

STRUKTUR BANGUNAN

Muhammad Syarif, La Pande Jurumai,
Ade Fitriyanti Ulul Azmi, Ady Purnama,
Retno Mayasari, Arqam Laya



STRUKTUR BANGUNAN

Muhammad Syarif
La Pande Jurumai
Ade Fitriyanti Ulul Azmi
Ady Purnama
Retno Mayasari
Arqam Laya



GET PRESS INDONESIA

STRUKTUR BANGUNAN

Penulis :

Muhammad Syarif
La Pande Jurumai
Ade Fitriyanti Ulul Azmi
Ady Purnama
Retno Mayasari
Arqam Laya

ISBN : 978-634-255-765-5

Editor : Dede Ahsani Aulia, ST.

Desain Sampul dan Tata Letak : Mila Sari, M. Si.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku **Gambar Rekayasa dan Struktur Bangunan** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai referensi pembelajaran bagi mahasiswa, dosen, praktisi, serta masyarakat yang ingin memahami konsep dasar gambar rekayasa, gambar proyeksi, teknik menggambar digital menggunakan AutoCAD, hingga perencanaan elemen-elemen struktur bangunan seperti pondasi, struktur atap, serta beton bertulang. Materi disajikan secara sistematis dengan mengintegrasikan konsep teoritis, standar yang berlaku, dan contoh penerapan, sehingga diharapkan mampu membantu pembaca mengembangkan kompetensi dalam membaca, menyusun, dan menginterpretasikan gambar teknik sebagai dasar perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat sebagai bahan ajar, referensi akademik, serta pedoman praktis bagi pembaca dalam meningkatkan pengetahuan dan keterampilan di bidang gambar rekayasa dan struktur bangunan, serta turut berkontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan dunia konstruksi di Indonesia

Padang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 PENGANTAR GAMBAR REKAYASA DAN STRUKTUR BANGUNAN.....	1
1.1 Pengertian Gambar Rekayasa.....	3
1.2 Jenis dan Fungsi Gambar dalam Proses Bangunan	5
1.3 Prinsip Proyeksi, Denah, Tampak, Potongan, Skala, Dimensi, Simbol, dan Notasi	8
1.4 Pengantar Struktur Bangunan dan Hubungan Gambar Rekayasa Terhadap Struktur Bangunan	11
1.5 Elemen Dasar dalam Gambar Struktur	15
1.6 Standar, Keselamatan, dan Tanggung Jawab Teknis	16
1.7 Keterampilan Dasar Membaca Gambar Struktur.....	18
1.8 Kesalahan Umum dan Cara Menghindarinya	19
1.9 Perkembangan Digital dalam Gambar Rekayasa.....	21
BAB 2 TEORI GAMBAR PROYEKSI DAN ELEMEN STRUKTUR	23
2.1 Teori Gambar Proyeksi	27
2.2 Elemen Struktur.....	54

BAB 3 TEKNIK MENGGAMBAR DIGITAL DENGAN AUTOCAD.....	91
3.1 Memulai AutoCAD 2025	92
3.2 Antarmuka Pengguna AutoCAD 2025.....	93
3.3 Perintah Dasar Menggambar	95
3.4 Perintah Modifikasi Objek	99
3.5 Manajemen Layer	101
3.6 Text dan Dimension	103
3.7 Layout dan Paper Space.....	105
3.8 Plotting dan Cetak Gambar.....	106
3.9 Latihan	108
BAB 4 PERENCANAAN DAN KONSTRUKSI PONDASI DANGKAL.....	109
4.1 Pengertian Pondasi Dangkal	109
4.2 Klasifikasi dan Jenis-Jenis Pondasi Dangkal	110
4.3 Prosedur Perencanaan Pondasi Dangkal	113
4.4 Analisis Penurunan Pondasi Dangkal	119
4.5 Konstruksi Pondasi Dangkal	120
4.6 Kontrol Kualitas dan Faktor Keamanan	124
4.7 Standar dan Peraturan yang Berlaku	128
BAB 5 STRUKTUR ATAP DAN PENUTUP ATAP.....	131
5.1 Pengertian Dasar Struktur Atap dan Penutup Atap	133
5.2 Fungsi Atap dan Struktur Atap	136
5.3 Persyaratan Atap yang Baik.....	141
5.4 Sistem Atap Bangunan	145

BAB 6 STRUKTUR BETON BERTULANG II:	
BALOK, KOLOM, DAN PEMBESIAN.....	153
6.1 Material Beton Bertulang.....	155
6.2 Analisis Dan Desain Balok.....	156
6.3 Desain Balok Lentur	163
6.4 Desain Geser Balok	170
6.5 Desain Kolom	171
6.6 Detail Penulangan	180
DAFTAR PUSTAKA.....	185
INDEKS	197
GLOSARIUM	201
BIODATA PENULIS.....	217

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sejarah Perkembangan Konsep Proyeksi di bidang Teknik dan Arsitektur	30
Gambar 2. 2 Jenis Proyeksi Paralel	33
Gambar 2. 3 Jenis Proyeksi Sentral	34
Gambar 2. 4 Proyeksi Paralel dan Proyeksi Sentral.....	39
Gambar 2. 5 Proyeksi Eropa Kuadran I dan proyeksi Amerika Kuadran III	41
Gambar 2.6 Proyeksi Aksonometri (Sudut Proyeksi dan Skala Perpendekan)	43
Gambar 2. 7 Tipe Fondasi Dangkal	63
Gambar 2. 8 Fondasi Dalam, Kelompok Tiang Konvensional.....	64
Gambar 2. 9 Fondasi kombinasi (<i>hybrid foundations</i>)	65
Gambar 2. 10 <i>Sheet-Pile Foundation</i>	66
Gambar 2.11 Kolom-kolom dari makam Dinasti Han ditemukan di Provinsi Sichuan	68
Gambar 2. 12 a) <i>Anthropomorphic T-shaped pillar</i> dan (b,c,d) <i>Topio-anthropomorphic T-shaped pillar</i>	69
Gambar 2. 13 <i>Concrete Filled Steel Tubes</i> (CSFTs)	70
Gambar 2. 14 <i>Dry Brick Construction</i>	72
Gambar 2. 15 A) Balok baja; B) Balok beton bertulang C) Balok komposit; D) Balok kayu rekayasa (<i>glulam beams</i>); E) Balok komposit serat polimer.	75
Gambar 2. 16 Balok T (<i>T-beams</i>).....	76
Gambar 2. 17 Beam Types.....	77
Gambar 2. 18 a) <i>Flat Plate</i> , b) <i>Flat Slab</i> , c) <i>Two-Way Slab</i> , ...	78
Gambar 2. 19 <i>Typical wall arrangements in masonry buildings</i>	82
Gambar 2. 20 <i>Fiber-Reinforced Polymer</i>	83
Gambar 2. 21 <i>Layout of a truss</i>	84
Gambar 2. 22 Rangka baja dan rangka beton	86
Gambar 3. 1 Tampilan Antarmuka Utama AutoCAD 2025	94

Gambar 3. 2 Perintah LINE dengan Koordinat Absolut dan Relatif	96
Gambar 3. 3. Berbagai Metode Perintah CIRCLE dan ARC	98
Gambar 3. 4 Ilustrasi Perintah ERASE, COPY, MOVE, dan ROTATE.....	100
Gambar 3. 5 Tampilan Layer Properties Manager	102
Gambar 3. 6. Ilustrasi Perintah TEXT, MTEXT, dan DIMENSI	104
Gambar 3.7 Tampilan Paper Space dengan Viewport dan Dialog Plot.....	106
Gambar 4. 1 Pondasi Telapak (<i>Spread Footings</i>).....	110
Gambar 4. 2 Pondasi Jalur (<i>Strip Foundations</i>)	111
Gambar 4. 3 Pondasi Gabungan (<i>Combined Footing</i>)	112
Gambar 4. 4 Pondasi Rakit (<i>Mat Foundation</i>)	112
Gambar 4. 5 Pondasi Batu Kali	113
Gambar 5. 1 Struktur Rangka Atap	145
Gambar 5. 2 Macam-Macam Penutup Atap	150
Gambar 5. 3 Macam-Macam Aksesoris Atap	151
Gambar 6. 1 Proses Pembetonan	154
Gambar 6. 2 Tulangan Satu Arah	159
Gambar 6. 3 Tulangan dua Arah.....	161
Gambar 6. 4 Jenis kolom Menurut Sengkang	172
Gambar 6. 5 Hubungan Beban Aksial dan Momen	173
Gambar 6. 6 Hubungan/Interaksi Lentur-Aksial	174
Gambar 6. 7 Selimut Beton (Cover)	183
Gambar 6. 8 Jarak Antar Tulangan	184

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Elemen Struktur	60
Tabel 3.1 Spesifikasi minimum computer untuk bisa AutiCAD.....	92
Tabel 3. 2 Contoh Pengaturan Layer	102
Tabel 4. 1 Batas Penurunan Ijin	126
Tabel 4. 2 Faktor Keamanan.....	127
Tabel 4.3 Penerapan SNI dalam Perencanaan Pondasi Dangkal.....	130

BAB 1

PENGANTAR GAMBAR REKAYASA DAN STRUKTUR BANGUNAN

Gambar rekayasa merupakan bahasa visual yang dipakai untuk menerjemahkan gagasan teknis menjadi informasi yang dapat dibaca, diperiksa, dihitung, dan dilaksanakan di lapangan. Dalam pekerjaan bangunan, gambar tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi bentuk, tetapi juga sebagai dokumen komunikasi antara perencana, pelaksana, pengawas, pemilik pekerjaan, dan pihak lain yang terlibat dalam proses konstruksi. Melalui gambar, ukuran ruang, jenis elemen struktur, hubungan antarbagian, arah gaya, dan urutan pekerjaan dapat dijelaskan secara lebih ringkas dibandingkan uraian verbal yang panjang. Karena itu, kemampuan membaca dan menyusun gambar rekayasa perlu ditempatkan sebagai kemampuan dasar bagi mahasiswa arsitektur, teknik sipil, dan bidang kejuruan bangunan.

Pada tahap awal perancangan, gambar membantu perencana memahami kebutuhan ruang dan kemungkinan bentuk bangunan. Pada tahap teknis, gambar menjadi dasar pengambilan keputusan tentang pondasi, kolom, balok, pelat lantai, rangka atap, tangga, dinding, serta sambungan. Pada tahap pelaksanaan, gambar kerja menjadi acuan pembuatan bekisting, penulangan, pemasangan material, hingga

pemeriksaan mutu pekerjaan. Ching (2020) menekankan bahwa pemahaman konstruksi bangunan perlu menghubungkan unsur bentuk, sistem bahan, dan cara kerja struktur; pandangan ini menunjukkan bahwa gambar bangunan tidak boleh dilepaskan dari logika konstruksi yang mendasarinya.

Di Indonesia, gambar rekayasa dan struktur bangunan juga berhubungan erat dengan standar teknis. SNI 1727:2020 menjelaskan beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, sedangkan SNI 2847:2019 menjadi rujukan penting untuk persyaratan beton struktural pada bangunan gedung. Dengan demikian, gambar struktur bukan sekadar gambar garis, melainkan media yang memuat keputusan teknik berdasarkan beban, kekuatan bahan, dimensi elemen, dan ketentuan keselamatan. Kesalahan kecil dalam gambar dapat berdampak besar pada pemborosan material, keterlambatan pekerjaan, bahkan kegagalan struktur.

Pada bagian ini penulis membahas hubungan antara gambar, struktur, dan konstruksi pada konteks pembelajaran bangunan. Didalam Buku Struktur dan Konstruksi Bangunan Sederhana menempatkan istilah seperti pondasi dangkal, beton bertulang, balok, kolom, pelat lantai, rangka atap baja, dan struktur bangunan sebagai bagian dari kosakata utama konstruksi sederhana (Muhammad Syraif *et al.*, 2024). Sementara itu untuk pendalaman hal yang sama, buku Menggambar atau Rekayasa Struktur tercatat sebagai buku referensi yang ditulis Muhammad Syarif bersama beberapa penulis lain pada tahun 2024, sehingga dapat dipakai sebagai salah satu rujukan mutakhir dalam pembahasan pengantar gambar rekayasa struktur (Syarif *et al.*, 2024).

Uraian pada bab ini memberikan pemahaman dasar mengenai apa yang dimaksud dengan gambar rekayasa, bagaimana gambar tersebut berhubungan dengan struktur bangunan, serta mengapa ketelitian grafis harus disertai pemahaman teknis. Pembahasan dimulai dari definisi, fungsi, jenis gambar, prinsip proyeksi, skala dan ukuran, simbol, hingga hubungan gambar dengan elemen struktur dan standar perencanaan.

Dengan cara ini, pembaca diharapkan tidak hanya mampu melihat gambar sebagai dokumen visual, tetapi juga mampu membaca pesan teknis yang terkandung di dalamnya.

1.1 Pengertian Gambar Rekayasa

Gambar rekayasa adalah representasi grafis yang dibuat menurut aturan tertentu untuk menyampaikan informasi teknis secara jelas dan terukur. Dalam bidang bangunan, gambar rekayasa mencakup gambar arsitektur, gambar struktur, gambar mekanikal-elektrikal-plumbing, gambar detail, gambar kerja, gambar pelaksanaan, dan gambar terbangun. Setiap jenis gambar memiliki tujuan dan tingkat ketelitian yang berbeda. Gambar konsep dapat bersifat eksploratif, sedangkan gambar kerja harus memberikan informasi yang cukup untuk dihitung, dibuat, dipasang, dan diperiksa.

Ciri utama gambar rekayasa adalah ketepatan. Garis pada gambar tidak hanya menunjukkan bentuk, tetapi juga makna teknis. Garis dinding, garis potongan, garis sumbu, garis tersembunyi, garis ukuran, dan garis elevasi memiliki fungsi yang berbeda. Ketika gambar dibuat tanpa standar garis yang konsisten, pembaca dapat salah memahami bagian

yang harus dibangun, bagian yang berada di belakang bidang potong, atau bagian yang hanya bersifat penanda. Oleh sebab itu, disiplin garis, simbol, notasi, dan skala merupakan dasar penting dalam menggambar rekayasa.

Gambar rekayasa juga bersifat koordinatif. Dalam satu proyek, gambar arsitektur harus berhubungan dengan gambar struktur. Posisi kolom pada denah struktur harus sesuai dengan grid dan ruang pada denah arsitektur. Dimensi balok harus diperiksa terhadap tinggi ruang bersih, jalur utilitas, dan posisi bukaan. Pondasi harus menyesuaikan beban dari kolom serta kondisi tanah. Ketidaksesuaian antargambar sering menimbulkan perubahan lapangan yang mahal. Karena itu, gambar rekayasa yang baik bukan hanya rapi, tetapi juga konsisten antarlembar.

Dalam pembelajaran, gambar rekayasa melatih cara berpikir spasial. Mahasiswa belajar membayangkan objek tiga dimensi dari denah, tampak, potongan, dan detail. Denah memperlihatkan susunan horizontal, tampak memperlihatkan wajah bangunan, potongan memperlihatkan hubungan vertikal, sedangkan detail memperlihatkan sambungan atau bagian kecil yang memerlukan penjelasan tambahan. Kemampuan menghubungkan keempat jenis informasi tersebut menjadi dasar untuk memahami struktur bangunan secara menyeluruh.

Gambar rekayasa perlu dibedakan dari gambar artistik. Gambar artistik mengutamakan ekspresi visual, sedangkan gambar rekayasa mengutamakan keterbacaan, ketepatan, dan keterlaksanaan. Estetika tetap penting, terutama dalam presentasi arsitektur, tetapi pada gambar kerja nilai utama terletak pada kemampuan gambar mengarahkan pekerjaan dengan benar. Dengan demikian,

gambar rekayasa adalah bentuk komunikasi profesional yang menuntut tanggung jawab teknis.

1.2 Jenis dan Fungsi Gambar dalam Proses Bangunan

Fungsi pertama gambar adalah sebagai alat perencanaan. Pada tahap ini, gambar membantu perencana menguji hubungan antara kebutuhan ruang, bentuk bangunan, tapak, orientasi, dan sistem struktur. Pilihan struktur dapat memengaruhi bentuk ruang; misalnya, jarak antar kolom menentukan bentang balok dan memengaruhi fleksibilitas ruang. Sebaliknya, kebutuhan ruang yang luas tanpa kolom tengah menuntut sistem struktur yang mampu menahan bentang lebih besar. Gambar membantu perencana melihat konsekuensi pilihan tersebut sejak awal.

Fungsi kedua adalah sebagai alat analisis. Gambar struktur menyajikan informasi posisi elemen, arah beban, dimensi awal, dan hubungan antar komponen. Beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa harus dipertimbangkan dalam desain bangunan sesuai ketentuan SNI 1727:2020. Walaupun perhitungan struktur dilakukan dengan rumus atau perangkat lunak, hasilnya harus diterjemahkan kembali ke dalam gambar agar dapat dipahami oleh pelaksana. Dengan kata lain, gambar menjadi jembatan antara analisis teknik dan tindakan konstruksi.

Fungsi ketiga adalah sebagai alat pelaksanaan. Pelaksana lapangan membaca gambar untuk menentukan titik pekerjaan, dimensi, elevasi, jenis material, dan urutan pemasangan. Contohnya, gambar pondasi menunjukkan ukuran tapak pondasi, kedalaman galian, tebal lantai kerja,

ukuran sloof, serta hubungan pondasi dengan kolom. Gambar balok dan pelat menunjukkan dimensi beton, jumlah tulangan, jarak sengkang, serta panjang penyaluran. Jika informasi tersebut tidak lengkap, pelaksana harus menebak atau meminta klarifikasi, sehingga produktivitas pekerjaan menurun.

Fungsi keempat adalah sebagai alat pengawasan dan pengendalian mutu. Pengawas membandingkan hasil pekerjaan dengan gambar yang disetujui. Pemeriksaan posisi tulangan, ukuran bekisting, dimensi kolom, elevasi lantai, dan kemiringan atap dilakukan berdasarkan gambar. Dalam pekerjaan beton bertulang, SNI 2847:2019 menjadi rujukan penting karena mengatur persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Gambar yang baik seharusnya memungkinkan pengawas memastikan bahwa elemen yang dibangun sesuai dengan persyaratan desain.

Fungsi kelima adalah sebagai dokumen administrasi dan arsip. Gambar dipakai dalam perizinan, kontrak, pelaporan, perubahan pekerjaan, dan pemeliharaan bangunan. Setelah bangunan selesai, gambar terbangun menjadi rujukan untuk renovasi, perbaikan, atau pemeriksaan kerusakan. Tanpa arsip gambar yang memadai, pemilik bangunan akan kesulitan mengetahui jalur struktur, posisi utilitas, atau detail sambungan. Oleh sebab itu, gambar rekayasa memiliki nilai sepanjang siklus hidup bangunan, bukan hanya saat konstruksi berlangsung.

Gambar arsitektur menjelaskan organisasi ruang, bentuk, tampak, sirkulasi, dan elemen non-struktural bangunan. Gambar ini biasanya terdiri atas denah, tampak, potongan, rencana atap, rencana plafon, detail pintu-jendela, dan detail finishing. Denah arsitektur memperlihatkan letak

ruang, dinding, bukaan, tangga, furnitur, serta ukuran utama. Tampak memperlihatkan ekspresi fasad, ketinggian, material luar, dan komposisi bukaan. Potongan memperlihatkan hubungan lantai, tinggi ruang, tangga, atap, dan bagian konstruksi yang tidak terlihat pada denah.

Gambar struktur menjelaskan sistem pemikul beban. Gambar ini mencakup denah pondasi, denah sloof, denah kolom, denah balok, denah pelat, detail penulangan, detail sambungan, serta detail tangga atau atap bila termasuk dalam desain struktur. Pada bangunan sederhana, gambar struktur sering menampilkan pondasi dangkal, sloof, kolom praktis atau kolom struktur, ring balok, pelat lantai, dan rangka atap. Muhamamd Syarif *et al.* (2024) menunjukkan bahwa istilah-istilah seperti beton bertulang, balok induk, pondasi dangkal, sloof, dan rangka atap merupakan bagian penting dalam pemahaman struktur dan konstruksi bangunan sederhana.

Gambar mekanikal, elektrik, dan plambing menjelaskan sistem utilitas bangunan. Gambar ini mencakup jalur pipa air bersih, air kotor, air hujan, instalasi listrik, pencahayaan, tata udara, sistem pemadam kebakaran, dan komunikasi. Walaupun tidak selalu disebut sebagai gambar struktur, gambar utilitas harus dikoordinasikan dengan struktur. Lubang pipa pada balok atau pelat tidak boleh dibuat sembarangan karena dapat mengurangi kapasitas elemen. Karena itu, koordinasi lintas gambar sangat penting dalam mencegah konflik teknis.

Gambar detail menjelaskan bagian yang tidak cukup dipahami melalui denah, tampak, atau potongan umum. Detail dapat berupa sambungan atap, pertemuan dinding dan lantai, detail pondasi, detail tangga, detail kamar mandi, atau detail penulangan. Skala detail biasanya lebih besar, misalnya

1:20, 1:10, atau 1:5, sehingga informasi kecil dapat terlihat jelas. Dalam gambar struktur, detail penulangan sangat penting karena mutu pekerjaan beton bertulang sangat bergantung pada jumlah, diameter, jarak, dan posisi tulangan.

Gambar kerja adalah kumpulan gambar yang siap dipakai untuk pelaksanaan. Gambar ini harus memuat ukuran, simbol, catatan, skala, nomor lembar, revisi, dan keterangan material. Gambar tender dapat berbeda dari gambar kerja karena gambar tender digunakan untuk penawaran biaya, sedangkan gambar kerja digunakan untuk pelaksanaan yang lebih rinci. Pada proyek yang baik, perubahan dari gambar tender ke gambar kerja harus terdokumentasi agar tidak menimbulkan sengketa.

1.3 Prinsip Proyeksi, Denah, Tampak, Potongan, Skala, Dimensi, Simbol, dan Notasi

Prinsip proyeksi merupakan dasar menggambar objek tiga dimensi ke dalam bidang dua dimensi. Dalam gambar bangunan, proyeksi ortogonal paling sering digunakan karena mampu menyajikan ukuran sebenarnya tanpa distorsi perspektif. Denah, tampak, dan potongan adalah bentuk proyeksi ortogonal yang saling melengkapi. Denah diperoleh seolah-olah bangunan dipotong secara horizontal pada ketinggian tertentu, kemudian dilihat dari atas. Tampak diperoleh dengan melihat sisi luar bangunan secara tegak lurus. Potongan diperoleh dengan memotong bangunan secara vertikal untuk melihat susunan bagian dalam.

Denah merupakan gambar yang paling sering dibaca karena memperlihatkan hubungan ruang dan posisi elemen utama. Dalam gambar struktur, denah juga memperlihatkan

posisi grid, kolom, balok, pelat, dan pondasi. Grid menjadi alat koordinasi yang sangat penting. Dengan grid, posisi elemen dapat disebutkan secara sistematis, misalnya kolom K1 berada pada perpotongan grid A-1. Sistem grid mengurangi kerancuan karena setiap elemen memiliki alamat yang jelas. Pada proyek besar, koordinasi grid menjadi dasar penggabungan gambar arsitektur, struktur, dan utilitas.

Tampak memberikan informasi ketinggian, komposisi fasad, dan hubungan bangunan dengan lingkungan sekitar. Dalam konteks struktur, tampak dapat membantu membaca posisi kolom, dinding geser, rangka atap, atau elemen vertikal lain. Walaupun tampak lebih sering diasosiasikan dengan arsitektur, informasi tampak tetap berguna untuk memastikan bahwa sistem struktur tidak mengganggu ekspresi bangunan. Misalnya, letak balok tepi dapat memengaruhi garis fasad dan tinggi bukaan jendela.

Potongan sangat penting untuk memahami hubungan vertikal. Melalui potongan, pembaca dapat melihat tinggi lantai, tebal pelat, tinggi balok, posisi tangga, ruang atap, pondasi, dan elevasi tanah. Banyak kesalahan konstruksi terjadi karena pembaca hanya mengandalkan denah tanpa memeriksa potongan. Padahal, elemen yang terlihat benar pada denah dapat bermasalah pada ketinggian. Contohnya, balok yang terlalu tinggi dapat mengurangi ruang bersih atau bertabrakan dengan jalur utilitas.

Dalam pembelajaran gambar rekayasa, mahasiswa perlu melatih kemampuan berpindah antara denah, tampak, potongan, dan bentuk tiga dimensi. Kemampuan ini disebut kemampuan visual-spasial. Ching (2020) menggunakan ilustrasi sebagai alat utama untuk menjelaskan hubungan sistem bangunan, material, dan konstruksi; pendekatan

tersebut menunjukkan bahwa gambar yang baik membantu pembaca memahami konsep teknis yang kompleks secara lebih mudah.

Skala adalah perbandingan antara ukuran pada gambar dan ukuran sebenarnya. Skala memungkinkan bangunan yang besar digambar pada kertas dengan ukuran terbatas. Skala umum dalam gambar bangunan adalah 1:100 untuk denah umum, 1:50 untuk gambar kerja, 1:20 untuk detail ruang atau elemen, dan 1:10 atau 1:5 untuk sambungan. Pemilihan skala harus mempertimbangkan tingkat informasi yang ingin ditampilkan. Gambar yang terlalu kecil akan sulit dibaca, sedangkan gambar yang terlalu besar dapat boros ruang dan tidak efisien.

Dimensi adalah informasi ukuran yang menentukan besar, jarak, dan posisi elemen. Dalam gambar rekayasa, dimensi harus ditulis secara konsisten dan tidak berlebihan. Dimensi utama biasanya diletakkan di luar denah, sedangkan dimensi bagian kecil dapat diletakkan di dalam. Pada gambar struktur, dimensi harus memuat ukuran elemen seperti lebar dan tinggi balok, ukuran kolom, tebal pelat, jarak antar grid, serta elevasi. Ketidaktepatan dimensi dapat menyebabkan salah ukuran material atau salah posisi pekerjaan.

Simbol digunakan untuk menyederhanakan informasi. Simbol pintu, jendela, tangga, arah potongan, elevasi, material, tulangan, dan sambungan membantu pembaca memahami gambar tanpa uraian panjang. Namun, simbol hanya efektif jika dijelaskan dalam legenda atau mengikuti konvensi yang dikenal. Dalam gambar struktur, simbol tulangan misalnya harus memuat diameter, jumlah batang, jarak, dan posisi. Catatan seperti D10-150 berarti tulangan berdiameter 10 mm dengan jarak 150 mm, tetapi

pemakaiannya harus sesuai standar dan kebiasaan gambar setempat.

Notasi dan kode elemen membantu pengendalian gambar. Kolom dapat diberi kode K1, K2, dan seterusnya; balok dapat diberi kode B1, B2, atau G1; pondasi dapat diberi kode P1, P2, dan seterusnya. Kode tersebut harus terhubung dengan tabel dimensi atau detail. Jika K1 disebut pada denah, maka detail K1 harus tersedia pada lembar lain. Konsistensi kode sangat penting karena satu kode dapat muncul berkali-kali pada lokasi yang berbeda.

Selain skala dan simbol, gambar juga harus memuat informasi identitas. Kop gambar berisi judul proyek, nama gambar, nomor lembar, skala, tanggal, pembuat, pemeriksa, dan nomor revisi. Informasi revisi penting karena gambar dapat berubah seiring proses desain. Pelaksana harus menggunakan gambar versi terbaru; penggunaan gambar lama dapat menyebabkan pekerjaan salah dan perlu dibongkar. Dengan demikian, manajemen dokumen adalah bagian dari disiplin gambar rekayasa.

1.4 Pengantar Struktur Bangunan dan Hubungan Gambar Rekayasa Terhadap Struktur Bangunan

Struktur bangunan adalah sistem elemen yang bekerja bersama untuk menahan dan menyalurkan beban ke tanah dengan aman. Beban pada bangunan dapat berasal dari berat sendiri material, penghuni, perabot, angin, hujan, gempa, atau peralatan. Dalam prinsip dasar, beban dari atap dan lantai diteruskan ke balok, dari balok ke kolom, dari kolom ke pondasi, dan dari pondasi ke tanah. Rantai penyaluran beban

ini harus jelas dalam gambar struktur agar setiap elemen memiliki fungsi yang dapat dipahami.

Elemen struktur utama meliputi pondasi, kolom, balok, pelat, rangka atap, dinding struktural, dan sambungan. Pondasi berfungsi menyalurkan beban ke tanah. Kolom menyalurkan beban vertikal dan membantu menahan gaya lateral. Balok menahan beban dari pelat atau dinding dan menyalurkannya ke kolom. Pelat menerima beban lantai dan membagikannya ke balok atau dinding. Rangka atap menahan beban penutup atap dan beban lingkungan. Sambungan memastikan elemen-elemen tersebut bekerja sebagai satu sistem.

Pada bangunan sederhana, struktur sering memakai sistem rangka beton bertulang dengan pondasi dangkal. Sistem ini umum digunakan karena material beton dan baja tulangan relatif mudah diperoleh, teknik pelaksanaannya dikenal luas, dan bentuknya dapat menyesuaikan kebutuhan ruang. Namun, kesederhanaan tidak berarti boleh mengabaikan prinsip teknik. Dimensi, mutu material, tulangan, jarak sengkang, dan detail sambungan tetap harus direncanakan dengan benar. SNI 2847:2019 menjadi acuan untuk persyaratan beton struktural pada bangunan gedung.

Sistem struktur juga harus mempertimbangkan beban lateral. Angin dan gempa dapat menimbulkan gaya horizontal yang mendorong bangunan. SNI 1727:2020 memuat beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, sehingga perencanaan struktur perlu menyesuaikan jenis bangunan, lokasi, fungsi, dan kondisi pembebanan. Dalam gambar, perhatian terhadap beban lateral dapat terlihat pada penempatan dinding geser, sistem

rangka pemikul momen, bracing, atau detail sambungan yang memadai.

Dalam konteks gambar rekayasa, pemahaman struktur membantu pembaca membedakan elemen yang menahan beban dan elemen yang hanya membagi ruang. Dinding bata pada bangunan rangka beton bertulang umumnya berfungsi sebagai pengisi, sedangkan kolom dan balok menjadi pemikul utama. Namun, dinding pengisi tetap dapat memengaruhi perilaku struktur, terutama saat gempa. Karena itu, gambar arsitektur dan struktur perlu saling memberi informasi agar keputusan desain tidak saling bertentangan.

Hubungan gambar rekayasa dan struktur bangunan dapat dilihat dari tiga aspek, yaitu representasi, koordinasi, dan verifikasi. Representasi berarti gambar menyajikan elemen struktur dalam bentuk yang dapat dibaca. Koordinasi berarti gambar menyelaraskan struktur dengan ruang, tampak, utilitas, dan metode pelaksanaan. Verifikasi berarti gambar membantu memeriksa apakah rancangan sudah lengkap, konsisten, dan sesuai standar. Ketiga aspek ini menjadikan gambar sebagai bagian dari proses rekayasa, bukan sekadar hasil akhir desain.

Pada aspek representasi, gambar harus menunjukkan posisi, ukuran, dan identitas elemen. Denah pondasi memperlihatkan titik pondasi dan hubungannya dengan kolom. Denah balok memperlihatkan arah bentang, jenis balok, dan hubungan dengan pelat. Detail penulangan memperlihatkan jumlah tulangan, diameter, panjang penyaluran, kait, sengkang, dan selimut beton. Tanpa representasi yang jelas, hasil perhitungan struktur tidak dapat diwujudkan secara tepat di lapangan.

Pada aspek koordinasi, gambar struktur perlu dibandingkan dengan gambar arsitektur. Misalnya, arsitek mungkin menginginkan ruang terbuka yang lebar, tetapi struktur membutuhkan kolom atau balok tertentu. Perencana dapat mencari solusi melalui perubahan grid, penggunaan balok dengan dimensi berbeda, atau pemilihan sistem struktur lain. Koordinasi juga diperlukan untuk utilitas. Jalur ducting, pipa, dan kabel harus melewati ruang yang tersedia tanpa merusak elemen struktur. Oleh sebab itu, gambar rekayasa yang baik harus terbuka terhadap pemeriksaan lintas disiplin.

Pada aspek verifikasi, gambar dapat dipakai untuk menelusuri aliran beban. Setiap pelat harus memiliki tumpuan, setiap balok harus memiliki kolom atau dinding pendukung, setiap kolom harus memiliki pondasi, dan setiap pondasi harus sesuai dengan kondisi tanah. Pemeriksaan sederhana ini sering membantu menemukan kesalahan awal, misalnya kolom yang tidak menerus, balok yang tidak memiliki tumpuan jelas, atau perubahan grid yang tidak diikuti oleh gambar pondasi. Dalam pembelajaran, latihan menelusuri aliran beban dari gambar merupakan metode efektif untuk memahami struktur.

Pemahaman ini penting karena gambar struktur menuntut kemampuan grafis sekaligus kemampuan teknik. Mahasiswa yang hanya menggambar bentuk tanpa memahami fungsi struktur akan menghasilkan gambar yang lemah secara teknis; sebaliknya, mahasiswa yang memahami hitungan tetapi tidak mampu menggambar dengan jelas akan kesulitan mengomunikasikan rancangan.

1.5 Elemen Dasar dalam Gambar Struktur

Gambar pondasi adalah salah satu gambar struktur paling awal dalam dokumen pelaksanaan. Gambar ini memuat jenis pondasi, dimensi, kedalaman, elevasi, detail tulangan, dan hubungan pondasi dengan kolom atau sloof. Pada pondasi dangkal, informasi tanah dan beban bangunan menjadi dasar pemilihan ukuran. Gambar pondasi harus menunjukkan titik ukur yang jelas agar posisi pondasi tidak bergeser. Kesalahan posisi pondasi akan memengaruhi posisi kolom dan seluruh struktur di atasnya.

Gambar kolom memperlihatkan ukuran penampang, jumlah tulangan pokok, diameter tulangan, jarak sengkang, dan tinggi elemen. Kolom merupakan elemen penting karena menyalurkan beban vertikal dari lantai dan atap ke pondasi. Dalam bangunan bertingkat, kolom harus menerus dan perubahan ukuran kolom harus direncanakan dengan hati-hati. Detail kolom pada daerah sambungan balok-kolom perlu diperjelas karena daerah tersebut menerima gaya yang kompleks, terutama pada bangunan yang harus menahan beban lateral.

