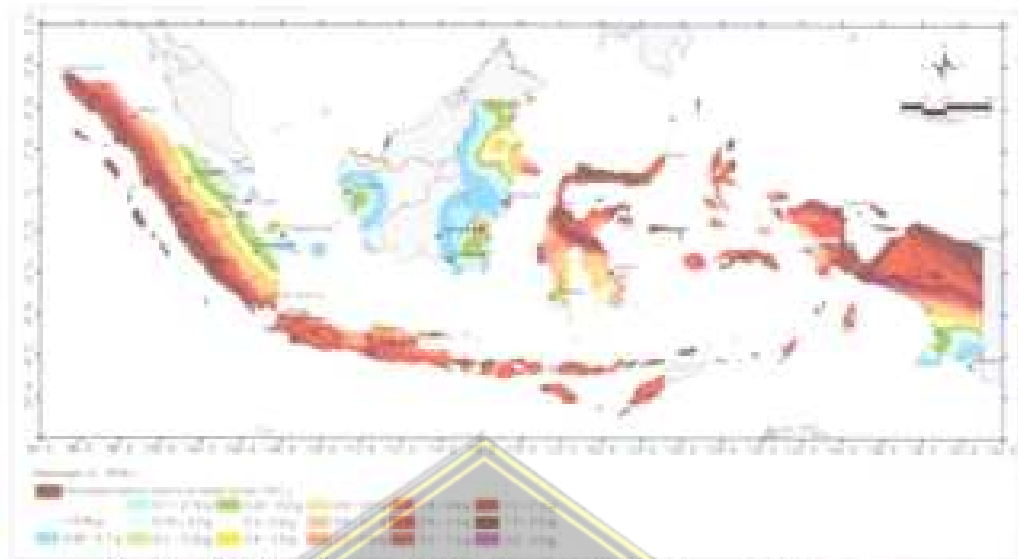
kegagalan struktur secara menyeluruh. Berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726:2019, penentuan beban gempa di Indonesia harus mempertimbangkan zona seismik dan jenis tanah. Hal ini sangat penting karena Indonesia berada di kawasan yang aktif secara tektonik. Dengan demikian, penerapan prinsip-prinsip desain tahan gempa merupakan kewajiban dalam perencanaan struktur bangunan.

Dampak beban gempa tidak hanya terbatas pada aspek teknis, tetapi juga mencakup aspek ekonomi serta keselamatan penghuni bangunan. Kerusakan akibat gempa dapat menimbulkan kerugian materi dan korban jiwa, terutama di daerah dengan kepadatan tinggi. Oleh sebab itu, penting untuk melakukan penilaian ulang dan penguatan pada bangunan eksisting yang tidak memenuhi kriteria tahan gempa. Zhang et al. (2020) menyatakan bahwa penguatan struktur dapat dilakukan dengan penambahan sistem bracing, diasing geser tambahan, atau peredam energi. Dengan metode tersebut, bangunan yang sudah lama tetap dapat disesuaikan agar memenuhi standar seismik terkini. Ini menunjukkan bahwa perencanaan terhadap beban gempa harus selalu menjadi prioritas dalam perancangan bangunan.

Seiring berkembangnya teknologi, pemodelan struktur terhadap beban gempa menjadi semakin canggih dan presisi. Simulasi berbasis komputer memungkinkan perancang struktur untuk memprediksi perilaku bangunan terhadap skenario gempa yang bervariasi. Selain itu, data historis gempa memberikan input penting dalam menyusun model perhitungan yang realistis. Konsep desain berbasis performa (performance-based seismic design) kini menjadi pendekatan utama dalam perancangan struktur tahan gempa. Oleh karena itu, strategi perencanaan terhadap beban gempa saat ini menjadi lebih responsif dan akurat terhadap potensi risiko gempa di suatu wilayah.

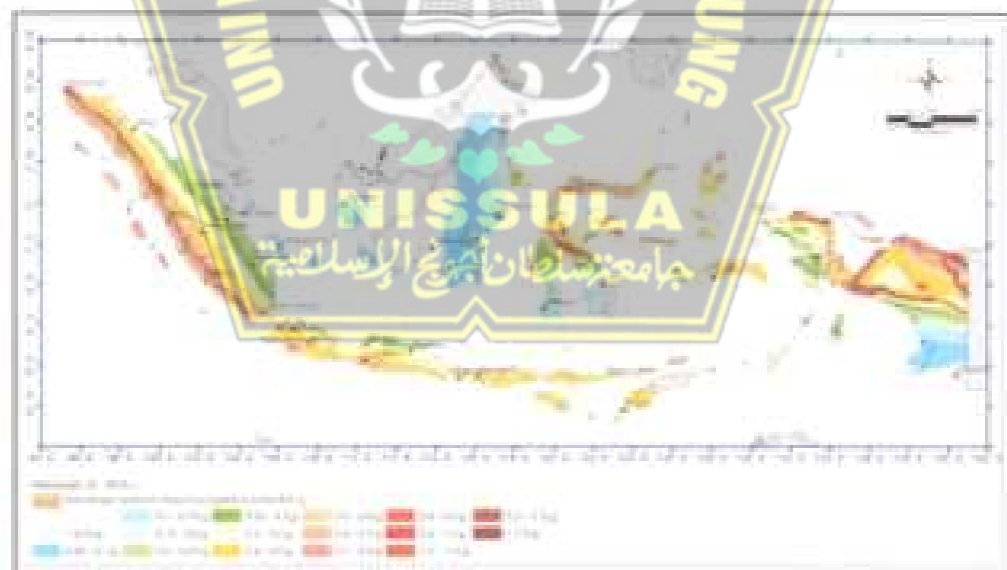
1) Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Besarnya beban gempa yang akan diterima oleh suatu struktur sangat dipengaruhi oleh letak geografis bangunan tersebut. Hal ini dapat dilihat pada ilustrasi Peta Zona Gempa yang disajikan berikut.



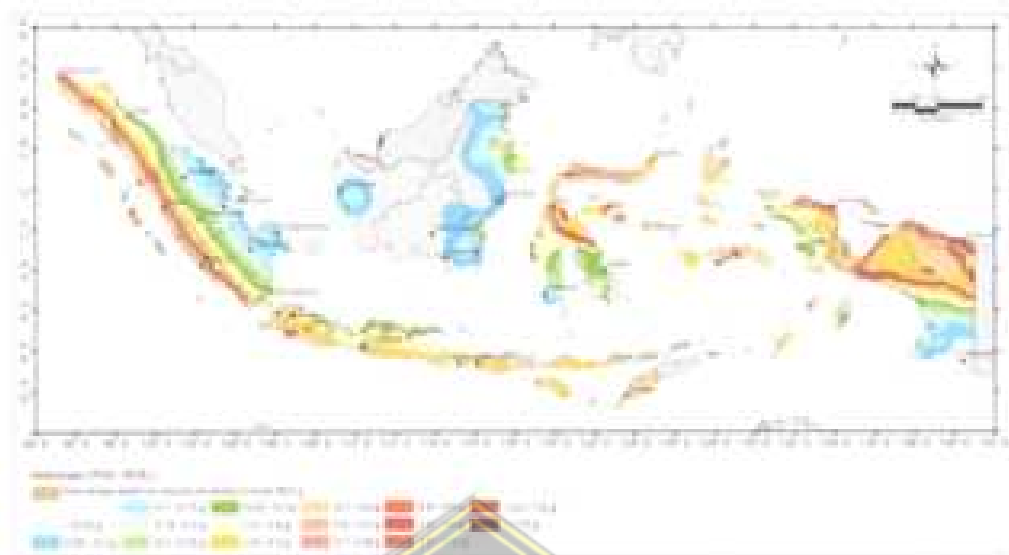
Gambar 2.3 Peta Parameter Gerak Tanah S_I , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-detik (Redaman Kritis 5 %)

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019)



Gambar 2.4 Parameter Gerak Tanah S_I , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2- detik (Redaman Kritis 5 %)

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019)



Gambar 2.5 PGA. Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-Rata Geometrik (MCEG) Wilayah Indonesia

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019)

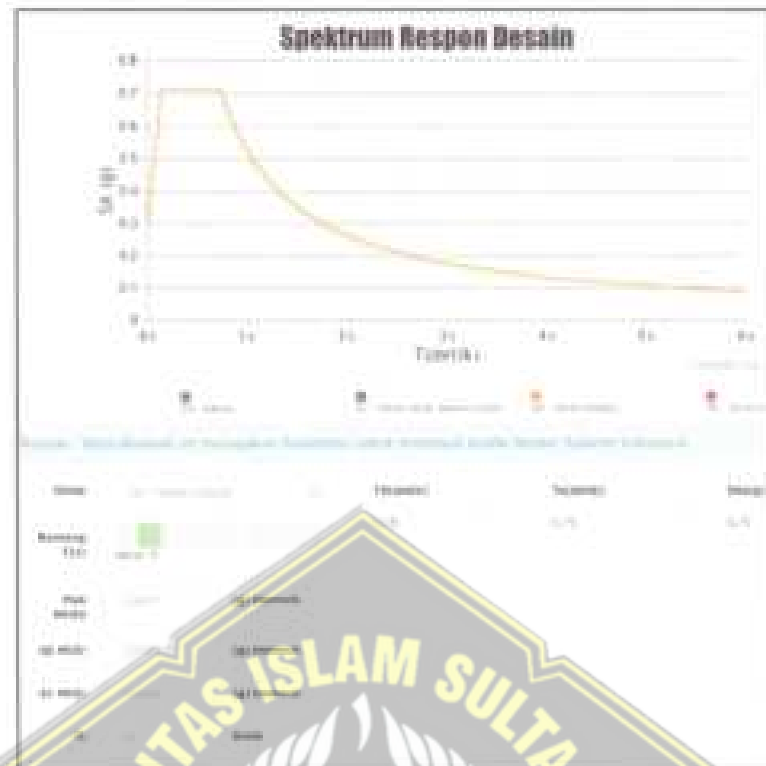
Nilai faktor respons gempa (R) dapat diperoleh melalui Diagram Spektrum Gempa Rencana, yang disesuaikan dengan zona seismik dan karakteristik jenis tanah di lokasi tersebut, berdasarkan periode getas alami fundamental struktur.



Gambar 2.6 Spektrum Respons

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019)

Besarnya faktor respons gempa di Kota Salatiga didapat dari diagram spektrum respons gempa diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7 Grafik Spektrum Respons Gempa Semarang

Sumber : <https://id.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

Gaya geser dasar nominal (V) harus dialokasikan ke seluruh ketinggian bangunan sebagai beban gempa statik ekuivalen yang bekerja pada pusat massa tiap lantai. Besarnya gaya statik ekuivalen F_i pada lantai ke- i dihitung berdasarkan parameter tertentu, di mana W_i merupakan berat total lantai ke- i (termasuk beban hidup yang telah disesuaikan atau direduksi), h_i adalah tinggi lantai ke- i dari titik tumpuan lateral struktur, dan n adalah jumlah total lantai dalam bangunan tersebut.

2) Faktor Keutamaan Gedung

Faktor keutamaan merupakan suatu koefisien yang digunakan untuk memperpanjang periode ulang terjadinya kerusakan pada struktur bangunan yang dianggap memiliki tingkat kepentingan lebih tinggi, terutama karena nilai investasi yang besar pada bangunan tersebut. Dengan menerapkan faktor ini, risiko kerusakan akibat gempa pada struktur dapat dikurangi dalam jangka waktu yang lebih lama. Nilai

faktor ketutamaan seperti II, II2 dan I ditentukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

No	Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
1.	Bangunan gedung maupun non-gedung yang dikategorikan memiliki tingkat risiko rendah terhadap keselamatan jiwa manusia apabila terjadi kegagalan struktur, mencakup namun tidak terbatas pada jenis-jenis berikut: ✓ Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan ✓ Fasilitas sementara ✓ Gudang penyimpanan ✓ Rumah raga dan struktur kecil lainnya	I
2.	Seluruh bangunan dan struktur lainnya, kecuali yang diklasifikasikan dalam kategori I, II, dan IV, termasuk namun tidak terbatas pada jenis-jenis berikut: ✓ Perumahan ✓ Rumah toko dan rumah kantor ✓ Pasar ✓ Gedung perkantoran ✓ Gedung apartemen / rumah susun ✓ Pusat perbelanjaan / mall ✓ Bangunan industri ✓ Fasilitas manufaktur ✓ Pabrik	II
3.	Bangunan gedung maupun non-gedung yang menimbulkan potensi bahaya tinggi terhadap keselamatan jiwa manusia apabila mengalami keruntuhan, mencakup namun tidak terbatas pada jenis-jenis berikut: ✓ Bioskop ✓ Gedung pertemuan ✓ Stadion ✓ Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat ✓ Fasilitas penitipan anak ✓ Penjara ✓ Bangunan untuk orang jompo Struktur bangunan, baik berupa gedung maupun non-gedung, yang tidak termasuk dalam klasifikasi kategori risiko IV, namun memiliki potensi menyebabkan kerugian	III

No	Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
	ekonomi besar dan/atau mengganggu aktivitas masyarakat secara luas jika terjadi kerusakan, termasuk namun tidak terbatas pada: ✓ Pusat pembangkit listrik biasa ✓ Fasilitas penanganan air ✓ Fasilitas penanganan limbah ✓ Pusat telekomunikasi Bangunan gedung dan non-gedung yang tidak diklasifikasikan dalam kelompok risiko IV, mencakup namun tidak terbatas pada fasilitas industri, unit pemrosesan, tempat penyimpanan, pengelolaan, pemanfaatan, maupun pembuangan bahan bakar, senyawa kimia berbahaya, limbah beracun, atau zat yang memiliki potensi ledakan, apabila mengandung unsur toksik atau mudah meledak dalam jumlah yang melampaui batas yang ditetapkan oleh otoritas terkait, dan berpotensi menimbulkan dampak besar bagi keselamatan publik jika terjadi insiden kebocoran.	
4.	Bangunan gedung maupun non-gedung yang ditetapkan sebagai fasilitas vital, mencakup namun tidak terbatas pada jenis-jenis berikut: ✓ Struktur bangunan ikonik atau bernilai sejarah yang memiliki makna penting secara budaya atau simbolis. ✓ Sarana prasarana pendidikan seperti sekolah, perguruan tinggi, dan institusi pelatihan lainnya. ✓ Institusi layanan kesehatan seperti rumah sakit dan klinik yang dilengkapi dengan ruang bedah serta instalasi gawat darurat. ✓ Bangunan dan infrastruktur untuk layanan darurat seperti markas pemadam kebakaran, pos ambulans, kantor kepolisian, dan penyimpanan kendaraan tanggap darurat. ✓ Lokasi perlindungan yang dirancang untuk memberikan keamanan saat terjadi bencana seperti gempa atau badai, serta tempat pengungsian lainnya dalam keadaan krisis. ✓ Infrastruktur pendukung dalam situasi darurat yang mencakup pusat koordinasi,	IV

No	Jenis Pemenuhan	Kategori Risiko
	sarana komunikasi, dan lokasi operasional tanggap darurat lainnya. ✓ Instalasi pembangkit tenaga dan layanan publik penting yang harus tetap beroperasi selama kondisi darurat berlangsung. ✓ Komponen bangunan tambahan, misalnya menara sinyal, tangki bahan bakar, menara pendingin, gardu distribusi listrik, serta sistem penampungan air dan peralatan pendukung lainnya yang menyediakan sumber daya penting untuk keperluan pemertaman kebakaran, dan harus tetap operasional saat kondisi darurat terjadi. Fasilitas gedung maupun non-gedung yang berperan penting dalam menunjang serta memastikan kelangsungan operasional struktur lain yang termasuk dalam klasifikasi risiko tingkat IV.	

Sumber : SNI-1726-2019 Perencanaan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung

Tabel 2.5 Faktor Keutamaan untuk Berbagai Gedung dan Bangunan

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan
	Gempa, I_e
Iatan II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019)

3) Pembatasan Waktu Getar

Agar struktur bangunan tidak dirancang terlalu lentur, maka nilai periode getar fundamental struktur harus dibatasi. Batasan tersebut telah ditetapkan dalam SNI 03-1726-2019 dengan ketentuan sebagai berikut:

$$T < \xi n$$

dimana :

T = waktu getar struktur fundamental

n = jumlah tingkat gedung

ξ = koefisien pembatas

4) Jenis Tanah

Dampak gempa rencana pada permukaan tanah harus diperoleh melalui analisis propagasi gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar menuju permukaan tanah, dengan menggunakan data percepatan puncak getra sebagai input pada batuan dasar. Gelombang gempa akan merambat dari batuan dasar yang berada jauh di bawah permukaan, dan selama perambatannya menuju tanah permukaan, gelombang tersebut akan mengalami amplifikasi yang besarnya tergantung pada karakteristik lapisan tanah di atas batuan dasar tersebut. Untuk mendefinisikan batuan dasar, digunakan tiga kriteria utama sebagai acuan.

- Standard penetrasi test (N)
- Keccepatan rambat gelombang geser ($\bar{V}_s$)
- Kekuatan geser-tanah (S_u)

Klasifikasi jenis tanah dibagi menjadi tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak berdasarkan pemenuhan kriteria tertentu yang berlaku untuk lapisan tanah hingga kedalaman 30 meter dari permukaan, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	N atau N_{60}	$\bar{S}_u$ (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

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{eq}$	$\bar{s}_v$ (kPa)
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 tiralir $s_u < 25$ kPa			
SF merujuk pada jenis tanah tertentu yang memerlukan penyelidikan geoteknik secara mendalam serta analisis respons seismik yang disesuaikan dengan kondisi spesifik lokasi.	Setiap jenis profil tanah yang memiliki satu atau lebih ciri berikut: • Memiliki kerentanan tinggi terhadap kerusakan atau kegagalan struktural saat terjadi gempa bumi, seperti tanah yang mudah mengalami likuifaksi, lempung dengan sensitivitas tinggi, atau lapisan tanah yang persementasi secara lemah. • 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 $s_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019)

2.2.3 Kombinasi Pembebanan

Secara umum, diperoleh berbagai kombinasi pembebanan, dan dari kombinasi tersebut akan dipilih yang paling kritis untuk digunakan dalam menentukan kekuatan yang dibutuhkan. Di bawah ini disajikan kombinasi pembebanan untuk kekuatan rencana.

1. $U = 1,4D$

2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L$
4. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L$
5. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L$
6. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L$
7. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L$
8. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L$
9. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L$
10. $U = (1,2 + 0,2S_{os})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L$
11. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
12. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
13. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
14. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
15. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
16. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
17. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
18. $U = (0,9 - 0,2S_{os})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$

2.3 Dimensi dan Penulangan Kolom

2.3.1 Parameter yang Mempengaruhi Dimensi Kolom

Ukuran kolom dalam suatu struktur bangunan ditentukan oleh sejumlah faktor penting seperti beban aksial, ketinggian bangunan, jarak antar kolom, konfigurasi tulangan, serta rasio kelangsingannya. Menurut Alim dan Ujiyanto (2023), luas penampang kolom dan jumlah tulangan baja sangat memengaruhi kekuatan tekan kolom. Mereka menyatakan bahwa peningkatan luas tulangan mampu meningkatkan kapasitas tekan kolom hingga mencapai 38.181,91 kN.

Penelitian oleh Walujodjati dan Auliani (2021) dalam Jurnal Konstruksi membahas dampak ukuran dimensi column capital pada sistem pelat tanpa balok terhadap kegagalan geser pons. Mereka menemukan bahwa penggunaan column capital dengan sudut tertentu mampu menurunkan tegangan geser dan mencegah kegagalan struktur di area sambungan. Sementara itu, Rivaldi (2023) dalam Jurnal Vokasi Teknik Sipil menyoroti bahwa variasi ukuran kolom pada gedung bertingkat

berpengaruh terhadap kekuatan seismik bangunan, di mana kolom dengan dimensi yang bervariasi menghasilkan nilai perpindahan yang lebih kecil serta gaya aksial yang lebih tinggi.

Dalam studi terbaru oleh Walujodjati et al. (2024), ditemukan bahwa peningkatan ukuran kolom dari 300x300 mm² menjadi 450x450 mm² berpengaruh besar terhadap kekakuan struktur, mengurangi simpangan maksimum hingga 69% pada sumbu-x dan 71% pada sumbu-y. Temuan dari berbagai penelitian tersebut menegaskan bahwa faktor-faktor seperti beban, tinggi struktur, jarak antar kolom, bentuk penulangan, dan rasio kelangsingan berperan penting dalam menentukan ukuran kolom serta kinerja struktur secara keseluruhan.