Gambar balok memperlihatkan dimensi balok, posisi tumpuan, panjang bentang, tulangan tarik, tulangan tekan, tulangan ekstra, dan sengkang. Balok bekerja menahan lentur dan geser. Pada gambar, daerah tumpuan dan lapangan perlu dibedakan karena kebutuhan tulangan dapat berbeda. Detail penulangan balok harus mudah dibaca agar pekerja tidak salah menempatkan tulangan atas dan bawah. Kesalahan penempatan tulangan dapat mengurangi kapasitas elemen secara signifikan.

Gambar pelat lantai memperlihatkan tebal pelat, arah tulangan, diameter dan jarak tulangan, serta hubungan pelat

dengan balok. Pelat dapat bekerja satu arah atau dua arah tergantung rasio bentang dan tumpuan. Dalam gambar, arah tulangan utama harus jelas. Pada bangunan sederhana, pelat beton bertulang sering menjadi elemen yang tampak mudah, tetapi detailnya tetap perlu teliti karena pelat menerima beban langsung dari aktivitas penghuni dan perabot.

Gambar rangka atap memperlihatkan bentuk kuda-kuda, jarak antar rangka, dimensi batang, jenis material, sambungan, dan penutup atap. Rangka atap dapat menggunakan kayu, baja, atau baja ringan. Dalam konteks konstruksi sederhana, rangka atap baja ringan sering digunakan karena ringan dan cepat dipasang. Namun, sambungan, pengaku, dan jarak antar rangka harus mengikuti ketentuan teknis.

1.6 Standar, Keselamatan, dan Tanggung Jawab Teknis

Standar teknis diperlukan agar gambar dan perencanaan memiliki dasar yang dapat dipertanggungjawabkan. Standar membantu menyamakan batas minimum keselamatan, istilah, metode, dan persyaratan. Dalam konteks Indonesia, SNI menjadi rujukan penting. SNI 1727:2020 digunakan untuk menentukan beban desain minimum dan kriteria terkait, sedangkan SNI 2847:2019 digunakan untuk persyaratan beton struktural. Kedua standar ini menunjukkan bahwa gambar struktur harus berhubungan dengan aturan pembebanan dan kapasitas elemen, bukan hanya kebiasaan menggambar.

Keselamatan struktur adalah tujuan utama perencanaan. Bangunan harus mampu menahan beban yang

mungkin bekerja selama masa layan. Namun, keselamatan tidak hanya ditentukan oleh perhitungan; keselamatan juga ditentukan oleh kejelasan gambar, mutu material, metode pelaksanaan, dan pengawasan. Gambar yang ambigu dapat menyebabkan pekerjaan tidak sesuai perhitungan. Misalnya, tulangan yang seharusnya berada di bagian atas balok tumpuan tetapi dipasang di bawah akan mengubah perilaku struktur. Karena itu, gambar harus cukup jelas untuk mencegah interpretasi yang keliru.

Tanggung jawab teknis juga berkaitan dengan etika profesi. Perencana harus membuat gambar berdasarkan kompetensi, data, dan standar yang berlaku. Pelaksana harus mengikuti gambar yang disetujui, bukan mengubah elemen struktur tanpa persetujuan. Pengawas harus memeriksa kesesuaian pekerjaan dengan gambar dan spesifikasi. Pemilik proyek harus menyediakan waktu dan biaya yang memadai untuk perencanaan yang benar. Dengan demikian, gambar rekayasa menjadi dokumen yang mengikat tanggung jawab berbagai pihak.

Dalam proses belajar, standar sering terasa rumit karena memuat banyak istilah dan ketentuan. Namun, mahasiswa tidak harus menghafal seluruh isi standar sejak awal. Yang penting adalah memahami bahwa setiap ukuran, beban, mutu material, dan detail struktur mempunyai dasar. Ketika mahasiswa menggambar balok, ia perlu bertanya: beban apa yang dipikul balok ini, ke mana beban disalurkan, berapa bentangnya, bagaimana sambungannya, dan standar apa yang menjadi rujukan. Pertanyaan-pertanyaan ini mengubah kegiatan menggambar menjadi kegiatan berpikir rekayasa.

Tanggung jawab keselamatan juga menuntut dokumentasi revisi. Dalam proyek nyata, perubahan gambar hampir selalu terjadi. Perubahan dapat disebabkan oleh kondisi lapangan, perubahan kebutuhan pemilik, ketersediaan material, atau hasil koordinasi. Setiap perubahan harus dicatat agar semua pihak menggunakan informasi yang sama. Revisi yang tidak terdokumentasi dapat menimbulkan konflik, pekerjaan ganda, dan risiko keselamatan.

1.7 Keterampilan Dasar Membaca Gambar Struktur

Membaca gambar struktur dimulai dari memahami judul gambar dan skala. Pembaca perlu memastikan lembar yang dibaca adalah lembar yang tepat dan versi terbaru. Setelah itu, pembaca memeriksa grid, arah utara, elevasi, dan legenda. Grid membantu menentukan posisi elemen, sedangkan elevasi membantu memahami perbedaan tinggi. Skala membantu memperkirakan proporsi, tetapi ukuran yang dipakai harus selalu mengikuti angka dimensi, bukan hasil pengukuran manual pada kertas, terutama jika gambar sudah diperbanyak atau dicetak ulang.

Langkah berikutnya adalah menelusuri aliran beban. Pada denah lantai, pembaca melihat pelat mana yang menumpu pada balok, balok mana yang menumpu pada kolom, dan kolom mana yang menumpu pada pondasi. Pada bangunan bertingkat, pembaca harus memeriksa apakah kolom menerus dari lantai atas ke bawah. Jika ada kolom yang berhenti pada balok transfer, detail balok tersebut harus diperiksa dengan lebih teliti. Aliran beban yang tidak jelas merupakan tanda bahwa gambar perlu diklarifikasi.

Pembaca juga harus membandingkan denah dengan detail. Kode elemen pada denah harus ditemukan pada detail. Jika pada denah tertulis B2, maka detail B2 harus tersedia. Jika detail tidak ada, informasi pelaksanaan menjadi tidak lengkap. Dalam gambar struktur, sering terjadi satu detail dipakai untuk beberapa lokasi. Hal ini boleh dilakukan selama kode dan catatan gambar jelas. Namun, jika kondisi lokasi berbeda, detail umum mungkin tidak cukup dan perlu detail khusus.

Keterampilan membaca gambar juga mencakup kemampuan menemukan konflik. Konflik dapat berupa balok yang memotong bukaan pintu, kolom yang berada di tengah ruang tanpa direncanakan, pondasi yang bertabrakan dengan saluran, atau pipa yang menembus balok utama. Konflik seperti ini sebaiknya ditemukan sebelum pekerjaan dimulai. Koordinasi gambar menjadi semakin penting pada bangunan yang memiliki banyak sistem utilitas atau bentuk arsitektur kompleks.

Akhirnya, pembaca perlu memahami catatan umum. Catatan umum biasanya memuat mutu beton, mutu baja tulangan, selimut beton, standar yang dipakai, toleransi, dan ketentuan pelaksanaan. Catatan umum tidak boleh diabaikan karena sering memuat informasi yang tidak ditulis berulang pada setiap detail. Dalam banyak kasus, kesalahan lapangan terjadi bukan karena gambar tidak ada, tetapi karena catatan umum tidak dibaca dengan teliti.

1.8 Kesalahan Umum dan Cara Menghindarinya

Kesalahan pertama adalah tidak konsisten antara denah, potongan, dan detail. Misalnya, ukuran balok pada

denah berbeda dengan ukuran pada potongan, atau posisi kolom pada denah arsitektur berbeda dengan denah struktur. Kesalahan ini dapat dihindari melalui pemeriksaan silang sebelum gambar diterbitkan. Pemeriksaan silang sebaiknya dilakukan menggunakan daftar periksa yang mencakup grid, dimensi, kode elemen, elevasi, dan nomor detail.

Kesalahan kedua adalah penggunaan skala yang tidak sesuai. Gambar detail dengan informasi padat tidak seharusnya digambar pada skala terlalu kecil karena akan sulit dibaca. Sebaliknya, gambar umum tidak perlu memakai skala terlalu besar jika informasi yang ditampilkan masih sederhana. Pemilihan skala harus mempertimbangkan kebutuhan pembaca. Tujuan utama gambar kerja adalah keterbacaan, bukan sekadar memenuhi ukuran kertas.

Kesalahan ketiga adalah notasi tulangan yang tidak lengkap. Tulangan harus dijelaskan jumlah, diameter, jarak, posisi, dan daerah pemasangannya. Catatan yang kurang lengkap dapat menyebabkan pekerja membuat interpretasi sendiri. Dalam pekerjaan beton bertulang, detail tulangan adalah bagian yang sangat menentukan karena tulangan bekerja bersama beton untuk menahan gaya. Oleh sebab itu, gambar struktur harus memberi informasi yang cukup untuk fabrikasi dan pemasangan tulangan.

Kesalahan keempat adalah mengabaikan standar. Perencana pemula kadang menggambar berdasarkan contoh tanpa memahami dasar teknisnya. Contoh dapat membantu, tetapi tidak boleh menggantikan standar dan perhitungan. SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019 menunjukkan bahwa pembebanan dan desain beton struktural memiliki ketentuan yang harus dipenuhi. Penggunaan contoh lama tanpa

verifikasi dapat berbahaya karena standar, material, dan kondisi proyek dapat berbeda.

Kesalahan kelima adalah tidak mencatat revisi. Ketika gambar berubah, nomor revisi, tanggal, dan uraian perubahan harus diperbarui. Tanpa catatan revisi, pelaksana dapat memakai gambar lama. Pada proyek dengan banyak pihak, manajemen revisi menjadi sama pentingnya dengan kualitas gambar itu sendiri. Gambar yang benar tetapi tidak terkendali distribusinya tetap dapat menimbulkan kesalahan lapangan.

1.9 Perkembangan Digital dalam Gambar Rekayasa

Perkembangan teknologi digital mengubah cara gambar rekayasa dibuat dan dikoordinasikan. Perangkat lunak CAD memungkinkan gambar dua dimensi dibuat lebih cepat, presisi, dan mudah direvisi. Layer, blok, template, dan pengaturan skala membantu menjaga konsistensi gambar. Namun, CAD tidak otomatis membuat gambar menjadi benar. Pengguna tetap harus memahami prinsip proyeksi, skala, dimensi, dan struktur. Kesalahan konsep tetap akan muncul meskipun gambar dibuat dengan perangkat lunak yang canggih.

Building Information Modeling atau BIM membawa pendekatan yang lebih terintegrasi. Dalam BIM, elemen bangunan dimodelkan sebagai objek yang memiliki informasi dimensi, material, posisi, dan hubungan dengan elemen lain. Perubahan pada model dapat diperbarui pada denah, tampak, potongan, dan jadwal kuantitas. BIM membantu koordinasi antardisiplin dan deteksi benturan. Namun, BIM juga

membutuhkan disiplin input data. Model yang tidak akurat akan menghasilkan informasi yang salah.

Teknologi digital juga memperkuat hubungan antara gambar dan analisis struktur. Model struktur dapat dihubungkan dengan perangkat lunak analisis untuk mengevaluasi gaya dalam, lendutan, dan reaksi tumpuan. Hasil analisis kemudian diterjemahkan menjadi gambar detail. Walaupun alur ini mempercepat pekerjaan, perencana tetap harus memahami logika struktur agar tidak menerima hasil perangkat lunak secara buta. Gambar rekayasa tetap memerlukan penilaian profesional.

Pada tahap pelaksanaan, gambar digital memudahkan distribusi informasi melalui perangkat bergerak. Pelaksana dapat membuka gambar di lapangan, memperbesar detail, dan membandingkan revisi. Namun, kemudahan distribusi juga membawa risiko: terlalu banyak versi file dapat beredar. Oleh sebab itu, sistem penamaan file, kontrol revisi, dan persetujuan dokumen harus diterapkan. Prinsip dasar gambar rekayasa tetap sama, yaitu jelas, konsisten, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Perkembangan digital tidak menghapus kebutuhan menggambar manual pada tahap belajar. Sketsa tangan tetap berguna untuk melatih pemahaman bentuk, proporsi, dan aliran beban. Banyak gagasan struktur dapat dijelaskan melalui sketsa sederhana sebelum dibuat dalam CAD atau BIM. Dengan demikian, pembelajaran gambar rekayasa sebaiknya menggabungkan sketsa, gambar teknis manual, CAD, dan pemodelan digital secara bertahap.

BAB 2

TEORI GAMBAR PROYEKSI DAN ELEMEN STRUKTUR

Gambar proyeksi merupakan salah satu alat komunikasi visual yang paling fundamental dalam bidang teknik sipil, arsitektur, dan desain industri yang telah berkembang selama berabad-abad. Sebagaimana dijelaskan oleh Bertoline *et al.* (2002) dalam karya komprehensif mereka tentang dasar-dasar teknik grafis, gambar proyeksi adalah representasi dua dimensi dari objek tiga dimensi yang dirancang untuk mengomunikasikan informasi geometris dengan presisi tinggi kepada para profesional teknis. Pengertian ini didasarkan pada prinsip-prinsip geometri deskriptif yang pertama kali dikodifikasi secara sistematis oleh Gaspard Monge pada akhir abad ke-18, yang kemudian menjadi standar universal dalam pendidikan teknik di seluruh dunia. Perkembangan teori gambar proyeksi tidak terlepas dari kebutuhan praktis industri modern untuk mengomunikasikan desain yang kompleks dengan cara yang akurat dan dapat dipahami oleh semua pihak yang terlibat dalam proses konstruksi atau manufaktur. Dalam konteks kontemporer, gambar proyeksi bukan hanya sekadar alat komunikasi tradisional, tetapi juga telah berevolusi menjadi medium yang terintegrasi dengan teknologi digital dan sistem desain berbantuan komputer,

seperti yang diuraikan oleh Jensen dan Helsel dalam literatur terkini tentang visualisasi teknis. Ketika kita berbicara tentang proyeksi dalam konteks teknik, kita merujuk pada serangkaian metode sistematis untuk mentransformasikan objek tiga dimensi menjadi representasi dua dimensi yang mempertahankan properti geometris penting seperti panjang, lebar, tinggi, dan hubungan spasial antar elemen. Standar internasional seperti ISO 128 dan standar nasional seperti SNI telah menetapkan konvensi dan aturan yang ketat untuk memastikan konsistensi dan interpretabilitas gambar proyeksi di seluruh industri global. Pentingnya pemahaman mendalam tentang teori gambar proyeksi tidak dapat dilebih-lebihkan karena kesalahan dalam interpretasi gambar dapat mengakibatkan konsekuensi serius mulai dari inefisiensi biaya produksi hingga potensi kegagalan struktural yang membahayakan keselamatan publik. Penelitian yang dilakukan oleh institusi-institusi terkemuka seperti *American Society of Civil Engineers* (ASCE) dan berbagai universitas teknik terkemuka telah menunjukkan bahwa pemahaman visual yang kuat tentang gambar proyeksi secara signifikan meningkatkan kapasitas insinyur untuk merancang dan menganalisis struktur yang kompleks dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

Elemen struktur dalam konteks teknik sipil dan arsitektur mengacu pada komponen-komponen individual yang membentuk sistem konstruksi yang lebih besar, termasuk kolom, balok, dinding, pelat lantai, dan fondasi, yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mendistribusikan beban dan menjaga integritas struktural keseluruhan. Menurut Timoshenko (1983), yang adalah salah satu pelopor dalam bidang mekanika struktur, pemahaman

tentang perilaku elemen-elemen individual adalah prasyarat esensial untuk menganalisis dan merancang sistem struktur yang kompleks dengan aman dan efisien. Hubungan antara teori gambar proyeksi dan elemen struktur bersifat simbiotik, di mana gambar proyeksi menyediakan bahasa visual untuk mengekspresikan geometri dan disposisi elemen-elemen struktur, sementara pengetahuan tentang elemen struktur memberi konteks dan tujuan bagi gambar proyeksi. Dalam praktik teknis modern, insinyur dan arsitek bergantung pada gambar proyeksi yang akurat dan terperinci untuk mengomunikasikan spesifikasi elemen-elemen struktur kepada kontraktor, pekerja konstruksi, serta berbagai pemangku kepentingan lainnya. Setiap elemen struktur memiliki karakteristik geometris yang unik dan harus divisualisasikan dengan jelas melalui gambar proyeksi untuk memastikan eksekusi yang tepat di lapangan. Misalnya, sebuah kolom beton bertulang memerlukan gambar proyeksi yang menunjukkan dimensi penampang melintang, panjang kolom, detail penulangan, sambungan dengan elemen lain, dan spesifikasi material yang sangat terperinci untuk memastikan konstruksi yang benar. Metode grafis dalam analisis struktur menunjukkan bahwa visualisasi geometrik yang baik dapat secara dramatis meningkatkan pemahaman tentang cara beban ditransfer melalui elemen struktur dan bagaimana elemen-elemen tersebut berinteraksi satu sama lain. Dalam era digital saat ini, software *Computer-Aided Design* (CAD) dan *Building Information Modeling* (BIM) telah merevolusi cara di mana gambar proyeksi dibuat dan digunakan, namun prinsip-prinsip fundamental dari teori proyeksi klasik tetap menjadi dasar dari semua sistem visualisasi teknis modern (Binti *et al.* 2026). Pengintegrasian

teori gambar proyeksi dengan pemahaman mendalam tentang elemen struktur menciptakan landasan yang kokoh bagi profesional teknis untuk merancang, menggambar, menganalisis, dan mengonstruksi bangunan dan infrastruktur yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

Aplikasi praktis dari integrasi teori Gambar proyeksi dan pemahaman elemen struktur melampaui sekadar kegiatan desain tradisional dan mencakup spektrum yang luas dari aktivitas teknis mulai dari perencanaan awal hingga konstruksi, inspeksi, pemeliharaan, dan bahkan retrofit struktur yang sudah ada. Perspektif holistik ini diuraikan dengan detail oleh Salvadori (2000) dalam karyanya tentang seni dan sains konstruksi, di mana beliau menekankan bahwa keahlian dalam visualisasi teknis adalah kunci untuk menghubungkan gagasan abstrak dengan realitas fisik konstruksi. Di era transformasi digital ini, kemampuan untuk bekerja dengan berbagai representasi visual dari elemen struktur, termasuk gambar proyeksi ortografis tradisional, gambar perspektif, diagram tiga dimensi, dan model BIM interaktif, telah menjadi kompetensi esensial bagi semua profesional teknis. Studi-studi empiris yang telah dilakukan pada berbagai institusi pendidikan teknik menunjukkan bahwa mahasiswa yang memiliki pemahaman yang kuat tentang teori gambar proyeksi menunjukkan kinerja yang lebih baik secara signifikan dalam menyelesaikan proyek-proyek desain struktural yang kompleks dan dalam memecahkan masalah-masalah teknis yang menantang. Konvergensi antara metode tradisional dan teknologi digital telah menciptakan peluang baru untuk inovasi dalam cara kita memvisualisasikan, menganalisis, dan mengonstruksi elemen-elemen struktur yang semakin kompleks. Organisasi-

organisasi profesional internasional seperti *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), *American Society for Engineering Education* (ASEE), dan berbagai asosiasi teknis nasional telah mengakui pentingnya kompetensi dalam representasi visual dan telah memasukkan topik-topik ini sebagai elemen kritis dalam kurikulum pendidikan teknis di seluruh dunia. Bab ini disusun dengan tujuan untuk menjembatani kesenjangan antara teori fundamental dan aplikasi praktis, menyediakan pembaca dengan pemahaman komprehensif tentang bagaimana prinsip-prinsip gambar proyeksi diterapkan dalam konteks nyata dari analisis dan desain elemen-elemen struktur. Melalui kombinasi dari penjelasan konseptual yang jelas, contoh-contoh praktis yang relevan, dan ilustrasi visual yang detail, buku ini dirancang untuk melayani sebagai referensi yang berguna baik bagi mahasiswa yang baru memulai studi mereka di bidang teknik maupun bagi profesional berpengalaman yang ingin memperdalam pengetahuan mereka tentang topik-topik yang erat kaitannya dengan teori gambar proyeksi dan elemen struktur dalam konteks modern.

2.1 Teori Gambar Proyeksi

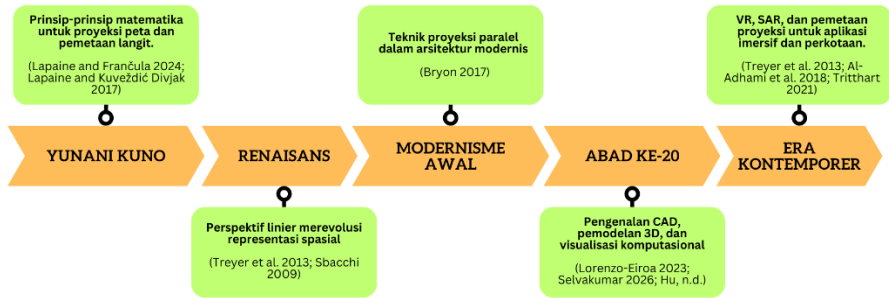
2.1.1 Definisi dan Konsep Dasar Gambar Proyeksi

Dalam bidang teknik, arsitektur, desain produk, teknik sipil, maupun teknik mesin, konsep proyeksi memiliki peranan yang sangat penting karena menjadi dasar utama dalam proses komunikasi visual dan penyampaian informasi geometris suatu objek secara akurat. Pada dasarnya, proyeksi merupakan suatu metode yang digunakan untuk

merepresentasikan objek tiga dimensi ke dalam media dua dimensi tanpa menghilangkan informasi penting yang diperlukan untuk memahami bentuk, ukuran, maupun hubungan spasial antarbagian objek tersebut. Kebutuhan akan sistem representasi semacam ini muncul karena manusia pada umumnya bekerja menggunakan media dua dimensi, seperti kertas gambar, layar monitor, atau media digital lainnya, sedangkan objek yang dirancang dan dibangun berada dalam ruang tiga dimensi. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu menjembatani perbedaan dimensi tersebut sehingga informasi geometris dapat dikomunikasikan secara efektif kepada berbagai pihak yang terlibat dalam proses perancangan dan pembangunan. Dalam konteks ini, proyeksi tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai bahasa teknis yang memungkinkan seorang perancang, insinyur, arsitek, maupun pelaksana konstruksi memiliki pemahaman yang sama mengenai karakteristik suatu objek. Sebagaimana dijelaskan oleh Page dan Thorsteinsson (2005, 2007), salah satu bentuk penerapan proyeksi yang paling umum dalam gambar teknik adalah metode proyeksi sudut ketiga (*third-angle projection*), yaitu suatu sistem penggambaran yang digunakan untuk menampilkan pandangan depan, atas, dan samping suatu objek secara sistematis. Melalui metode ini, setiap sisi objek dapat direpresentasikan secara terpisah, namun tetap memiliki keterkaitan geometris yang jelas sehingga pembaca gambar dapat membayangkan bentuk tiga dimensi objek secara utuh. Penggunaan proyeksi sudut ketiga sangat luas dalam praktik teknik modern karena mampu memberikan informasi dimensi dan konfigurasi objek dengan tingkat akurasi yang tinggi. Keberadaan berbagai pandangan

ortografik yang dihasilkan melalui metode proyeksi tersebut memungkinkan identifikasi bentuk, ukuran, posisi, dan hubungan antarbagian objek tanpa perlu melihat objek fisik secara langsung. Dalam pengertian yang lebih umum, proyeksi dapat dipahami sebagai suatu cara untuk menampilkan atau menyajikan objek tiga dimensi ke dalam bidang dua dimensi (Adena 2012). Definisi ini menegaskan bahwa esensi utama dari proyeksi adalah proses transformasi informasi spasial dari ruang tiga dimensi menuju bidang datar yang dapat diamati dan dipahami oleh manusia. Bidang dua dimensi yang dimaksud dapat berupa media konvensional seperti kertas gambar maupun media digital seperti layar komputer, tablet, dan monitor yang saat ini menjadi sarana utama dalam proses perancangan berbasis teknologi. Melalui proyeksi, karakteristik geometris suatu objek dapat direkam, dianalisis, dimodifikasi, dan dikomunikasikan secara sistematis tanpa harus selalu berinteraksi dengan bentuk fisiknya. Hal ini menjadi sangat penting terutama dalam dunia teknik dan desain yang menuntut ketelitian tinggi, efisiensi waktu, serta kemampuan untuk mengoordinasikan berbagai informasi teknis dalam satu sistem representasi yang terstandar. Dengan kata lain, proyeksi berfungsi sebagai jembatan antara realitas fisik dan representasi visual sehingga proses perencanaan, analisis, manufaktur, maupun konstruksi dapat dilakukan secara lebih efektif. Selain itu, perkembangan teknologi digital yang semakin pesat turut memperluas fungsi proyeksi dari sekadar alat penggambaran menjadi instrumen analisis dan simulasi yang memungkinkan berbagai skenario desain diuji sebelum diwujudkan dalam bentuk nyata. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai prinsip-prinsip proyeksi menjadi kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh setiap

profesional di bidang teknik dan desain karena hampir seluruh aktivitas perancangan modern bergantung pada kemampuan untuk merepresentasikan objek secara akurat dalam media dua dimensi.



Gambar 2. 1 Sejarah Perkembangan Konsep Proyeksi di bidang Teknik dan Arsitektur
(Sumber : Penulis)

Secara historis, perkembangan konsep proyeksi tidak dapat dipisahkan dari lahirnya geometri deskriptif yang diperkenalkan oleh matematikawan dan insinyur Prancis, Gaspard Monge. Menurut Monge (1811) yang kemudian dibahas kembali secara mendalam oleh Sakarovitch (2005), gambar proyeksi merupakan representasi sistematis dari objek tiga dimensi pada suatu bidang tertentu dengan menggunakan garis-garis proyeksi yang mengikuti aturan geometris tertentu. Definisi ini menunjukkan bahwa proyeksi bukan sekadar kegiatan menggambar, melainkan suatu sistem ilmiah yang memiliki dasar matematis dan geometris yang kuat. Melalui pendekatan tersebut, setiap titik, garis, bidang, dan bentuk dalam ruang tiga dimensi dapat diterjemahkan ke dalam bidang dua dimensi dengan tingkat ketelitian yang tinggi tanpa kehilangan hubungan geometris yang esensial.

Pemikiran Monge menjadi tonggak penting dalam perkembangan ilmu teknik modern karena memungkinkan objek yang kompleks divisualisasikan secara logis dan sistematis sehingga dapat dipahami oleh berbagai pihak yang terlibat dalam proses perancangan maupun pelaksanaan. Salah satu tujuan utama dari penggunaan gambar proyeksi adalah menyederhanakan visualisasi objek yang memiliki bentuk rumit sehingga dapat dianalisis secara lebih mudah. Dalam banyak kasus, objek teknik memiliki konfigurasi geometris yang kompleks dan sulit dipahami apabila hanya diamati secara langsung. Dengan menggunakan proyeksi, bentuk tersebut dapat dipecah menjadi beberapa pandangan yang lebih sederhana sehingga memudahkan proses identifikasi karakteristik geometrisnya. Selain berfungsi sebagai alat visualisasi, gambar proyeksi juga memiliki peran yang sangat penting sebagai media komunikasi teknis. Dalam praktik profesional, gambar teknik merupakan sarana utama untuk menyampaikan informasi desain dari perancang kepada pelaksana, produsen, maupun pihak-pihak lain yang berkepentingan. Kesalahan dalam interpretasi gambar dapat menyebabkan kegagalan produksi, pemborosan material, hingga kesalahan konstruksi yang berakibat serius terhadap keselamatan dan kualitas hasil pekerjaan. Oleh karena itu, penggunaan sistem proyeksi yang terstandar menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa seluruh pihak memahami informasi yang sama secara konsisten.

Dalam bidang arsitektur, teknik sipil, teknik mesin, dan desain industri, gambar proyeksi memungkinkan spesifikasi bentuk, ukuran, posisi, dan detail konstruksi suatu objek dikomunikasikan secara jelas tanpa memerlukan penjelasan verbal yang berlebihan. Lebih jauh lagi, perkembangan

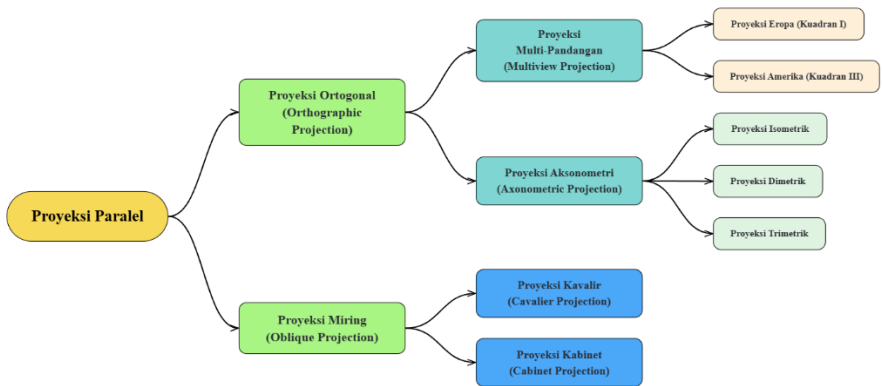
teknologi informasi dan komputasi telah menjadikan proyeksi sebagai fondasi bagi berbagai sistem pemodelan digital dan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD). Hampir seluruh aplikasi CAD modern memanfaatkan prinsip-prinsip geometri deskriptif dan proyeksi untuk membangun model digital yang dapat ditampilkan dari berbagai sudut pandang sesuai kebutuhan pengguna. Melalui teknologi ini, objek tidak hanya dapat divisualisasikan, tetapi juga dianalisis, dimodifikasi, disimulasikan, dan diintegrasikan dengan berbagai proses manufaktur maupun konstruksi berbasis digital. Dengan demikian, konsep proyeksi yang awalnya berkembang sebagai metode penggambaran manual kini telah berevolusi menjadi landasan utama dalam sistem desain dan rekayasa modern. Keberadaannya tidak hanya mendukung proses komunikasi visual, tetapi juga menjadi instrumen penting dalam pengembangan teknologi desain berbantuan komputer yang saat ini digunakan secara luas di berbagai disiplin ilmu.

2.1.2 Jenis-Jenis Proyeksi

a. Kaidah Dasar Jenis-jenis Proyeksi

Sistem proyeksi dalam gambar teknik secara garis besar dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan arah garis proyeksinya, yaitu proyeksi paralel dan proyeksi sentral, di mana masing-masing memiliki karakteristik visual dan fungsi spesifik dalam dunia desain. Proyeksi paralel merupakan metode penggambaran objek di mana garis-garis proyeksinya ditarik saling sejajar satu sama lain menuju bidang gambar. Secara struktural, proyeksi paralel ini kemudian diturunkan lagi menjadi dua jenis utama, yaitu proyeksi ortogonal

(*orthographic projection*) dan proyeksi miring (*oblique projection*). Ketika seorang desainer atau perancang menggunakan proyeksi ortogonal, mereka sedang menerapkan teknik yang menampilkan objek dari sudut pandang yang sepenuhnya tegak lurus terhadap bidang gambar (Giesecke *et al.* 2023). Karakteristik utama yang membedakan pendekatan ortogonal ini adalah bahwa garis proyeksinya jatuh secara tegak lurus pada bidang gambar, yang secara geometris sangat efektif dalam menciptakan tampilan standar seperti tampak depan, tampak atas, dan tampak samping objek secara akurat tanpa mengalami distorsi bentuk atau ukuran (Schneider and Eberly 2002). Karena sifatnya yang presisi dan mampu mempertahankan dimensi asli objek secara konsisten, proyeksi ortogonal ini menjadi standar mutlak yang digunakan secara luas dalam dokumentasi industri arsitektur, teknik mesin, serta proses manufaktur.



Gambar 2. 2 Jenis Proyeksi Paralel

(Sumber : Penulis)

Di sisi lain, perkembangan dari kebutuhan representasi tiga dimensi yang tetap mempertahankan skalabilitas dalam

proyeksi paralel melahirkan metode proyeksi piktorial, salah satunya yang paling representatif adalah proyeksi isometrik. Berbeda dengan proyeksi ortogonal standar yang memisahkan tampak objek menjadi beberapa bidang dua dimensi, proyeksi isometrik mampu menggambarkan objek tiga dimensi secara utuh dalam satu tampilan tunggal dengan cara memiringkan posisi objek tersebut. Secara teknis, proyeksi isometrik ini diatur sedemikian rupa sehingga objek digambarkan pada sudut tepat 30 derajat terhadap bidang horizontal dasar (Bertoline 2010). Pengaturan sudut spesifik ini bukan tanpa alasan, melainkan sengaja dirancang agar ketiga sumbu utama objek—yaitu sumbu panjang, lebar, dan tinggi—memiliki proporsi pemendekan yang sama atau tampak sama panjang saat diproyeksikan ke media dua dimensi. Hal ini memberikan keuntungan besar bagi para teknisi karena mereka dapat melihat visualisasi bentuk tiga dimensi dari suatu komponen secara cepat, sementara di saat yang sama mereka tetap dapat melakukan pengukuran dimensi dasar secara langsung pada gambar tersebut tanpa memerlukan konversi skala yang rumit.