Prinsip SCWB (*Strong Column-Weak Beam*) merupakan konsep desain struktur tahan gempa yang mengutamakan kolom lebih kuat dibandingkan balok. Tujuannya adalah memastikan bahwa jika terjadi kerusakan akibat gempa, elemen yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah balok, bukan kolom. Dengan demikian, keruntuhan total bangunan dapat dicegah. Perhitungan SCWB dilakukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

1. Rasio Kuat Kolom dan Balok:

$$\frac{\sum M_c}{\sum M_b} \geq 1.2$$

M_c = Momen lentur nominal pada kolom (di kaki kolom).

M_b = Momen lentur nominal pada balok (di ujung balok yang bertemu kolom).

Faktor 1.2 adalah faktor keamanan yang ditentukan oleh peraturan (misalnya SNI 2847:2019).

2. Langkah Perhitungan:

- a. Hitung momen nominal pada setiap balok yang bertemu pada simpul (node) kolom.
- b. Hitung momen nominal pada setiap kolom pada simpul tersebut.
- c. Pastikan rasio momen kolom terhadap momen balok ≥ 1.2 .

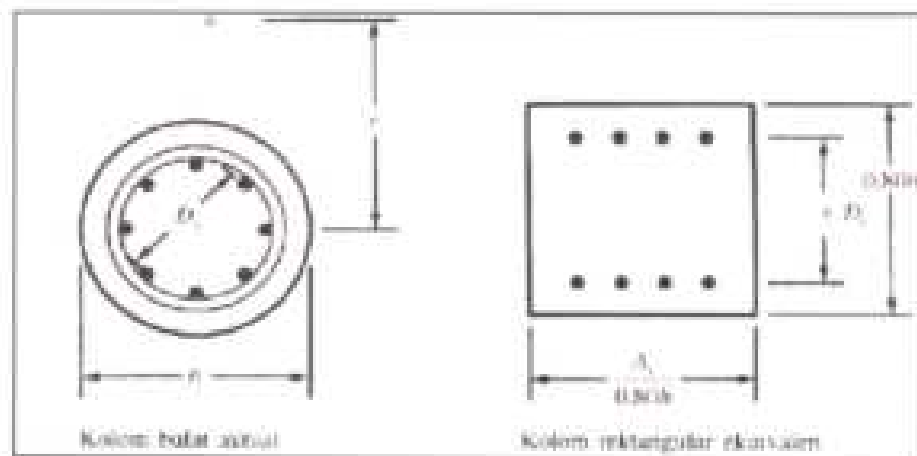
2.3.2 Prinsip Dasar Desain Tulangan Longitudinal dan Transversal menurut SNI 2847:2019

SNI 2847:2019 menetapkan pedoman utama dalam perencanaan tulangan longitudinal dan transversal pada elemen struktur beton bertulang, dengan tujuan menjamin kekuatan, kestabilan, dan kemampuan daktil dari struktur. Tulangan longitudinal berfungsi untuk menahan tegangan tarik maupun tekan akibat beban lentur, sedangkan tulangan transversal berperan dalam mengatasi gaya geser dan memberikan pengekanan lateral pada tulangan utama.

Berdasarkan Pasal 18.6.3.1 dari SNI 2847:2019, setiap balok diwajibkan memiliki paling sedikit dua batang tulangan menerus di bagian atas dan bawah penampang, dengan batasan rasio tulangan maksimal 0,025 agar tidak terjadi konsentrasi tulangan yang berlebihan dan agar tegangan dapat terdistribusi secara merata. Sementara itu, Pasal 18.6.3.3 memperbolehkan penggunaan sambungan lewatan pada tulangan longitudinal asalkan dilengkapi dengan sengkang pengekan sepanjang panjang sambungan tersebut, dengan jarak tidak melebihi nilai terkecil dari $d/4$ atau 100 mm. Ketentuan ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas dan kekuatan sambungan.

Penelitian oleh Prasetya dan rekan-rekannya (2024) menunjukkan bahwa penerapan standar terbaru SNI 2847:2019 mampu meningkatkan kapasitas lentur balok sebesar 12,5% dibandingkan standar sebelumnya (SNI 2847:2002), serta menambah ketahanan geser beton sebesar sekitar 2%. Fakta ini menunjukkan bahwa revisi regulasi tersebut mampu memberikan peningkatan dalam hal efisiensi dan keselamatan dalam perencanaan struktur beton bertulang. Oleh karena itu, penguasaan dan penerapan ketentuan desain tulangan longitudinal dan transversal berdasarkan SNI 2847:2019 menjadi aspek penting bagi para insinyur dalam menjamin kinerja struktur yang optimal.

Kolom merupakan elemen struktur tekan yang berperan penting sebagai komponen utama dalam bangunan, yang berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal. Umumnya, elemen ini tidak dirancang untuk menahan gaya lentur secara langsung.



Gambar 2.8 Jenis Kolom Beton Bertulang

Sumber : SNI 2847:2019 Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung

Kolom beton bertulang secara garis besar dibagi dalam tiga kategori, yaitu :

1. Blok tekan pendek
2. Kolom pendek
3. Kolom panjang atau ramping

Mengacu pada peraturan mengenai perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, nilai kuat tekan yang direncanakan pada elemen struktur tekan tidak diperbolehkan melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan. Ketentuan ini berlaku untuk elemen struktur non-prategang yang menggunakan tulangan spiral, maupun untuk komponen struktur tekan tipe komposit.

$$\phi P_n / \max = 0,85 \phi [0,85 \times f_c (A_g - A_s) + f_y \times A_s]$$

Bagi elemen struktur tekan tanpa prategang yang menggunakan sistem tulangan pengikat sebagai penguatan,

$$\phi P_n / \max = 0,80 \phi [0,85 \times f_c (A_g - A_s) + f_y \times A_s]$$

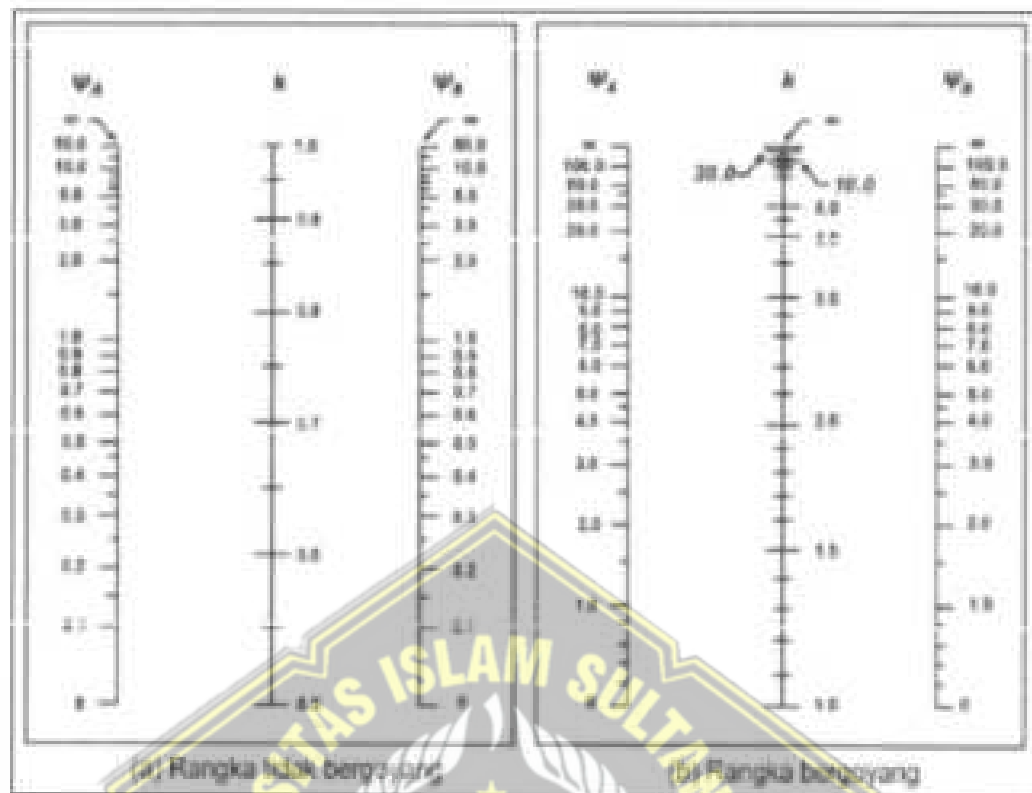
Kolom yang tergolong panjang atau ramping menjadi salah satu elemen struktural yang memerlukan perhatian khusus. Perhitungan kekuatannya mengacu pada teori peningkatan momen. Nilai momen diperoleh dari hasil analisis pada sistem rangka konvensional, kemudian dikalikan dengan faktor pembesaran momen yang merepresentasikan beban kritis akibat tekuk pada kolom. Dalam merancang kolom beton bertulang dengan panjang signifikan, terdapat beberapa parameter penting yang memengaruhi performa strukturnya.

1. Panjang bebas (L_u) suatu elemen struktur tekan didefinisikan sebagai jarak bersih antara dua pelat lantai, balok, atau komponen struktur lainnya yang mampu memberikan pengekangan lateral pada arah analisis. Jika pada elemen tersebut terdapat bagian yang melebar seperti kepala kolom atau pembesaran balok, maka pengukuran panjang bebas dilakukan dari sisi terbawah dari bagian melebar tersebut dalam bidang yang relevan.
2. Panjang efektif (L_e) merujuk pada jarak antara dua titik di mana momen lentur pada kolom bernilai nol. Untuk menghitung nilai panjang efektif ini, dapat diterapkan metode berbasis kurva alinyemen. Dalam proses tersebut, nilai faktor Ψ perlu dihitung pada masing-masing ujung kolom guna menghasilkan estimasi yang presisi dari hasil analisis struktur.



Gambar 2.9 Panjang Efektif Kolom Tumpuan Jepit dan Sendi

Sumber : Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya, SNI 2847:2019



Gambar 2.10 Faktor Panjang Efektif, k
 Sumber : *Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*,
 SNI 2847-2019

Dalam membahas elemen kolom, penting untuk membedakan antara sistem struktur portal yang tidak mengalami perpindahan lateral (tidak bergoyang) dan portal yang memungkinkan perpindahan lateral (bergoyang). Sebuah struktur dapat dikategorikan sebagai portal bergoyang apabila nilai dari indeks stabilitasnya memenuhi kriteria (Q) $> 0,05$.

$$Q = (\sum Pu \times \Delta o) / (Vu \times Lc)$$

Dimana :

Pu = Beban vertikal

Vu = Gaya geser lantai total pada tingkat pada tingkat yang ditinjau

Δo = Simpangan relatif antar tingkat order pertama

Lc = Panjang efektif elemen kolom yang tertekan

Beberapa parameter yang dipakai untuk menentukan faktor pembesaran momen, yang selanjutnya akan dikalikan dengan momen pada kolom, antara lain:

1. Modulus elastisitas ditentukan dari rumus berikut :

$$E_c = W_c 1,50,043 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Untuk w_c antara 1500 dan 2500 kg/m³ atau $4700 \sqrt{f'_c}$ untuk beban normal.

2. Momen inersia dengan I_g = momen inersia penampang bruto terhadap sumbu pusat dengan mengabaikan penulangan :

Tabel 2.7 Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis elastis pada level beban terfaktor

Bagian dan kondisi		Momen inersia	Luas penampang
Kolom		$0,70 I_g$	$1,0 A_g$
Dinding	Tidak retak	$0,70 I_g$	
	Retak	$0,35 I_g$	
Balok		$0,35 I_g$	
Pelat dalar dan slab datar		$0,25 I_g$	

Sumber: Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNl 2847:2019

Dalam struktur portal yang memungkinkan perpindahan lateral (bergoyang), pada setiap kombinasi beban perlu dianalisis beban mana yang menimbulkan perpindahan lateral yang signifikan, dan mana yang tidak. Momen ujung yang berkontribusi terhadap terjadinya goyangan dikenal dengan istilah $M1s$ dan $M2s$, dan keduanya wajib diperbesar karena adanya pengaruh efek sekunder P-Δ. Sementara itu, momen ujung lainnya yang tidak menghasilkan goyangan berarti disebut $M1ns$ dan $M2ns$, yang nilainya diperoleh melalui analisis orde pertama dan tidak memerlukan pembesaran. Besarnya momen yang mengalami pembesaran dinyatakan sebagai $\delta s M_s$.

Dalam lantai tersebut, dicari dengan rumus :

$$P_c = \pi E I / (K h)^2$$

Sehingga momen desain yang digunakan harus dihitung dengan rumus :

$$M1 = M1ns + \delta s M1s$$

$$M2 = M2ns + \delta s M2s$$

Pada kolom langsing yang menerima beban aksial besar, titik momen maksimum kadang muncul di bagian ujung. Namun, dalam beberapa kondisi, nilai momen terbesar justru terjadi pada titik tertentu di antara kedua ujung kolom dan

dapat melebihi momen ujung lebih dari 5%. Untuk kondisi ini, momen rencana dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$M_c = \delta n s (M_{2ns} + \delta s M_{2s})$$

Dalam perancangan struktur kolom, pendekatan yang umum digunakan dan dianggap lebih praktis adalah melalui pembuatan diagram interaksi. Diagram ini berfungsi untuk menunjukkan hubungan antara kapasitas beban aksial maksimum dan momen lentur maksimum pada penampang kolom, dengan mempertimbangkan berbagai tingkat eksentrisitas—mulai dari eksentrisitas nol hingga sangat besar. Metode ini sangat membantu dalam proses desain karena memungkinkan insinyur untuk memvisualisasikan batas kekuatan kolom terhadap kombinasi beban dan momen.

1. Kondisi Seimbang

Kondisi seimbang terjadi pada penampang kolom, ketika beban P_b bekerja pada penampang, yang akan menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton, dan pada saat bersamaan tulangan baja mengalami luluh, atau regangannya mencapai $\epsilon_y = f_y / E_s$.

2. Kondisi Keruntuhan Tekan

Jika penampang kolom menerima beban tekan eksentris dengan nilai eksentrisitas yang cukup besar, maka akan terjadi kegagalan tarik. Kolom akan runtuh karena tulangan baja mengalami luluh dan beton hancur ketika regangan pada tulangan baja melebihi $\epsilon_y (= f_y / E_s)$. Pada kondisi ini, kapasitas tekan nominal penampang, P_n , akan lebih kecil dibandingkan P_b , sedangkan nilai eksentrisitas, $e = M_n / P_n$, menjadi lebih besar daripada eksentrisitas pada kondisi seimbang, e_b . Sebagai prediksi awal untuk menentukan apakah kolom akan mengalami keruntuhan tarik atau tekan, apabila $e > d$, maka dapat diasumsikan bahwa kegagalan yang terjadi adalah keruntuhan tarik.

3. Kondisi Keruntuhan Tarik

Apabila gaya tekan nominal (P_n) melebihi gaya tekan pada keadaan seimbang (P_b), atau jika nilai eksentrisitas ($e = M_n / P_n$) berada di bawah eksentrisitas seimbang (e_b), maka penampang kolom cenderung mengalami kegagalan akibat tekan. Dalam situasi ini, regangan maksimum pada beton akan mencapai nilai 0,003, sementara regangan pada tulangan baja masih belum mencapai

batas luluhnya (e_y). Sebagian besar penampang kolom akan bekerja dalam kondisi tekan. Posisi sumbu netral pun akan bergeser mendekati lokasi tulangan tarik, sehingga memperbesar area beton yang menerima gaya tekan. Akibatnya, jarak antara sumbu netral dan serat tekan beton menjadi lebih panjang dibandingkan dengan kondisi seimbang, yang berarti nilai c lebih besar dari c_b .

4. Lentur Dua Arah

Ketika gaya tekan nominal P_n bekerja sejajar dengan sumbu y namun memiliki eksentrisitas e_y , maka gaya tersebut akan menghasilkan momen lentur terhadap sumbu x sebesar $M_{nx} = P_n \times e_y$. Sebaliknya, apabila gaya P_n bekerja pada sumbu x dan memiliki eksentrisitas e_x , maka akan terbentuk momen terhadap sumbu y , yaitu $M_{ny} = P_n \times e_x$. Hubungan ini mencerminkan prinsip dasar bahwa gaya eksentris menghasilkan momen terhadap sumbu yang tegak lurus terhadap arah eksentrisitasnya.



Gambar 2.11 (a) Lentur Satu Arah Terhadap Sumbu x ; (b) Lentur Satu Arah Terhadap Sumbu y ; (c) Lentur Dua Arah

Sumber: Setiawan, 2016

Untuk kolom persegi yang mengalami lentur dua arah (*biaxial bending*), terdapat dikatakan galami lentur antara P_n , $M_{nx} = P_n e_y$ dan $M_{ny} = P_n e_x$. Kolom pada kondisi ini dikatakan mengalami lentur beberapa metode pendekatan yang dapat digunakan. Pada laporan ini digunakan metode *Resiprokal Bresler*. Menurut metode ini, kapasitas beban dari kolom yang mengalami lentur dua arah dapat ditentukan dengan menggunakan

$$1/P_n = 1/P_{nx} + 1/P_{ny} + 1/P_0$$

Dengan:

P_n , merujuk pada gaya tekan nominal maksimum yang dapat ditahan oleh kolom ketika terjadi lentur dalam dua arah secara bersamaan.

P_{nx} , adalah besar gaya tekan nominal yang bekerja pada kolom dengan eksentrisitas hanya terhadap sumbu y , sedangkan eksentrisitas terhadap sumbu z dianggap nol.

P_{ny} , merupakan nilai gaya tekan nominal yang bekerja dengan eksentrisitas terhadap sumbu z saja, dengan e_y diabaikan atau sama dengan nol.

P_0 , adalah gaya tekan aksial murni yang bekerja tepat di pusat penampang kolom, yaitu ketika tidak terdapat eksentrisitas terhadap sumbu z maupun y .

Persamaan ini berlaku apabila nilai P_n sama dengan atau lebih besar daripada $0,10 P_0$. Persamaan ini tidak berlaku apabila beban aksial yang bekerja adalah berupa beban aksial tarik. Penulangan dalam kolom juga merupakan salah satu faktor yang ikut membantu komponen beban dalam mendukung beban yang diterima.

1. Tulangan Utama Kolom

Tulangan utama (*longitudinal reinforcing*) merupakan tulangan yang ikut mendukung beban akibat lentur (*bending*). Pada setiap penampang dari suatu komponen struktur luas, tulangan utama tidak boleh kurang dari :

$$A_s \min = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} b d < A_s \min = 4A_b d$$

dimana:

A_s = luas tulangan utama

f_c' = tegangan nominal dari beton

f_y = tegangan leleh dari baja

b = lebar penampang

d = tinggi efektif penampang

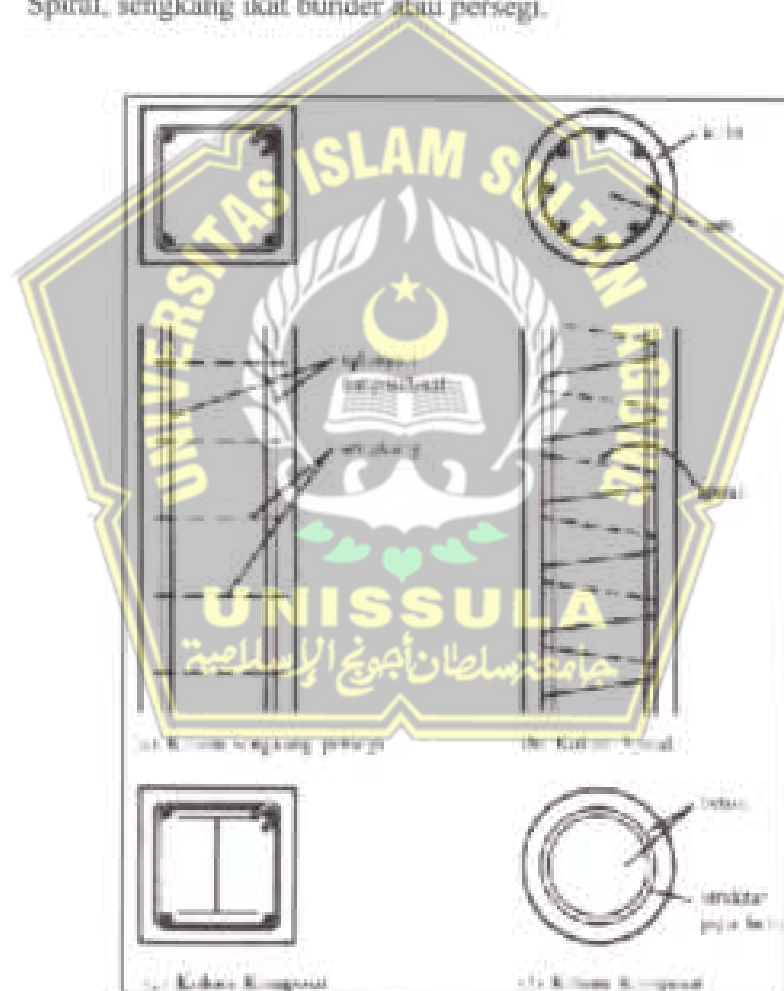
Luas tulangan utama pada elemen struktur tekan non-komposit harus memenuhi ketentuan minimal 0,01 dan maksimal 0,08 dari luas bruto penampang A_g . Jumlah batang tulangan utama pada elemen tekan yang

menggunakan sengkang pengikat berbentuk segiempat maupun lingkaran tidak boleh kurang dari empat batang.