Gambar 2.3 Jenis Proyeksi Sentral

(Sumber : Modifikasi dari Ching 2023)

Sebagai kontras dengan sistem paralel yang mengutamakan presisi ukuran linier, terdapat sistem kedua yang dikenal sebagai proyeksi sentral atau yang lebih populer

disebut sebagai proyeksi perspektif (*perspective projection*). Pendekatan visual ini memiliki filosofi yang sepenuhnya berbeda karena tujuan utamanya bukan sekadar menyajikan data metrik yang kaku, melainkan untuk meniru cara mata manusia atau lensa kamera melihat dan menangkap objek di dunia nyata (Ching 2023). Dalam sistem proyeksi perspektif, garis-garis proyeksi tidak lagi ditarik secara sejajar, melainkan dirancang agar saling berpusat dan bertemu pada satu atau lebih titik tertentu yang di dalam ilmu desain dikenal dengan istilah titik hilang atau *vanishing point*. Dinamika visual di mana semua garis proyeksi bertemu di satu titik hilang ini secara psikologis berhasil meniru persepsi kedalaman dan ruang yang ditangkap oleh retina manusia, sehingga objek yang letaknya lebih jauh akan otomatis mengecil (Hoffmann 1989). Karena kemampuannya yang sangat luar biasa dalam menghasilkan representasi visual yang dramatis, natural, dan sesuai dengan pengalaman spasial nyata, proyeksi perspektif menjadi instrumen yang sangat vital dan digunakan secara masif untuk kebutuhan visualisasi arsitektur tingkat lanjut serta pembuatan simulasi digital yang menuntut hasil realistis.

b. Analisis Karakteristik, Kelebihan, dan Kekurangan Sistem Proyeksi Teknik

Sistem proyeksi paralel, khususnya proyeksi ortogonal (*orthographic projection*), menjadi fondasi utama dalam pembuatan gambar kerja teknis karena memiliki keunggulan mutlak dalam hal akurasi geometris dan konsistensi dimensi. Kelebihan utama dari proyeksi ortogonal adalah kemampuannya untuk menyajikan setiap pandangan objek—baik tampak depan, atas, maupun samping—secara tegak lurus tanpa mengalami distorsi bentuk atau

pemendekan skala akibat perspektif (Giesecke *et al.* 2023). Hal ini memungkinkan para insinyur dan teknisi di lapangan untuk mengukur dimensi objek secara langsung dari gambar cetak dengan tingkat presisi yang sangat tinggi, sebuah aspek yang sangat krusial dalam industri manufaktur, teknik mesin, dan konstruksi arsitektur (Schneider and Eberly 2002). Namun, karakteristik yang sangat mementingkan presisi dua dimensi ini sekaligus menjadi kekurangan terbesar dari proyeksi ortogonal. Karena objek dipecah menjadi beberapa pandangan terpisah, representasi visualnya menjadi sangat abstrak dan sulit dipahami secara instan oleh orang awam atau pihak nonteknis yang tidak memiliki latar belakang pembacaan gambar teknik. Untuk mengatasi keterbatasan visualisasi tersebut, proyeksi miring (*oblique projection*) sering kali digunakan sebagai alternatif dalam kategori paralel karena menawarkan kelebihan berupa kemudahan dalam proses penggambaran, di mana permukaan depan objek tetap digambar sesuai skala asli tanpa distorsi, sementara kedalamannya digambar miring dengan sudut tertentu. Meskipun proyeksi miring ini sangat efektif untuk memperlihatkan detail wajah depan objek secara jelas dalam bentuk tiga dimensi yang sederhana, kelemahannya terletak pada distorsi visual yang signifikan pada bagian kedalaman atau sisi sampingnya, sehingga objek sering kali terlihat tidak proporsional atau mengalami distorsi bentuk yang tidak wajar jika panjang bagian belakangnya tidak dikalikan dengan faktor pengali atau skala reduksi yang tepat.

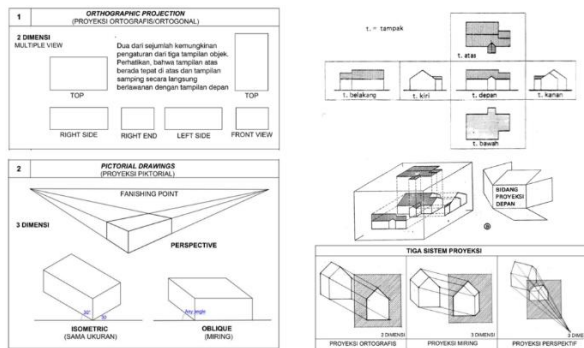
Kebutuhan untuk menyajikan visualisasi tiga dimensi yang lebih representatif, seimbang, dan mudah dipahami dalam satu pandangan tunggal melahirkan metode proyeksi piktorial, di mana proyeksi isometrik menjadi salah satu

bentuk yang paling tepercaya dan banyak digunakan dalam literatur teknik internasional. Proyeksi isometrik menawarkan kelebihan yang sangat besar dibandingkan proyeksi miring karena mampu mendistribusikan distorsi visual secara merata ke seluruh sumbu utama objek dengan memiringkan bidang gambar pada sudut 30 derajat terhadap garis horizontal (Bertoline 2010). Keunggulan geometris ini memastikan bahwa ketiga sumbu utama (panjang, lebar, dan tinggi) mengalami pemendekan skala yang seragam, sehingga visualisasi objek tiga dimensi terlihat jauh lebih proporsional, natural, dan mendekati bentuk aslinya di dunia nyata tanpa mengorbankan kemampuan pengukuran metrik dasar secara keseluruhan. Karakteristik isometrik yang seimbang ini menjadikannya pilihan utama dalam pembuatan manual instruksi perakitan komponen mesin, diagram arsitektur, hingga visualisasi aset dalam industri game modern karena efisiensinya yang tinggi dalam menyampaikan informasi spasial yang kompleks (Shaikh 2023). Kendati demikian, proyeksi isometrik tetap tidak luput dari kekurangan bawaan yang cukup mengganggu dalam kondisi tertentu. Karena semua garis proyeksi ditarik secara paralel atau sejajar, proyeksi isometrik tidak mengenal adanya titik hilang (*vanishing point*), yang berarti objek yang terletak di latar belakang akan digambar dengan ukuran yang persis sama besar dengan objek yang berada di latar depan. Ketidadaan persepsi kedalaman alami ini menyebabkan gambar isometrik terkadang tampak kaku, kurang realistis bagi mata manusia jika dibandingkan dengan proyeksi perspektif, dan berpotensi menimbulkan ilusi optik atau ambiguitas visual pada objek-objek berukuran sangat besar atau memiliki geometri internal yang sangat rumit.

Jika ditinjau secara komparatif dengan proyeksi sentral atau perspektif, seluruh varian proyeksi paralel dan piktorial isometrik ini memiliki posisi fungsional yang saling melengkapi di dalam ekosistem desain teknik dan komunikasi visual modern. Proyeksi perspektif, yang meniru cara kerja retina mata manusia dengan memusatkan semua garis proyeksi ke satu atau lebih titik hilang, diakui memiliki kelebihan mutlak dalam menghasilkan tingkat realisme spasial yang tinggi dan simulasi lingkungan yang sangat natural (Ching 2023). Visualisasi perspektif ini sangat ideal digunakan pada tahap presentasi awal atau komunikasi dengan klien karena sifatnya yang persuasif dan mudah dicerna secara intuitif oleh persepsi manusia (Hoffmann 1989). Namun, kelemahan fatal dari proyeksi perspektif adalah hilangnya sifat skalabilitas linier; objek yang menjauh secara otomatis mengecil, sehingga dimensi asli dari komponen tersebut tidak dapat diukur secara langsung dari lembar gambar. Di sinilah letak keunggulan komparatif dari proyeksi ortogonal dan isometrik, yang tetap mempertahankan integritas dimensi dan hubungan matematis antarbagian objek meskipun harus mengorbankan aspek estetika realisme ruang. Oleh sebab itu, integrasi yang harmonis antara penggunaan proyeksi ortogonal untuk keperluan fabrikasi detail yang presisi, proyeksi isometrik untuk pemahaman bentuk piktorial tiga dimensi yang cepat, dan proyeksi perspektif untuk visualisasi akhir yang realistis merupakan standar baku yang wajib diterapkan dalam manajemen dokumentasi desain engineering guna meminimalkan risiko kesalahan interpretasi di lapangan (Lukačević *et al.* 2024).

c. Analisis Karakteristik, Kelebihan, dan Kekurangan Sistem Proyeksi Teknik

Dalam praktik rekayasa dan manufaktur global, proyeksi paralel diterapkan secara ketat berdasarkan standardisasi ISO (*International Organization for Standardization*) untuk menjamin bahwa cetak biru desain dapat dieksekusi di bengkel produksi tanpa kesalahan interpretasi dimensi.

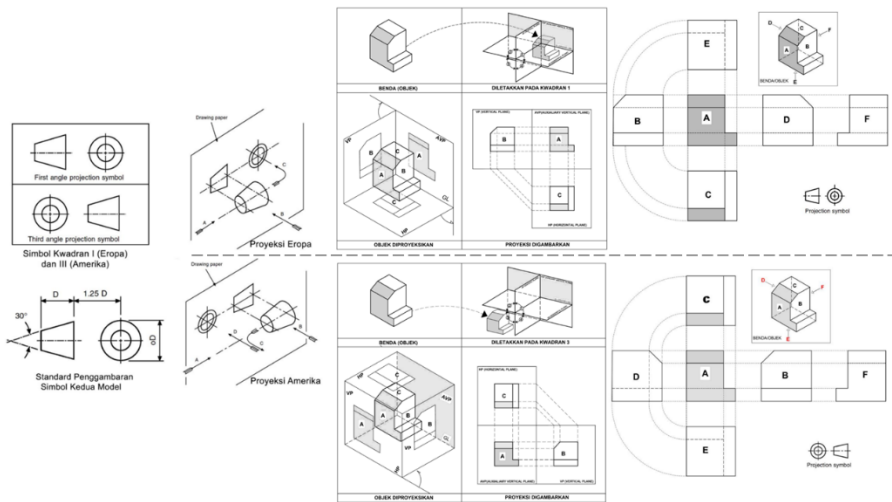


Gambar 2. 4 Proyeksi Paralel dan Proyeksi Sentral
(Sumber : Ida Bagus Idedhyana 2024)

Contoh kasus paling representatif dari penggunaan proyeksi ortogonal multipandang (*multiview orthographic*) ditemukan dalam pembuatan gambar kerja (*working drawings*) untuk komponen mesin dengan geometri internal yang kompleks, seperti blok silinder mesin otomotif (*engine block*). Berdasarkan metodologi yang dijelaskan oleh Giesecke *et al.* (2023), komponen ini harus dipecah menjadi tampak depan untuk memperlihatkan posisi lubang silinder, tampak atas untuk menunjukkan jalur aliran pendingin, dan tampak samping untuk memetakan dudukan poros engkol. Penempatan pandangan ini diatur menggunakan sistem

Proyeksi Amerika (Kuadran III) di wilayah Amerika Utara atau Proyeksi Eropa (Kuadran I) di sebagian besar wilayah Asia dan Eropa, di mana setiap dimensi linier digambar dengan skala satu banding satu tanpa mengalami distorsi spasial (Schneider and Eberly 2002).

Sementara itu, varian proyeksi paralel lainnya, yaitu proyeksi miring (*oblique projection*), memiliki kasus penggunaan yang berbeda dan sangat spesifik dalam dunia teknik sipil dan militer, khususnya untuk pemetaan jaringan utilitas bawah tanah atau pembuatan diagram potongan parit pertahanan. Menggunakan pendekatan proyeksi miring jenis kabinet (*cabinet oblique*), permukaan depan struktur tanah digambar sejajar penuh dengan bidang gambar untuk mempertahankan detail profil tanah, sedangkan dimensi kedalaman saluran pipa air ditarik miring dengan sudut empat puluh lima derajat dan direduksi menjadi setengah skala asli (Erdani *et al.* 2024). Reduksi skala kedalaman ini bertujuan untuk mencegah visualisasi pipa terlihat terlalu panjang secara artifisial, sehingga para operator lapangan dapat memahami orientasi spasial jaringan pipa secara instan sekaligus memperkirakan tata letak percabangan tanpa harus membalik lembar gambar kerja berulang kali.

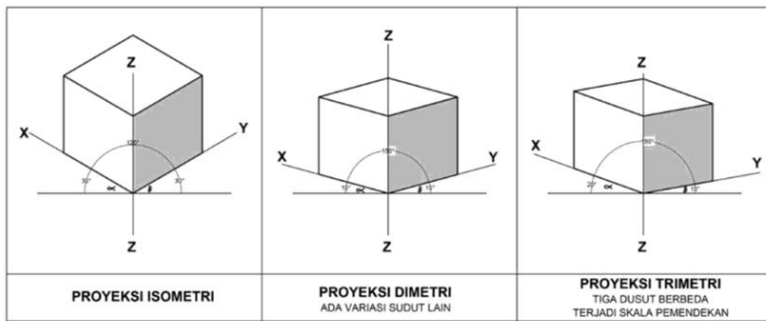


Gambar 2. 5 Proyeksi Eropa Kuadran I dan proyeksi Amerika Kuadran III

(Sumber : Ida Bagus Iddhyana 2024)

Lahir sebagai jembatan antara presisi ortogonal dua dimensi dan kemudahan pemahaman visual, proyeksi aksonometri—terutama proyeksi isometrik—menjadi instrumen yang sangat vital dalam industri manufaktur modern untuk pembuatan panduan perakitan komponen (*assembly manuals*). Sebuah contoh detail penerapan proyeksi isometrik dapat dilihat pada manual instruksi perakitan furnitur bongkar pasang (*flat-pack furniture*) atau katalog suku cadang mesin industri, di mana sebuah produk kompleks disajikan dalam bentuk diagram meledak/pandangan terurai (*exploded-view diagram*). Merujuk pada panduan teknis oleh Bertoline (2010), seluruh komponen seperti sekrup, panel kayu, dan engsel digambar terpisah, namun tetap berada di sepanjang jalur sumbu isometrik yang ditarik pada sudut tiga puluh derajat terhadap garis horizontal dasar. Karena proyeksi isometrik mempertahankan skala pemendekan yang

seragam pada ketiga sumbu utamanya, teknisi atau konsumen awam dapat melihat keterkaitan mekanis antar komponen secara tiga dimensi sekaligus mengukur ketebalan atau panjang relatif dari baut yang digunakan langsung dari gambar visual tersebut (Aa Santosa 2024). Keunggulan geometris isometrik ini juga diadopsi secara luas dalam jurnal-jurnal rekayasa biomedis modern untuk memvisualisasikan model prostetik atau implan tulang, di mana bentuk anatomi tiga dimensi yang rumit perlu ditampilkan dalam orientasi yang seimbang agar mempermudah evaluasi struktural sebelum proses cetak tiga dimensi dilakukan. Dalam konteks ini, proyeksi isometrik memastikan bahwa fitur-fitur topografi permukaan implan tidak tersembunyi di balik efek distorsi perspektif, memberikan konsistensi visual yang sangat dibutuhkan oleh para peneliti dan ahli bedah untuk menganalisis kesesuaian geometris implan terhadap struktur tulang pasien.



Cara proyeksi	Sudut proyeksi (°)		Skala perpendekan		
	α	β	Sumbu-X	Sumbu-Y	Sumbu-Z
Proyeksi isometri	30	30	82	82	82
Proyeksi Dimetri	15	15	73	73	96
	35	35	86	86	71
	40	10	54	54	92
Proyeksi Trimetri	20	10	64	83	97
	30	15	65	86	92
	30	20	72	83	89
	35	25	77	85	83
	45	15	65	92	86

Gambar 2. 6 Proyeksi Aksonometri (Sudut Proyeksi dan Skala Perpendekan)

(Sumber : Tim FT UNY 2001 dalam Ida Bagus Idedhyana 2024)

d. Aplikasi Proyeksi Sentral dalam Representasi Spasial dan Simulasi Visual

Berbeda dengan proyeksi paralel yang mengutamakan kelurusan metrik untuk kebutuhan fabrikasi fisik, proyeksi sentral atau perspektif diimplementasikan secara masif untuk menciptakan ilusi ruang, kedalaman, dan pengalaman visual manusia yang sangat autentik. Contoh penerapan perspektif satu titik hilang (*one-point perspective*) paling masif ditemukan pada gambar presentasi desain interior komersial, seperti perancangan ruang ritel, koridor hotel mewah, atau tata letak ruang pameran. Sesuai dengan teknik grafis yang

dipaparkan oleh Francis D.K. Ching (2023) dalam *Architectural Graphics*, desainer memposisikan bidang gambar sejajar dengan dinding belakang ruangan, sehingga garis-garis lantai, plafon, dan deretan lampu di langit-langit berkonvergi menuju satu titik hilang tunggal yang ditempatkan tepat setinggi mata pengamat (*eye level*). Representasi satu titik hilang ini secara psikologis memberikan fokus yang kuat pada pusat ruangan dan menciptakan kesan kedalaman lorong yang dramatis, menjadikannya standar baku dalam proposal desain interior untuk meyakinkan klien mengenai proporsi spasial ruangan yang akan dibangun. Bergerak ke skala yang lebih luas, perspektif dua titik hilang (*two-point perspective*) diaplikasikan secara universal untuk ilustrasi eksterior bangunan dalam dunia arsitektur dan perencanaan kota. Saat memvisualisasikan sebuah gedung perkantoran di sudut jalan, arsitek menempatkan dua titik hilang di ujung kiri dan kanan garis horizon, lalu menarik garis panjang dan lebar bangunan ke masing-masing titik tersebut (Hoffmann 1989). Pendekatan ini menghasilkan representasi sudut tiga dimensi yang sangat natural karena mampu meniru cara mata manusia melihat sebuah struktur fisik dari luar tanpa memicu distorsi vertikal yang mengganggu, sehingga gambar tersebut berfungsi sebagai alat komunikasi visual yang efektif antara perancang, dewan kota, dan investor publik.

Terakhir, untuk skenario visualisasi yang membutuhkan dampak emosional yang kuat atau sudut pandang yang sangat ekstrem, perspektif tiga titik hilang (*three-point perspective*) menjadi teknik yang tidak tergantikan dalam industri desain lanskap perkotaan makro, sinematografi, dan pembuatan gim komputer bertema perkotaan futuristik. Contoh kasus detail

dari penerapan proyeksi ini adalah ilustrasi kawasan megapolitan dari sudut pandang mata burung (*bird's-eye view*) yang sering dipublikasikan dalam jurnal-jurnal perencanaan wilayah dan kota bereputasi untuk menampilkan kepadatan kawasan urban. Dalam model ini, dua titik hilang diletakkan di sepanjang garis horizon untuk mengontrol dimensi horizontal bangunan, sementara titik hilang ketiga diposisikan jauh di bawah garis horizon untuk menarik semua garis vertikal struktur gedung ke arah bawah. Efek konvergensi vertikal ini secara visual mempertegas ketinggian ekstrem dari gedung-gedung pencakar langit dan memberikan kedalaman ruang yang masif, mensimulasikan sensasi berada di dalam helikopter atau pesawat terbang yang melintasi kota (Ching 2023). Sebaliknya, jika ketiga titik hilang diletakkan jauh di atas garis horizon, maka akan tercipta sudut pandang mata cacing (*worm's-eye view*) yang memberikan impresi bahwa pengamat berdiri di dasar gedung raksasa dan melihat ke atas, menciptakan distorsi vertikal yang membuat struktur bangunan tampak menjulang megah, kolosal, dan dominan. Dengan demikian, integrasi yang tepat dari ketiga jenis proyeksi sentral ini dalam dokumentasi desain arsitektur modern membuktikan bahwa manipulasi posisi dan jumlah titik hilang bukan sekadar urusan estetika dekoratif, melainkan sebuah metode ilmiah untuk mengomunikasikan skala, suasana, dan realisme spasial dari sebuah konsep lingkungan buatan kepada audiens target.

2.1.3 Prinsip-Proyeksi dan Representasi Ruang

Secara epistemologis, representasi ruang dalam ranah gambar teknik dan desain arsitektur merupakan sebuah proses transformasi geometris yang memetakan entitas tiga

dimensi (3D) dari ruang euklidian ke dalam media dua dimensi (2D) tanpa kehilangan integritas strukturalnya. Prinsip utama dari representasi ruang ini bertumpu pada kemampuan mereduksi dimensi ruang nyata menjadi bidang datar formal dengan tetap mempertahankan hubungan spasial, proporsi, serta logika visual objek yang digambarkan (Ching 2023). Di dalam literatur modern, fenomena ini dikaji sebagai metode kodifikasi visual di mana elemen-elemen abstrak seperti titik, garis, dan bidang dimanipulasi melalui sistem koordinat tertentu untuk menstimulasi persepsi kognitif manusia terhadap volume dan kedalaman. Mekanisme pemetaan ini sepenuhnya dikendalikan oleh prinsip proyeksi, yaitu sebuah sistem geometris yang menggunakan garis-garis khayal (proyektor) untuk menghubungkan setiap titik pada objek dengan bidang tangkap atau bidang gambar tertentu (Giesecke *et al.* 2023). Melalui standardisasi internasional, representasi ruang tidak sekadar berfungsi sebagai ilustrasi estetik, melainkan bertransformasi menjadi bahasa universal rekayasa yang presisi, objektif, dan terukur. Integrasi antara teori persepsi visual dan geometri deskriptif ini memungkinkan para perancang untuk mendokumentasikan ide-ide spasial yang kompleks ke dalam lembar kerja, yang kemudian dapat diinterpretasikan secara seragam oleh para teknisi dan manufaktur di berbagai belahan dunia (Schneider dan Eberly 2002). Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai representasi ruang menjadi prasyarat mutlak dalam menerjemahkan abstraksi matematis sebuah objek fisik ke dalam medium komunikasi visual yang valid, yang secara fungsional memisahkan metode ini menjadi dua domain besar

berdasarkan karakteristik geometri proyektornya, yaitu sistem proyeksi paralel dan sistem proyeksi sentral.

Diferensiasi fundamental antara proyeksi paralel dan proyeksi sentral terletak pada perilaku geometris dan konfigurasi arah dari garis-garis proyektor yang membentuk bayangan objek pada bidang gambar. Pada sistem proyeksi paralel, semua garis proyeksi diatur sedemikian rupa sehingga posisinya saling sejajar satu sama lain dan ditarik menuju tak berhingga, sebuah karakteristik yang memastikan tidak adanya penyusutan visual akibat jarak pengamat (Bertoline 2010). Pendekatan paralel ini diturunkan menjadi proyeksi ortogonal, yang mengutamakan kelurusan sudut jatuh sembilan puluh derajat untuk menghasilkan akurasi metrik mutlak, serta proyeksi aksonometri (seperti isometrik) yang memiringkan objek untuk menyajikan pandangan piktorial tiga dimensi yang tetap dapat diukur dimensinya secara linier. Sebaliknya, proyeksi sentral atau perspektif mengadopsi prinsip optik yang meniru cara kerja lensa kamera dan anatomi mata manusia, di mana garis-garis proyeksi tidak lagi sejajar melainkan memancar dari satu titik pusat (*center of projection*) yang bertindak sebagai posisi mata pengamat (Hoffmann 1989). Akibat dari pemusatan garis proyektor ini, seluruh garis objek yang menjauh dari pandangan akan berkonvergi pada titik-titik spesifik di garis horizon yang dikenal sebagai titik hilang (*vanishing point*), sehingga memicu efek pemendekan perspektif (*foreshortening*) di mana objek yang letaknya lebih jauh akan otomatis mengecil secara visual. Sementara proyeksi paralel menjadi standar emas dalam dokumentasi pabrikasi dan konstruksi karena mempertahankan kebenaran dimensi linier tanpa distorsi jarak, proyeksi sentral mendominasi

ranah simulasi ruang dan visualisasi arsitektural karena keunggulannya yang luar biasa dalam mereplikasi pengalaman spasial psikologis yang natural, realistis, dan intuitif bagi pengamat awam.

Keberhasilan pembentukan gambar yang akurat dalam kedua sistem tersebut pada akhirnya ditentukan oleh dinamika interaksi matematis dan posisi relatif antara tiga komponen utama: objek yang digambarkan, bidang proyeksi (*plane of projection*), dan arah proyeksi (*direction of projection*). Objek berfungsi sebagai sumber geometri yang memiliki koordinat ruang nyata (X, Y, Z) yang akan ditranslasikan, sedangkan bidang proyeksi bertindak sebagai kanvas atau media dua dimensi tempat bayangan geometris tersebut ditangkap secara permanen (Erdani *et al.* 2024). Komponen ketiga, yaitu arah proyeksi—yang direpresentasikan oleh sudut datang garis proyektor—menjadi variabel penentu yang mendikte karakteristik visual akhir dari representasi ruang tersebut. Jika arah proyeksi diposisikan tegak lurus sempurna terhadap bidang proyeksi, maka hubungan ini melahirkan proyeksi ortogonal yang mempertahankan skala murni dari permukaan objek yang sejajar dengan bidang gambar; namun, jika arah proyeksi sengaja diatur miring (bukan sembilan puluh derajat) terhadap bidang tangkap, maka interaksi tersebut menghasilkan proyeksi miring (*oblique*) yang mendistorsi sisi samping demi mempertahankan keutuhan bentuk tampak depan objek. Dalam konteks proyeksi sentral, interaksi ini menjadi lebih dinamis karena arah proyeksi berubah menjadi kumpulan garis yang memusat, di mana jarak antara objek ke bidang proyeksi serta jarak pengamat ke objek secara matematis akan menentukan tingkat perbesaran atau

pengecilan distorsi perspektif yang terjadi (Puspito 2011). Oleh karena itu, manipulasi yang presisi terhadap orientasi objek, kemiringan bidang proyeksi, dan arah datangnya proyektor merupakan inti dari geometri deskriptif yang memungkinkan para desainer mengontrol secara penuh apakah gambar yang dihasilkan akan mengutamakan aspek presisi ukuran teknis untuk kebutuhan produksi fisik, atau mengutamakan estetika realisme ruang untuk kebutuhan komunikasi interaktif.

2.1.4 Standar Internasional Gambar Proyeksi

Secara teoritis, gambar proyeksi merupakan hasil transformasi geometris yang memetakan objek tiga dimensi ke bidang dua dimensi melalui seperangkat aturan matematis dan konvensi grafis yang telah disepakati secara internasional. Sistem ini berakar pada geometri deskriptif yang diperkenalkan oleh Gaspard Monge pada akhir abad ke-18, yang menjelaskan bagaimana suatu objek dapat direpresentasikan melalui beberapa bidang pandang ortogonal sehingga bentuk, ukuran, dan hubungan spasialnya tetap dapat dipahami secara akurat. Dalam perkembangannya, globalisasi industri, perdagangan internasional, digitalisasi desain, serta penggunaan *Computer-Aided Design* (CAD), *Building Information Modeling* (BIM), dan *Model-Based Definition* (MBD) menuntut adanya keseragaman dalam bahasa visual teknik. Oleh karena itu, lahirlah berbagai standar internasional yang mengatur tata cara penyajian gambar teknik, metode proyeksi, simbolisasi, dimensi, toleransi, hingga representasi digital produk. Secara konseptual, standar gambar proyeksi ruang tidak hanya berfungsi sebagai pedoman menggambar, tetapi juga sebagai

sistem komunikasi teknis universal yang menghubungkan proses perancangan, produksi, inspeksi, dan pemeliharaan suatu produk atau bangunan. Dalam sistem ini, proyeksi ortogonal menjadi metode dominan karena mampu mempertahankan ketelitian geometris yang diperlukan untuk proses manufaktur dan konstruksi. Berbeda dengan gambar perspektif yang lebih menekankan kesan visual realistis, proyeksi ortogonal memungkinkan setiap dimensi diukur secara langsung dan presisi. Seiring berkembangnya teknologi digital, prinsip proyeksi tidak lagi terbatas pada media kertas, melainkan menjadi dasar bagi representasi model digital tiga dimensi yang dapat menghasilkan berbagai tampilan ortogonal secara otomatis. Literatur mutakhir menunjukkan bahwa standar gambar teknik modern semakin mengarah pada integrasi antara dokumentasi konvensional dan model digital berbasis data sehingga gambar tidak hanya berfungsi sebagai media visual, tetapi juga sebagai wadah informasi geometris dan semantik produk. Dengan demikian, standar internasional gambar proyeksi ruang dapat dipahami sebagai suatu sistem normatif yang mengatur representasi geometris objek dalam bentuk visual terstandar guna menjamin konsistensi komunikasi teknis, interoperabilitas lintas perangkat lunak, kualitas produksi, serta kesesuaian interpretasi antarnegara dan antarindustri.

Sebagai kelanjutan dari kebutuhan akan keseragaman komunikasi visual teknik, dua sistem standar yang paling berpengaruh dalam dunia gambar teknik saat ini adalah standar yang dikembangkan oleh *International Organization for Standardization* (ISO) dan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME). Kedua organisasi tersebut memiliki tujuan yang sama, yaitu menciptakan bahasa teknis yang dapat

digunakan secara universal, namun berkembang dari tradisi teknis yang berbeda. ISO banyak digunakan di Eropa, Asia, Afrika, dan sebagian besar negara di dunia, sedangkan ASME berkembang dari kebutuhan industri manufaktur Amerika Serikat dan kemudian menjadi acuan global dalam bidang *geometric dimensioning and tolerancing* (GD&T). Dalam perspektif teoritis, ISO lebih menekankan harmonisasi representasi grafis melalui serangkaian standar yang mengatur format gambar, jenis garis, metode proyeksi, skala, simbol, dan penyajian informasi geometris. Sebaliknya, ASME memberikan perhatian yang sangat besar pada komunikasi maksud desain (*design intent*) melalui sistem toleransi geometrik yang rinci. Dalam praktik modern, kedua standar tersebut semakin konvergen karena perkembangan CAD, *digital product definition*, dan *model-based engineering* menuntut kesesuaian interpretasi yang lebih tinggi antara gambar, model digital, dan proses manufaktur. ASME Y14.5 misalnya, kini tidak hanya berlaku pada gambar teknik konvensional, tetapi juga pada model digital yang digunakan dalam lingkungan CAD dan MBD. Standar ini menetapkan simbol, definisi, aturan, persyaratan, praktik yang direkomendasikan, serta metode interpretasi toleransi geometrik untuk memastikan bahwa suatu produk memiliki bentuk, fungsi, kesesuaian, dan kemampuan pertukaran komponen (*interchangeability*) sesuai dengan maksud perancang. Revisi terbaru ASME Y14.5 juga menunjukkan pergeseran paradigma dari ketergantungan terhadap tampilan ortogonal tradisional menuju penggunaan model digital sebagai sumber utama definisi produk. Sementara itu, ISO terus memperluas cakupan standarnya agar dapat mendukung interoperabilitas global dalam industri

manufaktur, konstruksi, dan rekayasa digital. Oleh karena itu, dalam praktik profesional modern, pemahaman terhadap standar ISO dan ASME tidak hanya menjadi kebutuhan teknis, tetapi juga menjadi prasyarat utama untuk menjamin kualitas komunikasi desain, mengurangi kesalahan interpretasi, meningkatkan efisiensi produksi, dan mendukung integrasi teknologi digital dalam siklus hidup produk secara menyeluruh.

Dalam implementasinya, standar internasional gambar teknik diwujudkan melalui berbagai dokumen normatif yang mengatur aspek-aspek spesifik representasi geometris dan komunikasi visual. Salah satu standar fundamental adalah ISO 128, yang mengatur prinsip umum penyajian gambar teknik, termasuk jenis garis, ketebalan garis, aturan penampang, tampilan potongan, tata letak visual, serta konvensi grafis yang digunakan dalam dokumentasi teknik. ISO 128 berfungsi sebagai fondasi visual yang memastikan bahwa setiap elemen gambar memiliki makna yang seragam di seluruh dunia. Melengkapi standar tersebut, ISO 5456 secara khusus mengatur metode proyeksi yang digunakan dalam gambar teknik, termasuk proyeksi ortogonal, proyeksi aksonometrik, serta identifikasi sistem proyeksi sudut pertama (*first-angle projection*) dan sudut ketiga (*third-angle projection*). Standar ini menjelaskan hubungan geometris antara objek, bidang proyeksi, dan pengamat sehingga representasi ruang dapat dipahami secara konsisten tanpa bergantung pada interpretasi subjektif. Di sisi lain, ASME Y14.5 menjadi standar paling berpengaruh dalam bidang *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (GD&T), yaitu sistem simbolik yang digunakan untuk mendefinisikan variasi geometris yang dapat diterima pada suatu komponen. Standar ini

menetapkan simbol, definisi, datum, toleransi bentuk, orientasi, posisi, profil, runout, serta kerangka acuan geometris yang memungkinkan maksud desain dikomunikasikan secara presisi kepada seluruh pihak yang terlibat dalam proses produksi dan inspeksi. ASME Y14.5 juga menekankan pentingnya keseragaman interpretasi melalui penggunaan simbol dan notasi standar yang dapat diterapkan baik pada gambar teknik maupun model digital. Dalam konteks yang lebih luas, konvensi simbol dan notasi merupakan elemen penting yang menghubungkan seluruh standar tersebut karena berfungsi sebagai bahasa visual universal dalam dunia teknik. Simbol garis tersembunyi, garis sumbu, simbol kekasaran permukaan, simbol pengelasan, simbol toleransi geometrik, simbol datum, hingga tanda identifikasi metode proyeksi merupakan bagian dari sistem semiotika teknis yang memungkinkan informasi kompleks dikomunikasikan secara ringkas namun akurat. Penelitian mutakhir dalam bidang digital engineering menunjukkan bahwa keberhasilan integrasi CAD, BIM, *Product Lifecycle Management* (PLM), dan Model-Based Definition sangat bergantung pada konsistensi penerapan simbol dan notasi standar tersebut. Dengan demikian, ISO 128 menyediakan dasar visual, ISO 5456 mengatur logika proyeksi geometris, sedangkan ASME Y14.5 mengendalikan komunikasi dimensi dan toleransi geometrik; ketiganya membentuk suatu kerangka standar internasional yang saling melengkapi dalam menciptakan sistem representasi teknik yang akurat, interoperabel, dan dapat dipahami secara universal oleh komunitas profesional di seluruh dunia.

2.2 Elemen Struktur

2.2.1 Pengertian dan Klasifikasi Elemen Struktur

Elemen struktur merupakan komponen fundamental yang membentuk sistem bangunan maupun infrastruktur dan berfungsi sebagai media utama dalam menerima, menahan, mendistribusikan, serta menyalurkan berbagai jenis beban yang bekerja pada suatu konstruksi. Dalam literatur rekayasa struktur, elemen struktur dipahami sebagai bagian penyusun utama yang menentukan kemampuan suatu bangunan untuk mempertahankan kestabilan, kekuatan, kekakuan, dan keamanan selama masa layanannya. Alan Williams dalam *Structural Engineering Reference Manual* menjelaskan bahwa elemen struktur adalah komponen penyusun utama bangunan atau infrastruktur yang berfungsi menyalurkan beban dan menjaga kestabilan sistem struktur secara keseluruhan. Definisi ini menempatkan elemen struktur sebagai tulang punggung suatu konstruksi karena keberhasilan sebuah bangunan dalam menjalankan fungsinya sangat bergantung pada kemampuan elemen-elemen tersebut dalam mengendalikan respons terhadap berbagai beban yang diterima. Secara umum, beban yang bekerja pada bangunan dapat berupa beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, beban temperatur, maupun beban lingkungan lainnya yang secara simultan memengaruhi perilaku struktur. Oleh karena itu, setiap elemen struktur harus dirancang untuk memiliki kapasitas yang memadai dalam menahan gaya-gaya internal yang timbul akibat pengaruh pembebanan tersebut. Dalam konteks yang lebih luas, elemen struktur tidak hanya dipandang sebagai komponen fisik bangunan, melainkan juga sebagai unit analisis yang digunakan untuk memahami

perilaku sistem struktur yang kompleks melalui penyederhanaan menjadi bagian-bagian yang lebih mudah dihitung dan dievaluasi. Perspektif ini berkembang seiring kemajuan ilmu mekanika struktur yang menempatkan elemen struktur sebagai objek utama dalam berbagai metode analisis modern. Menurut R. C. Hibbeler dan Aslam Kassimali dalam *Structural Analysis*, elemen struktur merupakan komponen penyusun struktur yang dirancang untuk memikul dan mentransfer beban melalui mekanisme gaya internal berupa gaya aksial, gaya geser, momen lentur, maupun kombinasi dari ketiganya. Dengan demikian, elemen struktur berperan sebagai media distribusi gaya yang menghubungkan berbagai bagian bangunan sehingga beban yang bekerja pada bagian atas struktur dapat diteruskan secara aman menuju fondasi dan akhirnya disalurkan ke tanah dasar. Edward Allen dan Joseph Iano dalam *Fundamentals of Building Construction* menambahkan bahwa elemen struktur merupakan bagian bangunan yang secara langsung berkontribusi terhadap kemampuan bangunan dalam mempertahankan bentuk, kestabilan, serta keselamatan konstruksi melalui sistem pemikul beban yang terintegrasi. Oleh sebab itu, keberadaan elemen struktur tidak dapat dipisahkan dari konsep integritas struktural karena kegagalan pada satu elemen dapat memengaruhi kinerja keseluruhan sistem bangunan. Dalam praktik rekayasa modern, elemen struktur dipandang sebagai komponen yang bekerja secara kolektif dalam membentuk jalur distribusi beban yang efisien, sehingga setiap elemen harus dirancang dengan mempertimbangkan interaksi mekanis yang terjadi dengan elemen-elemen lain dalam sistem struktur.

Dalam bidang rekayasa struktur dan analisis numerik modern, elemen struktur juga dipahami sebagai unit fundamental yang digunakan dalam proses pemodelan matematis untuk memprediksi perilaku suatu konstruksi terhadap berbagai kondisi pembebanan. Literatur teknik struktur menjelaskan bahwa suatu struktur yang kompleks dapat dipecah menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana seperti balok (*beam*), kolom (*column*), pelat (*plate*), dinding (*wall*), cangkang (*shell*), maupun elemen volumetrik tiga dimensi yang masing-masing memiliki karakteristik geometris dan perilaku mekanis tertentu. Setiap elemen tersebut dapat mengalami gaya tekan, gaya tarik, gaya geser, momen lentur, maupun torsi tergantung pada fungsi dan posisinya dalam sistem struktur. Otegui (2014) menjelaskan bahwa elemen struktur seperti kolom, balok, pelat, dan cangkang merupakan komponen utama yang sering digunakan dalam analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis* atau FEA). Metode ini merupakan salah satu teknik numerik paling penting dalam rekayasa modern karena memungkinkan insinyur mensimulasikan perilaku fisik suatu struktur sebelum dibangun. Melalui pendekatan *Finite Element Method* (FEM), struktur yang kompleks dibagi menjadi sejumlah elemen kecil yang saling terhubung sehingga distribusi tegangan, deformasi, perpindahan, dan respons dinamis dapat dihitung secara lebih akurat. Penggunaan perangkat lunak FEA memungkinkan pengurangan jumlah prototipe fisik dan eksperimen laboratorium sehingga proses desain menjadi lebih efisien baik dari sisi waktu maupun biaya. Dalam konteks industri manufaktur, metode ini digunakan untuk mengoptimalkan desain produk agar memiliki performa yang lebih baik dengan

penggunaan material yang lebih efisien. Sementara itu, dalam dunia arsitektur, elemen struktur tidak hanya berfungsi sebagai penahan beban, tetapi juga memiliki peran dalam membentuk ekspresi visual bangunan. Chang *et al.* (2013) menjelaskan bahwa elemen struktur sering kali menjadi medium untuk mengartikulasikan fungsi bangunan sekaligus memunculkan gagasan-gagasan baru dalam perkembangan gaya arsitektur. Hal ini menunjukkan bahwa elemen struktur memiliki dimensi teknis sekaligus estetis karena keberadaannya dapat memengaruhi identitas visual suatu bangunan. Oleh sebab itu, perkembangan teknologi analisis struktur modern tidak hanya berfokus pada peningkatan kapasitas mekanis, tetapi juga pada kemampuan mengintegrasikan aspek performa, efisiensi, dan ekspresi arsitektural dalam satu sistem desain yang terpadu. Pendekatan semacam ini semakin penting pada era desain parametrik dan arsitektur digital yang memungkinkan elemen struktur menjadi bagian integral dari konsep desain secara keseluruhan.

Dalam praktik konstruksi dan rekayasa terapan, elemen struktur dapat dibuat dari berbagai jenis material yang dipilih berdasarkan kebutuhan fungsi, kondisi lingkungan, efisiensi biaya, serta karakteristik mekanis yang diinginkan. Material konvensional seperti kayu, baja, dan beton bertulang masih menjadi pilihan utama dalam berbagai proyek konstruksi karena telah terbukti memiliki kapasitas struktural yang baik dan didukung oleh standar perencanaan yang matang. Namun demikian, perkembangan teknologi material telah memperluas penggunaan bahan alternatif seperti bambu rekayasa, komposit berbasis polimer yang diperkuat serat (*Fiber Reinforced Polymer* atau FRP), serta

material hibrida lainnya yang menawarkan rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi. Material bambu, misalnya, memiliki fleksibilitas yang baik serta kemampuan regenerasi yang cepat sehingga menjadi salah satu alternatif material berkelanjutan yang banyak diteliti dalam konstruksi modern. Sementara itu, FRP menawarkan keunggulan berupa ketahanan korosi yang tinggi, bobot ringan, dan kapasitas mekanis yang besar sehingga cocok digunakan pada lingkungan agresif atau struktur yang membutuhkan pengurangan berat. Ahmed dan Tsavdaridis (2019) menjelaskan bahwa penggunaan elemen struktur seperti balok komposit dan pelat komposit mampu meningkatkan efisiensi penggunaan material sekaligus memperbaiki kinerja struktural secara keseluruhan. Prinsip ini menunjukkan bahwa inovasi pada elemen struktur tidak hanya berorientasi pada peningkatan kekuatan, tetapi juga pada optimasi penggunaan sumber daya. Dalam konteks yang berbeda, Miglioreno dan Henriksen (2014) menunjukkan bahwa elemen struktur pada desain pesawat ruang angkasa memiliki fungsi yang sangat kritis dalam menjaga integritas mekanis dan stabilitas dimensi sistem. Struktur tersebut harus mampu mempertahankan keselarasan antena, sensor, dan instrumen presisi lainnya meskipun mengalami perubahan temperatur ekstrem serta berbagai kondisi lingkungan luar angkasa. Fenomena ini memperlihatkan bahwa konsep elemen struktur tidak terbatas pada bangunan gedung atau jembatan, melainkan berlaku pada berbagai bidang rekayasa yang memerlukan pengendalian respons mekanis secara akurat. Oleh karena itu, elemen struktur harus dipahami sebagai komponen yang dirancang berdasarkan prinsip mekanika, ilmu material, serta kebutuhan operasional yang spesifik

sehingga mampu memberikan kinerja optimal sesuai tujuan perancangannya.

Berdasarkan fungsi dan kontribusinya terhadap sistem bangunan, elemen struktur umumnya diklasifikasikan menjadi elemen struktural primer, elemen struktural sekunder, dan elemen nonstruktural. Elemen struktural primer merupakan komponen utama yang secara langsung memikul dan menyalurkan beban sehingga berperan dominan dalam menjaga kestabilan bangunan. Komponen yang termasuk dalam kategori ini meliputi fondasi, kolom, balok, dan pelat lantai yang bekerja bersama-sama membentuk jalur distribusi beban dari bagian atas bangunan menuju tanah. Price (2016) menjelaskan bahwa fondasi berfungsi untuk mendukung seluruh struktur bangunan sekaligus mentransfer beban ke tanah dasar secara aman. Sementara itu, kolom dan balok bertugas menahan serta mendistribusikan beban vertikal maupun horizontal yang bekerja pada bangunan. Vayas *et al.* (2018) menambahkan bahwa stabilitas lateral bangunan dapat ditingkatkan melalui sistem rangka tahan momen (*Moment Resisting Frame*), dinding geser (*shear wall*), maupun sistem *bracing*. Sistem *bracing* sendiri dapat berupa *Concentrically Braced Frame* (CBF) maupun *Eccentrically Braced Frame* (EBF) yang dirancang untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral akibat angin dan gempa. Di sisi lain, elemen struktural sekunder berfungsi mendukung kinerja elemen primer serta meningkatkan efisiensi sistem struktur secara keseluruhan. Elemen seperti dinding geser tambahan, rafter, dan kuda-kuda termasuk dalam kategori ini karena meskipun tidak selalu menjadi jalur utama distribusi beban, keberadaannya sangat penting dalam meningkatkan stabilitas

dan performa struktur. Selain elemen struktural, terdapat pula elemen nonstruktural yang tidak dirancang sebagai penahan beban utama, namun memiliki fungsi penting dalam mendukung operasional dan estetika bangunan. Hoernel-Metzger dan Naujoks (2015) menjelaskan bahwa *cladding* dan panel atap berfungsi sebagai pelindung bangunan sekaligus elemen estetika yang dapat membantu menghadapi pengaruh angin dan salju. (O'Reilly and Calvi 2020) menunjukkan bahwa elemen interior seperti furnitur dan perlengkapan bangunan sering kali diabaikan dalam analisis seismik, padahal kerusakan pada elemen-elemen tersebut dapat menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai klasifikasi elemen bangunan menjadi penting untuk memastikan bahwa setiap komponen memperoleh perhatian yang sesuai dalam proses perencanaan, analisis, dan evaluasi kinerja struktur.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Elemen Struktur

Kategori	Contoh Elemen	Fungsi Utama
Struktural	Kolom, balok, pelat lantai, fondasi	Mendukung beban dan stabilitas bangunan
Non-Struktural	<i>Cladding</i> , panel atap, <i>furniture</i>	Estetika, perlindungan, dan fungsi tambahan
Arsitektur	<i>Tracery</i> , <i>pediment</i> , kubah	Identitas gaya arsitektur

Sumber : Penulis

Perkembangan teknologi digital pada dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam cara elemen struktur diklasifikasikan, dianalisis, dan dikelola sepanjang siklus hidup bangunan. Pendekatan berbasis *Building Information Modelling* (BIM) memungkinkan setiap elemen

struktur direpresentasikan sebagai objek digital yang memiliki informasi geometris, material, fungsi, dan hubungan spasial yang dapat diakses secara terintegrasi. Dalam konteks ini, elemen struktur tidak lagi dipandang hanya sebagai komponen fisik, tetapi juga sebagai entitas informasi yang dapat dianalisis dan dikelola secara sistematis. Penelitian mengenai BIM menunjukkan bahwa fondasi, kolom, balok, pelat, dan tulangan dapat diidentifikasi, diklasifikasikan, serta dihitung secara otomatis untuk mendukung proses perencanaan dan manajemen konstruksi. (Evangelou *et al.* 2021) dan (Teclaw *et al.* 2025) menunjukkan bahwa algoritma pembelajaran mesin mampu meningkatkan akurasi klasifikasi elemen bangunan berdasarkan geometri, fungsi, dan konteks spasialnya. Selain itu, (Romero-Jarén *et al.* 2019; Romero-Jarén *et al.* 2021) menjelaskan bahwa teknologi pemindaian berbasis LiDAR dapat menghasilkan model tiga dimensi yang mencakup elemen struktural maupun nonstruktural dengan tingkat detail yang tinggi. Kemajuan ini memberikan peluang besar dalam dokumentasi bangunan, konservasi warisan budaya, serta pemantauan kondisi struktur secara real-time. Di sisi lain, klasifikasi elemen struktur juga berperan penting dalam analisis risiko gempa. (O'Reilly and Calvi 2020) serta (Sullivan *et al.* 2020) menjelaskan bahwa elemen struktural dan nonstruktural perlu dievaluasi berdasarkan kapasitas drift dan akselerasi untuk menentukan tingkat kinerjanya selama kejadian seismik. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi komponen yang paling rentan terhadap kerusakan sehingga strategi mitigasi dapat dirancang secara lebih efektif. Selain klasifikasi berdasarkan fungsi struktural, elemen bangunan juga dapat dikategorikan berdasarkan gaya arsitektur.

(Shalunts *et al.* 2012a, 2012b) menunjukkan bahwa elemen seperti kubah, tracery, pediment, dan balustrade dapat digunakan sebagai indikator karakteristik gaya arsitektur tertentu, mulai dari Renaissance, Gothic, Baroque, hingga arsitektur Islam. Dengan demikian, elemen struktur tidak hanya memiliki peran teknis dalam menjaga kestabilan dan keamanan bangunan, tetapi juga memiliki nilai historis, estetis, dan informasional yang penting dalam memahami perkembangan teknologi konstruksi dan budaya arsitektur manusia.

2.2.2 Jenis-Jenis Elemen Struktur

A. Struktur Utama (*Primary Structural Elements*)

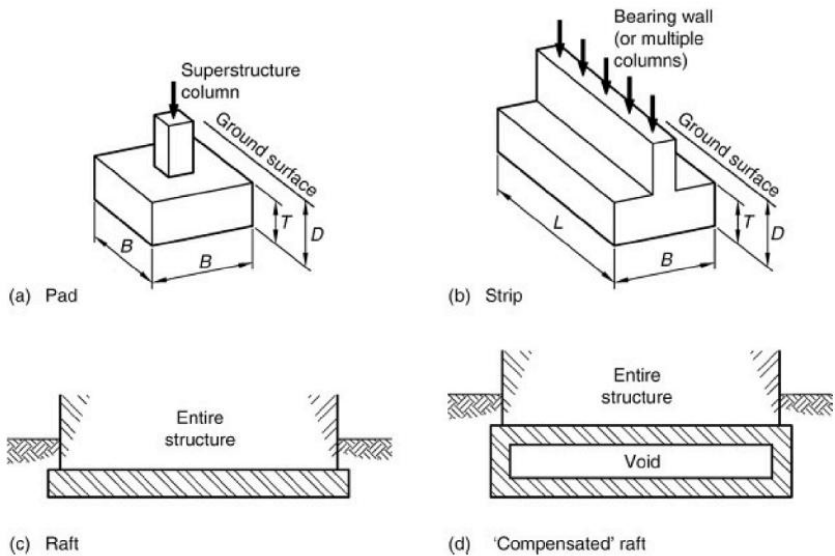
Elemen struktural utama adalah komponen fundamental dari struktur bangunan yang memberikan stabilitas, dukungan, dan kapasitas menahan beban. Elemen-elemen ini sangat penting untuk memastikan keamanan dan fungsionalitas bangunan. Berikut adalah beberapa *Primary Structural Elements*, yaitu:

1. Fondasi (*Foundation*)

Fondasi adalah dasar struktur yang mentransfer beban dari bangunan ke tanah atau batuan di bawahnya. Fondasi sangat penting untuk stabilitas dan dirancang untuk menangani berbagai kondisi beban, termasuk gaya gempa dan angin. Fondasi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis utama, yaitu fondasi dangkal (*shallow foundations*), fondasi dalam (*deep foundations*), fondasi kombinasi (*hybrid foundations*), dan fondasi khusus.

Fondasi dangkal (*shallow foundations*) memiliki karakteristik dibangun pada kedalaman yang kurang dari

atau sama dengan lebarnya, serta memiliki keunggulan berupa mudah dibangun, hemat biaya, dan ramah lingkungan. Contohnya (Gambar 2.7), *pad foundation* (cocok untuk beban kecil dan tanah keras), *strip foundation* (digunakan untuk mendukung dinding panjang), dan *raft foundation* (cocok untuk mendistribusikan beban pada area yang luas).

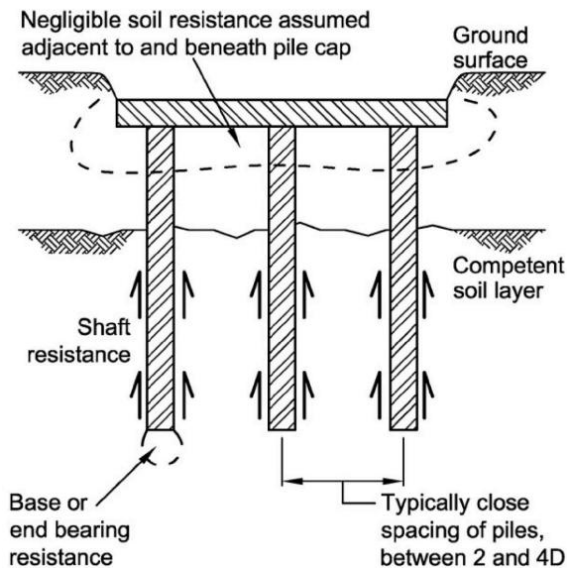


Gambar 2. 7 Tipe Fondasi Dangkal

(Sumber : O'Brien et al. 2023)

Fondasi dalam (*deep foundations*) merupakan jenis fondasi yang dirancang untuk mentransfer beban struktur ke lapisan tanah keras atau batuan yang berada pada kedalaman tertentu, sehingga mampu memberikan stabilitas pada bangunan yang didirikan di atas tanah lunak atau kondisi geoteknik yang kompleks. Jenis fondasi ini meliputi *pile foundation*, yaitu tiang panjang yang ditanam ke dalam tanah dan umumnya terbuat dari beton, baja, atau

kayu; *caisson foundation*, yang banyak digunakan pada konstruksi jembatan di perairan dalam; serta *drilled shafts*, yang diterapkan pada kondisi tanah sulit dan memerlukan kapasitas dukung tinggi. Penggunaan fondasi memberikan keunggulan berupa kemampuan menahan beban besar serta meningkatkan keamanan dan keandalan struktur pada berbagai kondisi tanah.

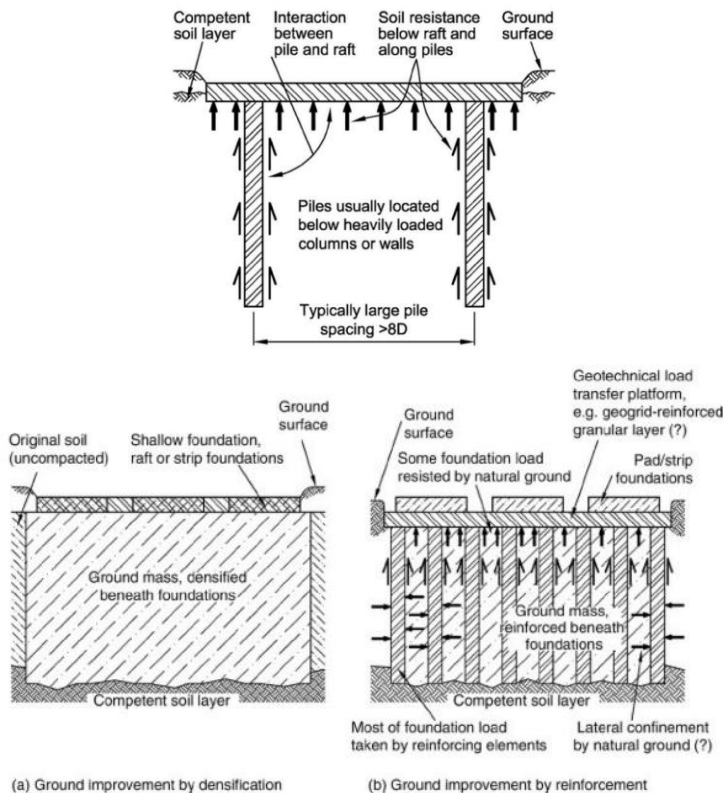


Gambar 2.8 Fondasi Dalam, Kelompok Tiang Konvensional

(Sumber : O'Brien et al. 2023)

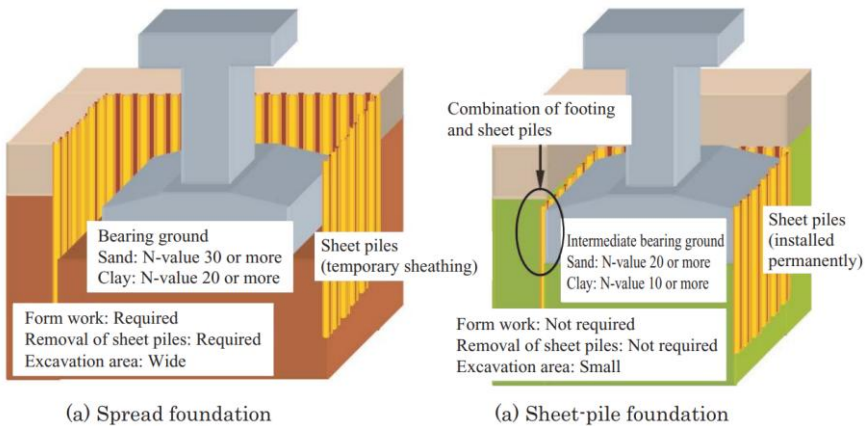
Fondasi kombinasi (*hybrid foundations*) merupakan sistem fondasi yang menggabungkan karakteristik fondasi dangkal dan fondasi dalam untuk menghasilkan distribusi beban yang lebih efektif serta meningkatkan kinerja struktur pada kondisi tanah yang kompleks. Salah satu contohnya adalah *piled raft foundation*, yaitu kombinasi

antara tiang pancang dan pelat beton yang bekerja secara bersama-sama dalam menyalurkan beban ke tanah. Contoh lainnya adalah *Composite Caisson–Pile Foundation (CCPF)*, yang mengombinasikan *caisson* dengan tiang pancang dan banyak diterapkan pada konstruksi jembatan di perairan dalam. Penggunaan fondasi kombinasi memberikan berbagai keunggulan, seperti meningkatkan efisiensi distribusi beban, mengurangi biaya dan waktu konstruksi, serta memberikan solusi yang andal pada kondisi geoteknik yang sulit.



Gambar 2. 9 Fondasi kombinasi (*hybrid foundations*)
(Sumber : O'Brien et al. 2023)

Pondasi khusus merupakan jenis pondasi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konstruksi pada kondisi tanah dan lingkungan tertentu yang tidak dapat ditangani secara optimal oleh pondasi konvensional. Salah satu jenisnya adalah *sheet-pile foundation*, yang menawarkan solusi hemat biaya dengan kemampuan menahan gaya horizontal yang baik sehingga sesuai untuk daerah rawan gempa atau pekerjaan penahan tanah. Jenis lainnya adalah *Rammed Aggregate Pier* (RAP), yang digunakan untuk memperkuat tanah berkekuatan rendah dan meningkatkan daya dukung fondasi. Selain itu, *shell foundations* menjadi alternatif ekonomis dalam mendukung beban berat pada tanah lemah karena mampu mendistribusikan beban secara lebih efisien dan meningkatkan stabilitas struktur.

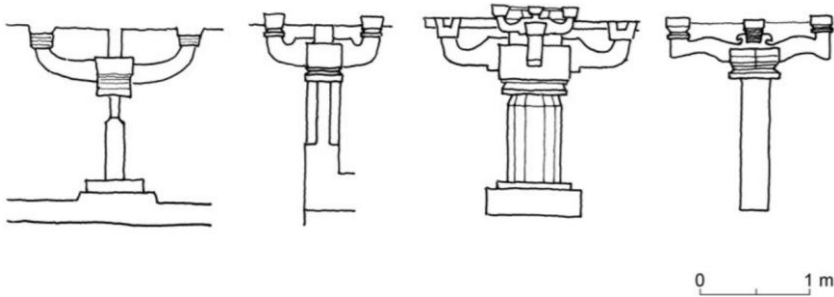


Gambar 2. 10 Sheet-Pile Foundation
(Sumber : Nishioka et al. 2008)

2. Kolom dan Pilar (*Columns and Pillars*)

Kolom merupakan salah satu elemen struktur vertikal yang memiliki peran fundamental dalam menjaga stabilitas, kekuatan, dan keamanan suatu bangunan melalui kemampuannya menerima, menahan, dan meneruskan beban dari elemen struktur di atasnya menuju fondasi. Sebagai komponen utama dalam sistem pemikul beban, kolom harus mampu menahan beban gravitasi, beban hidup, beban angin, maupun beban gempa tanpa mengalami kegagalan struktural. Pada bangunan bertingkat tinggi, kolom umumnya dirancang dalam bentuk yang lebih ramping untuk meningkatkan efisiensi ruang dan material, namun tetap harus memenuhi persyaratan kekuatan terhadap tekuk (*buckling*) dan deformasi akibat pengaruh gaya lateral. Oleh karena itu, perancang struktur menggunakan metode analisis yang lebih canggih, seperti *Moment Magnification Method* dan analisis P-Delta, untuk memperhitungkan pengaruh deformasi sekunder terhadap stabilitas kolom sehingga kinerja struktur tetap terjamin di bawah kondisi pembebanan ekstrem. Selain aspek kekuatan, efisiensi penggunaan material juga menjadi pertimbangan penting dalam desain kolom. Penempatan, orientasi, dimensi, serta pemilihan material yang tepat dapat mengoptimalkan distribusi beban dan mengurangi penggunaan sumber daya tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur. Penelitian menunjukkan bahwa perencanaan grid kolom yang strategis mampu menghasilkan penghematan penggunaan baja hingga sekitar 2,58% dan beton sekitar 1,52%, sehingga memberikan manfaat ekonomi sekaligus meningkatkan efisiensi konstruksi (Shetty *et al.* 2025). Temuan ini

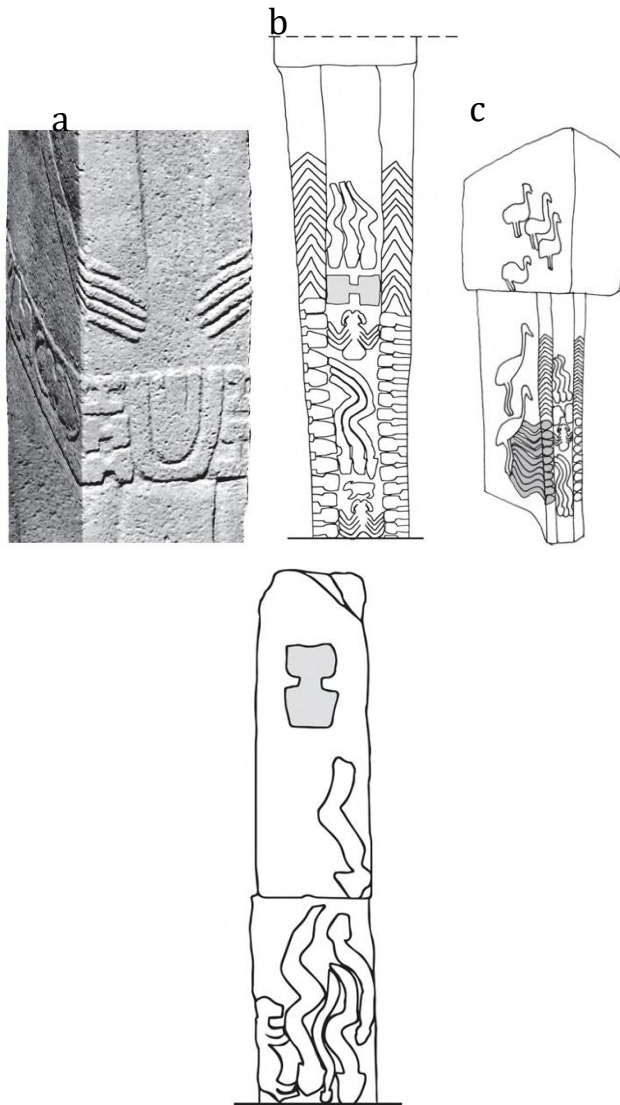
menunjukkan bahwa kolom tidak hanya berfungsi sebagai elemen pemikul beban, tetapi juga menjadi faktor penting dalam mewujudkan desain bangunan yang efisien, aman, dan berkelanjutan.



Gambar 2. 11 Kolom-kolom dari makam Dinasti Han ditemukan di Provinsi Sichuan

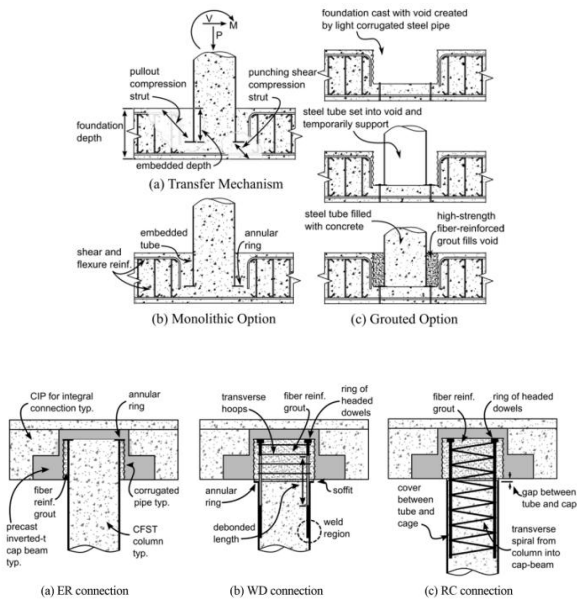
(Sumber : Xie 2020)

Di samping fungsi strukturalnya, kolom juga memiliki nilai budaya, simbolis, dan estetis yang sangat penting dalam perkembangan sejarah arsitektur di berbagai peradaban. Sejak masa kuno, kolom tidak hanya dipandang sebagai elemen penyangga bangunan, tetapi juga sebagai simbol kekuasaan, spiritualitas, dan identitas budaya. Dalam arsitektur Tiongkok Kekaisaran, misalnya, kolom kayu dimaknai sebagai simbol hubungan antara dunia manusia dan dunia surgawi, sehingga keberadaannya merepresentasikan gerbang menuju langit atau gunung suci yang memiliki makna spiritual (Gambar 2.11). Sementara itu, pada peradaban Mesopotamia Neolitik, pilar berbentuk huruf T dibuat dengan karakter antropomorfik yang melambangkan sosok dewa atau kekuatan supranatural sebagai bagian dari ekspresi religius masyarakat pada masa tersebut (Gambar 2.12).



Gambar 2. 12 a) *Anthropomorphic T-shaped pillar* dan (b,c,d) *Topio-anthropomorphic T-shaped pillar*
(Sumber : Gheorghiu 2024)

Perkembangan selanjutnya menunjukkan bahwa kolom juga menjadi media ekspresi artistik yang menggabungkan fungsi struktural dengan nilai estetika. Dalam arsitektur Persia dan India, misalnya, kolom dirancang dengan memperhatikan prinsip geometri, proporsi, simetri, serta ornamen budaya yang mencerminkan identitas lokal. Kepala kolom berbentuk banteng di Persepolis merupakan salah satu contoh bagaimana elemen struktur dapat sekaligus berfungsi sebagai karya seni arsitektur yang memperkuat karakter visual bangunan. Dengan demikian, kolom memiliki peran ganda, yaitu sebagai elemen struktural yang menjamin keamanan konstruksi sekaligus sebagai elemen arsitektural yang mengandung nilai historis, simbolik, dan estetika.



Gambar 2. 13 Concrete Filled Steel Tubes (CSFTs)
(Sumber : Roeder et al. 2018)

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong evolusi desain kolom dari sistem konstruksi tradisional menuju inovasi struktur modern yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan. Pada arsitektur tradisional Asia Tenggara, seperti bangunan pendapa, kolom dirancang tidak hanya sebagai penyangga atap, tetapi juga sebagai bagian dari strategi adaptasi terhadap iklim tropis melalui peningkatan ventilasi alami dan fleksibilitas ruang (Abdul Majid and Jahn Kassim 2023). Seiring kemajuan teknologi material, muncul berbagai inovasi seperti kolom tabung baja berisi beton (*concrete-filled steel tube*), kolom kaca, dan material komposit yang mampu menggabungkan kapasitas menahan beban tinggi, ketahanan terhadap api, serta kualitas estetika yang lebih baik (Gambar 2.13). Selain itu, perkembangan teknologi manufaktur digital melalui pencetakan beton tiga dimensi (*3D concrete printing*) memungkinkan pembuatan bentuk kolom yang lebih kompleks dan efisien, sehingga membuka peluang baru dalam integrasi aspek struktural dan ekspresi arsitektural yang sebelumnya sulit diwujudkan dengan metode konstruksi konvensional. Di sisi lain, tuntutan pembangunan berkelanjutan juga mendorong penggunaan teknik konstruksi yang lebih ramah lingkungan, seperti sistem batu bata kering (*dry brick construction*) dan material hibrida yang memungkinkan penggunaan kembali material serta meningkatkan kemampuan adaptasi bangunan terhadap perubahan kebutuhan di masa depan (Gambar 2.14).



Gambar 2. 14 *Dry Brick Construction*

(Sumber : <https://www.swasya.com/blog/sun-dried-bricks>)

Prinsip keberlanjutan tersebut juga diterapkan pada renovasi bangunan bersejarah, di mana perkuatan kolom dilakukan dengan tetap mempertahankan karakter visual dan nilai budaya bangunan sehingga keseimbangan antara integritas struktural, fungsi, dan pelestarian warisan arsitektur dapat tercapai secara optimal.