2. Tulangan Geser Kolom

Tulangan geser (shear reinforcement) adalah tulangan yang berfungsi membantu menahan beban akibat gaya geser :

- a. Sengkang yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial elemen struktur.
- b. Jaringan kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap aksial komponen struktur.
- c. Spiral, sengkang ikat bundar atau persegi.



Gambar 2.12 Jenis Sengkang Pengikat

Sumber : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847:2019

Berdasarkan Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Keterangan :

V_c = Gaya geser nominal yang disumbangkan oleh (N)

V_s = Gaya geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)

V_u = Gaya geser ultimate yang terjadi (N)

$V_n = V_u/\phi$, dimana $\phi = 0,75$

a. Kuat geser satu arah (SNI 2834:2019)

Pada penampang dimana $V_u > \phi V_c$, tulangan transversal harus dipasang dan memenuhi Pers. (Pasal 22.5.10.1).

$$V_s \geq V_u/\phi - V_c$$

Untuk komponen satu arah dengan tulangan transversal, V_s dihitung sesuai (Pasal 22.5.10.5)

b. Kuat geser dua arah (SNI 2834:2019)

Untuk komponen dua arah nonprategang, V_c dihitung sesuai 22.6.5.2.

Untuk komponen dua arah prategang, V_c dihitung sesuai a) atau b).

1) Pasal 22.6.5.2

Tabel 2.8 Perhitungan V_c untuk geser dua arah

Nilai terkecil dari a), b), dan c):	$0,33\lambda\sqrt{f'_c}$	a)
	$0,17\left(1 + \frac{2}{\mu}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	b)
	$0,16\lambda\left(2 + \frac{p}{h}\frac{f'_c}{f_y}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	c)

Catatan: p adalah rasio perbandingan sisi panjang dan sisi pendek kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi dan μ diberikan pada 22.6.5.3.

Sumber : Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Pengelasan, SNI 2847:2019

2) Pasal 22.6.5.5.

Jika 22.6.5.4 dipenuhi untuk komponen prategang dua arah sesuai 22.6.5.4, V_c diambil nilai terkecil dari poin (a) dan (b):

$$V_c = 0,29\lambda\sqrt{f_c'} + 0,3f_{pc} + V_p/bod$$

$$V_c = 0,083 (1,5 + a_s d/b_n) \lambda \sqrt{f_c'} + 0,3f_{pc} + V_p/b_n d$$

3) Gaya geser maksimum pada elemen dua arah yang dilengkapi tulangan geser tidak boleh melebihi nilai V_c yang dihitung pada penampang kritis sesuai dengan batasan pada tabel berikut.

Tabel 2.9 Nilai V_c maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser

Jenis tulangan geser	Nilai v_u maksimum penampang kritis pada Pasal 22.6.4.1	Nilai v_u maksimum penampang kritis pada Pasal 22.6.4.2	
Senggang	$0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	a) $0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	a)
Tulangan stud geser berkepala	$0,23\lambda\sqrt{f_c'}$	b) $0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	b)

Sumber: Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelatan, SNI 2847:2019

Pada elemen dua arah yang menggunakan tulangan geser, perhitungan tinggi efektif harus dilakukan sedemikian sehingga nilai v_u pada penampang kritis tidak melampaui batas yang tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 2.10 Nilai P_u maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser

Jenis tulangan geser	Nilai v_u maksimum penampang kritis pada 22.6.4.1	
Senggang	$0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	a)
Tulangan stud geser berkepala	$0,23\lambda\sqrt{f_c'}$	b)

Sumber: Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelatan, SNI 2847:2019

Dimana :

V_n = Kuat geser nominal (N)

ϕ = Faktor reduksi

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b = Lebar penampang kolom (mm)

d = Tinggi efektif penampang kolom (mm)

N_u = Gaya aksial yang terjadi (N)

A_g = Luas penampang kolom (mm²)

Jika :

$(V_n - V_c) < V_s$, Maka penampang cukup

$(V_n - V_c) \geq V_s$, Maka penampang harus digeser harus diperbesar

$V_u < \phi V_c$, Maka tidak perlu tulangan geser

$V_u \geq \phi V_c$, Maka perlu tulangan geser

Apabila tidak diperlukan tulangan geser khusus, maka digunakan tulangan geser minimum (A_v) per meter. Luas minimum tulangan geser pada elemen struktur non-prategang dihitung menggunakan rumus berikut:

$$A_{vmin} = \frac{75 \sqrt{f'_c} b s}{1200} \leq A_v = \frac{1}{3} \frac{b s}{f_y}$$

Dengan demikian diambil A_v terbesar, jarak sengkang dibatasi sebesar $s/2$.

Tabel 2.11 Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser

V_k	Spasi Maksimum s, mm		
		Kolom Nonprategang	Kolom Prategang
$\leq 0,33 \sqrt{f'_c} b w d$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
		$d/4$	$3h/8$

f_y	Spasi Maksimum s , mm	
	Kolom Nonprategang	Kolom Prategang
	Terkecil dari:	
$> 0,33\sqrt{f'_{chwd}}$	300	

Sumber: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847:2019*

Persyaratan Penulangan Kolom:

1. Penulangan Longitudinal:
 - a. Minimum 1% dan maksimum 6% dari luas penampang kolom.
 - b. Diameter batang tulangan minimum: D10 (10 mm).
 - c. Jumlah tulangan minimal 4 batang untuk kolom persegi dan 6 batang untuk kolom lingkaran.
2. Penulangan Senggang (Spiral dan Senggang Tertunggal):
 - a. Senggang harus dirancang untuk menahan gaya geser dan memastikan daktilitas.
 - b. Diameter minimum senggang: D10 (10 mm) untuk diameter tulangan longitudinal ≤ 32 mm.
 - c. Jarak maksimum senggang pada daerah sendi plastis:

$$s \leq 1/4 \times \text{diameter kolom atau } 100 \text{ mm (yang lebih kecil)}$$
 - d. Di luar daerah sendi plastis:

$$s \leq d/2 \text{ atau } 150 \text{ mm (yang lebih kecil)}$$
 - e. Senggang dan crosstie harus ditempatkan di sepanjang seluruh panjang kolom.
3. Crosstie (Pengikat Senggang):
 - a. Harus digunakan jika jarak tulangan longitudinal lebih dari 150 mm.
 - b. Setiap tulangan longitudinal harus terikat dengan crosstie atau senggang.
 - c. Diameter minimum crosstie sama dengan diameter senggang.
 - d. Pengait harus memiliki panjang penyaluran (hook) minimal 135° dengan panjang penyaluran $6d$.
4. Detailing untuk Daerah Sendi Plastis:
 - a. Panjang daerah sendi plastis pada kolom adalah $1/6$ tinggi bersih kolom atau tidak kurang dari 450 mm.

- b. Di dalam daerah ini, jarak sengkang lebih rapat dan tulangan harus terikat kuat untuk menghindari kegagalan geser.

2.3.3 Persyaratan Kolom SNI 2847:2019

Syarat penulangan kolom menurut SNI 2847:2019 meliputi:

1. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam satu lapis adalah db, tetapi tidak kurang dari 25 mm;
2. Batasan dimensi kolom, yaitu bentang dimensi kolom tidak boleh kurang dari 300 mm;
3. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

Menurut pasal 18.3.2 SNI 2847:2019, kekuatan lentur pada kolom dirancang untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya pelelehan pada kolom yang merupakan bagian dari sistem pemahan beban gempa. Apabila kekuatan kolom tidak melebihi kekuatan balok yang terhubung pada joint, maka potensi terjadinya deformasi inelastik akan meningkat. Dalam kondisi terburuk pada kolom yang lemah, pelelehan lentur dapat muncul pada kedua ujung kolom di lantai tertentu, sehingga membentuk mekanisme kegagalan kolom yang berisiko menyebabkan runtuhnya bangunan.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$\sum M_{nc}$ merupakan total kapasitas lentur nominal dari kolom-kolom yang terhubung pada joint, yang dinilai pada muka-muka joint. Perhitungan kekuatan lentur kolom harus mempertimbangkan gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya lateral yang dianalisis, sehingga menghasilkan nilai lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ adalah total kapasitas lentur nominal balok-balok yang bergabung pada joint, yang juga dievaluasi pada muka joint. Pada balok-T, ketika pelat mengalami tarik akibat momen di dekat joint, tulangan pelat dalam lebar efektif sesuai ketentuan pasal 6.3.2 SNI 2847:2019 harus dianggap memberikan kontribusi terhadap M_{nh} , asalkan tulangan tersebut memiliki panjang penyaluran yang memadai pada penampang kritisnya.

1. Tulangan longitudinal

Ketentuan mengenai luas minimum tulangan longitudinal bertujuan untuk mengendalikan deformasi dalam jangka panjang serta memastikan bahwa kapasitas momen leleh lebih besar daripada momen saat retak pertama terjadi. Di sisi lain, batas maksimum luas tulangan longitudinal ditentukan dengan memperhatikan kepadatan batang tulangan dalam penampang, kemampuan elemen lantai untuk menyalurkan beban ke kolom terutama pada struktur bertingkat rendah serta risiko bertambahnya tegangan geser secara signifikan.

2. Tulangan transversal

Topik ini mengulas mengenai peran pengekan beton serta pemberian penahan lateral terhadap tulangan longitudinal. Dalam hal ini, ditentukan panjang minimum penempatan tulangan transversal yang rapat di bagian ujung kolom, yaitu area yang biasanya mengalami pelelehan akibat lentur.

Ketentuan mengenai tulangan transversal sebagaimana tercantum dalam Pasal 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 SNI 2847:2019 menyatakan bahwa pemasangan tulangan ini harus dilakukan sepanjang jarak l_o dari masing-masing muka sambungan (joint). Selain itu, pemasangan juga perlu dilakukan pada kedua sisi penampang kolom yang berisiko mengalami leleh lentur karena adanya perpindahan lateral yang melebihi kondisi elastis. Nilai panjang l_o ditentukan dengan mengambil nilai terbesar dari tiga syarat sebagaimana disebutkan dalam butir a) hingga e).

- Jarak vertikal kolom yang diukur dari permukaan sambungan atau dari bagian penampang yang kemungkinannya besar mengalami leleh akibat lentur.
- Nilai sepertiga dari tinggi bersih elemen kolom yang dihitung dari permukaan lantai ke lantai berikutnya.
- Ukuran panjang tetap sebesar 450 milimeter.

Tulangan transversal wajib dirancang mengikuti syarat-syarat teknis yang tercantum dalam poin a) hingga f) berikut ini :

- Tulangan transversal dapat menggunakan spiral tunggal, spiral yang saling tumpang tindih, atau sengkang pengekan berbentuk lingkaran maupun persegi, baik dengan ikatan silang maupun tanpa ikatan silang.

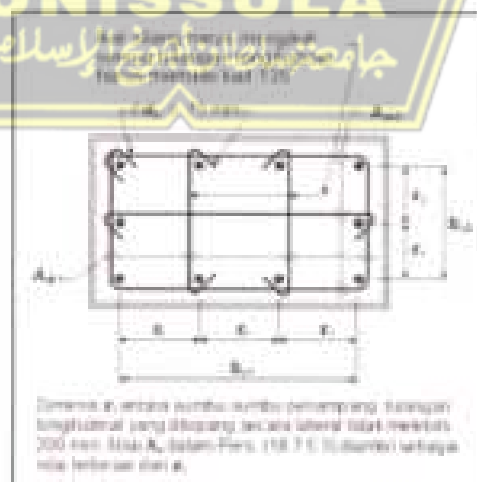
- b. Ujung tekukan pada sengkang persegi serta ikatan silang wajib mengait pada batang tulangan longitudinal yang terletak paling luar.
- c. Penggunaan ikatan silang diperbolehkan jika diameter batangnya sama atau lebih kecil dari sengkang utama, sesuai dengan batasan yang tercantum dalam pasal 25.7.2.2 SNI 2847:2019. Ujung ikatan silang harus ditempatkan berselang-seling di sepanjang batang longitudinal dan mengelilingi seluruh perimeter penampang.
- d. Dalam hal pemakaian sengkang persegi atau ikatan silang, maka keduanya wajib berperan sebagai penyangga lateral untuk tulangan longitudinal, sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam rumus 25.7.2.2 dan 25.7.2.3 SNI 2847:2019.
- e. Penempatan tulangan harus diatur sehingga jarak antar batang longitudinal pada perimeter penampang kolom yang disangga lateral oleh kaki sengkang atau sudut ikat silang (dalam arah horizontal) tidak melebihi 350 milimeter.
- f. Jika $P_u > 0,3A_g f_c'$ atau apabila $f_c' > 70$ MPa pada kolom yang menggunakan sengkang pengekang, maka setiap batang tunggal atau bundel tulangan longitudinal di sepanjang inti kolom wajib mendapatkan penopang lateral dari sudut sengkang pengekang atau kait gempa. Selain itu, jarak h_x tidak boleh melebihi 200 mm. Nilai P_u yang dimaksud adalah gaya tekan maksimum yang sesuai dengan kombinasi beban terfaktor, termasuk pengaruh gempa (E3).

Persyaratan tulangan transversal kolom berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5, disebutkan:

1. Luas penampang longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak lebih dari $0,06 A_g$.
2. Tulangan harus dipasang sepanjang panjang l_o dari tiap muka joint serta pada kedua sisi setiap penampang. Nilai l_o tidak boleh lebih kecil dari nilai terbesar di antara ketentuan berikut:
 - a. Tinggi komponen struktur pada muka joint.
 - b. Seperenam bentang bersih komponen struktur.
 - c. 450 mm.

- [illegible]

Sumber: Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847:2019



Sumber : *Pengajaran Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Pekerjaan*,
SNI 28-47:2019

4. Spasi tulangan transversal sepanjang panjang, l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a. $\frac{1}{4}$ dimensi komponen struktur minimum
 - b. 6 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil
 - c. S_o seperti didefinisikan oleh Persamaan berikut:

$$S_o = 100 + (350 - l_o/3)$$

$$\text{Nilai } 100 \leq S_o \leq 150 \text{ mm}$$

5. Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 2.25 :

Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengekanan k_n dihitung berdasarkan Persamaan dibawah ini:

$$k_f = (f'_c/175) + 0,6 \geq 1,0$$

$$k_n = nI/(nI-2)$$

dimana nI adalah jumlah batang atau bundle tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekanan atau kait seismik.

Tabel 2.12 Tulangan Transversal untuk Kolom-Kolom SRPMK

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku
Ash / sbc untuk Sengkang pengekanan persegi	$P_u \leq 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b) $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} (a)$ $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} (b)$
	$P_u > 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c) $0,2 k_f k_n \frac{P_u}{F_{yt} A_{ch}} (c)$
ps untuk spiral atau sengkang pengekanan lingkaran	$P_u \leq 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e) $0,03 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{ps}} (d)$ $0,03 \frac{f'_c}{f_{ps}} (e)$
	$P_u > 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e) dan (f) $0,03 k_f k_n \frac{P_u}{F_{ps} A_{ch}} (f)$

Sumber: Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847:2019

6. Di luar panjang l_o yang disebutkan pada poin (1), harus dipasang tulangan

spiral atau sengkang dengan jarak antar pusat (s) yang tidak boleh melebihi nilai terkecil antara enam kali diameter tulangan longitudinal kolom terkecil atau 150 mm.

7. Apabila tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekan yang tercantum pada poin (1) dan (5) melebihi 100 mm, maka perlu disediakan tulangan transversal tambahan. Selimut beton pada tulangan transversal tambahan tersebut tidak boleh lebih dari 300 mm.

Persyaratan tulangan transversal kolom berdasarkan SRPMK adalah:

1. Gaya geser rencana, V_e , harus ditentukan berdasarkan evaluasi gaya maksimum pada muka pertemuan (joint) di setiap ujung elemen struktur. Gaya pada joint tersebut dihitung menggunakan momen maksimum, M_{pr} , dari elemen terkait dengan mempertimbangkan rentang beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada elemen tersebut. Nilai gaya geser rencana V_e tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor yang diperoleh melalui analisis struktur.
2. Tulangan transversal sepanjang panjang l_o , harus direncanakan untuk memikul geser dengan menganggap $V_e = 0$, bila:
 - a. Gaya geser akibat gempa mewakili 50% kuat geser maksimum.
 - b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u tidak melampaui $(A_g \times f'_c)/20$

2.4 Optimasi dalam Teknik Sipil

2.4.1 Efisiensi dan Efektivitas

Efisiensi mengujuk pada kemampuan suatu sistem dalam menggunakan sumber daya yang tersedia secara maksimal guna memperoleh hasil yang diharapkan dengan biaya atau usaha seminimal mungkin. Dalam proyek konstruksi, efisiensi mengukur seberapa optimal penggunaan tenaga kerja, bahan, dan waktu untuk menghasilkan output tertentu tanpa pemborosan. Hal ini mencakup proses kerja yang hemat dan terhindar dari pengulangan tidak perlu. Sementara itu, efektivitas menggambarkan seberapa baik suatu kegiatan atau organisasi mencapai tujuannya, terlepas dari efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Dalam evaluasi program, efektivitas sering kali menjadi fokus utama karena berkaitan langsung

dengan kebermanfaatan suatu tindakan. Oleh sebab itu, efektivitas menjadi penentu utama dalam mengukur hasil kerja organisasi atau proyek.

Efisiensi dan efektivitas merupakan dua konsep yang saling berkaitan namun tidak selalu berjalan seiring. Suatu pekerjaan bisa dilakukan secara efisien, namun tidak efektif bila tidak menghasilkan hasil yang diinginkan. Sebaliknya, kegiatan yang efektif belum tentu efisien jika sumber daya yang digunakan berlebihan. Sebagai contoh, proyek konstruksi bisa selesai tepat waktu dan hemat biaya, tetapi tidak memenuhi spesifikasi teknis, sehingga tidak efektif. Menurut Hasibuan (2017), diperlukan keseimbangan antara efisiensi dan efektivitas agar kinerja suatu organisasi benar-benar optimal. Dalam pelaksanaan proyek, kombinasi keduanya menjadi dasar penilaian menyeluruh terhadap keberhasilan suatu kegiatan. Oleh karenanya, pengelolaan efisiensi dan efektivitas harus dijalankan secara bersamaan untuk mencapai hasil maksimal.

Evaluasi terhadap efisiensi dan efektivitas harus menjadi bagian dari sistem pengawasan yang komprehensif. Pendekatan ini membantu memastikan bahwa proyek tidak hanya selesai dengan baik, tetapi juga memberi dampak positif secara nyata. Dengan begitu, proyek yang dilaksanakan akan tepat sasaran serta berdampak jangka panjang bagi masyarakat.

2.4.2 Konsep Biaya dalam Perencanaan Struktur

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perkiraan perhitungan mengenai total biaya yang dibutuhkan untuk material, upah tenaga kerja, peralatan, biaya tak terduga, serta keuntungan yang berkaitan dengan pelaksanaan suatu proyek. Dalam pelaksanaan proyek, diperlukan perhitungan harga satuan setiap pekerjaan agar dapat diketahui estimasi total biaya yang akan dikeluarkan.

RAB adalah perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu kegiatan atau proyek, yang didasarkan pada gambar kerja, bestek, harga material, upah tenaga kerja, serta jenis pekerjaan yang akan dilakukan. Tingkatan RAB pada proyek teknik sipil atau konstruksi dapat dibagi menjadi tujuh tahap, yaitu:

1. *Preliminary estimate* adalah perhitungan awal yang bersifat kasar untuk memperkirakan biaya proyek secara umum, sering disebut juga estimasi pendahuluan.

2. *Appraisal estimate*, atau disebut juga estimasi kelayakan (*feasibility estimate*), digunakan untuk membandingkan beberapa alternatif estimasi dari suatu rencana atau skema.
3. *Proposal estimate* merupakan perkiraan biaya dari rancangan yang telah dipilih, umumnya disusun berdasarkan studi awal dan spesifikasi desain yang menjadi acuan dalam menyusun estimasi anggaran pada tahap perencanaan desain.
4. *Approved estimate* adalah hasil modifikasi dari *proposal estimate* yang kemudian digunakan sebagai dasar pengendalian biaya proyek untuk memenuhi kebutuhan pemilik atau pengguna jasa.
5. *Pre-tender estimate* merupakan penyempurnaan dari *approved estimate*, disusun berdasarkan rancangan definitif dan informasi detail pada dokumen tender atau RKS, yang berfungsi sebagai acuan dalam evaluasi penawaran lelang.
6. *Post-contract estimate* adalah pengembangan lebih lanjut yang menggambarkan rincian biaya setelah kontrak disahkan, mencakup *bill of quantities* dan berbagai pengeluaran tambahan.
7. *Achieved cost* adalah total biaya pelaksanaan proyek yang dicatat setelah proyek selesai, yang nantinya dapat dijadikan referensi untuk proyek-proyek berikutnya.

Dalam proses penyusunan biaya proyek konstruksi, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menetapkan terlebih dahulu tujuan dari penyusunan anggaran tersebut. Tujuan ini akan menentukan metode perhitungan yang digunakan serta jenis keluaran atau hasil yang diharapkan dari perencanaan anggaran tersebut. Selain itu, faktor waktu juga memegang peranan penting karena akan mempengaruhi pendekatan dalam menyusun anggaran biaya. Secara umum, anggaran biaya proyek dibedakan menjadi dua jenis utama, masing-masing disusun berdasarkan keperluan dan tahapan perencanaan yang sedang dijalankan.

1. Anggaran biaya perkiraan (*Cost Estimate*)
2. Anggaran biaya pasti atau definitif

Untuk menyusun RAB diperlukan lima komponen utama, yaitu:

1. Bstek atau spesifikasi teknis;

2. Gambar bestek;
3. Daftar harga material dan upah tenaga kerja;
4. Daftar analisis perhitungan;
5. Daftar volume setiap jenis pekerjaan.

Kelima komponen tersebut saling berkaitan dan saling melengkapi dalam proses penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Di dalamnya termasuk pula Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), yakni perhitungan kebutuhan bahan dan tenaga kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan satu unit pekerjaan tertentu. Analisis ini biasanya didasarkan pada pedoman BOW (Burgerlijke Openbare Werken) atau Standar Nasional Indonesia (SNI), yang masing-masing menggunakan pendekatan berbeda, meskipun memiliki tujuan akhir yang serupa. Sementara itu, volume pekerjaan merupakan hasil dari estimasi kuantitas pekerjaan dalam satuan tertentu, seperti meter, kilogram, atau unit.

Estimasi biaya atau anggaran proyek dihitung dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan untuk setiap jenis pekerjaan. Dengan demikian, secara umum, proses perhitungan anggaran ini dapat dirangkum sebagai hasil perkalian antara besarnya pekerjaan yang akan dilakukan dan nilai biaya satuannya. Pendekatan ini menjadi dasar utama dalam menyusun total biaya proyek konstruksi secara sistematis dan terukur.

$$RAB = \sum (\text{Volume}) \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}$$

Harga satuan suatu pekerjaan adalah keseluruhan biaya yang diperoleh dari gabungan antara biaya material dan upah tenaga kerja, yang dihitung berdasarkan hasil analisis teknis. Secara umum, harga satuan ini dapat dinyatakan dalam bentuk rumus yang mencerminkan total biaya per satuan pekerjaan berdasarkan komponen penyusunnya, yaitu bahan dan tenaga kerja.

$$H.S. \text{ Pekerjaan} = H.S. \text{ Bahan} + H.S. \text{ Upah} + H.S. \text{ Alat}$$

Elemen-elemen penyusun harga satuan pekerjaan secara umum terbagi menjadi tiga komponen utama, yaitu analisis biaya bahan material, perhitungan biaya tenaga kerja, serta perhitungan biaya alat yang sifatnya tidak wajib atau dapat digunakan sesuai kebutuhan proyek.

Dalam melakukan analisis terhadap harga satuan material, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan volume kebutuhan untuk masing-masing jenis bahan

serta menghitung total biaya yang dibutuhkan guna menyelesaikan satu satuan pekerjaan dalam proyek konstruksi. Secara umum, analisis terhadap harga satuan material mencakup dua aspek utama, yaitu:

1. Harga Satuan Bahan, yaitu harga material bangunan yang berlaku di pasar pada saat penyusunan anggaran.
2. Koefisien Bahan, yakni angka yang menunjukkan jumlah kebutuhan material untuk setiap satuan jenis pekerjaan.

Sebelum melaksanakan proses perhitungan harga satuan pekerjaan, penting untuk memahami terlebih dahulu penggunaan analisis berdasarkan metode BOW maupun SNI. Pada pendekatan BOW, jumlah kebutuhan tenaga kerja dan material untuk setiap jenis pekerjaan telah ditentukan secara standar. Di sisi lain, metode SNI merupakan bentuk penyempurnaan dari sistem analisis BOW sebelumnya. Dalam prinsip dasarnya, metode BOW menggunakan daftar tetap berupa koefisien upah dan material, sehingga dari nilai koefisien tersebut dapat diperoleh estimasi jumlah bahan serta tenaga kerja yang diperlukan.

Perpaduan antara material dan tenaga kerja, baik dari segi jenis maupun jumlahnya, telah ditetapkan secara spesifik untuk masing-masing pekerjaan, lalu dihitung dengan mengalikan harga satuan upah dan material yang berlaku saat ini. Walaupun metode SNI mengikuti pendekatan serupa dalam menentukan kebutuhan bahan dan pekerja sebagaimana pada BOW, nilai koefisien yang digunakan dalam analisis SNI mengalami perubahan dan tidak lagi sama seperti dalam versi BOW.

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1.3 Rangkuman penelitian terdahulu dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian yang akan dilakukan
1.	Setiawan, A., Pratiyogo, S., dan Wibowo, Y.	2020	Evaluasi Kinerja Struktur pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan Analisis Pushover	Metode analisis pushover	Bangunan yang dievaluasi terbukti masih dalam batas aman terhadap gempa berdasarkan kurva kapasitas struktur. Namun, ditemukan beberapa elemen struktural (khususnya balok dan kolom lantai atas) yang mendekati batas plastis dan direkomendasikan untuk dilakukan perbaikan.	Penelitian ini fokus pada bangunan bertingkat dan analisis kapasitas gempa secara menyeluruh, sementara penelitian saya lebih spesifik pada evaluasi dimensi dan penulangan kolom pada bangunan satu lantai (terminal). Saya menggunakan pendekatan analisis desain (code checking) terhadap dimensi dan penulangan, bukan pushover. Fokus saya lebih pada kesesuaian perencanaan terhadap standar teknis dan efisiensi elemen kolom, bukan

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian yang akan dilaksanakan
2	Nugroho, R. H., Santosa, B., dan Lestari, N.	2019	Analisis Evaluasi Struktur Kolom Batang Bertulang Menggunakan SAP2000 untuk menganalisis struktur lantai elastis.	Menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk melakukan analisis struktur lantai elastis.	Sebagian kolom memenuhi kriteria kekuatan struktur namun terdapat beberapa kolom yang menunjukkan nilai tegangan melebihi kapasitas beton, sehingga direkomendasikan adanya peningkatan dimensi atau penambahan tulangan.	respons struktur terhadap gempa secara keseluruhan. Perbedaannya terletak pada objek bangunan (penelitian ini umumnya pada gedung bertingkat atau umum), sedangkan penelitian saya khusus pada terminal tipe A di Salatiga, dengan mempertimbangkan konteks kawasan riwan gempa dan efisiensi penumpang. Penelitian saya lebih diarahkan pada perbaikan perencanaan dan efisiensi, bukan hanya penguatan.
3	Azhari, A., dan Lubis, F.	2021	Kegagalan Struktur pada Elemen Kolom: Studi Kasus dan Analisis	Metode yang digunakan berupa pengumpulan data kerusakan di lapangan,	Kegagalan terjadi karena dimensi kolom yang kurang, tulangan yang tidak sesuai rencana, dan kualitas pengecoran yang buruk. Diperlukan perbaikan	Penelitian ini lebih menekankan pada kasus keruntuhan aktual akibat kesalahan desain dan mutu pelaksanaan, sedangkan saya lebih menitikberatkan

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian yang akan dilaksanakan
				dokumentasi visual, serta perhitungan ulang elemen kolom menggunakan bebera rencana dan standar yang berlaku.	desain serta pengawasan lebih ketat terhadap pelaksanaan di lapangan.	pada analisis evaluatif terhadap desain struktural eksisting. Penelitian saya tidak men bahas keruntuhan di lapangan, tetapi bertujuan mencegah potensi ketidaksesuaian sejak dari rencana, dengan menilai aspek dimensi dan penulangan dari sisi teknis.
4	Ahmad Fadillah	2020	Analisis Perilaku Struktur Gedung Bertingkat dengan Sistem Rangka Perikul Momen Khusus (SRPMK) Menggunakan ETABS	Penelitian 3D menggunakan ETABS dengan varian beton gempa sesuai SNI 1726:2019	SRPMK mampu meningkatkan daktilitas dan ketahanan terhadap beban lateral hingga 25%, dibanding sistem rangka biasa	Penelitian ini lebih menekankan pada kasus keruntuhan aktual akibat kesalahan desain dan mutu pelaksanaan, sedangkan saya lebih menitikberatkan pada analisis evaluatif terhadap desain struktural eksisting. Penelitian saya tidak men bahas keruntuhan di lapangan, tetapi bertujuan mencegah potensi ketidaksesuaian sejak dari

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian yang akan dilaksanakan
5	Nurhayati dan Suglarto	2021	Pengaruh Variasi Mutu Beton terhadap Kinerja Balok Beton Bertulang pada Struktur Gedung	Eksperimen laboratorium pada balok beton bertulang dengan mutu f_c 20, 25, dan 30 MPa, uji dengan beban lentur statik.	Peningkatan mutu beton berdampak lurus dengan kapasitas momen nominal dan mengurangi defleksi hingga 15%.	rencana, dengan menilai aspek dimensi dan penulangan dari sisi teknis. Penelitian ini lebih menekankan pada kasus keruntuhan aktual akibat kesalahan desain dan mutu pelaksanaan, sedangkan saya lebih menitikberatkan pada analisis evaluatif terhadap desain struktural eksisting. Penelitian saya tidak membahas keruntuhan di lapangan, tetapi bertujuan mencegah potensi ketidaksesuaian sejak dari rencana, dengan menilai aspek dimensi dan penulangan dari sisi teknis.
6	Rahman dan Dewi	2022	Evaluasi Struktur Eksisting Gedung Beton Bertulang Tahun Gempa	Analisis pushover pada gedung 6 lantai menggunakan	Gedung eksisting masih memenuhi kriteria kinerja Immediate Occupancy pada gempa rencana, tetapi	Penelitian ini lebih menekankan pada kasus keruntuhan aktual akibat kesalahan desain dan mutu

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode / Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian yang akan dilaksanakan
			Menggunakan Metode Pushover	SAP2000 untuk melihat kapasitas lentur dan kinerja struktur berdasarkan ketentuan ATC-40.	beberapa elemen memerlukan peningkatan lokal.	pelaksanaan, sedangkan saya lebih menitikberatkan pada analisis evaluatif terhadap desain struktural eksisting. Penelitian saya tidak men bahas keruntuhan di lapangan, tetapi bertujuan mengecek potensi ketidaksesuaian sejak dari rencana, dengan menilai aspek dimensi dan penulangan dari sisi teknis.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini tergolong sebagai penelitian deskriptif, yaitu suatu pendekatan yang digunakan untuk menggambarkan, menjelaskan, dan menguraikan kondisi atau fenomena tertentu secara sistematis dan faktual tanpa adanya perlakuan atau manipulasi terhadap variabel yang diamati. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai keadaan atau proses yang sedang berlangsung sebagaimana adanya. Pendekatan ini sangat sesuai digunakan dalam studi-studi yang berfokus pada evaluasi, observasi, atau pengukuran terhadap suatu situasi aktual dalam konteks tertentu, termasuk dalam bidang teknik sipil dan manajemen konstruksi. Oleh karena itu, dalam studi ini, tidak dilakukan perlakuan eksperimental terhadap objek, melainkan hanya dilakukan proses dokumentasi dan analisis terhadap data yang tersedia.

Dalam proses penelitian ini, jenis data yang dikumpulkan mencakup dua bentuk utama, yaitu data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif digunakan untuk memahami narasi, persepsi, dan karakteristik non-numerik dari fenomena yang diamati, sedangkan data kuantitatif digunakan untuk menghitung, mengukur, dan melakukan analisis numerik yang relevan terhadap permasalahan yang diteliti. Di samping itu, nilai rata-rata atau nilai statistik lainnya akan digunakan untuk memperkuat kesimpulan yang diperoleh dan menegaskan relevansi data terhadap tujuan utama dari penelitian ini. Melalui penyajian data secara sistematis tersebut, diharapkan pembaca dapat memahami keseluruhan temuan secara menyeluruh dan transparan.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Adapun data lokasi penelitian ini, sebagai berikut :

Lokasi	: Terminal Tipe A Tingkir
Instansi	: BPTD Kelas I Jawa Tengah, Kementerian Perhubungan
Alamat	: Tingkir Tengah, Kec. Tingkir, Kota Salatiga, Jawa Tengah

Koordinat : -7.361790822110106, 110.51442739294576

Terminal Tipe A Tingkir terletak di Kota Salatiga, yang secara topografis berada pada ketinggian antara 450 hingga 825 meter di atas permukaan laut. Berdasarkan variasi ketinggiannya, wilayah Kota Salatiga dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Wilayah Bergelombang, yang meliputi Kelurahan Dukuh, Ledok, Kutowinangun, Salatiga, Sidorejo Lor, Bugel, Kumpulrejo, dan Kauman Kidul,
2. Wilayah Miring, mencakup Kelurahan Tegalsrejo, Mangunsari, Sidorejo Lor, Sidorejo Kidul, Tingkir Lor, Pulutan, Kecandran, Randsucir, Tingkir Tengah, serta Cebongan.
3. Wilayah Datar, terdiri dari Kelurahan Kalicaring, Noborejo, Kalibening, dan Blotongan.



Gambar 3.1 Lokasi Terminal Tipe A Tingkir
Sumber : Google map

Dipilihnya bangunan terminal dikarenakan bangunan terminal merupakan bangunan komersil yang didalamnya terdapat aktivitas pelayanan operasional terminal dan pengguna moda transportasi yang dari dan menuju terminal.

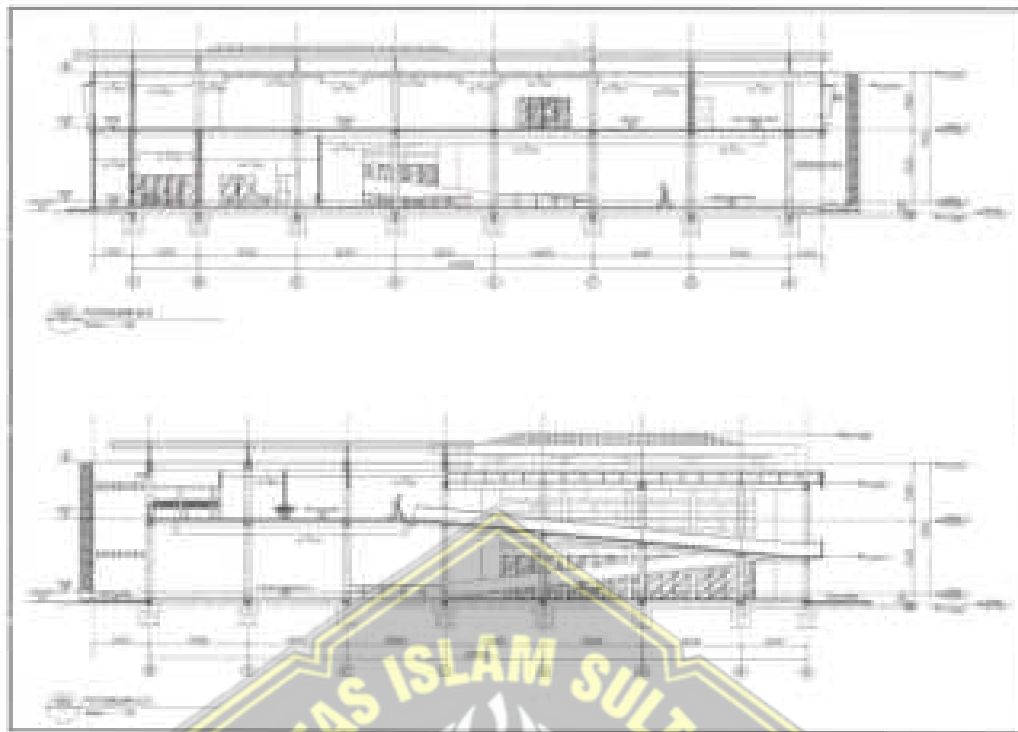


Gambar 3.2 Terminal Tipe A Tingkir

Potongan bangunan adalah gambar teknik yang menunjukkan irisan vertikal suatu bangunan atau struktur. Potongan ini dibuat seolah-olah bangunan dipotong pada bagian tertentu untuk memperlihatkan detail bagian dalam, konstruksi, serta elemen-elemen yang tidak terlihat dari tampak luar.



Gambar 3.3 Potongan A dan B Bangunan Terminal Tipe A Tingkir
Sumber : BPTD Kelas I Jawa Tengah



Gambar 3.4 Potongan C dan D Bangunan Terminal Tipe A Tengkir.
Sumber : BPTD Kelas I, Nava Tengkir

Pengamatan penelitian ini berlangsung sekurangnya 3 bulan dengan batasan penelitian berupa data yang terkumpul sudah siap untuk di analisis dan di teliti secara lengkap baik dari data informasi, foto ataupun hasil data koreksi. Selanjutnya dibutuhkan waktu untuk melakukan identifikasi internal peneliti dengan metode rekayasa yang relevan atau serupa sesuai kasus, dengan harapan penelitian ini bisa berlangsung cepat dan terselesaikan dalam waktu sekurangnya 3 bulan masa pengolahan data berikut hasilnya.