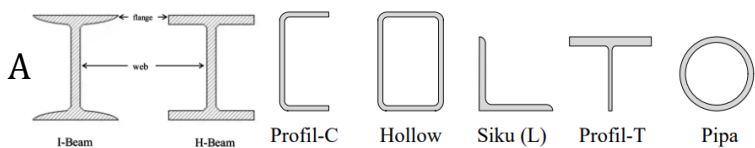
3. Balok (*Beams*)

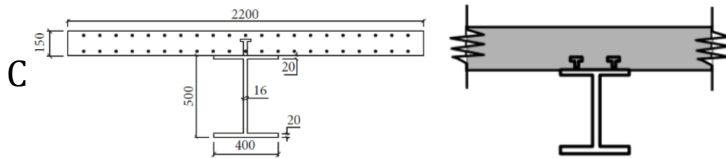
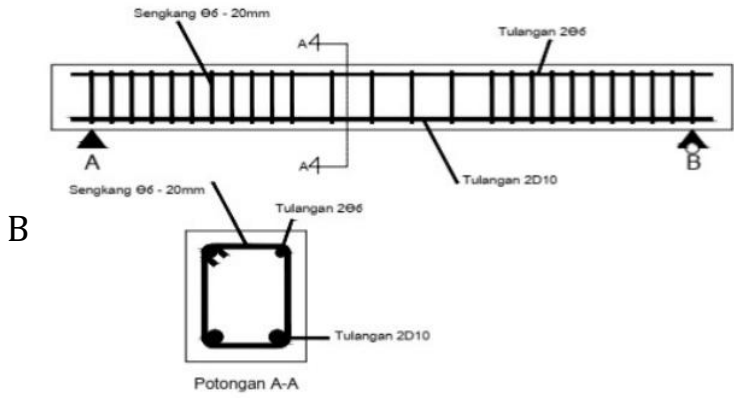
Balok adalah elemen horizontal yang menopang beban dari pelat dan mentransfernya ke kolom. Balok merupakan bagian integral dari kerangka struktural dan sering kali terbuat dari baja, kayu, atau beton bertulang. Berikut adalah berbagai jenis balok (*beams*) yang digunakan dalam konstruksi dan rekayasa teknik, yaitu :

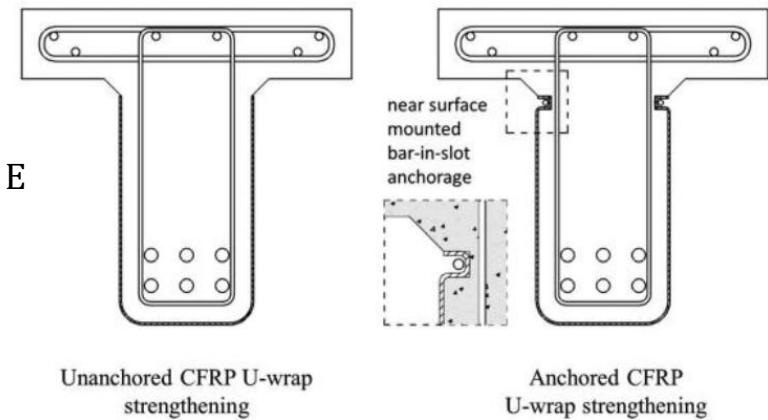
Balok Berdasarkan Material

Berdasarkan material penyusunnya, balok diklasifikasikan menjadi balok baja, balok beton bertulang, balok komposit, balok kayu rekayasa, dan balok komposit serat polimer, yang masing-masing memiliki karakteristik mekanis sesuai

dengan kebutuhan struktur. Balok baja (*steel beams*) (Gambar 2.15A) banyak digunakan karena memiliki kekuatan tinggi, dukilitas yang baik, serta proses fabrikasi dan pemasangan yang relatif cepat. Bentuk yang umum digunakan meliputi balok profil H (*H-shaped steel beams*), balok profil I (*I-beams*), dan balok baja berbentuk persegi panjang (1,2). Balok beton bertulang (*reinforced concrete beams*) (Gambar 2.15B) berfungsi sebagai elemen utama distribusi beban, seperti transfer *girder*, *pile cap*, dan dinding fondasi, sedangkan *deep beams* digunakan untuk menahan beban besar dengan bentang relatif pendek. Di sisi lain, balok komposit (Gambar 2.15C) menggabungkan dua atau lebih material, seperti baja–beton, baja–kayu, dan kayu–beton, untuk meningkatkan kapasitas struktur, efisiensi material, serta kinerja mekanis. Selain itu, balok kayu rekayasa (Gambar 2.15D), seperti *glulam beams*, menawarkan kekuatan lentur yang tinggi, sedangkan balok komposit serat polimer (*fibre-polymer composite beams*) (Gambar 2.15E) menjadi alternatif ringan dengan ketahanan kelelahan yang baik, khususnya pada konstruksi jembatan.







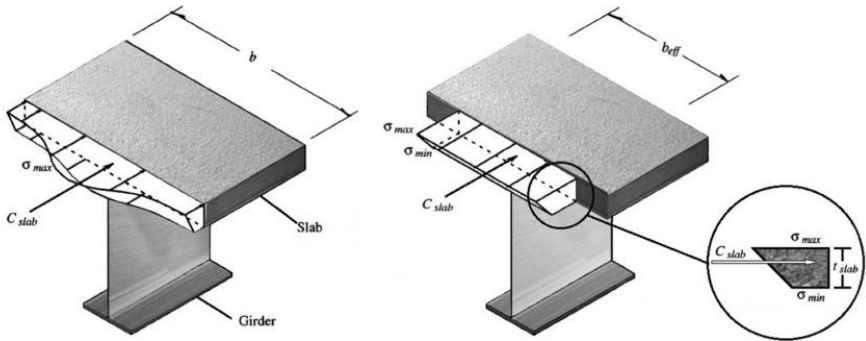
Gambar 2. 15 A) Balok baja; B) Balok beton bertulang C) Balok komposit; D) Balok kayu rekayasa (*glulam beams*); E) Balok komposit serat polimer.

(Sumber : Modifikasi dari Haris 2020; Putra et al. 2020; Alvianti 2021; Alfano and Leman 2024; Sebastian and Leman 2024; Widjaya and Leman 2024; Hakiki 2025)

Berdasarkan Bentuk Penampang

Berdasarkan bentuk penampangnya, balok dapat diklasifikasikan menjadi balok T (*T-beams*), balok H dan I (*H- dan I-beams*), serta balok kotak (*box beams*), yang masing-masing dirancang untuk memenuhi kebutuhan struktural tertentu. Balok T memanfaatkan pelat lantai (*slab*) sebagai *flange* yang bekerja menahan gaya tekan sehingga mampu meningkatkan kapasitas lentur dan efisiensi struktur. Sementara itu, balok H dan I banyak digunakan pada konstruksi baja karena memiliki kemampuan mendistribusikan beban secara merata dengan penggunaan material yang lebih efisien. Di sisi lain, balok kotak memiliki penampang tertutup yang memberikan kekakuan tinggi terhadap lentur dan torsi, serta sering dikombinasikan dengan beton busa untuk

meningkatkan kekakuan struktur sekaligus mengurangi berat konstruksi.

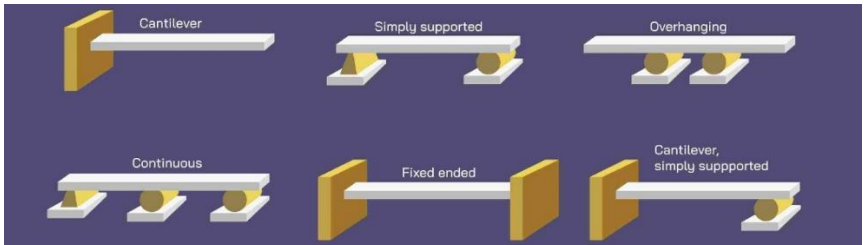


Gambar 2. 16 Balok T (*T-beams*).

(Sumber : Masoudnia 2020)

Berdasarkan Fungsi dan Kegunaannya

Berdasarkan fungsi dan kegunaannya, balok dapat dibedakan menjadi balok kantilever (*cantilever beams*), balok bertingkat (*tapered beams*), dan balok dengan sambungan khusus. Balok kantilever dirancang untuk menopang beban pada ujung bebas tanpa adanya tumpuan langsung, sehingga banyak digunakan pada balkon, kanopi, dan struktur jembatan. Balok bertingkat memiliki perubahan dimensi penampang sepanjang bentangnya untuk meningkatkan efisiensi distribusi gaya serta banyak diterapkan pada struktur dengan kebutuhan sambungan geser khusus. Sementara itu, balok dengan sambungan khusus, seperti balok komposit baja-kayu yang menggunakan baut *stainless steel*, dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas lentur, kekakuan sambungan, serta kinerja struktur secara keseluruhan.



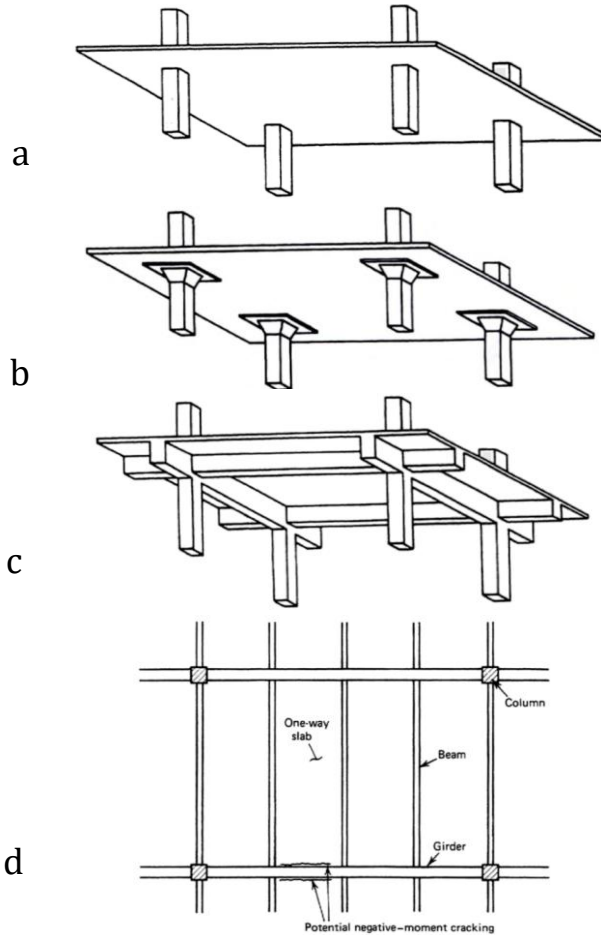
Gambar 2. 17 Beam Types

(Sumber : <https://www.ultratehcement.com/for-homebuilders/home-building-explained-single/descriptive-articles/types-of-beam>)

4. Pelat dan Lantai (*Slabs and Decks*)

Pelat (*slab*) dan dek (*deck*) merupakan elemen struktural horizontal yang memiliki peran penting dalam sistem bangunan maupun jembatan karena berfungsi menerima, mendistribusikan, dan meneruskan beban ke balok, gelagar, kolom, atau elemen penyangga lainnya. Selain berfungsi sebagai pemikul beban, pelat dan dek juga menyediakan permukaan yang digunakan sebagai lantai, atap, maupun lantai kendaraan pada jembatan, sehingga menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari sistem struktur secara keseluruhan. Berdasarkan jenisnya, pelat beton bertulang (*reinforced concrete slabs*) merupakan tipe yang paling banyak digunakan pada bangunan dan jembatan. Pelat ini umumnya ditumpu oleh balok atau gelagar dan diklasifikasikan menjadi pelat satu arah (*one-way slab*) dan pelat dua arah (*two-way slab*) berdasarkan arah dominan distribusi beban dan karakteristik lendutannya. Selain itu, perkembangan teknologi konstruksi melahirkan pelat komposit (*composite slabs*) yang menggabungkan material baja dan beton untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing material. Sistem ini banyak diterapkan pada lantai

gedung bertingkat dan dek jembatan karena mampu meningkatkan kapasitas struktur, kekakuan, efisiensi material, serta memberikan keuntungan ekonomi melalui proses konstruksi yang lebih cepat dan ringan.



Gambar 2. 18 a) Flat Plate, b) Flat Slab, c) Two-Way Slab,
d) Plan view of a beam and girder floor system.
 (Sumber : Park and Gamble 1999)

Seiring berkembangnya teknologi material, berbagai inovasi pada sistem pelat terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi struktur sekaligus mengurangi penggunaan material konstruksi. Salah satu inovasi tersebut adalah *Bubble Deck Slabs*, yaitu pelat beton yang menggunakan bola-bola plastik berongga di bagian tengah penampang untuk mengurangi volume beton tanpa mengurangi kapasitas struktural secara signifikan (Binti *et al.* 2026). Teknologi ini mampu menurunkan berat sendiri struktur, menghemat penggunaan material, serta mendukung konsep konstruksi berkelanjutan melalui pengurangan emisi karbon. Selain itu, pelat dek pracetak (*precast deck slabs*) banyak digunakan pada konstruksi jembatan karena dapat mempercepat proses pembangunan, meningkatkan kualitas produksi melalui fabrikasi di pabrik, serta mengurangi gangguan lalu lintas selama pelaksanaan pekerjaan. Pelat ini dapat berupa sistem pracetak penuh maupun sebagian yang kemudian dipadukan dengan lapisan beton cor di tempat untuk menghasilkan sistem struktur yang monolitik. Inovasi lainnya adalah pelat berongga (*hollow slabs*) yang memiliki rongga internal untuk mengurangi berat sendiri sekaligus meningkatkan kekakuan struktur, terutama pada sistem komposit baja–beton.

Perkembangan material modern juga memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan kinerja pelat dan dek. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan adalah sistem komposit baja–beton (*steel-concrete composite system*), yang memanfaatkan dek baja sebagai bekisting permanen sekaligus tulangan tarik sehingga mampu

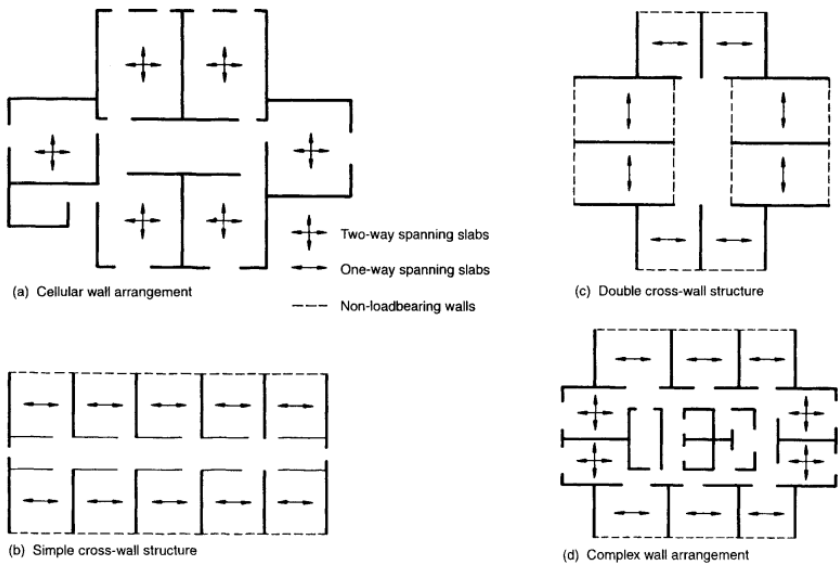
meningkatkan kapasitas menahan beban, mengurangi lendutan, dan mempercepat proses konstruksi. Bahkan, penggunaan dek baja tahan karat mulai dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi sekaligus memberikan nilai estetika yang lebih baik. Di sisi lain, penggunaan *Fibre Reinforced Polymer* (FRP) sebagai tulangan pada pelat dek jembatan menjadi alternatif yang semakin populer karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi, bobot ringan, dan umur layan yang lebih panjang dibandingkan baja konvensional. Material FRP juga mampu meningkatkan aksi membran tekan sehingga deformasi akibat pembebanan dapat dikurangi secara signifikan. Selain itu, pengembangan konfigurasi rongga berbentuk oval maupun rongga yang diperkuat dengan jaring baja terbukti mampu meningkatkan efisiensi struktural sekaligus mengurangi konsumsi material tanpa mengurangi kemampuan pelat dalam menahan beban.

Dalam penerapannya, pelat dan dek digunakan secara luas pada bangunan maupun jembatan dengan karakteristik pembebanan yang berbeda. Pada konstruksi jembatan, pelat dek harus mampu menahan beban lalu lintas berulang, sehingga sering menghadapi permasalahan berupa retak, korosi tulangan, dan degradasi material akibat lingkungan yang agresif. Oleh karena itu, penggunaan sistem pracetak, teknologi penguatan modern, serta material tahan korosi terus dikembangkan untuk meningkatkan umur layanan dan menekan biaya pemeliharaan. Sementara itu, pada bangunan bertingkat, sistem lantai tanpa balok (*flat slab*) dan pelat komposit semakin banyak digunakan karena mampu menciptakan

ruang yang lebih fleksibel, mempercepat pelaksanaan konstruksi, serta menahan beban vertikal dan horizontal secara efisien tanpa memerlukan banyak elemen pendukung tambahan. Ke depan, pengembangan pelat dan dek akan semakin diarahkan pada optimasi desain untuk meningkatkan kapasitas geser, mengurangi lendutan, memperbaiki respons dinamis, serta meminimalkan penggunaan material dan emisi karbon guna mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

5. Dinding (*Walls*)

Dinding merupakan elemen bangunan yang berfungsi sebagai pembatas ruang, pelindung terhadap pengaruh lingkungan, sekaligus pada jenis tertentu berperan sebagai elemen struktural yang menahan dan menyalurkan beban. Berdasarkan material dan karakteristiknya, dinding memiliki berbagai jenis dengan fungsi yang berbeda. Dinding batu bata (Gambar 2.19), yang tersusun dari batu bata tanah liat, mortar kapur, atau batu alam, dikenal memiliki daya tahan serta inersia termal yang tinggi sehingga banyak dijumpai pada bangunan tradisional dan bersejarah, terutama di wilayah beriklim hangat. Selain itu, rangka baja ringan (*Light Steel Framing* atau LSF) berkembang sebagai sistem konstruksi modern yang terdiri atas konfigurasi rangka dingin, rangka hangat, dan rangka hibrida dengan tingkat ketahanan api yang dipengaruhi oleh jenis serta posisi material insulasinya. Sistem ini banyak diterapkan pada bangunan modular dan bangunan hemat energi karena ringan, efisien, dan mudah dipasang.

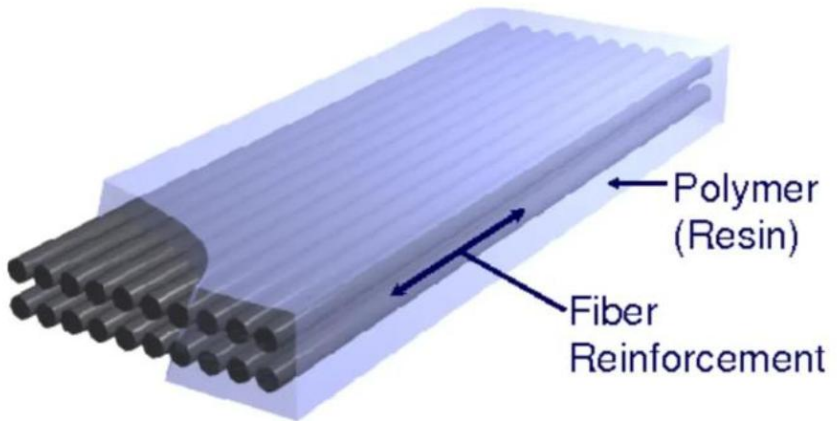


Gambar 2. 19 Typical wall arrangements in masonry buildings

(Sumber : Hendry 1998)

Perkembangan teknologi konstruksi telah menghasilkan berbagai inovasi dinding yang mampu meningkatkan kinerja struktural sekaligus efisiensi energi. Dinding beton bertulang, yang meliputi sistem *ferrocement*, *reinforced cement concrete* (RCC), dan konfigurasi hibrida, dirancang untuk memberikan kapasitas menahan beban yang tinggi sehingga banyak digunakan pada bangunan bertingkat. Sementara itu, dinding rongga (*cavity walls*) memanfaatkan celah udara atau lapisan insulasi untuk mengurangi perpindahan panas dan kelembapan sehingga meningkatkan efisiensi energi bangunan. Inovasi lainnya meliputi dinding beton cetak tiga dimensi (*3D printed concrete walls*) yang memiliki konfigurasi material-udara untuk meningkatkan efisiensi termal, serta *Insulated*

Concrete Forms (ICF) yang menggunakan lapisan *Expanded Polystyrene* (EPS) dengan inti beton sehingga memberikan isolasi termal yang baik sekaligus meningkatkan ketahanan terhadap gempa.



Gambar 2. 20 *Fiber-Reinforced Polymer*

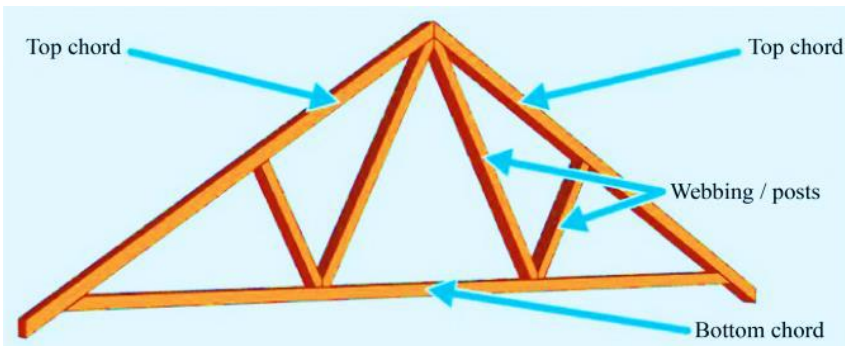
(Sumber : Binti et al. 2026)

Selain material konvensional, perkembangan konstruksi berkelanjutan mendorong penggunaan material berbasis hayati yang lebih ramah lingkungan. Dinding jerami menawarkan kemampuan isolasi termal dan akustik yang sangat baik sehingga sesuai untuk bangunan hemat energi. Dinding komposit miselium, yang dibuat dari pertumbuhan jamur dan limbah pertanian, banyak dimanfaatkan sebagai panel insulasi nonstruktural karena memiliki kemampuan isolasi yang tinggi. Sementara itu, dinding komposit bio-mineral menggabungkan serat tumbuhan dengan pengikat mineral untuk menghasilkan kekuatan mekanis yang baik serta konduktivitas termal yang rendah. Secara umum, kinerja dinding dipengaruhi oleh kemampuan isolasi

termal, ketahanan terhadap api, kapasitas struktural, serta tingkat keberlanjutan material yang digunakan, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan kebutuhan fungsi, keamanan, dan efisiensi bangunan.

6. Rangka atap (*Roof Truss*)

Rangka atap merupakan sistem struktur yang berfungsi menopang penutup atap, mendistribusikan beban ke elemen struktur di bawahnya, serta menjaga stabilitas bangunan terhadap berbagai jenis pembebanan. Sistem ini banyak diterapkan pada bangunan hunian, komersial, maupun industri dengan pemilihan material yang disesuaikan dengan kebutuhan struktur dan kondisi lingkungan. Rangka atap kayu (Gambar 2.20) masih banyak dijumpai pada bangunan tradisional dan bersejarah karena mudah dibentuk serta memiliki nilai estetika yang tinggi. Namun, material ini rentan mengalami deformasi dan penurunan kapasitas akibat pengaruh beban, kelembapan, serta penuaan sehingga memerlukan analisis sambungan dan interaksi struktural yang cermat untuk menjamin keamanan dan umur layan bangunan.



Gambar 2. 21 *Layout of a truss*

(Sumber : Mabaso et al., 2024)

Selain kayu, rangka atap baja menjadi pilihan utama pada konstruksi modern karena memiliki kekuatan tinggi, ketahanan yang baik, serta mampu menjangkau bentang yang lebih panjang. Meskipun demikian, baja tetap memerlukan perlindungan terhadap korosi dan karat agar kinerjanya tetap optimal sepanjang masa layanan. Rangka baja canai dingin (*Cold-Formed Steel* atau CFS) banyak digunakan karena bobotnya ringan, namun elemen yang ramping memiliki risiko mengalami tekuk sehingga membutuhkan perencanaan yang tepat. Profil baja berongga berbentuk persegi panjang (*Rectangular Hollow Section* atau RHS) dan persegi (*Square Hollow Section* atau SHS) juga banyak diterapkan karena efisien dan ekonomis, meskipun desain sambungannya harus dirancang secara presisi untuk mencegah kegagalan struktur. Di sisi lain, rangka beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, tetapi relatif lemah terhadap gaya tarik sehingga lebih rentan mengalami retak apabila tidak diberi tulangan yang memadai.



Gambar 2. 22 Rangka baja dan rangka beton

(Sumber : Mabaso et al., 2024)

Perkembangan teknologi material telah mendorong penggunaan rangka atap komposit sebagai alternatif yang lebih ringan dan efisien. Material komposit berbasis fiberglass dan epoksi menawarkan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi sehingga sesuai untuk struktur yang memerlukan pengurangan berat tanpa mengurangi kapasitas mekanis. Selain itu, komposit berbahan bambu dan serat alami mulai dikembangkan sebagai solusi konstruksi berkelanjutan karena berasal dari sumber daya terbarukan serta memiliki karakteristik mekanis yang baik. Dalam perancangannya, rangka atap harus mampu mendistribusikan beban secara merata agar tidak terjadi konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan lokal. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa distribusi beban, perilaku sambungan, tekuk pada elemen tekan,

serta deformasi akibat beban dinamis merupakan aspek utama yang harus diperhitungkan dalam desain struktur rangka atap.

Perkembangan teknologi digital dan metode konstruksi modern telah menghasilkan berbagai inovasi dalam perancangan rangka atap yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan. Pada wilayah rawan gempa maupun angin kencang, rangka atap dirancang menggunakan sambungan yang diperkuat serta sistem pengaku tambahan untuk meningkatkan stabilitas terhadap beban lateral. Kemajuan perangkat lunak analisis, seperti *Finite Element Analysis* (FEA), memungkinkan optimasi dimensi dan konfigurasi rangka sehingga penggunaan material dapat diminimalkan tanpa mengurangi integritas struktur. Selain itu, sistem prefabrikasi dan konstruksi modular mempercepat proses pemasangan di lapangan serta menekan biaya pelaksanaan. Penggunaan material ramah lingkungan, seperti bambu dan beton aktif alkali, serta pengembangan sambungan baja berisi beton pada profil RHS dan SHS juga menjadi bagian dari inovasi yang mendukung konstruksi modern yang lebih berkelanjutan.

B. Struktur Sekunder dan Pelengkap

Struktur sekunder merupakan komponen bangunan yang dipasang pada struktur utama, tetapi tidak termasuk dalam sistem penahan beban utama yang menentukan stabilitas keseluruhan bangunan. Meskipun demikian, keberadaan struktur sekunder memiliki peran penting dalam mendukung fungsi operasional, kenyamanan, dan kinerja

bangunan. Elemen-elemen seperti bracing, ring balok, sambungan (*connection*), lantai, atap, dan dinding berfungsi melengkapi sistem struktur utama melalui distribusi beban lokal, peningkatan kekakuan pada bagian tertentu, serta menjaga hubungan antar-elemen konstruksi. Dengan demikian, struktur sekunder berperan sebagai sistem pendukung yang membantu memastikan bangunan dapat berfungsi secara optimal tanpa memberikan kontribusi dominan terhadap kapasitas pemikul beban utama.

Dalam praktik konstruksi modern, struktur sekunder juga mencakup berbagai elemen nonstruktural yang mendukung fungsi arsitektural, mekanikal, elektrik, dan perpipaan (*Mechanical, Electrical, and Plumbing* atau MEP). Komponen seperti plafon, partisi, sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC), fasad, pelapis dinding, serta sistem peneduh dirancang untuk meningkatkan kenyamanan, efisiensi energi, dan kualitas lingkungan dalam bangunan. Selain memberikan nilai estetika, elemen-elemen tersebut berperan dalam mengendalikan penyerapan panas matahari, meningkatkan isolasi termal, mengurangi kebisingan, serta menciptakan kenyamanan visual bagi pengguna bangunan. Oleh karena itu, desain struktur sekunder harus mempertimbangkan aspek fungsional, arsitektural, dan performa lingkungan secara terpadu.

Perkembangan teknologi konstruksi telah mendorong penggunaan material dan metode desain yang semakin inovatif pada struktur sekunder. Material seperti beton berkinerja tinggi (*High Performance Concrete*), komposit, serta pendekatan desain komputasional digunakan untuk meningkatkan efisiensi material, memperbaiki kinerja energi, dan mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Pada

bangunan bertingkat tinggi, struktur sekunder memang hanya memberikan kontribusi yang relatif kecil terhadap kekakuan global bangunan. Namun demikian, interaksi antara struktur sekunder dan struktur primer tetap dapat memengaruhi respons lateral bangunan terhadap beban angin maupun gempa. Oleh sebab itu, koordinasi antara kedua sistem tersebut menjadi bagian penting dalam proses perancangan struktur modern.

Pada wilayah rawan gempa, struktur sekunder memerlukan perhatian khusus karena komponen-komponen tersebut sangat sensitif terhadap beban dinamis dan dapat memperkuat respons struktur apabila tidak dirancang serta dipasang dengan benar. Kerusakan pada plafon, partisi, fasad, sistem mekanikal, maupun instalasi elektrik umumnya tidak menyebabkan keruntuhan bangunan, tetapi dapat mengganggu operasional, menurunkan tingkat keselamatan pengguna, serta menimbulkan kerugian ekonomi yang besar. Oleh karena itu, desain, penempatan, dan sistem sambungan struktur sekunder harus memenuhi persyaratan ketahanan terhadap beban lingkungan dan beban seismik. Dengan perencanaan yang tepat, struktur sekunder mampu mempertahankan fungsi bangunan, meningkatkan keselamatan penghuni, serta mendukung keberlanjutan kinerja bangunan selama masa layanannya.

BAB 3

TEKNIK MENGGAMBAR DIGITAL DENGAN AUTOCAD

AutoCAD merupakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) yang dikembangkan oleh Autodesk dan telah menjadi standar industri dalam pembuatan gambar teknik di berbagai bidang, termasuk arsitektur, teknik sipil, teknik mesin, dan desain interior. AutoCAD 2025 merupakan versi terbaru yang dilengkapi dengan berbagai fitur canggih untuk meningkatkan produktivitas dan akurasi dalam menggambar digital.

Bab ini disusun secara sistematis untuk membimbing pembaca dari tingkat pemula hingga mampu menguasai teknik menggambar digital dengan AutoCAD 2025. Pembahasan dimulai dari pengenalan antarmuka pengguna, perintah-perintah dasar menggambar, teknik modifikasi objek, manajemen layer, penambahan teks dan dimensi, hingga proses plotting atau cetak gambar. Setiap subbab dilengkapi dengan langkah-langkah praktis dan gambar ilustrasi untuk memudahkan pemahaman.

Pembaca yang disarankan untuk mempelajari bab ini adalah siswa SMK jurusan Gambar Bangunan dan mahasiswa teknik sipil yang ingin menguasai keterampilan menggambar digital sebagai bekal dalam dunia kerja. Dengan mengikuti

panduan dalam bab ini, pembaca diharapkan mampu membuat gambar kerja bangunan yang presisi sesuai dengan standar industri.

3.1 Memulai AutoCAD 2025

3.1.1 Sistem dan Spesifikasi Komputer

Sebelum menginstal AutoCAD 2025, perlu dipastikan bahwa komputer yang digunakan memenuhi spesifikasi minimum yang disyaratkan oleh Autodesk. Spesifikasi minimum ini penting untuk memastikan AutoCAD dapat berjalan dengan lancar tanpa kendala performa.

Tabel 3. 1 Spesifikasi minimum computer untuk bisa AutiCAD

Komponen	Spesifikasi Minimum
Sistem Operasi	Windows 10/11 (64-bit)
Prosesor	2.5 GHz (disarankan 3+ GHz)
RAM	8 GB (disarankan 16+ GB)
GPU	1 GB GPU dengan DirectX 11
Ruang Disk	10 GB ruang kosong
Resolusi Layar	1920 x 1080 (Full HD)
Browser	Google Chrome/Firefox/Edge

3.1.2 Proses Instalasi

Proses instalasi AutoCAD 2025 dapat dilakukan dengan mengunduh installer dari situs resmi Autodesk melalui akun Autodesk yang telah terdaftar. Setelah installer diunduh, jalankan file instalasi dan ikuti panduan yang muncul pada layar. Pengguna dapat memilih antara instalasi lengkap atau kustom sesuai kebutuhan.

Setelah instalasi selesai, aktifkan lisensi menggunakan serial number atau login dengan akun Autodesk Education untuk versi pelajar. AutoCAD 2025 juga menyediakan masa trial selama 30 hari bagi pengguna yang ingin mencoba sebelum membeli lisensi.

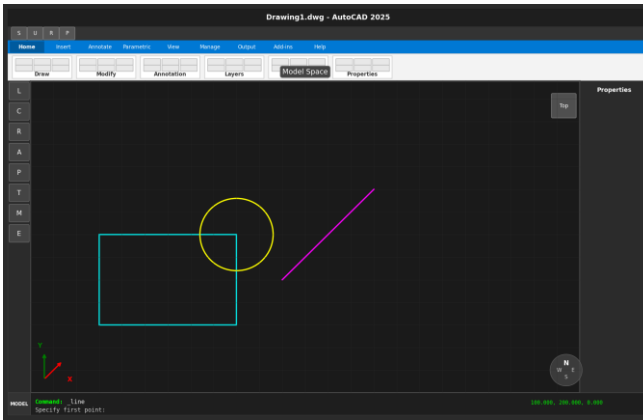
3.1.3 Membuka Aplikasi AutoCAD 2025

Untuk membuka AutoCAD 2025, klik ikon AutoCAD pada desktop atau cari melalui menu Start. Saat pertama kali dibuka, pengguna akan melihat Start Tab yang menampilkan berbagai opsi seperti membuka file baru, membuka file yang sudah ada, mengakses template, dan melihat recent documents.

Untuk memulai gambar baru, klik tombol New dan pilih template yang sesuai. AutoCAD menyediakan beberapa template bawaan seperti acad.dwt untuk satuan imperial dan acadiso.dwt untuk satuan metrik. Untuk keperluan gambar bangunan di Indonesia, disarankan menggunakan template acadiso.dwt yang menggunakan satuan millimeter.