3.3 Sumber Data

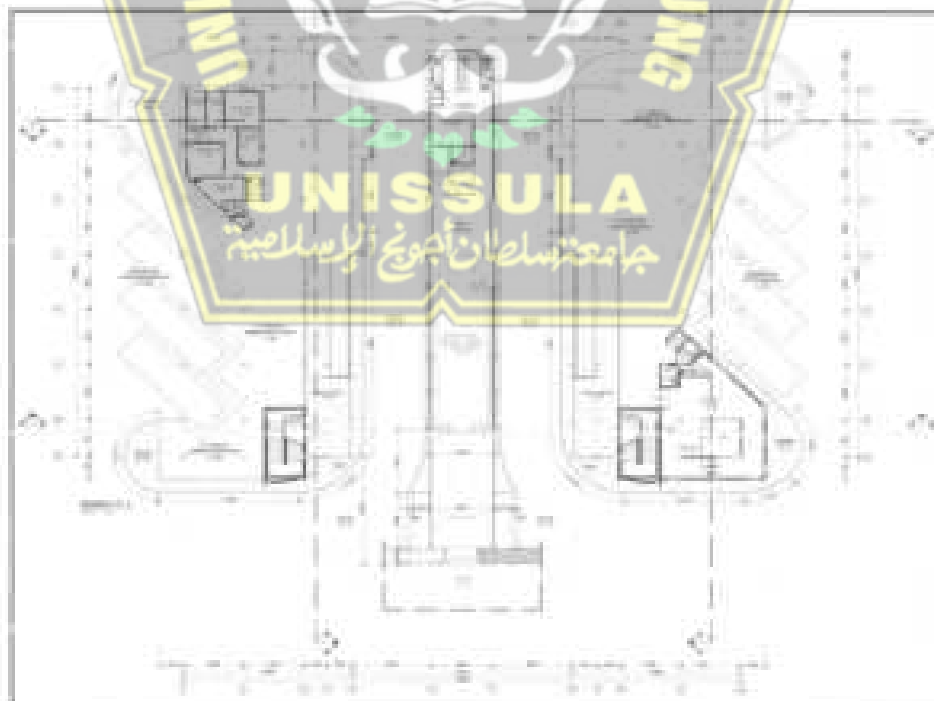
Metode penelitian yang diterapkan dilakukan melalui survei data primer serta analisis kondisi pembebanan pada kolom menggunakan perangkat lunak khusus perencanaan bangunan gedung. Beban aksial yang bekerja pada penampang kolom diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu beban sentris dan beban eksentris. Untuk kolom yang menerima beban eksentris, pembagian lebih lanjut terdiri dari empat kategori, yakni beban sentris, kegagalan tekan, kegagalan seimbang (balance),

kegagalan tarik, serta kondisi beban $P_n = 0$. Data yang digunakan dalam studi ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

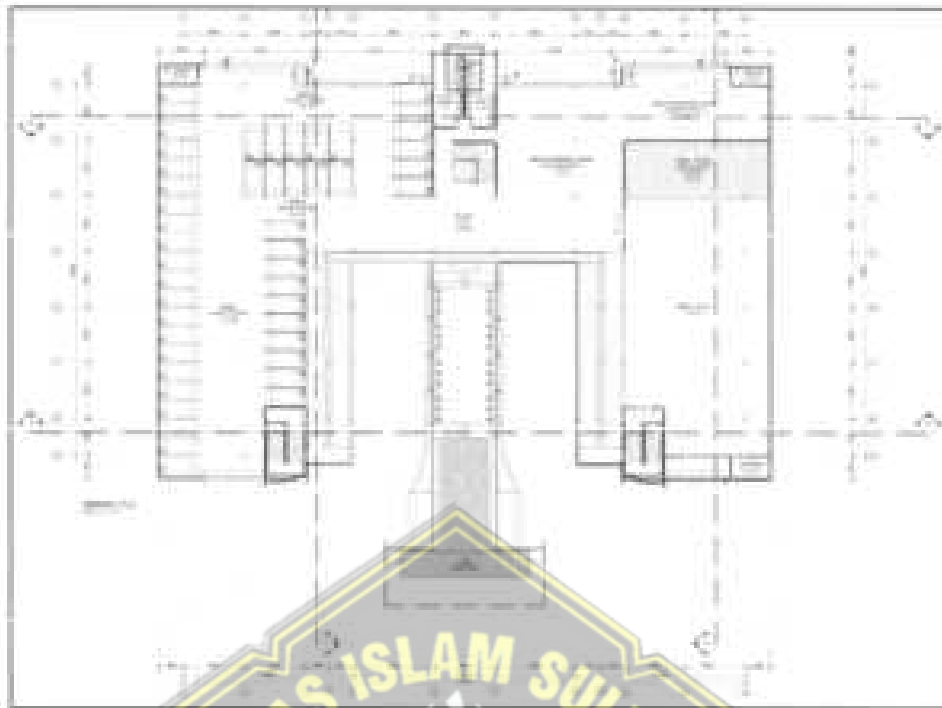
3.3.1 Data Primer

Data kualitatif diperoleh melalui pemeriksaan visual dan analisis simulasi struktur yang berfungsi sebagai salah satu metode uji nondestruktif. Sementara itu, data kuantitatif didapatkan berdasarkan jumlah titik pengamatan visual yang telah ditentukan. Selanjutnya, dilakukan evaluasi struktur untuk menilai kelaikan elemen bangunan dengan mempertimbangkan ukuran serta kondisi eksisting, guna memperoleh gaya-gaya dalam yang timbul akibat berbagai kombinasi pembebanan.

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap perencanaan yang mengacu pada gambar bestek, sekaligus evaluasi pelaksanaan di lapangan. Dari hasil analisis struktur tersebut, akan dilakukan pengecekan kekuatan elemen kolom dengan berbagai variasi dimensi serta penulangan yang berfungsi sebagai rangka utama penopang beban yang bekerja. Untuk gambaran dari denah pada bangunan Terminal Tipe A Tugik yang peneliti sudah dapatkan dari Balai Pengelola Transportasi Darat Kelas I Jawa Tengah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Denah Lantai 1 Bangunan Terminal
Sumber : BPTD Kelas I Jawa Tengah



Gambar 3.6 Denah Lantai 2 Bangunan Terminal
Sumber: *PDOT Kelua Kelana Tengah*

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini merujuk pada informasi yang diperoleh dari pihak atau instansi eksternal yang berkaitan langsung dengan proyek bangunan Terminal Tipe A di Salatiga, dan dimanfaatkan secara langsung sebagai rujukan dalam kegiatan analisis dan perencanaan. Sumber data sekunder ini meliputi dokumen-dokumen resmi, referensi pustaka, literatur teknis, serta data pendukung lain seperti grafik, tabel, maupun peta topografi dan zonasi yang relevan dengan kajian teknis bangunan. Dalam konteks studi evaluasi dimensi serta penulangan kolom, data sekunder memiliki peran strategis sebagai fondasi dalam melakukan validasi dan perhitungan struktur secara tepat guna serta sesuai standar teknis yang berlaku.

Adapun jenis-jenis data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini secara umum terdiri dari beberapa komponen utama yang mencerminkan kebutuhan perancangan elemen struktur bangunan. Komponen tersebut antara lain adalah deskripsi umum bangunan, denah serta sistem struktur yang direncanakan, dan data

zonasi wilayah gempa. Berikut adalah uraian lebih lanjut mengenai ketiga komponen data sekunder tersebut yang digunakan dalam studi ini:

1. Deskripsi Umum Bangunan

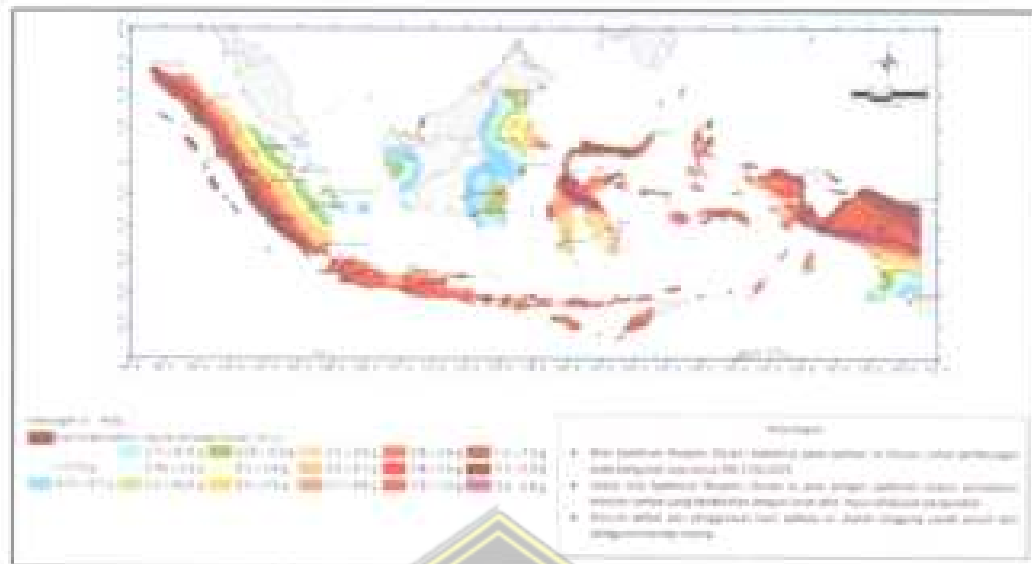
Informasi dasar mengenai bangunan yang dikaji mencakup fungsi utama dari gedung terminal dan lokasi geografisnya. Fungsi bangunan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perencanaan struktur, khususnya dalam menentukan besar beban hidup dan beban mati yang akan diterima oleh elemen-elemen struktur seperti kolom. Di sisi lain, lokasi pembangunan juga menjadi parameter penting karena berkaitan erat dengan karakteristik tanah yang akan memengaruhi hasil analisis pondasi dan kestabilan struktur.

2. Denah dan Sistem Struktur Bangunan

Denah bangunan serta sistem struktur yang akan diterapkan merupakan data krusial dalam proses perencanaan teknis. Sistem struktur yang dimaksud adalah susunan dan komposisi elemen struktural bangunan, termasuk pembagian dimensi dan rincian penulangan kolom sebagai komponen utama struktur vertikal. Informasi ini tidak hanya menggambarkan tata letak elemen arsitektural seperti posisi dinding, tangga, dan lift, tetapi juga berperan sebagai panduan dalam menyesuaikan desain struktural terhadap kebutuhan ruang dan distribusi beban.

3. Wilayah Gempa Bangunan Sekitar

Salah satu aspek penting dalam perencanaan struktur bangunan di Indonesia adalah pertimbangan terhadap potensi gempa bumi. Oleh karena itu, data mengenai zonasi gempa sangat diperlukan untuk menentukan beban gempa yang akan bekerja pada struktur. Dalam konteks penelitian ini, diketahui bahwa lokasi proyek Terminal Tipe A di Salatiga termasuk dalam wilayah dengan klasifikasi zona gempa 3, yang berarti bangunan harus dirancang dengan tingkat ketahanan terhadap gaya lateral akibat gempa yang cukup tinggi. Data zonasi ini mengacu pada peta gempa terbaru yang dikeluarkan oleh instansi terkait, dan menjadi dasar dalam menghitung gaya-gaya lateral serta menentukan sistem penulangan yang tepat.



Gambar 3.7 Peta Wilayah Gempa Indonesia

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNi 1726-2019)

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah:

1. Dokumentasi merupakan metode pengumpulan informasi dengan cara menelaah dan mencatat data-data yang terdapat pada dokumen yang relevan dengan permasalahan yang sedang diteliti.
2. Observasi adalah teknik memperoleh data secara sistematis melalui pengamatan langsung terhadap objek penelitian. Dalam penelitian ini, dilakukan peninjauan lapangan ke Terminal Tipe A Tingkir, sekaligus mengumpulkan dokumen pendukung seperti as-built drawing, hasil pengujian, serta data analisis harga satuan di Kota Salatiga yang dibutuhkan untuk proses pengolahan data.
3. Metode literatur diperoleh melalui referensi buku-buku dan sumber tertulis lain yang mendukung penelitian, khususnya yang terkait dengan studi kelayakan maupun analisis investasi.

3.5 Metode Analisis Data

Pada subbab ini dijelaskan secara ringkas tahapan-tahapan atau metode yang diterapkan dalam menganalisis struktur gedung serta melakukan evaluasi dan optimalisasi biaya pada elemen kolom bangunan terminal.

3.5.1 Metode Analisa Menggunakan Software Bangunan Gedung

Adapun untuk rencana optimalisasi dimensi dan penulangan pada kolom bangunan Terminal Tipe A Tingkir sebagai berikut :

Tabel 3.1. Tabel rencana optimalisasi dimensi dan penulangan kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
1	Tipe Kolom Eksisting			
a	4D22 dan 8D16 D10-100	400x400	fc 29 Mpa	Kolom eksisting
2	Tipe Kolom Perkuatan dengan Jacket Beton			
a	16D13 D10-75	500x500	fc 29 Mpa	Perkuatan dengan Jacket Beton
b	12D19 D10-80	450x450	fc 29 Mpa	Perkuatan dengan Jacket Beton
c	12D22 D10-100	500x500	fc 29 Mpa	Perkuatan dengan Jacket Beton
3	Tipe Kolom Optimalisasi			
a	16D13 D10-75	400x400	fc 29 Mpa	Optimalisasi penulangan
b	14D16 D10-80	400x400	fc 29 Mpa	Optimalisasi penulangan
c	12D22 D10-100	400x400	fc 29 Mpa	Optimalisasi penulangan

3.5.2 Metode Perbandingan Biaya Pekerjaan

Berdasarkan hasil proses optimalisasi antara desain kolom eksisting dengan desain kolom hasil perencanaan ulang, ditentukan bahwa pilihan yang paling aman dari aspek kekuatan dan kestabilan struktur bangunan menjadi acuan dalam tahapan konversi ke dalam estimasi anggaran biaya. Hasil perbandingan tersebut tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis seperti kekuatan tekan beton dan kapasitas penulangan, tetapi juga memperhatikan efisiensi dari sisi pelaksanaan dan

pengeluaran biaya. Untuk keperluan penyusunan anggaran biaya ini, peneliti merujuk pada sumber resmi dari pemerintah, yaitu situs web milik Balai Jasa Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah adalah <https://maspetruk.dpuhinmawacipka.jatengprov.go.id/>. Platform tersebut menyediakan data harga satuan pekerjaan konstruksi yang berlaku di setiap kabupaten dan kota di wilayah Provinsi Jawa Tengah, sehingga dapat dijadikan dasar yang valid dan aktual dalam melakukan estimasi biaya konstruksi secara regional.

Dalam konteks penelitian ini, fokus utama diarahkan pada analisis struktur kolom bangunan, mengingat kolom merupakan elemen vertikal utama yang memikul beban gravitasi serta beban lateral pada bangunan. Oleh sebab itu, untuk melakukan analisis biaya pelaksanaan secara lebih terperinci dan sistematis, peneliti membagi keseluruhan komponen pekerjaan terkait kolom menjadi tiga kategori utama. Kategori-kategori tersebut nantinya akan dibandingkan dari sisi volume, harga satuan, dan total biaya antara desain eksisting dan desain optimalisasi.

1. Pekerjaan pembesian;
2. Pekerjaan pembetonan;
3. Pekerjaan bekisting.

3.6 Rencana Pelaksanaan Penelitian

Penyusunan laporan penelitian berjudul "Studi Evaluasi Dimensi dan Penulangan Kolom Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Salatiga" memerlukan perencanaan yang terstruktur agar dapat diselesaikan tepat waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan langkah-langkah kerja yang sistematis dan terencana.

Dalam proses penyusunan laporan ini, terdapat beberapa tahapan penting yang dilakukan, yaitu:

1. Persiapan

Langkah awal meliputi persiapan administrasi yang diperlukan, khususnya terkait pengajuan penelitian sesuai dengan bidang ilmu yang relevan, dalam hal ini struktur dan manajemen konstruksi. Pada tahap ini juga dilakukan

permohonan pengumpulan data yang dibutuhkan sebagai bahan penelitian.

2. Studi Literatur

Tahap ini mencakup penelusuran literatur yang berkaitan dengan struktur atau konstruksi bangunan gedung, khususnya struktur kolom pada Terminal Tipe A Tingkir di Kota Salatiga. Selain itu, dilakukan pula kajian perbandingan rencana anggaran biaya berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak analisis struktur.

3. Kompilasi Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan seluruh data yang diperlukan untuk mendukung penelitian. Data yang terkumpul selanjutnya disiapkan sebagai input untuk proses analisis.

4. Analisis Data

Data yang telah dihimpun kemudian dianalisis untuk mengetahui apakah variasi dimensi dan penulangan kolom dapat dioptimalkan dari segi biaya tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan kekuatan struktur bangunan.

5. Hasil Penelitian

Tahap ini menghasilkan analisis akhir yang menjadi dasar penarikan kesimpulan, sekaligus memberikan rekomendasi meskipun masih bersifat sementara.

6. Penyusunan Laporan Akhir

Sebagai tahap penutup, disusun laporan akhir yang berisi hasil penelitian, kesimpulan, serta rekomendasi yang dapat dijadikan acuan lebih lanjut.



Gambar 3.8. Bagan Alur Penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Tahap Informasi Bangunan

Adapun diskripsi bangunan Terminal Tipe A Tingkir, Kota Salatiga sebagai berikut :

Tabel 4.1. Tabel informasi bangunan

No	Uraian	Keterangan
1	Lokasi	Kota Salatiga
2	Zona gempa	III (tanah sedang)
3	Tinggi total bangunan	10,2 m
4	Tinggi lantai 1	5,2 m
5	Tinggi lantai 2	5 m
6	Bentang balok terpanjang	8 m
7	Beban mati lantai 1	4,61 kN/m ²
8	Beban mati lantai 2	4,35 kN/m ²
9	Beban hidup lantai 1	4 kN/m ²
10	Beban hidup lantai 2	1,50 kN/m ²
11	Berat bangunan lantai 1	11.913,68 kN/m ²
12	Berat bangunan lantai 2	3.827,30 kN/m ²
13	Perhitungan gempa	100.989,64 kNm

Adapun untuk rencana optimalisasi dimensi dan penulangan pada kolom bangunan Terminal Tipe A Tingkir sebagai berikut :

Tabel 4.2. Tabel rencana evaluasi dimensi dan penulangan kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
1	Tipe Kolom Eksisting			
a	4D22 dan 8D16 D10-100	400x400	f _c 29 Mpa	Kolom eksisting
2	Tipe Kolom Perkuatan dengan Jaket Beton			

No	Tipe Kolom	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
a	16D13 D10-75	500x500	fc 29 Mpa	Perkuatan dengan Jaket Beton
b	12D19 D10-80	450x450	fc 29 Mpa	Perkuatan dengan Jaket Beton
c	12D22 D10-100	500x500	fc 29 Mpa	Perkuatan dengan Jaket Beton
3	Tipe Kolom Optimalisasi			
a	16D13 D10-75	400x400	fc 29 Mpa	Optimalisasi penulangan
b	14D16 D10-80	400x400	fc 29 Mpa	Optimalisasi penulangan
c	12D22 D10-100	400x400	fc 29 Mpa	Optimalisasi penulangan

Berikut ini merupakan visual 3D dari bangunan Terminal Tipe A Tingkir, Salatiga.



Gambar 4.1. Pemodelan 3D

4.2 Tahap Evaluasi Struktur Kolom Sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019

Evaluasi terhadap kolom eksisting pada bangunan Terminal Tipe A di Salatiga dilakukan untuk menilai kapasitas aktual struktur terhadap beban gempa

dan beban gravitasi. Proses evaluasi mengacu pada ketentuan dalam SNI 2847:2019 tentang tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan.

Analisis mencakup pemeriksaan kekuatan aksial, lentur, dan geser berdasarkan dimensi dan penulangan kolom eksisting yang diperoleh dari gambar teknis dan hasil pengukuran lapangan. Data material seperti mutu beton dan tulangan diperoleh melalui pengujian uji beton dan uji tarik tulangan.

4.2.1 Tipe Kolom Eksisting (400x400, 4D22 dan 8D16)

1. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran 400 mm × 400 mm. Selimut beton bersih digunakan sebesar 40 mm.

2. Properti Material

Material	Section	Reinforcement
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 160000 \text{ mm}^2$	8 bar @ 1,207%
$E_c = 25353,9 \text{ MPa}$	$I_x = 2133330000 \text{ mm}^4$	$A_s = 1932 \text{ mm}^2$
$f_c = 24,735 \text{ MPa}$	$I_y = 2133330000 \text{ mm}^4$	Confinement : Tied
$\beta_1 = 0,838977$	$X_o = 0 \text{ mm}$	Clear Cover = N/A
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_o = 0 \text{ mm}$	Min. Clear Spacing
$E_s = 200000 \text{ MPa}$		125,68 mm

3. Pengecekan Syarat Geometri

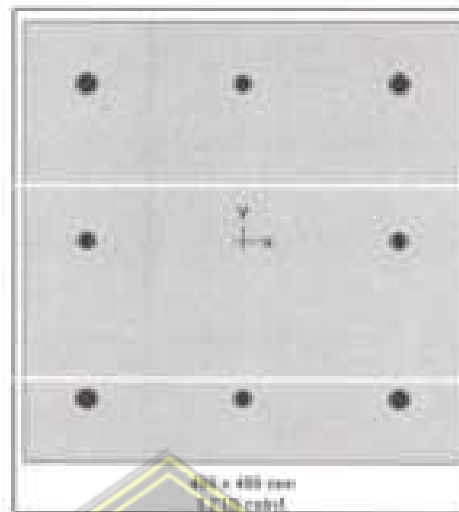
Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

Oke

4. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.2. Penampang melintang kolom eksisting 400x400 mm

5. Diagram Interaksi



Gambar 4.3. Diagram Interaksi Kondisi Kolom Eksisting

6. Evaluasi Persyaratan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Kolom Tepi

Untuk Gaya aksial $P_u = 400 \text{ kN}$, $M_u = 170 \text{ kN.m}$

$$\phi = 0,90 \text{ (Pu kecil)}; M_{nk} = 170 / 0,9 = 188 \text{ kN.m}$$

Kolom Tengah

Untuk Gaya aksial $P_u = 520 \text{ kN}$, $M_u = 333 \text{ kN.m}$

$$\phi = 0,90 \text{ (Pu kecil)}; M_{nk} = 333 / 0,9 = 370 \text{ kN.m}$$

Balok 300x500

Momen (-) $\phi M_n = 134 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 149 \text{ kN.m}$

Momen (+) $\phi M_n = 91 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 101 \text{ kN.m}$

Balok 350x700

Momen (-) $\phi M_n = 209,7 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 233,99 \text{ kN.m}$

Momen (+) $\phi M_n = 319,95 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 355,51 \text{ kN.m}$

Kolom Tepi : (lantai 1 dan ada lantai 2) :

$$\Sigma M_{nk} = 2 \times 188 \text{ kN.m} = 376 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{nb} = 149 + 101 = 250 \text{ kN.m}$$

$$\text{Cek SCWB : } \Sigma M_{nk} / \Sigma M_{nb} = 376 / 250 = 1,51 > 1,2$$

Oke

Kolom Tengah : (lantai 1 dan ada lantai 2) :

$$\Sigma M_{nk} = 2 \times 370 \text{ kN.m} = 740 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{nb} = 233,99 + 355,51 = 589,5 \text{ kN.m}$$

$$\text{Cek SCWB : } \Sigma M_{nk} / \Sigma M_{nb} = 740 / 589,5 = 1,25 > 1,2$$

Oke

Tulangan Transversal Pengekang X (SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4)

$$= A_{dtx} / b_s c$$

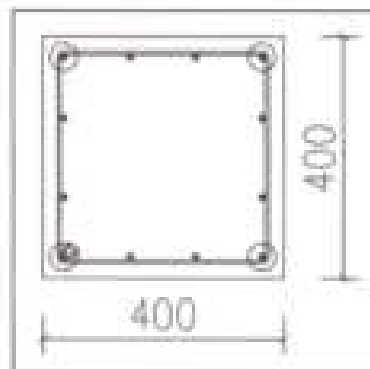
$$= 0,0152 > 0,01563$$

Tidak Sesuai

Longitudinal : 4D22 8D16 (1,91 %)

Sengkang Tumpuan : 6 / 6 D10-100

Sengkang Lapangan : 6 / 6 D10-100



Gambar 4.4. Detail Penulangan Kolom Eksisting

7. Rekapitulasi Hasil Desain

Tabel 4.3. Tabel Rekapitulasi Hasil Pengecekan Kolom Eksisting

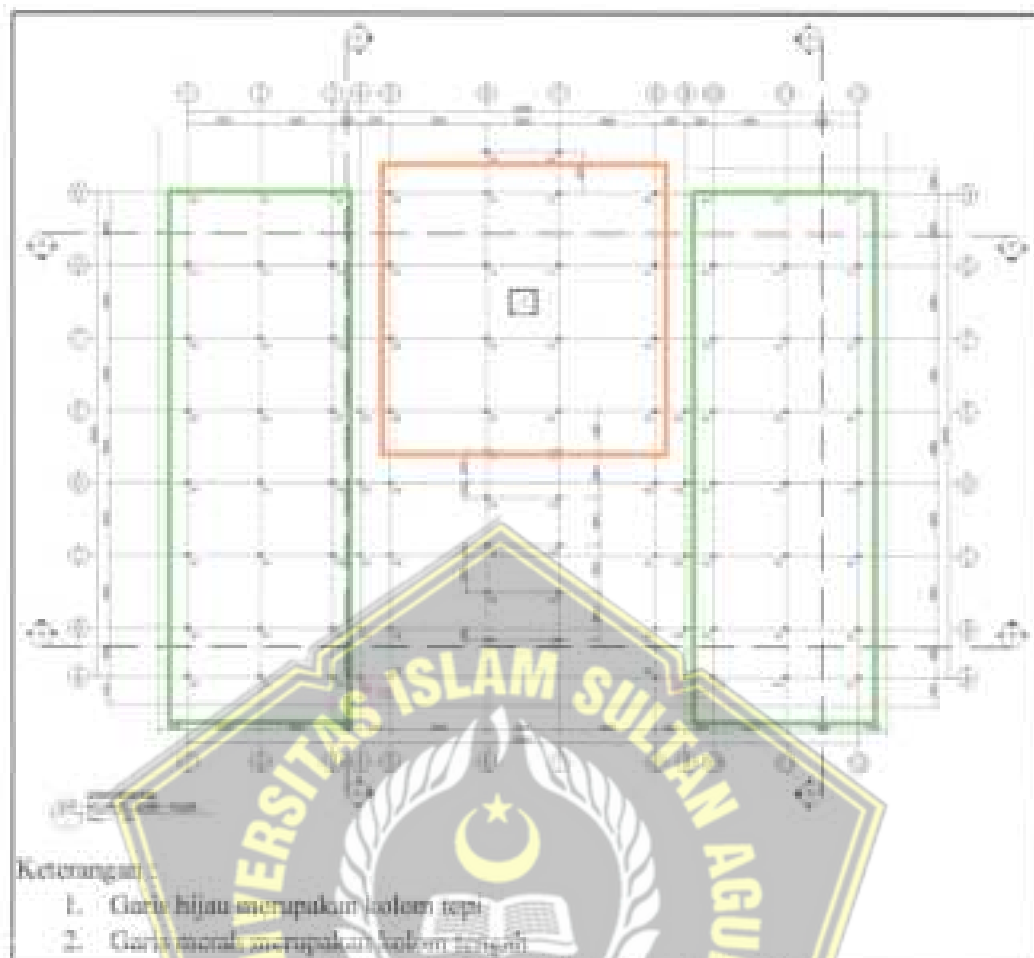
No	Uraian	Hasil Pengecekan
1	Persyaratan geometri	Telah memenuhi ketentuan yang berlaku
2	Rasio tulangan lentur	Dinyatakan sesuai dengan standar yang ditetapkan
3	Kapasitas aksial dan lentur	Telah diverifikasi dan memenuhi syarat perencanaan
4	Ketentuan kolom kuat – balok lemah	Telah dipenuhi sesuai prinsip desain struktur tahan gempa
5	Kapasitas geser pada bagian tumpuan	Sudah sesuai dengan perhitungan yang dipersyaratkan
6	Kapasitas geser pada bagian lapangan	Dinyatakan memenuhi kriteria desain
7	Penulangan sengkang pada bagian tumpuan	Tidak sesuai dengan standar betonotona
8	Penulangan sengkang pada bagian lapangan	Dinyatakan sesuai aturan teknis
9	Jarak antar sengkang pada bagian tumpuan	Memenuhi ketentuan minimal dan maksimal
10	Jarak sengkang pada bagian lapangan	Dinyatakan sesuai dengan persyaratan desain
11	Jarak antar kaki sengkang	Telah memenuhi ketentuan penempatan tulangan yang diizinkan
12	Jumlah tulangan longitudinal yang terkekang	Sesuai dengan kebutuhan perencanaan struktur

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beberapa kolom tidak memenuhi syarat kekuatan minimum terhadap kombinasi beban faktorial. Terutama **penulangan sengkang pada bagian tumpuan di bawah persyaratan minimum yang tidak memadai untuk kondisi gempa kuat**. Secara umum, evaluasi struktur kolom eksisting menjadi dasar penting dalam menentukan kebutuhan perkuatan dan rekayasa ulang penulangan agar bangunan tetap aman sesuai ketentuan SNI dan siap menghadapi beban gempa masa depan.

Dikarakanan kolom eksisting mengalami **ketidaksesuaian** dengan SNI 2847:2019 tentang tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan, untuk itu terdapat 2 opsi untuk kolom perkuatan dan optimalisasi yaitu:

- a. Perkuatan pada Kolom Tengah dengan Jaket Beton dengan tebal 50 mm;
- b. Optimalisasi pada Kolom Tepi untuk dapat dipergunakan pada desain Bangunan Gedung yang memiliki kriteria yang sama.

Sebagaimana denah bangunan terminal sesuai dengan kedua opsi di atas, terdapat 2 tipe jenis kolom yaitu tipe kolom perkuatan dan tipe kolom optimalisasi. Tipe kolom perkuatan terdapat 18 kolom di lantai 1 dan 18 kolom di lantai 2. Pada tipe kolom optimalisasi terdapat 48 kolom di lantai 1 dan 48 kolom di lantai 2. Berikut merupakan gambaran denah untuk penempatan tipe kolom perkuatan dan kolom optimalisasi.



Gambar 4.5. Denah Pembagian Jaket Kolom

4.2.2 Tipe Kolom Perkuatan dengan Jacket Beton

Metode jacket beton merupakan teknik perkuatan yang dilakukan dengan cara memperbesar dimensi kolom dan menambahkan tulangan baru di sekeliling kolom lama, kemudian dibungkus dengan selimut beton baru. Tujuan dari metode ini adalah meningkatkan kapasitas aksial, lentur, serta kekakuan elemen struktur sehingga struktur mampu menahan beban lateral akibat gempa.

Berikut ini merupakan perhitungan perkuatan kolom dengan jacket beton yang terbagi dalam 3 rencana desain, adapun perhitungannya sebagai berikut :

1. Kolom Perkuatan Dengan Jacket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)

a. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran 500 mm × 500 mm.

Selimut beton bersih digunakan sebesar 40 mm.

b. Properti Material

Material	Section
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 250000 \text{ mm}^2$
$E_c = 25310,3 \text{ MPa}$	$I_x = 5208330000 \text{ mm}^4$
$f_c = 24,65 \text{ MPa}$	$I_y = 5208330000 \text{ mm}^4$
$\beta_1 = 0,839702$	$X_o = 0 \text{ mm}$
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_o = 0 \text{ mm}$
$E_s = 200000 \text{ MPa}$	

c. Pengecekan Syarat Geometri

Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

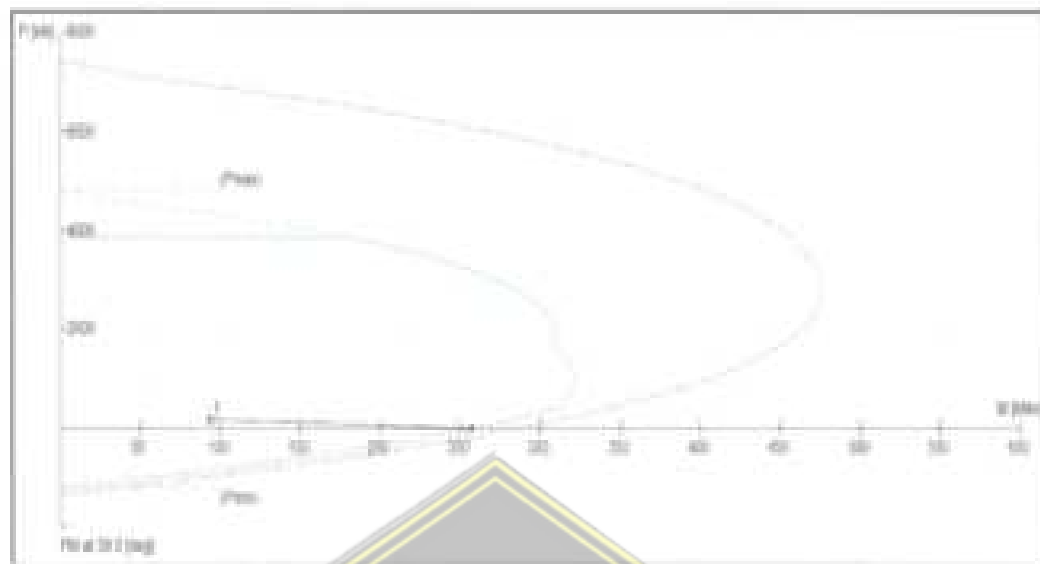
Oke

d. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.6. Penampang melintang Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)

c. Diagram Interaksi



Gambar 4.7. Diagram Interaksi Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)

f. Evaluasi Penguatan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Untuk Gaya aksial $P_u = 453 \text{ kN}$, $M_u = 221 \text{ kN.m}$,

$\phi = 0,90$ (Pu kecil); $M_{nk} = 221 / 0,9 = 245,55 \text{ kN.m}$

Balok 350x700

Momen (-) $\phi M_n = 155,2 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 172,44 \text{ kN.m}$

Momen (+) $\phi M_n = 155,2 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 172,44 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nk} = 2 \times 245,55 \text{ kN.m} = 491,1 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nb} = 140 + 101 = 250 \text{ kN.m}$

Cek SCWB : $\Sigma M_{nk} / \Sigma M_{nb} = 491,1 / 344,88 = 1,4 > 1,2$

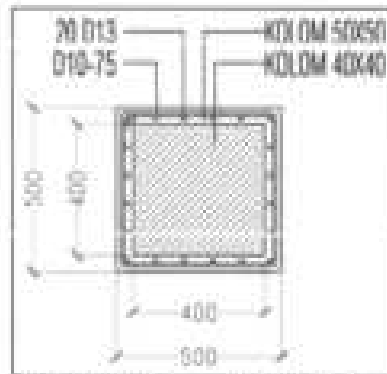
Oke

g. Sketsa Kolom

Dimensi : 500 x 500

Sengkang Tumpuan : 6 / 6 D10-75

Sengkang Lapangan : 6 / 6 D10-75



Gambar 4.8. Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 1 (500x500, 16D13)

2. Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)

a. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran 500 mm × 500 mm. Selimut beton bersih digunakan sebesar 40 mm.

b. Properti Material

Material	Section
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 250000 \text{ mm}^2$
$E_c = 25310,3 \text{ MPa}$	$I_x = 5208330000 \text{ mm}^4$
$f_c = 24,65 \text{ MPa}$	$I_y = 5208330000 \text{ mm}^4$
$B1 = 0,839702$	$X_o = 0 \text{ mm}$
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_o = 0 \text{ mm}$
$E_s = 200000 \text{ MPa}$	

c. Pengecekan Syarat Geometri

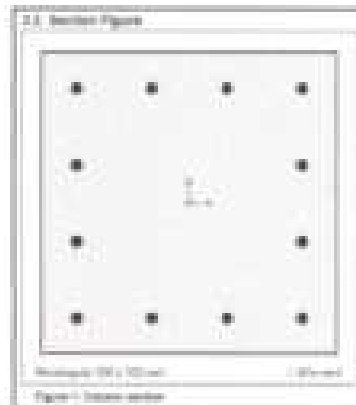
Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

Oke

d. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.9: Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)

e. Diagram Interaksi



Gambar 4.10: Diagram Interaksi Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)

f. Evaluasi Persyaratan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Untuk Gaya aksial $P_u = 453 \text{ kN}$, $M_u = 384 \text{ kN.m}$,

$\phi = 0,90$ (P_u kecil); $M_{nk} = 384 / 0,9 = 426,66 \text{ kN.m}$

Balok 350x700

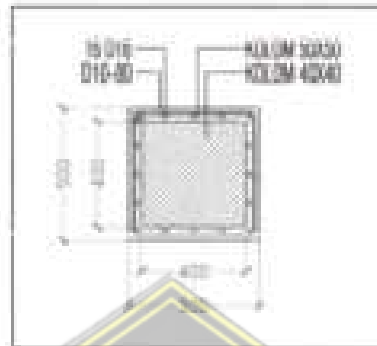
Momen (-) $\phi M_n = 155,2 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 172,44 \text{ kN.m}$

Momen (+) $\phi M_n = 155,2 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 172,44 \text{ kN.m}$

$$\sum M_{nk} = 2 \times 426,66 \text{ kN.m} = 853,32 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nb} = 172,44 + 172,44 = 344,88 \text{ kN.m}$$

$$\text{Cek SCWB} : \sum M_{nk} / \sum M_{nb} = 853,32 / 344,88 = 2,47 > 1,2 \quad \text{Oke}$$



Gambar 4.11. Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 2 (500x500, 12D19)

g. Sketsa Kolom

Dimensi : 500 × 500

Senggang Tumpuan : 6 / 6 D10-80

Senggang Lapangan : 6 / 6 D10-50

3. Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)

a. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran 500 mm × 500 mm.

Selimut beton bersih digamkoni sebesar 40 mm.

b. Properti Material

Material	Section
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 250000 \text{ mm}^2$
$E_c = 25310,3 \text{ MPa}$	$I_x = 5208330000 \text{ mm}^4$
$f_c = 24,65 \text{ MPa}$	$I_y = 5208330000 \text{ mm}^4$
$\beta_1 = 0,839702$	$X_o = 0 \text{ mm}$
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_o = 0 \text{ mm}$
$E_s = 200000 \text{ MPa}$	

c. Pengecekan Syarat Geometri

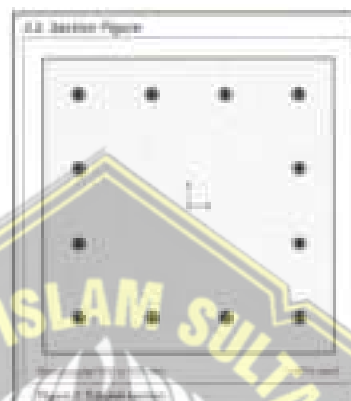
Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

Oke

d. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.12. Detail Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)

e. Diagram Interaksi



Gambar 4.13. Diagram Interaksi Kolom Perkuatan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)

f. Evaluasi Persyaratan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Untuk Gaya aksial $P_u = 453 \text{ kN}$, $M_u = 384 \text{ kN.m}$,

$\phi = 0,90$ (P_u kecil); $M_{nk} = 384 / 0,9 = 426,66 \text{ kN.m}$

Balok 350x700

Momen (-) $\phi M_{ni} = 155,2 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 172,44 \text{ kN.m}$

Momen (+) $\phi M_{ni} = 155,2 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 172,44 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nk} = 2 \times 426,66 \text{ kN.m} = 853,32 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nb} = 172,44 + 172,44 = 344,88 \text{ kN.m}$

Cek SCWB : $\Sigma M_{nk} / \Sigma M_{nb} = 853,32 / 344,88 = 2,47 > 1,2$ **Oke**



Gambar 4.14. Detail Kolom Perkakasan Dengan Jaket Beton Tipe 3 (500x500, 12D22)

g. Sketsa Kolom

Dimensi : 500 x 500

Senggang Tumpuan : 6 / 6 D10-100

Senggang Lapangan : 6 / 6 D10-100

4.2.3 Tipe Kolom Optimalisasi dengan Perubahan Desain Penulangan

Metode optimalisasi dilakukan dengan cara mempertahankan dimensi kolom eksisting, tetapi dilakukan penggantian dan pengaturan ulang jumlah serta konfigurasi tulangan longitudinal dan transversal. Metode ini lebih hemat dari sisi penggunaan material dan waktu pelaksanaan, tetapi peningkatan kapasitas struktur lebih terbatas dibanding metode jaket beton.