3.2 Antarmuka Pengguna AutoCAD 2025

Antarmuka pengguna AutoCAD 2025 dirancang agar intuitif dan mudah dipelajari, terutama bagi pengguna pemula. Pemahaman terhadap komponen-komponen antarmuka sangat penting karena akan memudahkan pengguna dalam mengakses berbagai perintah dan fitur yang tersedia.



Gambar 3. 1 Tampilan Antarmuka Utama AutoCAD 2025

3.2.1 Quick Access Toolbar

Quick Access Toolbar terletak di bagian paling atas jendela AutoCAD. Toolbar ini berisi ikon-ikon penting yang sering digunakan seperti New, Open, Save, Undo, Redo, dan Print. Pengguna dapat menambahkan atau menghapus ikon pada toolbar ini sesuai kebutuhan dengan mengklik dropdown di sebelah kanan toolbar.

3.2.2 Ribbon

Ribbon merupakan panel perintah utama di AutoCAD 2025 yang menggantikan toolbar tradisional. Ribbon terdiri dari beberapa tab seperti Home, Insert, Annotate, Parametric, View, Manage, Output, dan Add-ins. Setiap tab berisi panel-panel yang dikelompokkan berdasarkan fungsi. Tab Home merupakan tab yang paling sering digunakan karena berisi perintah-perintah dasar menggambar dan modifikasi.

3.2.3 Drawing Area

Drawing Area adalah area kerja utama tempat pengguna membuat dan mengedit gambar. Area ini memiliki latar belakang gelap secara default untuk mengurangi kelelahan mata saat bekerja dalam waktu lama. Di dalam drawing area terdapat User Coordinate System (UCS) icon yang menunjukkan arah sumbu X (merah) dan Y (hijau), serta ViewCube untuk navigasi tampilan.

3.2.4 Command Line

Command Line terletak di bagian bawah jendela AutoCAD dan berfungsi sebagai tempat memasukkan perintah secara manual. Command line juga menampilkan prompt-prompt yang memandu pengguna dalam menyelesaikan suatu perintah. Pengguna yang sudah mahir biasanya lebih cepat menggunakan command line dibandingkan mengklik ikon pada ribbon.

3.2.5 Status Bar

Status Bar terletak di bagian paling bawah jendela dan berisi berbagai tombol kontrol seperti Snap Mode, Grid Display, Ortho Mode, Polar Tracking, Object Snap, dan Dynamic Input. Status bar juga menampilkan koordinat kursor saat ini dan tab Model/Layout untuk beralih antara model space dan paper space.

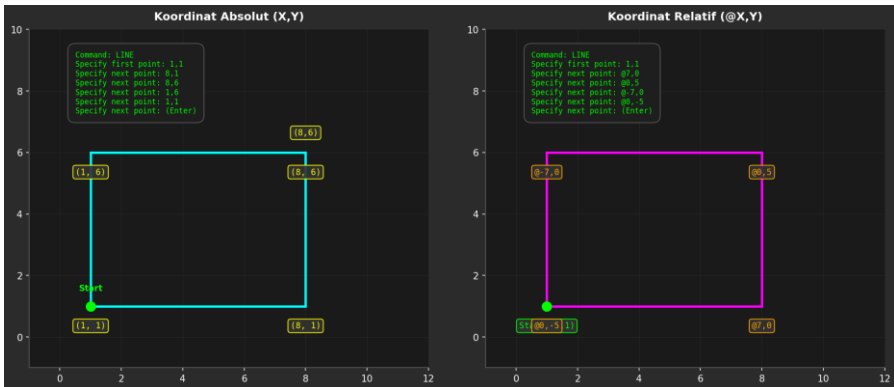
3.3 Perintah Dasar Menggambar

Perintah-perintah dasar menggambar merupakan fondasi utama dalam penggunaan AutoCAD. Perintah ini

digunakan untuk membuat objek-objek geometris sederhana seperti garis, lingkaran, dan lengkungan. Penguasaan perintah dasar ini sangat penting karena hampir semua gambar teknik tersusun dari kombinasi objek-objek tersebut.

3.3.1 Perintah LINE (L)

Perintah LINE digunakan untuk menggambar garis lurus. Garis merupakan objek paling dasar dalam AutoCAD dan hampir semua gambar teknik tersusun dari garis-garis. Untuk mengaktifkan perintah LINE, ketik L pada command line dan tekan Enter, atau klik ikon Line pada panel Draw di tab Home. Setelah perintah LINE diaktifkan, AutoCAD akan meminta pengguna untuk menentukan titik pertama (Specify first point). Titik ini dapat ditentukan dengan mengklik pada drawing area atau memasukkan koordinat. Setelah titik pertama ditentukan, AutoCAD akan meminta titik berikutnya (Specify next point), dan proses ini akan terus berlanjut hingga pengguna menekan Enter atau Esc untuk mengakhiri perintah.



Gambar 3. 2 Perintah LINE dengan Koordinat Absolut dan Relatif

a. Koordinat Absolut

Koordinat absolut menggunakan sistem koordinat kartesian dengan format X,Y. Titik pertama selalu dihitung dari titik asal (0,0). Misalnya, untuk menggambar garis dari titik (1,1) ke titik (5,1), ketikkan 1,1 untuk titik pertama, lalu 5,1 untuk titik kedua. Koordinat absolut cocok digunakan ketika posisi objek sudah diketahui dengan pasti terhadap titik asal.

b. Koordinat Relatif

Koordinat relatif menggunakan format @X,Y yang berarti jarak dari titik terakhir. Tanda @ menunjukkan bahwa koordinat dihitung relatif terhadap titik sebelumnya. Misalnya, @3,0 berarti bergerak 3 unit ke arah X dan 0 unit ke arah Y dari titik terakhir. Koordinat relatif lebih fleksibel dan sering digunakan dalam praktik menggambar.

c. Koordinat Polar Relatif

Koordinat polar relatif menggunakan format @jarak<sudut. Misalnya, @5<45 berarti bergerak sejauh 5 unit dengan sudut 45 derajat dari sumbu X positif. Koordinat polar sangat berguna untuk menggambar garis dengan sudut tertentu.

3.3.2 Perintah CIRCLE (C)

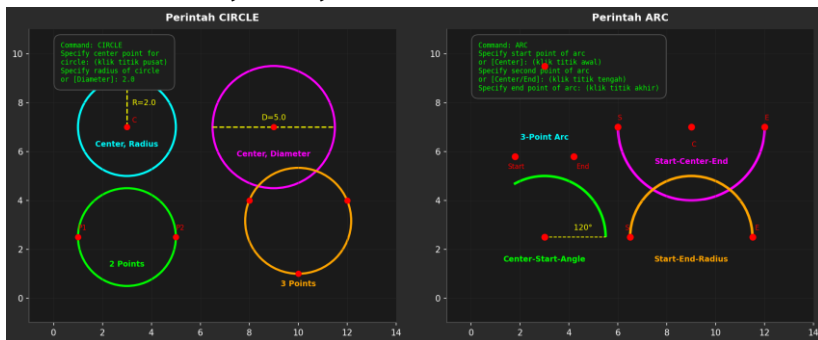
Perintah CIRCLE digunakan untuk menggambar lingkaran. Terdapat beberapa metode dalam menggambar lingkaran di AutoCAD, yaitu Center Radius, Center Diameter, Two Points, Three Points, Tangent Tangent Radius, dan Tangent Tangent Tangent. Metode yang paling umum digunakan adalah Center Radius.

Untuk menggambar lingkaran dengan metode Center Radius, aktifkan perintah CIRCLE dengan mengetik C dan tekan Enter. Tentukan titik pusat lingkaran dengan klik pada drawing area atau masukkan koordinat, kemudian tentukan radius (jari-jari) lingkaran. Untuk metode Center Diameter, setelah menentukan titik pusat, masukkan huruf D untuk beralih ke mode diameter, lalu masukkan nilai diameter.

3.3.3 Perintah ARC (A)

Perintah ARC digunakan untuk menggambar lengkungan atau busur. AutoCAD menyediakan sebelas metode berbeda untuk membuat arc, namun yang paling sering digunakan adalah 3-Point dan Start-Center-End. Metode 3-Point memungkinkan pengguna menentukan titik awal, titik pada lengkungan, dan titik akhir.

Untuk menggambar arc dengan metode Start-Center-End, aktifkan perintah ARC, tentukan titik awal (start point), kemudian tentukan titik pusat (center point), dan terakhir tentukan titik akhir (end point). Arc selalu digambar berlawanan arah jarum jam dari titik awal ke titik akhir.



Gambar 3. 3. Berbagai Metode Perintah CIRCLE dan ARC

3.4 Perintah Modifikasi Objek

Perintah modifikasi merupakan perintah-perintah yang digunakan untuk mengubah, menyalin, memindahkan, atau menghapus objek yang telah dibuat. Penguasaan perintah modifikasi sangat penting karena dalam praktiknya, pengguna jarang menggambar semua objek dari nol. Sebagian besar pekerjaan menggambar melibatkan pengeditan objek yang sudah ada.

3.4.1 Perintah ERASE (E)

Perintah ERASE digunakan untuk menghapus objek dari drawing area. Perintah ini dapat diaktifkan dengan mengetik E pada command line atau menekan tombol Delete pada keyboard. Setelah perintah diaktifkan, pilih objek yang ingin dihapus dengan mengkliknya, lalu tekan Enter untuk mengkonfirmasi penghapusan. Pengguna juga dapat memilih beberapa objek sekaligus dengan menggunakan selection window.

3.4.2 Perintah COPY (CO/CP)

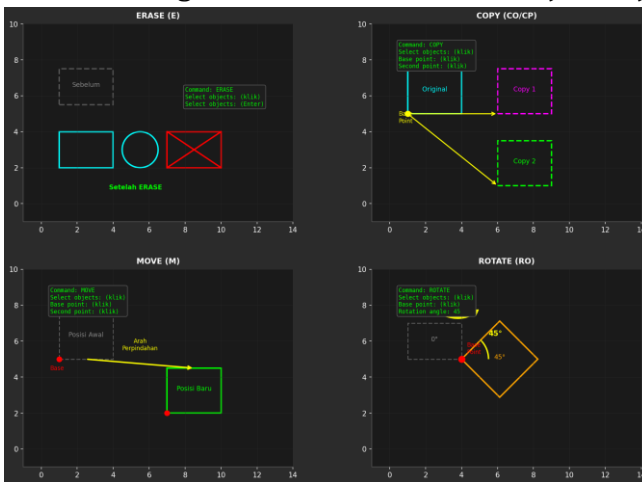
Perintah COPY digunakan untuk membuat salinan dari satu atau lebih objek. Aktifkan perintah COPY dengan mengetik CO atau CP, pilih objek yang ingin disalin, tentukan base point (titik acuan), lalu tentukan second point (titik tujuan). Perintah COPY tetap aktif setelah satu kali penyalinan, sehingga pengguna dapat membuat beberapa salinan secara berurutan. Tekan Enter untuk mengakhiri perintah.

3.4.3 Perintah MOVE (M)

Perintah MOVE digunakan untuk memindahkan objek dari satu lokasi ke lokasi lain. Cara penggunaan MOVE mirip dengan COPY, yaitu pilih objek, tentukan base point, lalu tentukan titik tujuan. Perbedaannya, objek asli akan hilang dari posisi semula dan muncul di posisi baru. Perintah ini sangat berguna untuk menyusun ulang tata letak objek dalam gambar.

3.4.4 Perintah ROTATE (RO)

Perintah ROTATE digunakan untuk memutar objek dengan sudut tertentu terhadap titik acuan. Aktifkan perintah ROTATE, pilih objek yang ingin diputar, tentukan base point (titik pusat rotasi), lalu masukkan nilai sudut rotasi. Sudut positif akan memutar objek berlawanan arah jarum jam, sedangkan sudut negatif akan memutar searah jarum jam.



Gambar 3. 4 Ilustrasi Perintah ERASE, COPY, MOVE, dan ROTATE

3.5 Manajemen Layer

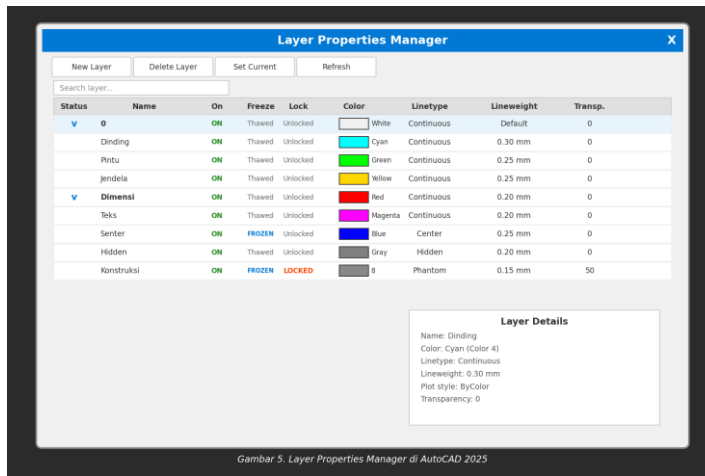
Layer merupakan salah satu fitur paling penting dalam AutoCAD untuk mengorganisir objek-objek dalam gambar. Dengan menggunakan layer, pengguna dapat mengelompokkan objek berdasarkan jenis atau fungsinya, seperti layer untuk dinding, pintu, jendela, dimensi, teks, dan sebagainya. Penggunaan layer yang baik akan membuat gambar lebih terstruktur dan mudah dikelola.

3.5.1 Konsep Layer

Bayangkan layer seperti tumpukan kertas transparan yang saling menumpuk. Setiap objek dalam AutoCAD ditempatkan pada sebuah layer tertentu. Objek-objek yang berada pada layer yang sama dapat dikelola bersama-sama, seperti diubah warnanya, disembunyikan, atau dikunci. Layer default dalam AutoCAD adalah layer 0 yang tidak dapat dihapus.

3.5.2 Layer Properties Manager

Layer Properties Manager adalah dialog box yang digunakan untuk mengelola semua layer dalam gambar. Dialog ini dapat diakses dengan mengetik LA pada command line atau mengklik ikon Layer Properties pada panel Layers di tab Home. Dalam Layer Properties Manager, pengguna dapat membuat layer baru, menghapus layer, mengubah nama layer, mengatur warna, linetype, lineweight, dan transparansi layer.



Gambar 3. 5 Tampilan Layer Properties Manager

3.5.3 Pengaturan Layer untuk Gambar Bangunan

Dalam gambar bangunan, pengaturan layer yang terstruktur sangat membantu dalam proses penggambaran dan plotting. Berikut adalah contoh pengaturan layer yang umum digunakan untuk gambar denah rumah:

Tabel 3. 2 Contoh Pengaturan Layer

Nama Layer	Warna	Linetype	Lineweight
Dinding	Cyan (4)	Continuous	0.30 mm
Pintu	Green (3)	Continuous	0.25 mm
Jendela	Yellow (2)	Continuous	0.25 mm
Dimensi	Red (1)	Continuous	0.20 mm
Teks	Magenta (6)	Continuous	0.20 mm
Senter	Blue (5)	Center	0.25 mm
Konstruksi	Gray (8)	Phantom	0.15 mm

3.5.4 Mengatur Layer Aktif

Untuk menggambar pada layer tertentu, pengguna harus terlebih dahulu mengatur layer tersebut sebagai layer aktif (current layer). Caranya adalah dengan memilih nama layer pada dropdown Layer di panel Layers pada tab Home, atau dengan mengklik tombol Set Current pada Layer Properties Manager. Semua objek yang dibuat akan otomatis ditempatkan pada layer aktif.

3.6 Text dan Dimension

Text dan dimension merupakan elemen penting dalam gambar teknik untuk memberikan informasi tambahan tentang objek yang digambar. Text digunakan untuk memberikan keterangan, label, atau informasi teks lainnya, sedangkan dimension digunakan untuk menunjukkan ukuran dan jarak antar objek.

3.6.1 Perintah TEXT dan MTEXT

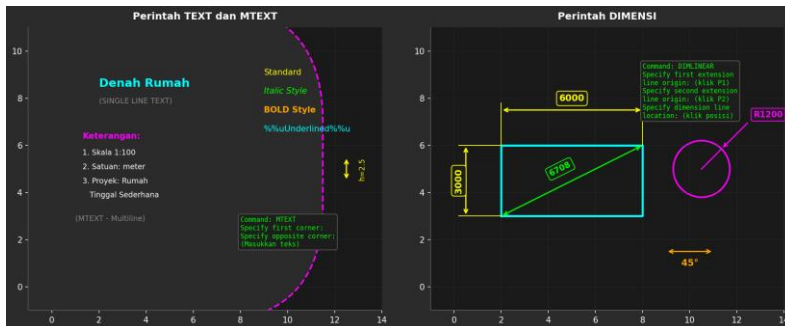
AutoCAD menyediakan dua jenis perintah untuk menambahkan teks, yaitu TEXT untuk single-line text dan MTEXT untuk multiline text. Perintah TEXT cocok untuk teks singkat seperti label, sedangkan MTEXT lebih cocok untuk teks panjang yang memerlukan beberapa baris seperti keterangan atau spesifikasi.

Untuk menggunakan perintah MTEXT, ketik MT atau MTEXT pada command line, tentukan area teks dengan mengklik dua titik sudut berlawanan, kemudian ketik teks yang diinginkan pada text editor yang muncul. Pada text editor, pengguna dapat mengatur format teks seperti font, ukuran, alignment, bold, italic, dan underline.

3.6.2 Perintah DIMLINEAR dan DIMRADIUS

Perintah DIMLINEAR digunakan untuk membuat dimensi linear, yaitu dimensi yang mengukur jarak horizontal atau vertikal antara dua titik. Aktifkan perintah DIMLINEAR, pilih titik awal dan titik akhir dari objek yang akan didimensi, lalu tentukan posisi dimensi line.

Perintah DIMRADIUS digunakan untuk membuat dimensi radius pada objek lingkaran atau arc. Aktifkan perintah DIMRADIUS, pilih objek lingkaran atau arc, lalu tentukan posisi teks dimensi. AutoCAD juga menyediakan perintah DIMDIAMETER untuk dimensi diameter.



Gambar 3. 6. Ilustrasi Perintah TEXT, MTEXT, dan DIMENSI

3.6.3 Dimension Style Manager

Dimension Style Manager digunakan untuk mengatur tampilan dan format dimensi secara keseluruhan. Pengguna dapat mengatur satuan, presisi desimal, ukuran panah, jarak teks, skala dimensi, dan berbagai parameter lainnya. Dimension Style yang telah diatur dapat disimpan dan digunakan kembali pada gambar lain.

3.7 Layout dan Paper Space

AutoCAD memiliki dua ruang kerja utama, yaitu Model Space dan Paper Space. Model Space adalah area tempat pengguna membuat dan mengedit objek-objek gambar dengan ukuran sebenarnya (full scale). Paper Space adalah area yang merepresentasikan kertas gambar, tempat pengguna mengatur tata letak gambar untuk plotting.

3.7.1 Perbedaan Model Space dan Paper Space

Model Space adalah lingkungan kerja utama tempat semua objek gambar dibuat dengan skala 1:1 atau ukuran sebenarnya. Di Model Space, pengguna bebas menggambar tanpa memikirkan ukuran kertas. Sebaliknya, Paper Space merepresentasikan lembar kertas fisik dengan ukuran tertentu (misalnya A4, A3, A2). Di Paper Space, pengguna dapat menempatkan viewport yang menampilkan sebagian atau seluruh objek dari Model Space dengan skala tertentu.

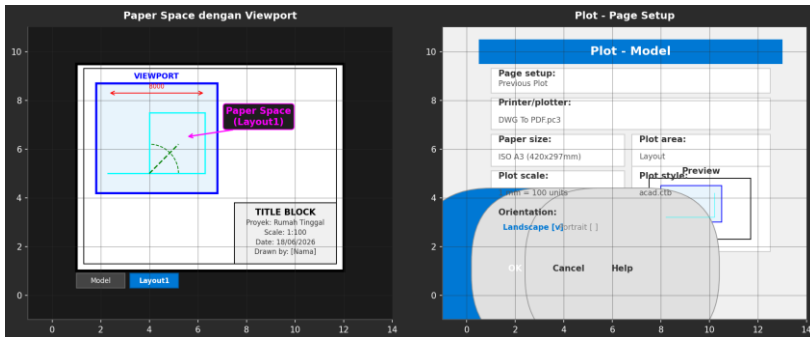
3.7.2 Membuat Layout Baru

Layout baru dapat dibuat dengan mengklik kanan pada tab layout yang ada dan memilih New Layout, atau dengan menggunakan perintah LAYOUT. Setiap gambar AutoCAD dapat memiliki beberapa layout yang masing-masing dapat memiliki ukuran kertas, orientasi, dan skala yang berbeda. Layout yang telah dibuat dapat disimpan sebagai template untuk digunakan pada gambar lain.

3.7.3 Viewport

Viewport adalah jendela di Paper Space yang menampilkan isi dari Model Space. Satu layout dapat memiliki

satu atau beberapa viewport. Pengguna dapat mengatur skala tampilan pada setiap viewport, misalnya 1:100 untuk denah, 1:50 untuk detail, atau 1:200 untuk site plan. Untuk mengaktifkan viewport dan bekerja di dalamnya, klik dua kali di dalam batas viewport. Untuk kembali ke Paper Space, klik dua kali di luar viewport.



Gambar 3. 7 Tampilan Paper Space dengan Viewport dan Dialog Plot

3.8 Plotting dan Cetak Gambar

Plotting adalah proses mencetak atau menyimpan gambar AutoCAD ke format lain seperti PDF atau langsung ke printer/plotter. Proses plotting melibatkan beberapa pengaturan penting untuk memastikan gambar yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.

3.8.1 Pengaturan Plotter/Printer

Pengaturan plotter dapat diakses melalui dialog Plot dengan mengetik PLOT pada command line atau mengklik ikon Plot pada Quick Access Toolbar. Pada bagian Printer/Plotter, pilih perangkat yang akan digunakan. Jika ingin menyimpan sebagai PDF, pilih DWG To PDF.pc3 atau

Adobe PDF. Jika ingin mencetak langsung, pilih printer yang terhubung ke komputer.

3.8.2 Pengaturan Ukuran Kertas dan Skala

Pada bagian Paper Size, pilih ukuran kertas yang sesuai dengan kebutuhan. AutoCAD menyediakan berbagai ukuran kertas standar seperti ISO A4, A3, A2, A1, dan A0. Pada bagian Plot Scale, atur skala plotting. Jika menggunakan Layout, pilih option 1:1 karena skala sudah diatur pada viewport. Pastikan juga unit yang digunakan sesuai (mm untuk satuan metrik).

3.8.3 Plot Area dan Plot Style

Plot Area menentukan bagian mana dari gambar yang akan diplot. Pilihan yang tersedia antara lain Display (tampilan saat ini), Extents (semua objek), Limits (batas drawing), Window (area yang dipilih), dan Layout. Plot Style Table (CTB atau STB) menentukan bagaimana warna dan properti objek diubah saat plotting. File acad.ctb adalah plot style default yang paling umum digunakan.

3.8.4 Preview dan Proses Plotting

Sebelum melakukan plotting, selalu periksa tampilan melalui fitur Preview untuk memastikan gambar akan tercetak sesuai keinginan. Preview menampilkan gambar persis seperti yang akan diplot, termasuk posisi, skala, dan penempatan pada kertas. Jika tampilan sudah sesuai, klik OK untuk memulai proses plotting. Jika tidak sesuai, klik Cancel dan perbaiki pengaturan yang diperlukan.

3.9 Latihan

1. Jelaskan fungsi dari komponen-komponen utama antarmuka AutoCAD 2025!
2. Buatlah persegi panjang dengan ukuran 5 x 3 unit menggunakan perintah LINE dengan koordinat absolut!
3. Jelaskan perbedaan antara koordinat absolut dan koordinat relatif! Kapan masing-masing digunakan?
4. Sebutkan dan jelaskan tiga metode menggambar lingkaran yang paling sering digunakan!
5. Buatlah 5 layer dengan pengaturan berikut: Dinding (Cyan), Pintu (Green), Jendela (Yellow), Dimensi (Red), dan Teks (Magenta)!
6. Jelaskan langkah-langkah membuat dimensi linear pada objek persegi panjang!
7. Apa perbedaan antara Model Space dan Paper Space? Jelaskan fungsi masing-masing!
8. Jelaskan langkah-langkah plotting gambar ke format PDF dengan skala 1:100 pada kertas A3!

BAB 4

PERENCANAAN DAN KONSTRUKSI PONDASI DANGKAL

4.1 Pengertian Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal (*shallow foundation*) merupakan struktur bawah suatu bangunan yang berfungsi meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah pendukung yang terletak relatif dekat dengan permukaan tanah. Secara umum, pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi dengan kedalaman dasar pondasi (D_f) kurang dari atau sama dengan lebar pondasi (B), atau secara praktis memiliki kedalaman kurang dari 3 meter dari permukaan tanah. Pondasi dangkal dipilih apabila beban yang dipikul tidak terlalu besar dan lapisan tanah keras tidak terlalu dalam (Zulkarnaen *et al*, 2026).

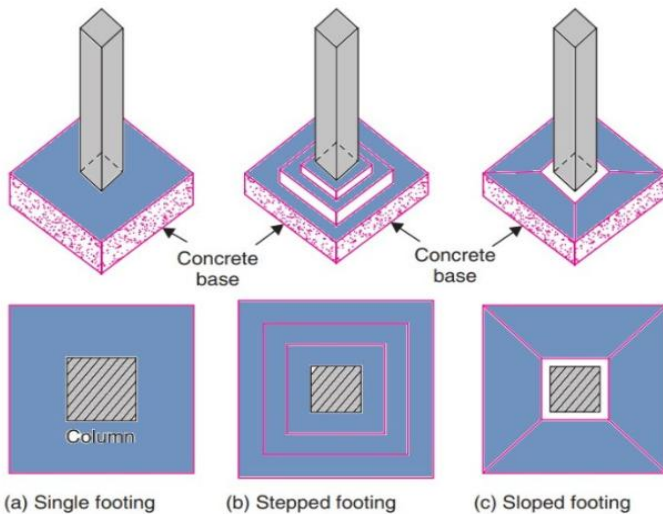
Perencanaan pondasi dangkal mencakup empat komponen utama, yaitu: (1) evaluasi kapasitas dukung vertikal, (2) evaluasi eksentrisitas beban, (3) evaluasi penurunan (*settlement*), dan (4) perancangan struktur pondasi. Bab ini membahas secara rinci ketiga aspek pertama, sedangkan aspek keempat berkaitan dengan perancangan beton bertulang yang diatur dalam standar tersendiri (Ou CY *et al*, 2023).

4.2 Klasifikasi dan Jenis-Jenis Pondasi Dangkal

Berdasarkan bentuk dan fungsinya, pondasi dangkal dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis pondasi yaitu; Pondasi Telapak (*Spread Footing*), Pondasi Lajur (*Strip Footing*), Pondasi Rakit (*Mat Foundation*), Pondasi Kombinasi (*Combined Footing*), Pondasi Batu Kali (Hardiyatmo H. C, 2021).

4.2.1 Pondasi Telapak (*Spread Footing/Pad Foundation*)

Pondasi Telapak adalah Pondasi berbentuk persegi, persegi panjang, atau lingkaran yang digunakan untuk mendukung beban titik dari satu kolom. Berfungsi menyebarkan beban kolom ke area yang lebih luas agar tegangan tanah tetap aman (Salgado R, 2022). Ini merupakan jenis pondasi dangkal yang paling umum digunakan.



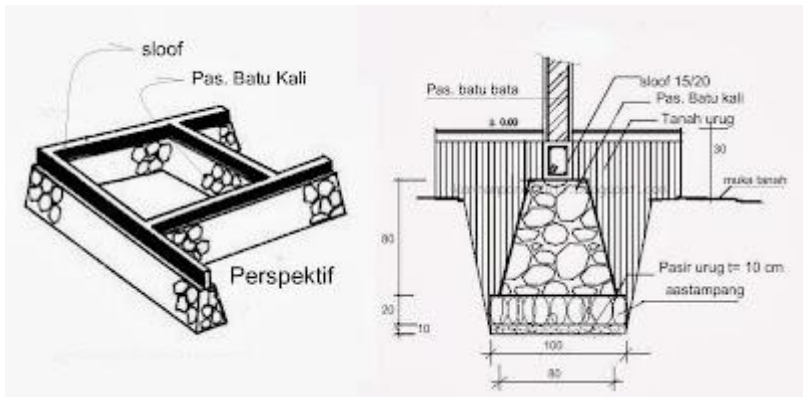
Gambar 4. 1 Pondasi Telapak (*Spread Footings*)

(Sumber : Civinnovate, 2025)

4.2.2 Pondasi Jalur (*Strip Footing*)

Pondasi Jalur atau menerus merupakan pondasi memanjang yang digunakan untuk menopang dinding memanjang atau deretan kolom yang jaraknya berdekatan. Dimensinya mengikuti struktur di atasnya (Hardiyatmo H.C, 2021).

Pondasi jalur dapat menjadi solusi fondasi yang sederhana, kuat, dan ekonomis untuk berbagai bangunan, terutama yang bebannya tersebar di sepanjang garis dinding atau deretan kolom.

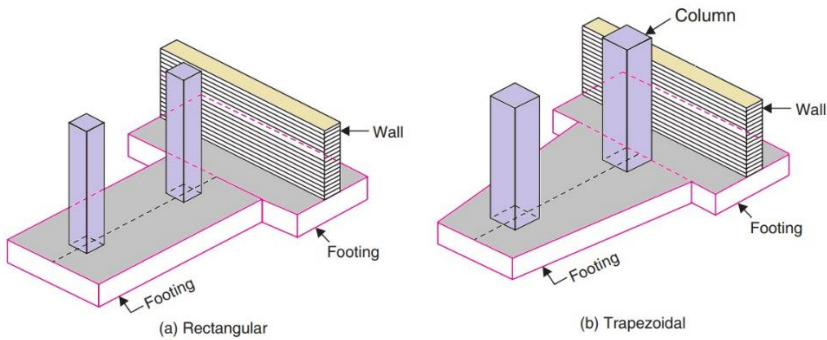


Gambar 4. 2 Pondasi Jalur (*Strip Foundations*)

(Sumber : Dark Specialist, 2019)

4.2.3 Pondasi Gabungan (*Combined Footing*)

Pondasi gabungan merupakan satu pondasi yang menopang dua kolom atau lebih, digunakan apabila kolom berdekatan sehingga pondasi telapak individual akan saling bertumpukan atau terkendala batas lahan (Das B.M, 2023).

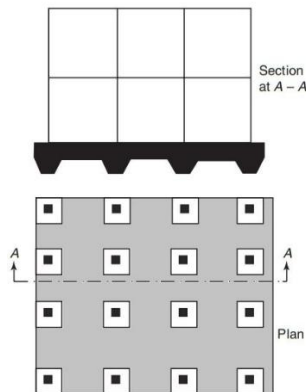


Gambar 4. 3 Pondasi Gabungan (*Combined Footing*)

(Sumber : Civinnovate, 2025)

4.2.4 Pondasi Rakit (*Mat/Raft Foundation*)

Pondasi Rakit merupakan pondasi dengan pelat beton bertulang menerus yang mencakup seluruh atau sebagian besar luasan bangunan (Salgado R, 2022). Digunakan apabila tanah lunak dengan daya dukung rendah atau beban kolom sangat berat sehingga pondasi telapak individual tidak praktis (Das B.M, 2023).

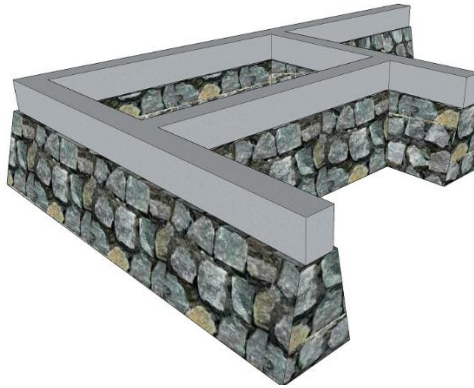


Gambar 4. 4 Pondasi Rakit (*Mat Foundation*)

(Sumber : Civinnovate, 2025)

4.2.5 Pondasi Batu Kali

Pondasi Batu Kali merupakan Pondasi dangkal dari susunan batu alam dengan pengikat semen, digunakan untuk bangunan dengan beban ringan seperti rumah tinggal (Cheng, Y. M, 2024).



Gambar 4. 5 Pondasi Batu Kali

(Sumber : Kibrispdr, 2023)

4.3 Prosedur Perencanaan Pondasi Dangkal

Perencanaan pondasi dangkal merupakan proses sistematis yang bertujuan menghasilkan pondasi aman, ekonomis, dan berfungsi sesuai umur rencana bangunan. Prosedur perencanaan mencakup tahapan mulai dari pengumpulan data awal hingga perancangan detail struktur beton bertulang. Secara garis besar, perencanaan pondasi dangkal harus memenuhi dua persyaratan utama: (1) faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung tanah, dan (2) penurunan yang terjadi tidak melebihi batas izin.

Prosedur perancangan pondasi dangkal secara sistematis meliputi penentuan kedalaman pondasi (D_f), menentukan dimensi pondasi, kontrol tegangan tanah, kontrol gaya geser, perhitungan penulangan, kontrol penurunan, dan perancangan detail penulangan (Cheng Y.M, 2024).

4.3.1 Data Awal dan Penyelidikan Tanah

Langkah pertama dalam perencanaan pondasi dangkal adalah pengumpulan data yang menjadi dasar seluruh perhitungan. Data yang diperlukan antara lain:

1. Beban bangunan, meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan kombinasi pembebanannya.
2. Hasil penyelidikan tanah, dimana parameter fisik dan mekanis tanah dari pengujian laboratorium dan lapangan (SPT, CPT atau sondir, uji geser langsung, triaksial)
3. Faktor keamanan yang diminta, umumnya berkisar antara 2,5 sampai 3,0.
4. Dimensi Kolom yang merupakan ukuran penampang kolom yang akan ditumpu.
5. Mutu beton dan baja tulangan yang sesuai rencana (misal $f_c' = 24 \text{ MPa}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$)
6. Kondisi muka air tanah yang mempengaruhi tegangan efektif tanah.
7. Kondisi lingkungan dan harga satuan untuk pertimbangan ekonomi.