Berikut ini merupakan perhitungan optimalisasi kolom dengan rencana perubahan tulangan yang terbagi dalam 3 rencana desain, adapun perhitungannya sebagai berikut :

1. Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)

a. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran 400 mm x 400 mm.
Selimut beton bersih digunakan sebesar 40 mm.

b. Properti Material

Material	Section
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 160000 \text{ mm}^2$
$E_c = 25310,3 \text{ MPa}$	$I_x = 2133330000 \text{ mm}^4$
$f_c = 24,65 \text{ MPa}$	$I_y = 2133330000 \text{ mm}^4$
$\beta_1 = 0,839702$	$X_o = 0 \text{ mm}$
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_o = 0 \text{ mm}$
$E_s = 200000 \text{ MPa}$	

c. Pengecekan Syarat Geometri

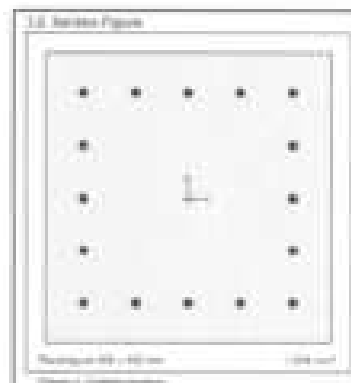
Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

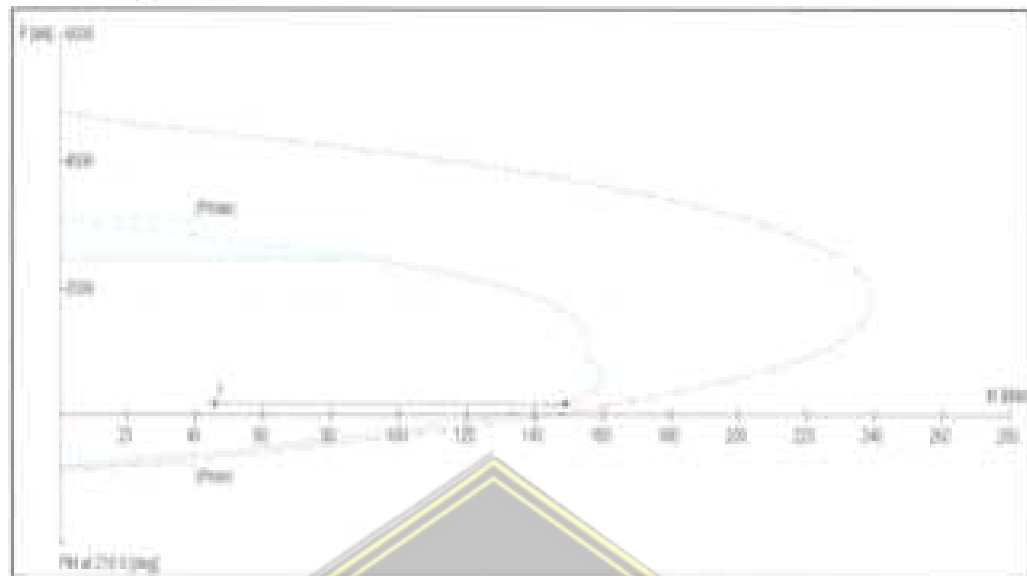
Oke

d. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.15. Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)

c. Diagram Interaksi



Gambar 4.16. Diagram Interaksi Kolom Optimalisasi Perulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)

f. Evaluasi Persyaratan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Untuk Gaya aksial $P_u = 334 \text{ kN}$; $M_u = 316 \text{ kN.m}$,

$\phi = 0,90$ (P_u kecil); $M_{nk} = 384 / 0,9 = 352 \text{ kN.m}$

Balok 300x500

Momen (-) $\phi M_n = 134 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 149 \text{ kN.m}$

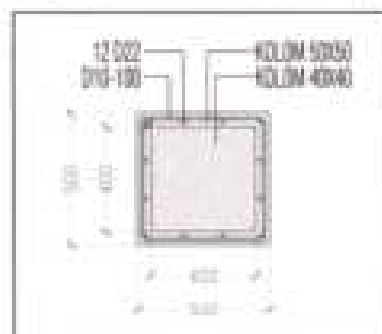
Momen (+) $\phi M_n = 91 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 101 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nk} = 2 \times 352 \text{ kN.m} = 704 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nb} = 149 + 101 = 250 \text{ kN.m}$

Cek SCWB : $\Sigma M_{nk} / \Sigma M_{nb} = 704 / 250 = 2,82 > 1,2$

Oke



Gambar 4.17. Detail Kolom Optimalisasi Perulangan Tipe 1 (400x400, 16D13)

g. Sketsa Kolom

Dimensi:	: 400×400
Senggang Tumpuan	: 6 / 6 D10-75
Senggang Lapangan	: 6 / 6 D10-75

2. Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)

a. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$.
Selimut beton bersih digurakan sebesar 40 mm.

b. Properti Material

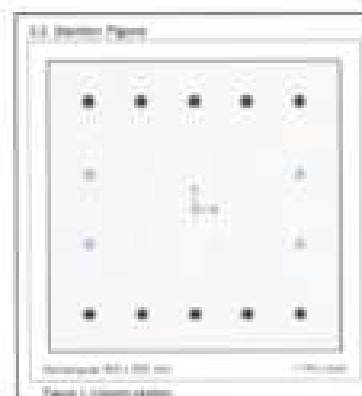
Material	Section
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 160000 \text{ mm}^2$
$E_c = 25310,3 \text{ MPa}$	$I_x = 2133330000 \text{ mm}^4$
$f_c = 24,65 \text{ MPa}$	$I_y = 2133330000 \text{ mm}^4$
$B1 = 0,839792$	$X_o = 0 \text{ mm}$
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_o = 0 \text{ mm}$
$E_s = 200000 \text{ MPa}$	

c. Pengecekan Syarat Geometri

Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)
 $b \geq 300$
 $400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$

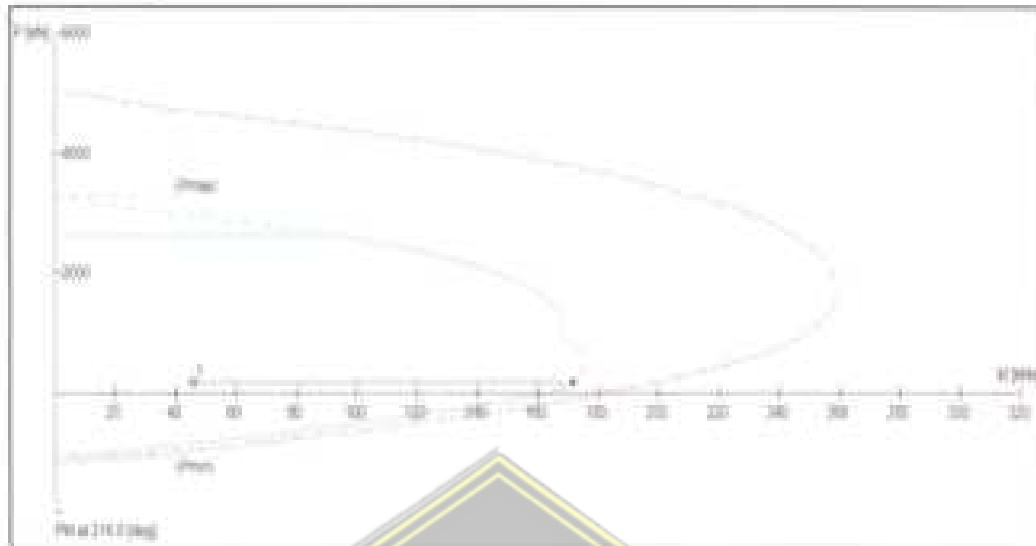
Oke

d. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.18. Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)

c. Diagram Interaksi



Gambar 4.19. Diagram Interaksi Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)

f. Evaluasi Persyaratan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Untuk Gaya aksial $P_u = 218 \text{ kN}$, $M_u = 168 \text{ kN.m}$

$\phi = 0,90$ (P_u kecil); $M_{nk} = 384 / 0,9 = 352 \text{ kN.m}$

Balok 300x500

Momen (-) $\phi M_n = 134 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 149 \text{ kN.m}$

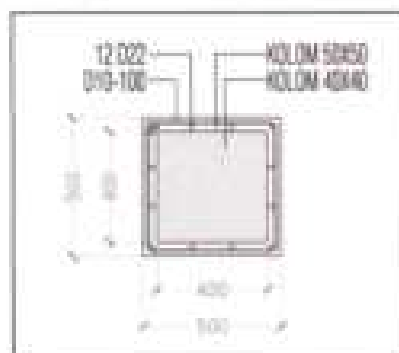
Momen (+) $\phi M_n = 91 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 101 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nk} = 2 \times 186,66 \text{ kN.m} = 373,33 \text{ kN.m}$

$\Sigma M_{nb} = 149 + 101 = 250 \text{ kN.m}$

Cek SCWB : $\Sigma M_{nk} / \Sigma M_{nb} = 373,33 / 250 = 1,49 > 1,2$

Oke



Gambar 4.20. Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 2 (400x400, 14D16)

g. Sketsa Kolom

Dimensi	: 400 x 400
Sengkang Tumpuan	: 6 / 6 D10-80
Sengkang Lapangan	: 6 / 6 D10-80

3. Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)

a. Dimensi Kolom

Kolom memiliki penampang persegi dengan ukuran 400 mm x 400 mm.
Selimut beton bersih digunakan sebesar 40 mm.

b. Properti Material

Material	Section
$f'_c = 29,1 \text{ MPa}$	$A_g = 160000 \text{ mm}^2$
$E_c = 25310,3 \text{ MPa}$	$I_x = 2133330000 \text{ mm}^4$
$f_c = 24,65 \text{ MPa}$	$I_y = 2133330000 \text{ mm}^4$
$B1 = 0,839702$	$X_p = 0 \text{ mm}$
$f_y = 420 \text{ MPa}$	$Y_p = 0 \text{ mm}$
$E_s = 200000 \text{ MPa}$	

c. Pengecekan Syarat Geometri

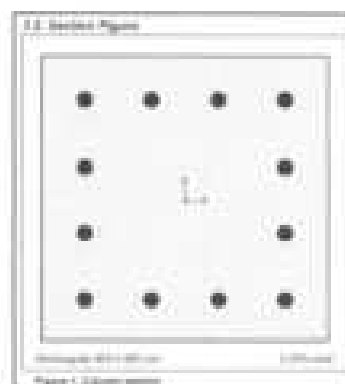
Syarat Sisi Pendek (SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300$$

$$400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

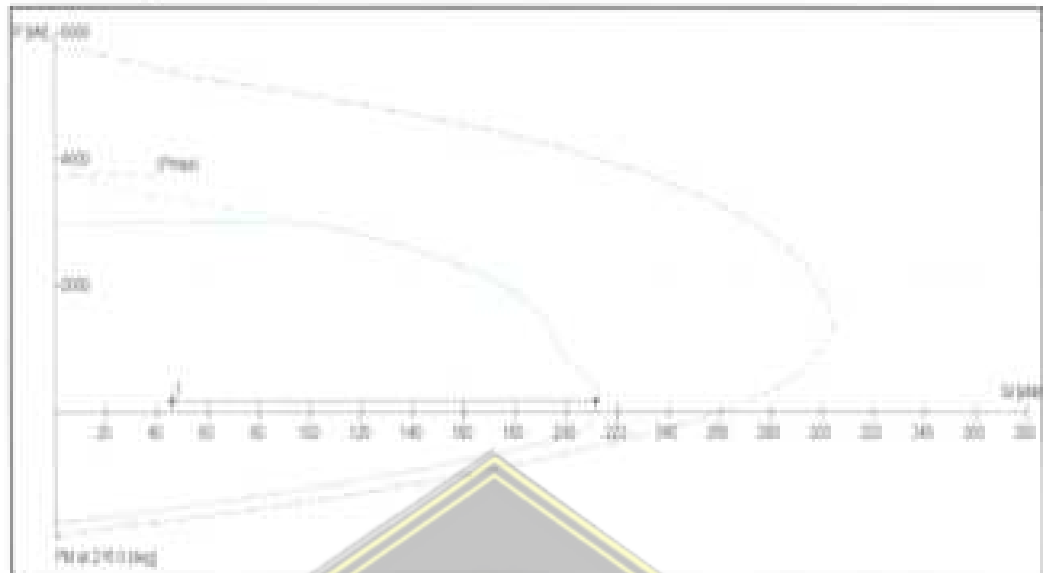
Oke

d. Desain Aksial-Lentur



Gambar 4.21. Detail Kolom Optimalisasi Penulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)

e. Diagram Interaksi



Gambar 4.22. Diagram Interaksi Kolom Optimalisasi Perulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)

f. Evaluasi Persyaratan Kolom Lebih Kuat dari Balok (*Strong Column Weak Beam / SCWB*)

Untuk Gaya aksial $P_u = 518 \text{ kN}$; $M_u = 225 \text{ kN.m}$

$\phi = 0,90$ (P_u kecil); $M_{nk} = 225 / 0,9 = 247,77 \text{ kN.m}$

Balok 300x500

Momen (-) $\phi M_n = 134 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(-) = 149 \text{ kN.m}$

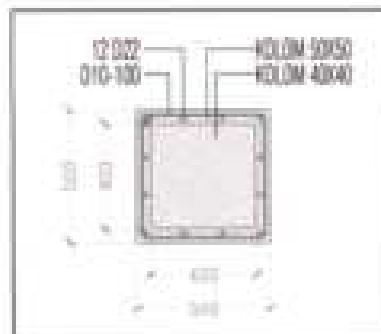
Momen (+) $\phi M_n = 91 \text{ kN.m}$; $M_{nb}(+) = 101 \text{ kN.m}$

$\sum M_{nk} = 2 \times 247,77 \text{ kN.m} = 495,54 \text{ kN.m}$

$\sum M_{nb} = 149 + 101 = 250 \text{ kN.m}$

Cek SCWB : $\sum M_{nk} / \sum M_{nb} = 495,54 / 250 = 1,98 > 1,2$

Oke



Gambar 4.23. Detail Kolom Optimalisasi Perulangan Tipe 3 (400x400, 12D22)

g. Sketsa Kolom

Dimensi	: 400 × 400
Senggang Tumpuan	: 6 / 6 D10-100
Senggang Lapangan	: 6 / 6 D10-100

4.2.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Struktur Kolom Sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019

Berikut merupakan rekapitulasi dari analisis struktur kolom dengan perkuatan menggunakan jaket beton yang sudah sesuai dengan

Tabel 4.4. Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Kolom Perkuatan

No	Uraian	Hasil Pengecekan
1	Persyaratan geometri	Telah memenuhi ketentuan yang berlaku
2	Ratio tulangan lentur	Dinyatakan sesuai dengan standar yang ditetapkan
3	Kapasitas aksial dan lentur	Telah diverifikasi dan memenuhi syarat perencanaan
4	Ketentuan kolom kuat – balok lemah	Telah dipenuhi sesuai prinsip desain struktur tahan gempa
5	Kapasitas geser pada bagian tumpuan	Sudah sesuai dengan perhitungan yang dipersyaratkan
6	Kapasitas geser pada bagian lapangan	Dinyatakan memenuhi kriteria desain
7	Penulangan sengkang pada bagian tumpuan	Sesuai dengan standar perencanaan
8	Penulangan sengkang pada bagian lapangan	Dinyatakan sesuai aturan teknis
9	Jarak antar sengkang pada bagian tumpuan	Memenuhi ketentuan minimal dan maksimal
10	Jarak sengkang pada bagian lapangan	Dinyatakan sesuai dengan persyaratan desain
11	Jarak antar kaki sengkang	Telah memenuhi ketentuan penempatan tulangan yang diizinkan
12	Jumlah tulangan longitudinal yang terkekang	Sesuai dengan kebutuhan perencanaan struktur

Berikut merupakan rekapitulasi dari analisis struktur kolom dengan kekuatan mengguatkan jaket beton yang sudah sesuai dengan

Tabel 4.5. Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Kolom Optimalisasi

No	Uraian	Hasil Pengecekan
1	Persyaratan geometri	Telah memenuhi ketentuan yang berlaku
2	Rasio tulangan lentur	Dinyatakan sesuai dengan standar yang ditetapkan
3	Kapasitas aksial dan lentur	Telah diverifikasi dan memenuhi syarat perencanaan
4	Ketentuan kolom kuat – balok lemah	Telah dipenuhi sesuai prinsip desain struktur tahan gempa
5	Kapasitas geser pada bagian tumpuan	Sudah sesuai dengan perhitungan yang dipersyaratkan
6	Kapasitas geser pada bagian lapangan	Dinyatakan memenuhi kriteria desain
7	Penulangan sengkang pada bagian tumpuan	Sesuai dengan standar perencanaan
8	Penulangan sengkang pada bagian lapangan	Dinyatakan sesuai aturan teknis
9	Jarak antar sengkang pada bagian tumpuan	Memenuhi ketentuan minimal dan maksimal
10	Jarak sengkang pada bagian lapangan	Dinyatakan sesuai dengan persyaratan desain
11	Jarak antar kaki sengkang	Telah memenuhi ketentuan penempatan tulangan yang diizinkan
12	Jumlah tulangan longitudinal yang terkekang	Sesuai dengan kebutuhan perencanaan struktur

Berikut ini merupakan tabel hasil rekapitulasi perhitungan struktur kolom eksisting dan rencana optimalisasi :

Tabel 4.6. Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Keseluruhan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
1	Tipe Kolom Eksisting			

No	Tipe Kolom	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
a	4D22 dan 8D16 D10-100	400x400	fc 29 Mpa	Penulangan sengkang pada bagian tumpuan tidak sesuai syarat
2	Tipe Kolom Perkuatan dengan Jaket Beton			
a	16D13 D10-75	500x500	fc 29 Mpa	Kolom memenuhi syarat
b	12D19 D10-80	450x450	fc 29 Mpa	Kolom memenuhi syarat
c	12D22 D10-100	500x500	fc 29 Mpa	Kolom memenuhi syarat
3	Tipe Kolom Optimalisasi			
a	16D13 D10-75	400x400	fc 29 Mpa	Kolom memenuhi syarat
b	14D16 D10-80	400x400	fc 29 Mpa	Kolom memenuhi syarat
c	12D22 D10-100	400x400	fc 29 Mpa	Kolom memenuhi syarat

4.3 Tahap Analisis Volume Kolom

Analisis biaya dari hasil perhitungan evaluasi dan optimalisasi pada perhitungan struktur kolom dapat dihitung volume pekerjaan beton, pembesian dan bekisting. Khusus untuk pekerjaan beton di perkuatan pada kolom dihitung hanya volume jaket beton saja dan tidak menghitung keseluruhan dimensi kolom dikarenakan jaket kolom merupakan perkuatan struktur kolom eksisting. Adapun hasil perhitungan pekerjaan beton, pembesian dan bekisting sebagai berikut :

Tabel 4.7. Tabel Rekapitulasi Hasil Perhitungan Volume

No	Tipe Kolom	Volume Beton	Volume Besi	Volume Bekisting
1	Tipe Kolom Eksisting			
a	Kolom 1 tengah Berjumlah 18	29,38 m ³	9,585,39 kg	293,76 m ²
b	Kolom 1 tepi Berjumlah 48	29,38 m ³	25,561,04 kg	783,36 m ²

No	Tipe Kolom	Volume Beton	Volume Besi	Volume Bekisting
2	Tipe Kolom Perkuatan dengan Jaket Beton			
a	16D13 D10-75	16,52 m ³	8131,28 kg	359,04 m ²
b	12D19 D10-80	16,52 m ³	9.653,39 kg	359,04 m ²
c	12D22 D10-100	16,52 m ³	10.372,67 kg	359,04 m ²
3	Tipe Kolom Optimalisasi			
a	16D13 D10-75	78,34 m ³	21.683,40 kg	783,36 m ²
b	14D16 D10-80	78,34 m ³	23.470,62 kg	783,36 m ²
c	12D22 D10-100	78,34 m ³	27.660,44 kg	783,36 m ²

Dari hasil perhitungan struktur dan volume kolom pada Analisa sebelumnya terdapat beberapa variasi kolom, untuk memudahkan dalam perhitungan dan perbandingan biaya maka penulis membuat penamaan atau kode untuk membedakan dari tipe kolom tersebut.

Tabel 4.8. Tabel Penamaan Jenis Kolom

No	Volume Beton	Kode	Jumlah Kolom
1	Kolom eksisting tengah	KE-T	18 kolom di lantai 1 dan lantai 2
2	Kolom eksisting samping	KE-S	48 kolom di lantai 1 dan lantai 2
3	Kolom perkuatan 1	KP-1	18 kolom di lantai 1 dan lantai 2
4	Kolom perkuatan 2	KP-2	18 kolom di lantai 1 dan lantai 2
5	Kolom perkuatan 3	KP-3	18 kolom di lantai 1 dan lantai 2
6	Kolom optimalisasi 1	KO-1	48 kolom di lantai 1 dan lantai 2
7	Kolom optimalisasi 2	KO-2	48 kolom di lantai 1 dan lantai 2
8	Kolom optimalisasi 3	KO-3	48 kolom di lantai 1 dan lantai 2

Dari data di atas dapat dilihat dari diagram untuk perbandingan volume beton, volume besi dan volume bekisting. Adapun untuk diagram volume beton sebagai berikut :



Gambar 4.24 Diagram perbandingan volume beton kolom perkuatan



Gambar 4.25 Diagram perbandingan volume beton kolom optimalisasi

Adapun untuk diagram volume besi sebagai berikut :



Gambar 4.26 Diagram perbandingan volume besi kolom perkuatan



Gambar 4.27 Diagram perbandingan volume besi kolom optimalisasi

Adapun untuk diagram volume besi sebagai berikut :



Gambar 4.28 Diagram perbandingan volume bekisting kolom perkuatan



Gambar 4.29 Diagram perbandingan volume bekisting kolom optimalisasi

Dari perhitungan volume di atas (kolom perkuatan dengan jaket kolom dan oprimalisasi kolom) dapat disimpulkan yang bahwa pada Kolom KP-1 yang memiliki volume terkecil di item pekerjaan besi pada kolom perkuatan dengan

jaket beton dan Kolom KO-1 yang memiliki volume terkecil di item pekerjaan besi pada kolom optimalisasi.

4.4 Tahap Analisis Biaya Pekerjaan Kolom

Analisis biaya pekerjaan merupakan tahapan penting yang harus dilakukan sebelum melaksanakan sebuah proyek konstruksi. Langkah ini berguna untuk mendapatkan rincian biaya yang dibutuhkan, sehingga perencanaan anggaran dapat disusun lebih matang, realistic, dan dapat dipertanggungjawabkan. Dalam proses analisis biaya pekerjaan, dihitung segala aspek yang terkait, mulai dari satuan pekerjaan, volume, upah tenaga kerja, material, peralatan, hingga biaya overhead dan laba. Adapun harga satuan yang dipakai sesuai pada website dari Dinas BMCK Provinsi Jawa Tengah yaitu <https://maxpetruk.dpuibinmaricipka.jatengprov.go.id/>. Untuk harga satuan sesuai dengan Kota Salatiga, berikut lampiran dari harga satuan tersebut:

Tabel 4.8. Harga Satuan Pekerjaan Besi



URUTAN – HARGA SATUAN PEKERJAAN BESI		URUTAN – HARGA SATUAN PEKERJAAN BESI	
URUTAN – HARGA SATUAN PEKERJAAN BESI		URUTAN – HARGA SATUAN PEKERJAAN BESI	
1	Penyediaan	11	11
2	Penyediaan	12	12
3	Penyediaan	13	13
4	Penyediaan	14	14
5	Penyediaan	15	15
6	Penyediaan	16	16
7	Penyediaan	17	17
8	Penyediaan	18	18
9	Penyediaan	19	19
10	Penyediaan	20	20
11	Penyediaan	21	21
12	Penyediaan	22	22
13	Penyediaan	23	23
14	Penyediaan	24	24
15	Penyediaan	25	25
16	Penyediaan	26	26
17	Penyediaan	27	27
18	Penyediaan	28	28
19	Penyediaan	29	29
20	Penyediaan	30	30
21	Penyediaan	31	31
22	Penyediaan	32	32
23	Penyediaan	33	33
24	Penyediaan	34	34
25	Penyediaan	35	35
26	Penyediaan	36	36
27	Penyediaan	37	37
28	Penyediaan	38	38
29	Penyediaan	39	39
30	Penyediaan	40	40
31	Penyediaan	41	41
32	Penyediaan	42	42
33	Penyediaan	43	43
34	Penyediaan	44	44
35	Penyediaan	45	45
36	Penyediaan	46	46
37	Penyediaan	47	47
38	Penyediaan	48	48
39	Penyediaan	49	49
40	Penyediaan	50	50
41	Penyediaan	51	51
42	Penyediaan	52	52
43	Penyediaan	53	53
44	Penyediaan	54	54
45	Penyediaan	55	55
46	Penyediaan	56	56
47	Penyediaan	57	57
48	Penyediaan	58	58
49	Penyediaan	59	59
50	Penyediaan	60	60
51	Penyediaan	61	61
52	Penyediaan	62	62
53	Penyediaan	63	63
54	Penyediaan	64	64
55	Penyediaan	65	65
56	Penyediaan	66	66
57	Penyediaan	67	67
58	Penyediaan	68	68
59	Penyediaan	69	69
60	Penyediaan	70	70
61	Penyediaan	71	71
62	Penyediaan	72	72
63	Penyediaan	73	73
64	Penyediaan	74	74
65	Penyediaan	75	75
66	Penyediaan	76	76
67	Penyediaan	77	77
68	Penyediaan	78	78
69	Penyediaan	79	79
70	Penyediaan	80	80
71	Penyediaan	81	81
72	Penyediaan	82	82
73	Penyediaan	83	83
74	Penyediaan	84	84
75	Penyediaan	85	85
76	Penyediaan	86	86
77	Penyediaan	87	87
78	Penyediaan	88	88
79	Penyediaan	89	89
80	Penyediaan	90	90
81	Penyediaan	91	91
82	Penyediaan	92	92
83	Penyediaan	93	93
84	Penyediaan	94	94
85	Penyediaan	95	95
86	Penyediaan	96	96
87	Penyediaan	97	97
88	Penyediaan	98	98
89	Penyediaan	99	99
90	Penyediaan	100	100

Sumber : <https://maxpetruk.dpuibinmaricipka.jatengprov.go.id/>

Tabel 4.10. Harga Satuan Pekerjaan Beton

4.4.10 - HARGA SATUAN PEKERJAAN BETON

4.4.10.1 (Rata) - Perhitungan 1 m³ beton ready-mix sedang f'c = 30 MPa, W/C = 0,455 sesuai SNI 03-3473-2013

No	Uraian	Satuan	Jumlah	Subtotal	Harga satuan RAB	Jumlah Harga RAB
1	1	2	3	4	5	6
A. Bangunan						
1	Beton	m ³	1,00	1,00	14,000	14,000
2	Corong beton	m ³	1,00	1,00	18,000	18,000
3	Corong beton	m ³	1,00	1,00	18,000	18,000
4	Corong beton	m ³	1,00	1,00	18,000	18,000
Jumlah Harga Bangunan						68,000
B. Bahan						
1	Batu split (2-4 cm)	kg	100	100	200	20,000
2	Sel	kg	100	100	40	4,000
3	Wadah beton	kg	100	100	200	20,000
4	Batu split (2-4 cm)	kg	100	100	200	20,000
Jumlah Harga Bahan						64,000
C. Perbaikan						
1	Batu split (2-4 cm)	kg	100	100	200	20,000
Jumlah Harga Perbaikan						20,000
Jumlah Harga Bangunan, Bahan dan Perbaikan (RAB)						152,000
Jumlah Harga Bangunan (RAB)						68,000
Jumlah Harga Bahan (RAB)						64,000
Jumlah Harga Perbaikan (RAB)						20,000

Sumber : <https://maspetruk.dpuhinmarcipka.jatengprov.go.id/>

Tabel 4.11. Harga Satuan Pekerjaan Bekisting

Analisa Harga Satuan Pekerjaan

4.4.11 - HARGA SATUAN PEKERJAAN BEKISTING

4.4.11.1 - Perhitungan 1 m² bekisting untuk beton f'c = 30 MPa

No	Uraian	Satuan	Jumlah	Subtotal	Harga satuan RAB	Jumlah Harga RAB
1	1	2	3	4	5	6
A. Bangunan						
1	Bekisting	m ²	1,00	1,00	14,000	14,000
2	Corong beton	m ³	1,00	1,00	18,000	18,000
3	Corong beton	m ³	1,00	1,00	18,000	18,000
Jumlah Harga Bangunan						50,000
B. Bahan						
1	Batu split (2-4 cm)	kg	100	100	200	20,000
2	Sel	kg	100	100	40	4,000
3	Wadah beton	kg	100	100	200	20,000
4	Batu split (2-4 cm)	kg	100	100	200	20,000
Jumlah Harga Bahan						64,000
C. Perbaikan						
1	Batu split (2-4 cm)	kg	100	100	200	20,000
Jumlah Harga Perbaikan						20,000
Jumlah Harga Bangunan, Bahan dan Perbaikan (RAB)						134,000
Jumlah Harga Bangunan (RAB)						50,000
Jumlah Harga Bahan (RAB)						64,000
Jumlah Harga Perbaikan (RAB)						20,000

Sumber : <https://maspetruk.dpuhinmarcipka.jatengprov.go.id/>

Dari harga satuan yang di ambil dari website Dinas BMCK Provinsi Jawa Tengah <https://maspetruk.dpubinmarcipka.jatengprov.go.id/> dapat dimasukkan pada item pekerjaan Beton, Besi dan Bekisting untuk mengetahui jumlah biaya yang dikeluarkan.

Adapun hasil perhitungan item pekerjaan beton sebagai berikut:

Tabel 4.12. Harga Pekerjaan Beton

Tipe Kolom	Volume Beton (m ³)	Harga Satuan (Rp)	Biaya Beton (Rp)
KE-T	29,38	1.300.322	38.198.250
KE-S	78,34	1.300.322	101.862.024
KP-1	16,52	1.300.322	21.486.521
KP-2	16,52	1.300.322	21.486.521
KP-3	16,52	1.300.322	21.486.521
KO-1	78,34	1.300.322	101.862.024
KO-2	78,34	1.300.322	101.862.024
KO-3	78,34	1.300.322	101.862.024

Adapun hasil perhitungan item pekerjaan besi sebagai berikut:

Tabel 4.13. Harga Pekerjaan Besi

Tipe Kolom	Volume Besi (kg)	Harga Satuan (Rp)	Biaya Besi (Rp)
KE-T	6.383,39	20.639	134.090.004
KE-S	25.561,04	20.639	527.573.344
KP-1	9.653,39	20.639	199.178.451
KP-2	9.653,39	20.639	199.178.451
KP-3	10.372,67	20.639	214.103.219
KO-1	21.683,40	20.639	447.329.150
KO-2	23.470,62	20.639	484.330.470
KO-3	27.660,44	20.639	570.941.918

Dari tabel biaya pekerjaan besi di atas bisa disimpulkan bahwa pekerjaan pada perkuatan kolom pada tipe Kolom KP-1 memiliki biaya yang lebih sedikit dibandingkan dengan rencana perkuatan kolom lainnya. Sementara itu, untuk

optimalisasi kolom didapatkan pada Kolom KO-1 memiliki biaya yang lebih sedikit dan efisien dari 2 tipe yang lainnya.

Adapun hasil perhitungan item pekerjaan besi sebagai berikut:

Tabel 4.14. Harga Pekerjaan Bekisting

Tipe Kolom	Volume Bekisting (m ²)	Harga Satuan (Rp)	Biaya Bekisting (Rp)
KE-T	293,76	215.569	63.325.549
KE-S	783,36	215.569	168.868.132
KP-1	359,04	215.569	77.397.894
KP-2	359,04	215.569	77.397.894
KP-3	359,04	215.569	77.397.894
KO-1	783,36	215.569	168.868.132
KO-2	783,36	215.569	168.868.132
KO-3	783,36	215.569	168.868.132

Dari biaya pekerjaan di atas dapat dijumlahkan dalam tabel rekapitulasi total biaya beton, biaya besi dan biaya bekisting. Adapun tabel tersebut seperti dibawah ini :

Tabel 4.15. Rekapitulasi Total Biaya Beton, Besi dan Bekisting

Tipe Kolom	Biaya Beton (Rp)	Biaya Besi (Rp)	Biaya Bekisting (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
KE-T	38.198.259	134.090.004	63.325.549	235.613.812
KE-S	101.862.024	357.573.344	168.868.132	628.303.500
KP-1	21.486.521	113.748.431	77.397.894	212.632.846
KP-2	21.486.521	135.041.211	77.397.894	233.925.626
KP-3	21.486.521	145.103.219	77.397.894	243.987.634
KO-1	101.862.024	303.329.150	168.868.132	574.059.306
KO-2	101.862.024	328.330.470	168.868.132	599.060.626
KO-3	101.862.024	386.941.918	168.868.132	657.672.074

Dari tabel rekapitulasi total biaya beton, besi dan bekisting di atas bisa disimpulkan bahwa pekerjaan pada perkuatan kolom pada tipe Kolom KP-1

memiliki biaya yang lebih sedikit dibandingkan dengan rencana perkuatan kolom lainnya. Sementara itu, untuk optimalisasi kolom didapatkan pada **Kolom KO-1** memiliki biaya yang lebih sedikit dan efisien dari 2 tipe yang lainnya.

Untuk perbandingan biaya dalam persentase dapat dibuat pada tabel di bawah ini dengan perbandingan pada hasil pengurangan Kolom Perkuatan dengan Kolom Eksisting dibagi dengan Kolom Eksisting dan dikalikan 100%. Berikut hasil perhitungannya:

Tabel 4.16. Tabel Perbandingan Biaya Besi

Tipe Kolom	Jumlah Biaya (Rp)	Pengurangan Dengan Kolom Eksisting (Rp)	Persentase
KE-T	134.090.004	0	0%
KE-S	357.573.344	0	0%
KP-1	135.748.431	20.341.573	+15%
KP-2	135.041.211	951.207	1%
KP-3	145.103.219	11.013.215	8%
KO-1	302.029.150	54.244.194	+18%
KO-2	328.330.470	29.242.874	-9%
KO-3	386.941.918	29.368.574	-8%

Dari tabel perbandingan biaya pekerjaan besi di atas berikut penjelasannya secara detailnya:

1. Kolom KP-1 untuk kolom perkuatan pada pekerjaan besi merupakan kolom dengan jumlah **harga terendah** dengan selisih nilai sebesar **Rp 20.341.573** dengan persentase **15%**.
2. Kolom KO-1 untuk optimalisasi pada pekerjaan besi merupakan kolom dengan jumlah **harga terendah** dengan selisih nilai sebesar **Rp 54.244.194** dengan persentase **15%**.

Tabel 4.17. Tabel Perbandingan Biaya Total

Tipe Kolom	Jumlah Biaya (Rp)	Pengurangan Dengan Kolom Eksisting (Rp)	Persentase
KE-T	235.613.812	0	0%

Tipe Kolom	Jumlah Biaya (Rp)	Pengurangan Dengan Kolom Eksisting (Rp)	Persentase
KE-S	628.303.500	0	0%
KP-1	212.632.646	- 22.980.967	-10%
KP-2	233.925.626	- 1.688.187	-1%
KP-3	243.987.634	8.373.821	4%
KO-1	574.059.306	- 54.244.194	-9%
KO-2	599.060.626	- 29.242.874	-5%
KO-3	657.672.074	29.368.574	5%

Dari tabel perbandingan biaya pekerjaan besi di atas berikut penjelasannya secara detailnya :

1. Kolom KP-1 untuk kolom kekuatan pada semua biaya pekerjaan merupakan kolom dengan jumlah harga terendah dengan selisih nilai sebesar Rp 22.980.967 dengan persentase 10%.
2. Kolom KO-1 untuk optimisasi pada semua biaya pekerjaan merupakan kolom dengan jumlah harga terendah dengan selisih nilai sebesar Rp 54.244.194 dengan persentase 9%.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun penelitian Studi Evaluasi Dimensi dan Penulangan Kolom Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Salatiga menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis struktur pada kolom eksisting bahwa kolom tersebut belum memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.
2. Hasil perhitungan struktur kolom sebagai perkuatan pada kolom eksisting terdapat 2 alternatif yaitu:
 - a. Perkuatan kolom eksisting dibagian tengah dengan metode jaket beton dengan tebal 50 mm. Dengan hasil kriteria kolom KP-1 dengan tulangan 16D13 dapat digunakan.
 - b. Optimalisasi pada Kolom Tepi pada Lantai 1 dan lantai 2 untuk dapat dipergunakan pada desain bangunan gedung yang memiliki kriteria yang sama. Dengan hasil kriteria kolom KO-1 dengan tulangan 16D13 dapat digunakan.
3. Kolom KP-1 pada perkuatan dengan jaket beton pada semua pekerjaan sebesar Rp 22.980.967 dengan persentase 10% dan khusus pekerjaan besi pada kolom yang sama menghemat biaya dengan selisih nilai sebesar Rp 20.341.573 dengan persentase 15%. Kolom KO-1 pada perkuatan dengan jaket beton pada semua pekerjaan sebesar Rp 54.244.194 dengan persentase 9% dan khusus pekerjaan besi pada kolom yang sama menghemat biaya dengan selisih nilai sebesar Rp 54.244.194 dengan persentase 15%.

5.2 Saran

Adapun dari penelitian Studi Evaluasi Dimensi dan Penulangan Kolom Bangunan Gedung Terminal Tipe A di Salatiga menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kedepannya pada bangunan yang tipikal perlu dilakukan perbaikan pada penulangan sengkang khususnya di daerah tumpuan kolom eksisting yang

belum memenuhi ketentuan jarak dan detailing sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Langkah ini penting untuk memastikan ketahanan geser dan daktilitas kolom tetap terjamin, terutama pada area yang mengalami gaya konsentrasi tinggi.

2. Metode perkuatan menggunakan jaket beton dengan ketebalan 50 mm dapat dijadikan solusi efektif untuk kolom tengah lantai 1 dan lantai 2. Desain dengan tulangan 16D13 terbukti memenuhi persyaratan kekuatan dan lebih ekonomis dibandingkan mengganti kolom secara penuh, sehingga direkomendasikan sebagai opsi perkuatan utama. Hasil analisis biaya menunjukkan penghematan 9% pada semua pekerjaan kolom dan 15% khusus pekerjaan besi.
3. Optimalisasi desain kolom tepi dengan penggunaan konfigurasi tulangan yang seragam (16D13) memberikan efisiensi biaya konstruksi yang signifikan. Oleh karena itu, pendekatan optimalisasi ini disarankan diterapkan pada kolom dengan kondisi serupa untuk mengurangi biaya material dan pekerjaan tanpa mengurangi standar keamanan. Hasil analisis biaya menunjukkan penghematan 8% pada kolom tengah dan 15% khusus pekerjaan besi.



DAFTAR PUSTAKA

- Azhari, A., dan Lubis, F. (2021). Kegagalan Struktur pada Elemen Kolom: Studi Kasus dan Analisis. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 5(1), 18-26.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 - Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta: BSN.
- Gunawan, D., & Susahman, A. (2021). Studi Pengaruh Penetapan Beban Hidup terhadap Kinerja Struktur Gedung. *Jurnal Konstruksi Indonesia*, 14(2), 101-109.
- Kusuma, A. dan Wibowo, A. (2017). "Evaluasi Desain Kolom terhadap Ketahanan Struktur pada Bangunan di Zona Seismik Tinggi." *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 115-124.
- Mulyana, A., & Suranto, H. (2018). Analisis Kegagalan Struktur pada Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 20(1), 55-64.
- Nugroho, R. H., Santosa, B., dan Jastari, N. (2019). Analisis Evaluasi Struktur Kolom Beton Bertulang Menggunakan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 21(3), 77-85.
- Prakoso, Y., Handoko, D., dan Setiawan, R. (2021). "Korelasi Antara Klasifikasi Kolom dan Kinerja Struktur Gedung Bertingkat." *Jurnal Konstruksi Indonesia*, 8(1), 45-53.
- Setiawan, A., Pramudyo, S., dan Wibowo, Y. (2020). Evaluasi Kinerja Struktur pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan Analisis Pushover. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 9(2), 45-53.

- Surya, B., dan Rachmat, T. (2020). Pengaruh Jarak Senggang terhadap Kapasitas Geser Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Struktur dan Konstruksi*, 8(2), 89–96.
- Susilo, H., dan Aryanto, B. (2021). Strategi Reduksi Beban Mati untuk Meningkatkan Kinerja Struktur terhadap Beban Gempa. *Jurnal Rekayasa Struktur dan Konstruksi*, 9(2), 81–89.
- Tavio dan Budiarto, H. (2018). *Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat: Prinsip Dasar dan Aplikasi Praktis*. Surabaya: ITS Press.
- Wiyata, N. F., Daniswara, R. A., Samirin, S., dan Ahyar, M. R. (2020). Perencanaan Struktur Atas Tahan Gempa Hotel Laras Asri Salatiga Berdasarkan SNI 1726-2019. *Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMLU) Klaster Engineering*.
- Wirawan, H., dan Suria, F. (2019). Efektivitas Penerapan SNI dalam Desain Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Bangunan*, 10(1), 45–52.
- Yuliana, D., & Daryanto, R. (2020). Evaluasi Kesalahan Detailing Tulangan pada Struktur Bangunan Gedung. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 123–130.
- Zhang, Y., Wang, Z., & Liu, J. (2020). "Seismic retrofit strategies for existing buildings: A review." *Engineering Structures*, 216, 110752.