Penyelidikan tanah yang memadai sangat menentukan keakuratan perhitungan kapasitas dukung dan penurunan (Mulyono T, 2024).

4.3.2 Penentuan Kedalaman Pondasi (D_f)

Menurut Cheng, Y. M. (2024), kedalaman pondasi ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan tanah dengan mempertimbangkan :

1. Kedalaman tanah keras, dimana pondasi harus diletakkan pada lapisan tanah yang memiliki kapasitas dukung cukup.
2. Pengaruh musim dikarenakan kedalaman minimum harus di bawah zona pengaruh perubahan volume akibat musim (*frost depth*).
3. Muka air tanah, dimana pondasi sebaiknya diletakkan di atas muka air tanah atau pada kedalaman yang memperhitungkan pengaruh *buoyancy*.
4. Jarak antar pondasi dengan kedalaman pondasi minimal harus lebih besar dari setengah jarak antar pondasi tetangga untuk menghindari interferensi tegangan ($D_f > \frac{s}{2}$). Secara praktis, kedalaman pondasi dangkal berkisar antara 0,6 sampai 2,0 meter.

4.3.3 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tanah

Kapasitas daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) dihitung menggunakan metode yang sesuai dengan karakteristik tanah dan bentuk pondasi. Beberapa metode yang umum digunakan adalah:

1. Metode Terzaghi (1943)

Metode Terzaghi merupakan metode klasik yang paling banyak digunakan. Rumus umum untuk pondasi memanjang:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Untuk pondasi bujur sangkar:

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Untuk pondasi lingkaran:

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

dimana:

c = kohesi tanah,

$q = \gamma \cdot D_f$ = tekanan overburden

γ = berat volume tanah

B = lebar pondasi

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung Terzaghi yang bergantung pada sudut geser dalam (ϕ)

2 Metode Meyerhof (1963)

Metode Meyerhof memberikan hasil yang lebih besar dibandingkan Terzaghi karena mempertimbangkan faktor bentuk, kedalaman, dan kemiringan beban:

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

dimana s , d , i masing-masing adalah faktor bentuk, kedalaman, dan kemiringan beban. Daya dukung ultimit metode Meyerhof umumnya lebih besar 9,4% dibandingkan metode Terzaghi (Putra *et al*, 2022).

3 Metode Hansen (1970)dan Vesic (1975)

Metode Hansen dan Vesic merupakan pengembangan lebih lanjut yang mempertimbangkan faktor tambahan seperti kemiringan dasar pondasi. Metode Hansen dan Vesic sering digunakan untuk kondisi pembebanan yang lebih kompleks. Menurut Hansen dan Vesic, A. S. (1970, 1975), rumusnya antara lain :

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

di mana:

c = kohesi tanah

q = tegangan overburden efektif pada dasar pondasi ($= \gamma \times D_f$)

γ = berat volume tanah

B = lebar pondasi

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung

s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk (*shape*)

d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman (*depth*)

i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban (*inclination*)

b_c, b_q, b_γ = faktor kemiringan dasar pondasi (*base*)

g_c, g_q, g_γ = faktor kemiringan permukaan tanah (*ground*)

4 Kapasitas Daya Dukung Izin

Kapasitas daya dukung izin (*allowable bearing capacity*) diperoleh dengan membagi kapasitas ultimit dengan faktor keamanan (FS):

$$q_a = \frac{q_u}{FS}$$

Nilai q_a juga dapat dihitung langsung sebagai kapasitas dukung izin neto (*net allowable bearing capacity*) dengan memperhitungkan berat tanah yang digali:

$$q_{u,net} = q_{u,gross} - \gamma_c \cdot h_c - \gamma_s \cdot h_s$$

Kapasitas dukung izin juga dapat diperoleh dari data sondir atau CPT menggunakan korelasi empiris Meyerhof atau Terzaghi.

4.3.4 Penentuan Dimensi Pondasi

Setelah kapasitas daya dukung izin diperoleh, luas dasar pondasi yang diperlukan dihitung dengan:

$$A_{req} = \frac{P_{service}}{q_{u,net}} = B \times L$$

dimana $P_{service}$ adalah beban vertikal total pada kondisi layan (beban mati + beban hidup). Untuk pondasi bujur sangkar:

$$B = \sqrt{A_{req}}$$

Selanjutnya dimensi pondasi kemudian ditentukan dengan mempertimbangkan bentuk kolom dan batasan lahan yang tersedia.

4.3.5 Kontrol Tegangan Tanah

Tegangan yang terjadi pada dasar pondasi akibat beban vertikal dan momen harus lebih kecil dari kapasitas daya dukung izin. Tegangan maksimum dan minimum dihitung dengan:

$$\sigma_{maks,min} = \frac{P_{ult}}{B \times L} \pm \frac{M_x}{\frac{1}{6} B \times L^2} \pm \frac{P_y}{\frac{1}{6} L \times B^2} + q$$

dimana:

P_{ult} = beban vertikal terfaktor

B = lebar pondasi

L = panjang pondasi

M_x, M_y = momen pada sumbu x dan y

q = berat sendiri pondasi dan tanah di atasnya

Kriteria yang harus dipenuhi:

$\sigma_{maks} \leq q_a$ (tegangan maksimum tidak melebihi daya dukung izin)

$\sigma_{min} \geq 0$ (tidak terjadi tegangan tarik pada dasar pondasi)

4.4 Analisis Penurunan Pondasi Dangkal

Penurunan pondasi merupakan aspek penting dalam perencanaan karena mempengaruhi fungsionalitas struktur dan dapat menyebabkan kegagalan konstruksi. Penurunan pondasi dangkal terdiri dari tiga jenis utama yaitu Penurunan segera, penurunan konsolidasi (Ou CY, 2023).

4.4.1 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Penurunan segera terjadi secara instan pada saat pembebanan, tanpa adanya perubahan kadar air. Untuk tanah berbutir (pasir dan kerikil), penurunan segera dihitung dengan teori elastisitas:

$$Si = q \cdot B \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot I$$

dimana:

q = tekanan pada dasar pondasi

B = lebar pondasi

μ = rasio Poisson tanah

E = modulus elastisitas tanah

I = faktor pengaruh (bergantung pada bentuk dan kekakuan pondasi)

4.4.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah lempung akibat keluarnya air pori seiring waktu. Penurunan konsolidasi primer dihitung dengan:

$$Sc = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right)$$

dimana:

C_c = indeks kompresi

e_0 = angka pori awal

H = ketebalan lapisan kompresibel

σ_0 = tegangan overburden efektif awal

$\Delta\sigma$ = tambahan tegangan akibat beban pondasi

Penurunan total yang diizinkan harus sesuai dengan persyaratan fungsional struktur (Ou CY, 2023).

4.5 Konstruksi Pondasi Dangkal

Konstruksi pondasi dangkal merupakan tahap implementasi dari desain yang telah direncanakan menjadi struktur fisik di lapangan. Keberhasilan konstruksi sangat bergantung pada kualitas pelaksanaan, pemilihan material, pengendalian mutu, serta pengawasan yang ketat sesuai dengan spesifikasi teknis dan standar yang berlaku. Pondasi dangkal umumnya dibangun secara mandiri tanpa elemen struktur lainnya dan digunakan pada konstruksi bangunan dengan beban ringan hingga sedang (Dhouib A, 2023).

4.5.1 Bahan dan Material

Pemilihan material pondasi dangkal sangat memengaruhi kekuatan, daya tahan, biaya, dan kecepatan pelaksanaan konstruksi. Material yang umum digunakan antara lain:

1 Batu Belah

Material ini sangat lazim digunakan untuk pondasi dangkal, terutama jenis pondasi batu kali. Batu belah dipilih karena daya tahannya terhadap air dan biayanya yang relatif murah. Namun, proses pembelahan batu berukuran besar agar sesuai dengan dimensi yang diinginkan membutuhkan energi dan waktu yang besar. Ketersediaannya juga bisa menjadi kendala di beberapa wilayah dataran rendah (Pramesti *et al*, 2024).

2 Blok Beton

Sebagai alternatif pengganti batu belah, blok beton pracetak dapat meningkatkan efisiensi pelaksanaan pondasi. Meskipun uji laboratorium menunjukkan bahwa kuat desak dan geser batu belah sedikit lebih tinggi (masing-masing 6,71% dan 21,73%) dibandingkan blok beton, kedua material memiliki angka keamanan yang sangat besar (di atas 40). Dari segi biaya, pembuatan sampel fondasi blok beton terbukti lebih ekonomis (Pramesti *et al*, 2024).

3 Beton Bertulang

Material ini memiliki kekuatan tinggi dan tahan terhadap beban besar, sehingga digunakan untuk berbagai jenis pondasi dangkal seperti pondasi telapak (*footplat*), pondasi rakit, dan pondasi cakar ayam.

4 Pasangan Batu Bata

Dapat digunakan untuk pondasi dangkal dengan catatan tidak mendukung beban struktural yang besar.

5 Material Perkuatan Tanah Khusus

Untuk kondisi tanah bermasalah (misalnya tanah gambut), daya dukung pondasi dangkal dapat ditingkatkan dengan material perkuatan seperti anyaman bambu, grid bambu, palet plastik, atau cerucuk bambu (Furika, 2014). Inovasi lain adalah penggunaan buis beton dengan campuran material limbah seperti *fly ash* dan *copper slag*.

4.5.2 Tahapan Pelaksanaan Konstruksi

Pelaksanaan konstruksi pondasi dangkal yang sistematis dan sesuai prosedur sangat penting untuk menjamin keamanan dan keawetan struktur. Tahapan umumnya adalah sebagai berikut:

1 Survei, Uji Tanah, dan Perencanaan

Tahap ini merupakan fondasi dari seluruh proses. Dilakukan survei dan uji tanah untuk menentukan jenis tanah, kedalaman tanah keras, dan kapasitas daya dukungnya. Hasilnya menjadi dasar untuk merancang bentuk, dimensi, dan jenis pondasi yang sesuai (Zulkarnaen *et al*, 2025).

2 Persiapan Lahan dan Pekerjaan Galian

Area kerja dibersihkan dari segala halangan. Kemudian, galian tanah dilakukan sesuai dengan garis, ukuran, dan kedalaman yang telah ditentukan dalam gambar rencana. Hasil galian harus ditempatkan agar tidak mudah runtuh kembali ke dalam lubang pondasi. Material hasil galian yang mengandung bahan organik, kayu, atau sampah harus dibuang.

3 Pemasangan Bowplank

Bowplank dipasang di sekitar area galian sebagai patokan untuk memastikan ketinggian, ketegakan, dan kelurusan pondasi sesuai rencana.

4 Pekerjaan Lantai Kerja (*Lean Concrete*)

Pada dasar galian yang sudah padat dan bersih, dilakukan pengecoran beton tipis (lantai kerja). Fungsinya sebagai alas kerja yang rata dan melindungi tanah dasar dari kotoran sebelum penulangan dan pengecoran utama dilakukan (Janis I.A, 2018).

5 Perakitan dan Pemasangan Tulangan

Tulangan besi dirakit terlebih dahulu di lokasi yang agak jauh dari lubang pondasi. Setelah siap, tulangan dipasang di dalam galian sesuai dengan desain dan dimensi yang telah ditentukan. Untuk pondasi pracetak, permukaan tanah harus diratakan (*leveling*) sebelum pemasangan.

6 Pengecoran Beton

Proses pengecoran dilakukan setelah semua penulangan terpasang dengan benar. Mutu beton yang digunakan harus sesuai spesifikasi, misalnya minimal K-175 untuk pondasi beton bertulang. Pengecoran pondasi telapak dilakukan setelah lantai kerja selesai (Janis I.A, 2018).

7 Perawatan Beton (*Curing*) dan Urugan Kembali

Setelah pengecoran, beton harus dirawat (misalnya dengan disiram) untuk menjaga kelembapannya agar mencapai kekuatan maksimal. Setelah beton cukup kuat, lubang

galian dapat diurug kembali dengan tanah pilihan dan dipadatkan secara bertahap (Syarif M *et al*, 2026).

4.5.3 Pertimbangan Khusus

Beberapa pertimbangan tambahan dalam perencanaan pondasi dangkal:

1. Pengaruh muka air tanah, dimana keberadaan muka air tanah mengurangi tegangan efektif dan kapasitas dukung tanah.
2. Beban yang bekerja tidak di pusat pondasi menyebabkan distribusi tegangan tidak merata dan harus dikontrol.
3. Pondasi pada tanah berlapis dengan perhitungan kapasitas dukung harus mempertimbangkan pengaruh lapisan tanah di bawah pondasi.
4. Pengaruh beban gempa terutama pada daerah rawan gempa, perencanaan mengacu pada SNI 1726:2019.
5. Interaksi pondasi, struktur, dan perilaku pondasi yang dipengaruhi oleh kekakuan struktur di atasnya.

4.6 Kontrol Kualitas dan Faktor Keamanan

Kontrol kualitas dalam konstruksi pondasi dangkal adalah serangkaian kegiatan pemeriksaan, pengujian, dan pengawasan yang dilakukan selama proses konstruksi untuk memastikan bahwa pekerjaan dilaksanakan sesuai dengan spesifikasi teknis, gambar rencana, dan standar mutu yang telah ditetapkan (Farib A, 2024). Kegiatan ini bertujuan untuk menjamin bahwa pondasi yang dibangun memiliki stabilitas dan durabilitas yang memadai untuk mendukung struktur

bangunan di atasnya selama masa layan. Kontrol kualitas menjadi sangat krusial karena kondisi tanah di lapangan seringkali berbeda dengan asumsi desain awal, sehingga memerlukan verifikasi dan penyesuaian di lapangan.

4.6.1 Kontrol Tegangan Tanah

Kontrol tegangan tanah adalah prosedur verifikasi dalam perencanaan pondasi dangkal untuk memastikan bahwa tegangan yang terjadi di dasar pondasi akibat beban struktur tidak melebihi kemampuan daya dukung ijin tanah (q_a). Tujuannya adalah mencegah penurunan berlebihan, keruntuhan geser tanah, serta menjamin stabilitas struktur terhadap penggulingan dan pergeseran.

Kontrol tegangan tanah adalah langkah verifikasi fundamental yang memastikan:

- 1 $q_{\max} < q_a$, maka tanah mampu menahan beban tanpa keruntuhan
- 2 $q_{\min} > 0$, maka tidak ada tegangan tarik yang menyebabkan ketidakstabilan.

Jika syarat tidak terpenuhi, dimensi pondasi diperbesar secara iteratif hingga aman. Kontrol ini menjadi jaminan utama keamanan dan kinerja pondasi selama masa layan struktur.

4.6.2 Kontrol Penurunan

Kontrol penurunan adalah proses verifikasi untuk memastikan bahwa penurunan tanah yang terjadi akibat pembebanan pondasi masih berada dalam batas-batas yang diizinkan, sehingga tidak menimbulkan kerusakan struktural maupun gangguan fungsi bangunan (Agung *et al*, 2022). Penurunan yang berlebihan dapat menyebabkan: retakan

pada dinding dan struktur bangunan, ketidakstabilan struktur secara keseluruhan, dan gangguan fungsi bangunan (misalnya pintu tidak dapat ditutup, pipa pecah).

Besarnya batas penurunan total atau penurunan diferensial yang diizinkan sangat bervariasi, tergantung pada kepentingan dan fungsi bangunan, jenis struktur dan material, serta pengalaman sebelumnya terhadap kerusakan akibat penurunan (Bjerrum, 1963 dalam Benavente, M.C, 2022).

Tabel 4. 1 Batas Penurunan Ijin

No	Tipe Penurunan	Faktor Pembatas	Nilai Batas
1	Penurunan Total	Drainase Akses Tembok pasangan batu Struktur rangka Silo, pondasi rakit, cerobong asap	150 - 300 mm 300 - 600 mm 25 - 50 mm 50 - 100 mm 75 - 300 mm
2	Kemiringan	Tower, cerobong asap Pengoperasian turbin, generator Drainase pada muka lantai	0,004 L 0,0002 L 0,01 - 0,02 L
3	Penurunan Distorsi	Retakan pada dinding bata Retakan pada plesteran dinding Bangunan rangka beton bertulang Bangunan rangka baja menerus	0,001 L 0,001 L 0,0025-0,004L 0,002 L

Sumber: Sower, 1962; Bjerrum, 1963

4.6.3 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor Keamanan atau *Safety Factor* (SF) adalah angka perbandingan yang digunakan dalam perencanaan pondasi untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung tanah (kuat geser) jauh lebih besar daripada beban yang akan dipikul. Faktor ini berfungsi sebagai cadangan kekuatan untuk mengantisipasi berbagai ketidakpastian, seperti: variasi dan ketidakhomogenan sifat-sifat tanah di lapangan, akurasi metode perhitungan dan pengujian tanah, serta kemungkinan perubahan beban atau kondisi lingkungan selama masa layan bangunan (Pasaribu W.Y, 2022).

Tabel 4. 2 Faktor Keamanan

No	Aspek Stabilitas	Faktor Keamanan Minimum	Sumber / Keterangan
1	Daya Dukung Tanah (Umum)	2,5 - 3,0	Persyaratan dasar perencanaan pondasi
2	Daya Dukung Tanah (Rekomendasi SNI)	$\geq 3,0$	SNI 8460:2017 untuk fondasi dangkal
3	Stabilitas Terhadap Guling	1,5 - 2,0	Umum digunakan untuk kondisi statik/normal
4	Stabilitas Terhadap Geser	1,5	Untuk kondisi statik/norma
5	Kondisi Ekstrem (Gempa)	1,25	Untuk kondisi seismik atau beban ekstrem

No	Aspek Stabilitas	Faktor Keamanan Minimum	Sumber / Keterangan
6	Stabilitas Statik (PU)	$\geq 1,5$	Persyaratan dari Kementerian PU
7	Stabilitas Seismik (PU)	$\geq 1,1$	Persyaratan dari Kementerian PU

Sumber: Sower, 1962; Bjerrum, 1963

Faktor keamanan adalah elemen fundamental dalam perencanaan pondasi yang memberikan toleransi terhadap ketidakpastian. Dengan menerapkan SF, terutama pada daya dukung tanah (minimum 3), stabilitas terhadap guling (minimum 1,5), dan stabilitas terhadap geser, perencana memastikan pondasi memiliki cadangan kekuatan yang cukup untuk berfungsi dengan aman dan andal sepanjang masa pakai bangunan.

4.7 Standar dan Peraturan yang Berlaku

Perencanaan dan konstruksi pondasi dangkal di Indonesia harus mengacu pada sejumlah standar nasional (SNI) yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) serta peraturan terkait dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Standar-standar ini mengatur berbagai aspek mulai dari pembebanan, ketahanan gempa, persyaratan beton struktural, hingga investigasi dan perancangan geoteknik.

SNI 1726:2019 merupakan standar utama yang mengatur perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung di Indonesia. Standar ini menggantikan SNI 1726:2012 dan telah diadopsi menjadi

regulasi yang berlaku wajib oleh Kementerian PUPR melalui Peraturan Menteri. Ruang lingkup kajiannya adalah Kategori risiko struktur, periode ulang gempa, parameter desain seismik, spektrum respons desain, dan pengaruh terhadap pondasi dangkal (BSN, 2019).

SNI 2847:2019 merupakan standar yang mengatur persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Standar ini merupakan adopsi dan modifikasi dari ACI 318-14 (*American Concrete Institute*). Ruang lingkup kajiannya adalah klasifikasi pondasi, jenis pondasi dangkal, persyaratan pondasi dangkal, dan pondasi pada kondisi seismik (BSN, 2019).

SNI 8460:2017 merupakan standar yang menetapkan persyaratan perancangan geoteknik dan kegempaan untuk diaplikasikan pada pekerjaan-pekerjaan geoteknik di Indonesia. Ruang lingkup kajiannya adalah lingkup pekerjaan, persyaratan data geoteknik, batas penurunan yang diizinkan, faktor keamanan minimum, jumlah pengujian, dan hubungan dengan standar lainnya (BSN, 2017).

SNI 1727:2013 merupakan standar yang mengatur tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Ruang lingkup kajiannya adalah beban mati, beban hidup, beban hidup minimum, dan beban tereduksi (BSN, 2013).

Selain dari standar utama diatas, terdapat beberapa standar pendukung yang relevan dengan perencanaan dan konstruksi pondasi dangkal, yaitu: (1) SNI 03-6796-2002 tentang Metode pengujian untuk menentukan daya dukung tanah dengan beban statis pada pondasi dangkal, (2) SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, (3) SNI 7972:2020 tentang Sambungan

terpraktualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik, (4) SNI 7860:2020 tentang Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural, (5) SNI 8369:2020 tentang Praktik baku bangunan gedung dan jembatan baja, (6) SNI 8899:2020 tentang Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa, dan (7) SNI 8140:2020 tentang Persyaratan beton struktural untuk rumah tinggal.

Tabel 4. 3 Penerapan SNI dalam Perencanaan Pondasi Dangkal

No	Standar	Aspek yang Diatur	Relevansi dengan Pondasi Dangkal
1	SNI 1726:2019	Beban gempa, kategori risiko, spektrum respons	Penentuan beban gempa pada pondasi, desain pondasi tahan gempa
2	SNI 2847:2019	Beton struktural, penulangan, detail pondasi	Perhitungan dimensi, ketebalan, dan tulangan pondasi beton
3	SNI 8460:2017	Geoteknik, daya dukung, penurunan	Kapasitas dukung tanah, analisis penurunan, investigasi tanah
4	SNI 1727:2013/2020	Beban mati, beban hidup, beban minimum	Penentuan beban struktur atas yang diteruskan ke pondasi

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2020

BAB 5

STRUKTUR ATAP DAN PENUTUP ATAP

Atap merupakan elemen bangunan yang memiliki fungsi strategis sebagai pelindung utama terhadap pengaruh lingkungan, seperti radiasi matahari, hujan, angin, debu, dan perubahan temperatur. Keberadaan atap tidak hanya berfungsi sebagai penutup bangunan, tetapi juga berperan dalam menciptakan kenyamanan termal, efisiensi energi, keamanan, dan estetika bangunan. Dalam sistem bangunan, kinerja atap sangat menentukan kualitas ruang di bawahnya karena sebagian besar paparan panas matahari diterima melalui bagian atap. Oleh sebab itu, perencanaan struktur atap dan pemilihan material penutup atap menjadi aspek penting dalam mewujudkan bangunan yang kuat, nyaman, dan berkelanjutan.

Struktur atap merupakan rangka yang berfungsi menerima, menahan, dan menyalurkan beban-beban yang bekerja pada atap menuju elemen struktur bangunan lainnya. Beban tersebut meliputi beban, beban hidup, serta beban lingkungan seperti angin, hujan, dan gempa. Struktur atap harus dirancang agar mampu menjamin stabilitas, kekuatan, dan keamanan bangunan selama masa layan. Perkembangan teknologi konstruksi telah menghasilkan berbagai sistem

struktur atap, mulai dari rangka kayu tradisional, baja profil, baja ringan, hingga sistem *space frame* yang memungkinkan bentang lebih lebar dengan efisiensi material yang lebih baik (Harir, dkk. 2024).

Seiring perkembangan industri konstruksi, penggunaan material dan teknologi atap mengalami perubahan yang signifikan. Jika sebelumnya kayu menjadi material utama struktur atap, saat ini baja ringan dan baja profil semakin banyak digunakan karena memiliki keunggulan dalam hal kekuatan, ketahanan terhadap rayap, kemudahan pemasangan, serta efisiensi biaya dan waktu konstruksi. Selain itu, perkembangan metode fabrikasi dan prefabrikasi memungkinkan pekerjaan konstruksi atap dilakukan dengan tingkat presisi yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil pekerjaan dan mengurangi risiko kesalahan di lapangan (Annisa. 2023).

Selain struktur atap, penutup atap juga merupakan komponen penting yang menentukan kualitas perlindungan bangunan. Penutup atap berfungsi sebagai lapisan terluar yang melindungi bangunan dari pengaruh cuaca sekaligus memberikan karakter arsitektural pada bangunan. Saat ini tersedia berbagai jenis material penutup atap seperti genteng tanah liat, genteng beton, metal, spandek, bitumen, polikarbonat, panel sandwich, hingga sistem atap hijau (*green roof*). Pemilihan material penutup atap harus mempertimbangkan kondisi iklim, kekuatan struktur pendukung, aspek ekonomi, umur pakai, kemudahan perawatan, dan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Dalam dekade terakhir, isu keberlanjutan (*sustainability*) menjadi perhatian utama dalam dunia konstruksi. Sektor bangunan dituntut untuk mengurangi

konsumsi energi dan dampak lingkungan melalui penerapan teknologi konstruksi hijau. Pada sistem atap, berbagai inovasi telah dikembangkan, seperti *cool roof*, *green roof*, dan integrasi panel surya (*photovoltaic roof*). Teknologi *cool roof* mampu memantulkan radiasi matahari sehingga mengurangi panas yang masuk ke dalam bangunan dan menurunkan kebutuhan energi pendinginan. Sementara itu, *green roof* dapat meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan melalui penyerapan air hujan, pengurangan efek pulau panas perkotaan, serta peningkatan kualitas udara. Integrasi atap hijau dengan sistem fotovoltaiik juga terbukti memberikan manfaat ganda berupa efisiensi energi dan peningkatan kinerja lingkungan bangunan (Cervantes-Nájera *et al.*, 2024).

Di Indonesia yang beriklim tropis, desain atap memiliki peranan yang sangat penting dalam mengendalikan perpindahan panas ke dalam bangunan. Penelitian menunjukkan bahwa pemilihan material penutup atap dan sistem konstruksi yang tepat dapat menurunkan nilai perpindahan sehingga meningkatkan kenyamanan termal dan efisiensi energi bangunan. Oleh karena itu, perencanaan atap tidak lagi hanya mempertimbangkan aspek kekuatan struktur, tetapi juga aspek kenyamanan penghuni dan efisiensi penggunaan energi.

5.1 Pengertian Dasar Struktur Atap dan Penutup Atap

Atap merupakan bagian teratas dari suatu bangunan yang berfungsi sebagai pelindung utama terhadap berbagai pengaruh lingkungan eksternal, seperti hujan, panas matahari, angin, debu, kelembapan, serta perubahan kondisi

cuaca. Dalam sistem bangunan, atap menjadi elemen yang sangat penting karena berperan dalam menjaga keamanan, kenyamanan, kesehatan, dan ketahanan bangunan selama masa layan. Keberadaan atap memung kinkan aktivitas di dalam bangunan berlangsung dengan aman dan nyaman tanpa terganggu oleh kondisi lingkungan di luar bangunan. Selain itu, atap juga berfungsi sebagai elemen pembatas antara ruang dalam (*indoor environment*) dan lingkungan luar (*outdoor environment*) yang berpengaruh terhadap kualitas termal dan visual suatu bangunan (Aggarwal & Molleti, 2024).

Dalam perspektif konstruksi, atap merupakan suatu sistem yang terdiri atas struktur atap dan penutup atap yang bekerja secara terpadu. Struktur atap berfungsi sebagai rangka utama yang menerima dan menyalurkan seluruh beban yang bekerja pada atap menuju elemen struktur bangunan lainnya, seperti kolom, balok, atau dinding pemikul. Beban tersebut meliputi beban mati yang berasal dari berat sendiri material atap, beban hidup akibat aktivitas pemeliharaan, serta beban lingkungan seperti angin, hujan, dan gempa. Oleh karena itu, struktur atap harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan keamanan sesuai dengan standar perencanaan struktur yang berlaku (BSN, 2020).

Sementara itu, penutup atap merupakan lapisan terluar yang berfungsi sebagai pelindung langsung terhadap pengaruh cuaca. Penutup atap harus mampu mencegah masuknya air hujan, mengurangi panas yang masuk ke dalam bangunan, serta memberikan perlindungan terhadap radiasi ultraviolet dan pengaruh lingkungan lainnya. Material penutup atap yang digunakan saat ini sangat beragam, mulai dari genteng tanah liat, genteng beton, lembaran metal,

spandek, bitumen, polikarbonat, hingga material komposit modern yang memiliki karakteristik teknis berbeda-beda. Pemilihan material penutup atap harus mempertimbangkan faktor iklim, bentuk bangunan, biaya konstruksi, umur layanan, kemudahan pemasangan, serta aspek keberlanjutan lingkungan (Malonda *et al.*, 2024). Perkembangan teknologi konstruksi telah mengubah paradigma perencanaan atap dari sekadar elemen pelindung menjadi bagian integral dari performa bangunan secara keseluruhan. Atap modern tidak hanya dirancang untuk memenuhi kebutuhan struktural, tetapi juga berfungsi meningkatkan efisiensi energi bangunan. Berbagai inovasi telah dikembangkan, seperti penggunaan material reflektif (*cool roof*), sistem atap hijau (*green roof*), dan integrasi panel surya (*building integrated photovoltaic roof*). Sistem tersebut terbukti mampu mengurangi konsumsi energi, meningkatkan kenyamanan termal, serta mendukung konsep pembangunan berkelanjutan yang saat ini menjadi perhatian global (Mosleh *et al.*, 2023; Cervantes-Nájera *et al.*, 2024).

Dalam konteks bangunan tropis seperti Indonesia, atap memiliki peranan yang sangat penting karena menerima paparan radiasi matahari secara langsung hampir sepanjang tahun. Penelitian menunjukkan bahwa sekitar 60–70% panas yang masuk ke dalam bangunan berasal dari area atap. Oleh karena itu, desain atap yang tepat, termasuk pemilihan bentuk, kemiringan, ventilasi, dan material penutup atap, dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kenyamanan termal penghuni dan efisiensi penggunaan energi bangunan (Budhyowati, 2022). Kondisi ini menjadikan atap sebagai salah satu elemen utama dalam penerapan

konsep bangunan hijau (*green building*) dan bangunan hemat energi.

Selain aspek teknis, atap juga memiliki fungsi arsitektural yang penting. Bentuk atap sering kali menjadi identitas visual suatu bangunan dan mencerminkan karakter budaya, iklim, maupun perkembangan teknologi konstruksi pada suatu daerah. Di Indonesia, misalnya, berbagai rumah tradisional memiliki bentuk atap yang khas dan dirancang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat. Sementara itu, perkembangan arsitektur modern menghadirkan berbagai bentuk atap inovatif yang tidak hanya menarik secara visual tetapi juga mampu meningkatkan kinerja bangunan dari aspek struktural maupun lingkungan (Kawuwung & Purwanto, 2023).

5.2 Fungsi Atap dan Struktur Atap

Atap merupakan salah satu elemen bangunan yang memiliki fungsi sangat penting dalam menjamin keamanan, kenyamanan, dan keberlanjutan suatu bangunan. Seiring perkembangan teknologi konstruksi dan konsep bangunan berkelanjutan, fungsi atap tidak lagi terbatas sebagai pelindung bangunan, tetapi juga berperan dalam meningkatkan efisiensi energi, kualitas lingkungan, serta nilai estetika bangunan. Oleh karena itu, perencanaan sistem atap harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis, fungsional, dan lingkungan agar mampu memberikan kinerja yang optimal selama umur bangunan.

1. Fungsi Proteksi (Perlindungan)

Fungsi utama atap adalah sebagai pelindung bangunan dan penghuninya dari berbagai pengaruh lingkungan eksternal. Atap berfungsi mencegah masuknya air hujan

ke dalam bangunan sehingga dapat menghindari kerusakan pada elemen struktur maupun non-struktur. Selain itu, atap juga berfungsi melindungi bangunan dari paparan radiasi matahari, terpaan angin, debu, kelembapan, dan berbagai kondisi cuaca ekstrem lainnya. Pada daerah beriklim tropis seperti Indonesia, fungsi proteksi menjadi sangat penting karena tingginya intensitas curah hujan dan radiasi matahari sepanjang tahun. Oleh sebab itu, desain kemiringan atap, sistem drainase, serta pemilihan material penutup atap harus dirancang secara tepat untuk memastikan perlindungan bangunan berjalan secara optimal. Atap yang dirancang dengan baik dapat mengurangi risiko kebocoran, kerusakan material bangunan, serta gangguan kenyamanan penghuni.

2. Fungsi Struktural

Selain berfungsi sebagai pelindung, atap juga memiliki fungsi struktural yang sangat penting. Sistem struktur atap dirancang untuk menerima dan menyalurkan berbagai beban yang bekerja pada bangunan menuju elemen struktur utama, seperti balok, kolom, dan pondasi. Beban tersebut meliputi beban mati yang berasal dari berat sendiri struktur dan penutup atap, beban hidup akibat aktivitas pemeliharaan, serta beban lingkungan seperti angin, hujan, dan gempa. Kinerja struktur atap sangat menentukan stabilitas dan keamanan bangunan secara keseluruhan. Oleh karena itu, perencanaan struktur atap harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan keamanan sesuai standar konstruksi yang berlaku. Penggunaan material seperti kayu, baja ringan, maupun baja profil harus mempertimbangkan

karakteristik beban yang akan diterima selama masa layan bangunan.

3. Fungsi Kenyamanan Termal

Atap memiliki peran yang sangat besar dalam mengendalikan kondisi termal di dalam bangunan. Sebagai elemen yang paling banyak menerima radiasi matahari, atap menjadi jalur utama perpindahan panas dari lingkungan luar ke dalam ruang bangunan. Penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar panas yang masuk ke dalam bangunan berasal dari area atap, terutama pada bangunan di daerah tropis.

Melalui pemilihan material yang tepat, penggunaan lapisan insulasi, ventilasi atap, serta desain kemiringan yang sesuai, atap dapat mengurangi akumulasi panas dan menjaga suhu ruang tetap nyaman. Penerapan teknologi seperti cool roof yang menggunakan material dengan daya pantul tinggi terhadap radiasi matahari juga terbukti mampu menurunkan suhu permukaan atap dan mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan ruangan. Dengan demikian, atap berkontribusi secara signifikan terhadap kenyamanan termal penghuni bangunan.

4. Fungsi Estetika

Atap merupakan salah satu elemen arsitektural yang sangat berpengaruh terhadap tampilan visual suatu bangunan. Bentuk, warna, tekstur, dan material atap dapat memberikan karakter serta identitas tertentu pada bangunan. Dalam banyak kasus, desain atap bahkan menjadi ciri khas yang membedakan suatu bangunan

dengan bangunan lainnya. Pada arsitektur tradisional Indonesia, bentuk atap sering kali mencerminkan nilai budaya dan kearifan lokal masyarakat setempat. Sementara itu, dalam arsitektur modern, desain atap dikembangkan untuk menciptakan kesan estetis yang lebih dinamis, inovatif, dan sesuai dengan perkembangan teknologi konstruksi. Oleh karena itu, aspek estetika menjadi salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan bentuk dan material atap tanpa mengabaikan fungsi teknisnya.

5. Fungsi Efisiensi Energi

Dalam konsep bangunan modern, atap berperan penting dalam meningkatkan efisiensi energi. Pemilihan material penutup atap dengan karakteristik termal yang baik dapat mengurangi jumlah panas yang masuk ke dalam bangunan sehingga kebutuhan penggunaan pendingin udara dapat diminimalkan. Selain itu, penggunaan sistem pencahayaan alami melalui skylight atau material transparan tertentu juga dapat mengurangi konsumsi energi listrik pada siang hari. Perkembangan teknologi konstruksi telah menghasilkan berbagai inovasi material atap yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi, seperti atap reflektif (*cool roof*), panel insulasi termal, dan sistem ventilasi atap yang lebih efektif. Penerapan teknologi tersebut dapat memberikan penghematan energi yang signifikan serta mendukung pencapaian standar bangunan hijau (*green building*).

6. Fungsi Keberlanjutan Lingkungan

Saat ini, atap juga memiliki fungsi penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Berbagai inovasi telah dikembangkan untuk menjadikan atap sebagai bagian dari sistem pengelolaan lingkungan bangunan. Salah satu contohnya adalah penerapan *green roof* atau taman atap yang memanfaatkan vegetasi pada permukaan atap untuk meningkatkan kualitas lingkungan, mengurangi efek pulau panas perkotaan (*urban heat island*), menyerap air hujan, dan meningkatkan kualitas udara.

Selain itu, atap juga dapat dimanfaatkan sebagai lokasi pemasangan panel surya (*photovoltaic roof*) yang menghasilkan energi listrik terbarukan. Integrasi sistem panel surya dengan atap bangunan memungkinkan pemanfaatan energi matahari secara optimal sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Di samping itu, sistem pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) yang terintegrasi dengan atap dapat membantu mengurangi konsumsi air bersih dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam.

7. Fungsi Keselamatan dan Keamanan

Fungsi lain yang tidak kalah penting adalah menjaga keselamatan dan keamanan penghuni bangunan. Atap yang dirancang dengan baik mampu melindungi penghuni dari risiko kebocoran, runtuh material, serta bahaya akibat cuaca ekstrem seperti angin kencang dan hujan deras. Pada bangunan tertentu, atap juga berfungsi sebagai elemen proteksi terhadap kebakaran melalui penggunaan material tahan api dan sistem pengendalian penyebaran api.

Dengan demikian, sistem atap harus dirancang sesuai dengan standar teknis yang berlaku agar mampu memberikan perlindungan maksimal selama masa operasional bangunan.

5.3 Persyaratan Atap yang Baik

Dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi bangunan, sistem atap harus memenuhi berbagai persyaratan teknis agar dapat berfungsi secara optimal selama masa layan bangunan. Persyaratan tersebut tidak hanya berkaitan dengan kemampuan struktur dalam menahan beban, tetapi juga mencakup aspek kenyamanan, keamanan, keawetan, kemudahan pemeliharaan, dan efisiensi biaya. Atap yang dirancang dengan baik akan memberikan perlindungan maksimal terhadap bangunan sekaligus meningkatkan kualitas dan umur layanan bangunan secara keseluruhan. Berikut merupakan persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem atap yang baik :

1. Kuat dan Stabil

Atap harus memiliki kekuatan dan stabilitas yang memadai untuk menahan seluruh beban yang bekerja selama masa penggunaannya. Beban tersebut meliputi beban mati yang berasal dari berat sendiri struktur dan penutup atap, beban hidup akibat aktivitas pemeliharaan, serta beban lingkungan seperti angin, hujan, dan gempa. Struktur atap harus dirancang sehingga tidak mengalami keruntuhan, lendutan berlebihan, ataupun perubahan bentuk yang dapat mengganggu fungsi bangunan. Kestabilan struktur juga harus tetap terjaga ketika menerima beban maksimum yang mungkin terjadi selama umur bangunan. Oleh karena itu, perencanaan struktur atap harus mengacu pada

standar perencanaan konstruksi yang berlaku serta menggunakan material yang memiliki mutu dan kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan desain.

2. Kedap Air

Salah satu fungsi utama atap adalah melindungi bangunan dari air hujan sehingga sistem atap harus memiliki tingkat kedap air yang baik. Atap yang kedap air mampu mencegah masuknya air ke dalam bangunan melalui sambungan, celah, maupun kerusakan pada penutup atap. Kebocoran yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan pada plafon, dinding, instalasi listrik, serta menurunkan kenyamanan dan kesehatan penghuni bangunan. Untuk mencapai kondisi kedap air, diperlukan pemilihan material penutup atap yang tepat, kemiringan atap yang sesuai, sistem drainase yang baik, serta pemasangan yang memenuhi standar teknis. Pemeriksaan dan pemeliharaan secara berkala juga diperlukan untuk memastikan fungsi kedap air tetap terjaga selama masa penggunaan bangunan.

3. Tahan Lama

Atap yang baik harus memiliki daya tahan yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan dan mampu berfungsi secara optimal dalam jangka waktu yang panjang. Ketahanan tersebut meliputi kemampuan material dan struktur dalam menghadapi perubahan cuaca, paparan sinar ultraviolet, kelembapan, korosi, serangan organisme perusak seperti rayap, serta pengaruh lingkungan lainnya. Material yang memiliki umur layanan panjang akan mengurangi frekuensi penggantian dan biaya pemeliharaan sehingga lebih menguntungkan secara ekonomis. Oleh karena itu, pemilihan material struktur

maupun penutup atap harus mempertimbangkan karakteristik lingkungan setempat dan kebutuhan umur rencana bangunan agar kinerja atap tetap optimal selama masa operasional.

4. Ringan

Sistem atap yang baik sebaiknya memiliki berat yang relatif ringan tanpa mengurangi kekuatan dan kestabilannya. Struktur atap yang ringan akan mengurangi beban yang diteruskan ke elemen struktur utama seperti balok, kolom, dan pondasi sehingga dapat meningkatkan efisiensi desain bangunan secara keseluruhan. Selain itu, penggunaan material yang ringan juga memudahkan proses transportasi, pemasangan, dan perawatan. Pada daerah rawan gempa, penggunaan struktur atap yang ringan sangat dianjurkan karena dapat mengurangi gaya inersia yang timbul saat terjadi gempa bumi. Namun demikian, aspek ringan harus tetap diimbangi dengan kemampuan struktur dalam menahan seluruh beban yang bekerja sehingga keamanan bangunan tetap terjamin.

5. Mudah Dipelihara

Atap yang baik harus dirancang agar mudah dilakukan inspeksi, perawatan, dan perbaikan apabila terjadi kerusakan. Kemudahan pemeliharaan sangat penting untuk menjaga kinerja atap selama masa layan bangunan dan mencegah kerusakan yang lebih besar. Sistem atap yang mudah dipelihara memungkinkan pengguna atau teknisi melakukan pemeriksaan rutin terhadap kondisi struktur, sambungan, talang, maupun penutup atap tanpa memerlukan biaya dan waktu yang berlebihan. Selain itu, penggunaan material yang mudah diperoleh dan mudah diganti akan mempercepat proses perbaikan ketika terjadi

kerusakan. Dengan demikian, biaya operasional dan pemeliharaan bangunan dapat ditekan tanpa mengurangi kualitas fungsi atap.

6. Ekonomis

Persyaratan ekonomis tidak hanya berkaitan dengan rendahnya biaya awal pembangunan, tetapi juga mencakup biaya operasional, pemeliharaan, dan penggantian selama umur bangunan. Sistem atap yang ekonomis merupakan sistem yang mampu memberikan kinerja optimal dengan biaya yang efisien sepanjang siklus hidup bangunan (*life cycle cost*). Dalam memilih jenis struktur dan material atap, perlu dilakukan pertimbangan terhadap harga material, biaya pemasangan, umur layanan, kebutuhan pemeliharaan, serta efisiensi energi yang dihasilkan. Dengan pendekatan tersebut, sistem atap dapat memberikan manfaat yang maksimal tanpa menimbulkan pemborosan sumber daya maupun biaya yang tidak diperlukan.

7. Aman

Aspek keamanan merupakan persyaratan utama yang harus dipenuhi oleh setiap sistem atap. Atap harus mampu memberikan perlindungan bagi penghuni bangunan dari berbagai potensi bahaya, baik yang berasal dari kegagalan struktur maupun pengaruh lingkungan. Sistem atap yang aman tidak boleh mengalami keruntuhan, pergeseran, atau kerusakan yang dapat membahayakan keselamatan pengguna bangunan. Selain itu, selama proses konstruksi dan pemeliharaan, desain atap juga harus memperhatikan keselamatan pekerja melalui penyediaan akses kerja yang memadai dan penerapan prosedur keselamatan kerja yang sesuai. Dengan memenuhi persyaratan keamanan, sistem

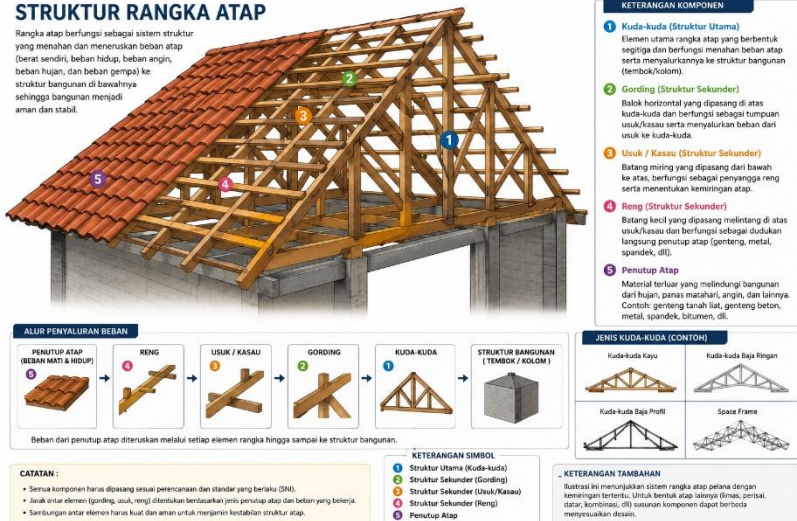
atap dapat memberikan perlindungan yang optimal bagi bangunan dan seluruh penggunaanya selama masa operasional.

5.4 Sistem Atap Bangunan

Secara umum, sistem atap bangunan merupakan suatu kesatuan konstruksi yang terdiri atas beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja secara terpadu untuk memberikan perlindungan, kekuatan, serta kenyamanan bagi bangunan. Setiap komponen memiliki fungsi dan peran yang berbeda, namun saling mendukung dalam menjaga kinerja sistem atap secara keseluruhan. Sistem atap umumnya terdiri atas struktur utama, struktur sekunder, penutup atap, dan aksesoris atap.

STRUKTUR RANGKA ATAP

Rangka atap berfungsi sebagai sistem struktur yang menahan dan meneruskan beban atap (berat sendiri, beban hidup, beban angin, beban hujan, dan beban gempa) ke struktur bangunan di bawahnya sehingga bangunan menjadi aman dan stabil.



Gambar 5. 1 Struktur Rangka Atap
(Sumber: Dokumentasi dan visualisasi penulis, 2026)

A. Struktur Utama Atap

Struktur utama atap merupakan elemen utama yang berfungsi menerima, menahan, dan menyalurkan seluruh beban yang bekerja pada atap menuju struktur bangunan di bawahnya. Beban tersebut meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, dan beban gempa. Struktur utama harus dirancang memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang memadai agar mampu menjaga keamanan bangunan. Berikut merupakan macam-macam struktur utama atap :

1. Kuda-Kuda Kayu

Kuda-kuda kayu merupakan struktur utama atap yang terbuat dari material kayu dan tersusun atas beberapa batang yang membentuk sistem rangka segitiga. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan gaya tarik dan tekan pada setiap elemennya sehingga mampu menyalurkan beban atap secara efisien ke dinding atau kolom bangunan. Kuda-kuda kayu banyak digunakan pada bangunan rumah tinggal dan bangunan tradisional karena mudah dikerjakan, memiliki nilai estetika yang tinggi, serta relatif ringan. Namun demikian, penggunaan kayu memerlukan perlindungan terhadap serangan rayap, jamur, dan kelembapan agar umur layan struktur tetap panjang.

2. Kuda-Kuda Baja Ringan

Kuda-kuda baja ringan merupakan sistem struktur atap yang menggunakan profil baja tipis berkekuatan tinggi sebagai elemen penyusunnya. Material ini banyak digunakan pada konstruksi modern karena memiliki berat yang ringan, tahan terhadap rayap, tidak mudah lapuk, serta memiliki tingkat presisi yang tinggi dalam pemasangannya. Kuda-kuda baja ringan bekerja sebagai rangka yang menyalurkan seluruh beban atap menuju

struktur bangunan di bawahnya. Selain efisien dari segi material, penggunaan baja ringan juga dapat mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi karena sebagian besar komponennya diproduksi secara fabrikasi.

3. Kuda-Kuda Baja Profil

Kuda-kuda baja profil adalah struktur utama atap yang menggunakan elemen baja berbentuk profil seperti WF (Wide Flange), kanal, siku, atau pipa baja. Sistem ini umumnya digunakan pada bangunan dengan bentang yang besar seperti gedung olahraga, gudang, hanggar, pabrik, dan bangunan industri lainnya. Kelebihan utama kuda-kuda baja profil adalah kemampuannya menahan beban yang besar dengan deformasi yang relatif kecil. Selain itu, struktur ini memiliki daya tahan yang tinggi dan dapat digunakan untuk bentang yang jauh lebih panjang dibandingkan sistem kuda-kuda kayu maupun baja ringan.

4. *Space Frame*

Space frame merupakan sistem struktur tiga dimensi yang tersusun dari elemen-elemen batang yang saling terhubung membentuk jaringan ruang. Sistem ini dirancang untuk mendistribusikan beban secara merata ke seluruh elemen struktur sehingga menghasilkan efisiensi material yang tinggi dan kemampuan menahan bentang yang sangat lebar tanpa memerlukan banyak kolom penyangga. *Space frame* sering digunakan pada bangunan publik seperti stadion, terminal bandara, pusat pameran, dan atrium karena mampu menghasilkan ruang yang luas, bebas kolom, serta memiliki tampilan arsitektural yang modern dan menarik.

B. Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan elemen pendukung yang berfungsi meneruskan beban dari penutup atap ke struktur utama. Komponen-komponen struktur sekunder juga berfungsi menjaga kestabilan sistem atap serta menyediakan bidang pemasangan bagi penutup atap. Berikut merupakan struktur sekunder atap :

1. Gording

Gording merupakan elemen struktur memanjang yang dipasang di atas kuda-kuda dan berfungsi sebagai penopang usuk atau kasau. Beban yang berasal dari penutup atap diteruskan terlebih dahulu ke usuk, kemudian ke gording, dan selanjutnya ke kuda-kuda. Selain berfungsi menyalurkan beban, gording juga berperan menjaga kestabilan struktur atap secara keseluruhan. Pada konstruksi baja, gording biasanya menggunakan profil kanal atau profil C, sedangkan pada konstruksi kayu umumnya menggunakan balok kayu dengan ukuran tertentu sesuai kebutuhan desain.

2. Usuk (Kasau)

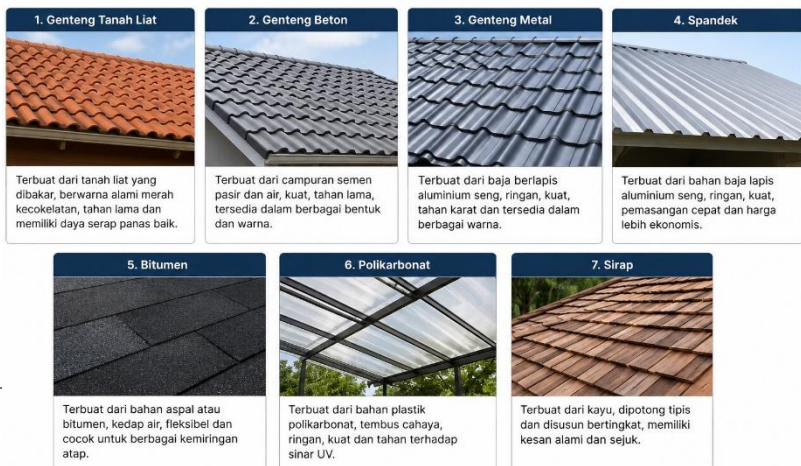
Usuk atau kasau merupakan batang-batang miring yang dipasang di atas gording dan berfungsi sebagai penyangga langsung reng maupun penutup atap tertentu. Komponen ini berperan dalam membentuk kemiringan atap sekaligus meneruskan beban dari reng ke gording. Jarak pemasangan usuk ditentukan berdasarkan jenis penutup atap yang digunakan serta kapasitas material usuk itu sendiri. Pada konstruksi tradisional, usuk umumnya dibuat dari kayu, sedangkan pada sistem baja ringan fungsi usuk sering digantikan oleh profil-profil baja ringan yang dirancang khusus.

3. Reng

Reng merupakan batang berukuran relatif kecil yang dipasang melintang di atas usuk dan berfungsi sebagai tempat melekatnya penutup atap, terutama pada penggunaan genteng. Posisi reng sangat menentukan kerapian dan kekuatan pemasangan penutup atap karena menjadi titik tumpuan langsung bagi material penutup. Jarak antar reng harus disesuaikan dengan ukuran dan jenis penutup atap yang digunakan agar distribusi beban berlangsung secara merata dan risiko kerusakan dapat diminimalkan.

C. Penutup Atap

Penutup atap merupakan lapisan terluar dari sistem atap yang berfungsi melindungi bangunan dari pengaruh cuaca serta memberikan tampilan visual pada bangunan. Pemilihan jenis penutup atap harus mempertimbangkan faktor kekuatan, ketahanan cuaca, berat material, estetika, biaya, dan kemudahan pemasangan. Berikut merupakan gambar macam-macam penutup atap :



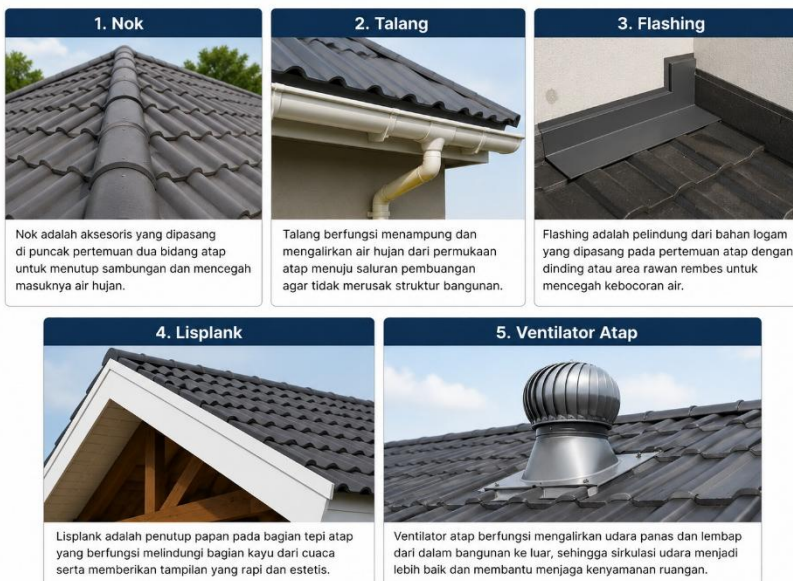
Gambar 5.2 Macam-Macam Penutup Atap

(Sumber: Dokumentasi dan visualisasi penulis, 2026)

Secara umum, pemilihan jenis atap harus disesuaikan dengan fungsi bangunan, kondisi lingkungan, kebutuhan estetika, serta anggaran yang tersedia. Material seperti genteng tanah liat dan beton dikenal memiliki daya tahan yang baik, sedangkan genteng metal dan spandek lebih ringan dan mudah dipasang. Sementara itu, polikarbonat banyak digunakan untuk area yang membutuhkan pencahayaan alami, bitumen memiliki sifat kedap air yang baik, dan sirap memberikan kesan alami serta estetis pada bangunan.

D. Aksesoris Atap

Aksesoris atap merupakan komponen pelengkap yang berfungsi meningkatkan kinerja, keamanan, dan ketahanan sistem atap secara keseluruhan. Berikut merupakan gambar macam-macam aksesoris atap :



Gambar 5. 3 Macam-Macam Aksesoris Atap*(Sumber: Dokumentasi dan visualisasi penulis, 2026)*

Meskipun aksesoris atap berukuran relatif kecil dibandingkan komponen utama atap, aksesoris memiliki peran penting dalam menjaga fungsi atap agar dapat bekerja secara optimal. Berbagai aksesoris seperti nok, talang, flashing, lisplank, dan ventilator atap dirancang untuk mendukung perlindungan bangunan dari pengaruh cuaca, mengarahkan aliran air hujan, serta meningkatkan kenyamanan penghuni bangunan.

Penggunaan aksesoris atap yang tepat dapat membantu mencegah berbagai permasalahan konstruksi, seperti kebocoran, kerusakan akibat genangan air, serta gangguan sirkulasi udara di ruang bawah atap. Selain aspek fungsional, beberapa aksesoris juga berkontribusi terhadap nilai estetika bangunan dengan memberikan tampilan yang lebih rapi dan menarik. Oleh karena itu, pemilihan dan pemasangan aksesoris atap harus disesuaikan dengan jenis atap, kondisi lingkungan, serta kebutuhan bangunan agar sistem atap dapat berfungsi secara maksimal.

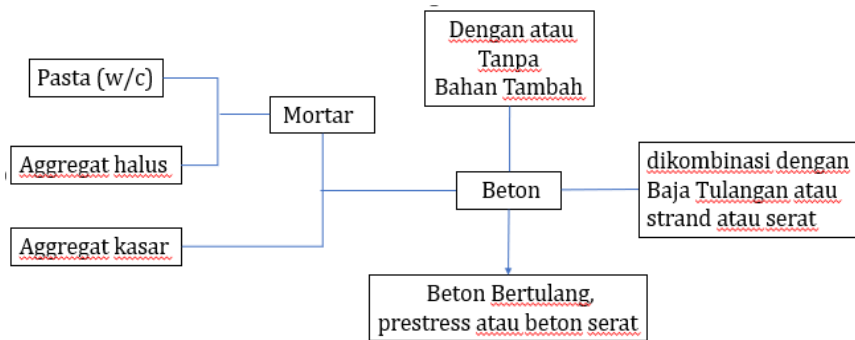
BAB 6

STRUKTUR BETON BERTULANG II: BALOK, KOLOM, DAN PEMBESIAN

Struktur beton bertulang II membahas elemen-elemen utama dalam sistem struktur bangunan yang menggunakan kombinasi beton dan baja tulangan, khususnya balok dan kolom sebagai komponen utama penahan beban. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi lemah terhadap gaya tarik, sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan gaya tarik yang timbul akibat pembebanan. Kombinasi ini menghasilkan material komposit yang mampu bekerja secara efektif dan efisien dalam menahan berbagai jenis beban, baik beban mati maupun beban hidup (McCormac & Brown, 2015, hlm. 12). Oleh karena itu, pemahaman tentang perilaku dan desain beton bertulang menjadi sangat penting dalam perencanaan struktur bangunan.

Beton terdiri dari semen, agregat, air, dan bahan tambahan. Kuat tekan beton menjadi parameter utama dalam desain struktur. Nilai kuat tekan beton biasanya dinyatakan sebagai f_c' yang diperoleh dari pengujian silinder beton (Neville, 2011, hlm. 35).

Proses hidrasi antara air dan semen membentuk pasta yang selanjutnya pasta bersama agregat halus, membentuk mortar dan ketika mortar ditambahkan aggregate kasar jadilah beton (artificial stone). Proses terbentuknya beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 6.1. berikut ini



Gambar 6. 1 Proses Pembetonan

Sumber bahan ajar

Baja tulangan memiliki sifat daktilitas yang tinggi sehingga mampu mengalami deformasi besar sebelum mengalami keruntuhan. Hal ini penting untuk memberikan peringatan sebelum kegagalan struktur terjadi.

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, pelat lantai balok dan kolom harus dirancang secara terpadu untuk memastikan keamanan dan kinerja struktur secara keseluruhan. Penempatan dan jumlah tulangan harus memenuhi persyaratan standar, seperti yang diatur dalam SNI 2847:2019 atau ACI 318, untuk menjamin kekuatan, daktilitas, dan ketahanan struktur terhadap beban ekstrem. Detail penulangan, seperti panjang penyaluran, jarak antar tulangan, dan selimut beton, juga memiliki peranan penting dalam menjaga keawetan dan kinerja struktur dalam jangka

panjang. Dengan desain yang tepat, struktur beton bertulang dapat memberikan keamanan dan efisiensi yang optimal dalam berbagai kondisi pembebanan.

6.1 Material Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang bekerja bersama dalam menahan beban. Beton memiliki kuat tekan tinggi namun lemah terhadap tarik, sedangkan baja memiliki kuat tarik tinggi sehingga kombinasi keduanya menghasilkan material yang efisien dalam konstruksi (McCormac & Brown, 2015, hlm. 12).

Perilaku beton bertulang dipengaruhi oleh interaksi antara beton dan baja. Ikatan (bond) antara beton dan baja memungkinkan transfer gaya sehingga keduanya bekerja sebagai satu kesatuan (Nilson, Darwin, & Dolan, 2010, hlm. 78). Prinsip dasar ini menjadikan beton bertulang sebagai material komposit yang efektif dan banyak digunakan dalam konstruksi modern, karena mampu mengoptimalkan kelebihan masing-masing bahan. Menurut Edward G. Nawy, beton bertulang dirancang agar kedua material bekerja secara monolit melalui lekatan (bond) yang baik sehingga gaya dapat ditransfer secara efektif (Nawy, 2008, hlm. 12).

Pada elemen struktur seperti balok dan pelat, kekuatan beton bertulang sangat dipengaruhi oleh kapasitas lentur yang bergantung pada posisi dan jumlah tulangan tarik serta mutu beton. Ketika balok mengalami pembebanan, beton pada daerah tekan menahan gaya tekan sementara baja tulangan pada daerah tarik menahan gaya tarik. Distribusi

tegangan ini menghasilkan momen tahanan yang menentukan kapasitas ultimit elemen tersebut. Selain itu, faktor seperti rasio tulangan, kualitas pengerjaan, dan kondisi lingkungan juga berperan dalam menentukan kekuatan struktur. Menurut American Concrete Institute, kapasitas lentur beton bertulang dihitung berdasarkan keseimbangan gaya dalam dan kompatibilitas regangan dengan memperhatikan faktor keamanan tertentu (ACI, 2019, hlm. 78).

Selain kekuatan lentur, beton bertulang juga harus mampu menahan gaya geser dan torsi. Kekuatan geser pada beton bertulang dipengaruhi oleh kontribusi beton dan tulangan geser (sengkang), yang berfungsi untuk menahan retak diagonal akibat gaya geser. Apabila tidak direncanakan dengan baik, kegagalan geser dapat terjadi secara tiba-tiba dan bersifat getas. Oleh karena itu, perencanaan struktur beton bertulang harus memenuhi prinsip daktilitas, yaitu kemampuan struktur untuk mengalami deformasi sebelum runtuh. Menurut Nilson, desain beton bertulang modern menekankan pada keseimbangan antara kekuatan dan daktilitas agar struktur tetap aman dan memberikan peringatan sebelum kegagalan (Nilson, 2010, hlm. 156).

6.2 Analisis Dan Desain Balok

Balok merupakan elemen struktur horizontal yang berfungsi menahan beban transversal yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok. Beban tersebut menyebabkan timbulnya momen lentur dan gaya geser di sepanjang balok. Dalam kondisi ini, serat bagian atas balok umumnya mengalami tekan, sedangkan serat bagian bawah mengalami tarik, sehingga tulangan tarik ditempatkan pada

daerah tarik untuk meningkatkan kapasitas balok. Selain itu, tulangan geser seperti sengkang juga diperlukan untuk menahan gaya geser dan mencegah keruntuhan geser yang bersifat getas (Hibbeler, 2016, hlm. 221).

Balok adalah elemen struktur yang menerima beban transversal dan menghasilkan momen lentur serta gaya geser. Dalam analisis balok, diagram momen dan gaya geser digunakan untuk menentukan lokasi kritis desain (Hibbeler, 2016, hlm. 221). Desain balok harus memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, dan daktilitas.

Dalam perencanaan beton bertulang menurut standar Indonesia, jumlah tulangan harus memenuhi batas minimum dan maksimum agar struktur aman, ekonomis, serta memiliki daktilitas yang baik. Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional dalam SNI 2847:2019, tulangan minimum diperlukan untuk mencegah kegagalan getas akibat retak awal pada beton, sedangkan tulangan maksimum dibatasi agar beton tetap mampu mengalami regangan tekan sebelum baja mencapai leleh. Dengan demikian, penentuan rasio tulangan merupakan aspek penting dalam desain struktur beton bertulang (SNI 2847:2019, hlm. 107).

Syarat tulangan minimum untuk balok bertujuan agar elemen struktur tidak mengalami keruntuhan mendadak ketika terjadi retak pertama. SNI 2847:2019 menetapkan bahwa luas tulangan tarik minimum (A_{smin}) harus memenuhi persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau, } \rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y}$$

di mana ρ_{min} adalah rasio tulangan minimum, f_y adalah kuat leleh baja (MPa). Ketentuan ini memastikan bahwa tulangan

cukup untuk menahan gaya tarik setelah beton retak sehingga perilaku struktur menjadi lebih daktail (SNI 2847:2019, hlm. 108).

Sementara itu, jumlah tulangan maksimum dibatasi untuk mencegah kegagalan tekan pada beton sebelum baja mengalami leleh. Rasio tulangan maksimum umumnya ditetapkan tidak melebihi 0,75 dari rasio tulangan seimbang (ρ_{bal}), sehingga:

$$\rho_{max} = 0,75\rho_{bal}$$

Pembatasan ini bertujuan agar keruntuhan yang terjadi bersifat daktail (tulangan leleh terlebih dahulu) bukan getas (beton hancur lebih dulu). Selain itu, SNI juga membatasi jumlah tulangan agar tidak terlalu padat sehingga proses pengecoran tetap baik dan tidak terjadi rongga (honeycomb) pada beton (SNI 2847:2019, hlm. 110).

Dalam desain/analisis balok lentur, maka perlulah dibahas mengenai struktur pelat lantai. Hal ini dilakukan sebab lantai adalah beban bagi balok dan kolom. Analisis desain pelat lantai pada dasarnya didesain sebagai struktur balok, dimana desain struktur lantai terdiri atas 2 (dua) cara yaitu pelat lantai satu arah (*one way slab*) jika $l_x/l_y \geq 2$ dan pelat lantai dua arah (*two way slab*), jika $l_x/l_y < 2$, dimana l_x = bentang panjang dan l_y = bentang pendek.

a. Pelat lantai satu arah (*one way slab*)

Pelat satu arah adalah elemen struktur beton bertulang yang memikul beban terutama dalam satu arah saja, yaitu arah bentang terpendek, karena perbandingan panjang terhadap lebar panel cukup besar (umumnya $l_x/l_y \geq 2$). Dalam kondisi ini, distribusi momen lentur

dominan terjadi sejajar bentang pendek sehingga tulangan utama dipasang searah bentang tersebut, sedangkan tulangan bagi (distribusi) dipasang tegak lurus untuk mengendalikan retak dan membantu distribusi beban. Menurut Badan Standardisasi Nasional dalam SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, pelat yang ditumpu pada dua sisi berlawanan atau pelat dengan rasio panjang terhadap lebar ≥ 2 dapat dianalisis sebagai pelat satu arah dengan asumsi lentur utama terjadi pada satu arah bentang (BSN, 2019, hlm. 271–273).

Secara analitis, pelat satu arah sering dimodelkan sebagai balok lebar satuan (strip method) untuk menghitung momen, geser, dan lendutan. Pendekatan ini juga dijelaskan oleh Budi D. Setiawan dalam Struktur Beton Bertulang bahwa pelat satu arah dapat diperlakukan sebagai rangkaian balok sejajar dengan lebar efektif tertentu sehingga perencanaan tulangan mengikuti prinsip perencanaan balok beton bertulang (Setiawan, 2016, hlm. 145–147). Dengan demikian, pemahaman arah kerja pelat sangat penting agar penempatan tulangan utama sesuai dengan arah momen maksimum yang terjadi.



Gambar 6. 2 Tulangan Satu Arah

Sumber: Internet

Keterangan Gambar 6.2: Merah arah tulangan pokok dan biru arah tulangan bagi.

Slab satu arah di disain sebagai balok tanpa desain tulangan geser dengan ketebalan dimensi diasumsikan dan desain tulangannya ditentukan berdasarkan lengan momen

$$\left(\gamma_d = d - \frac{a}{2} \text{ atau } 0,9d \text{ dan } d = h - d' \right),$$

dimana : d = tinggi efektif (mm)

h = tinggi (mm)

d' = tebal selimut (mm)

a = tinggi blok ekuivalen (mm)

Prosedur desain untuk dimensi plat lantai sebagai langkah kedua dalam tata cara perencanaan yaitu:

Tentukan dimensi plat lantai:

- Tebal plat lantai (h): minimal 100 mm untuk plat lantai yang tidak terkena beban kendaraan.
- Lebar plat lantai (b): tergantung pada jarak antara balok-balok penumpu.

b. Pelat lantai dua arah (*twoway slab*)

Pelat dua arah adalah pelat beton bertulang yang menyalurkan beban ke dua arah yang saling tegak lurus karena perbandingan panjang terhadap lebar panel relatif kecil (umumnya < 2) dan ditumpu pada keempat sisinya. Dalam kondisi ini, momen lentur berkembang dalam dua arah sehingga tulangan utama harus dipasang pada kedua

arah ortogonal. Menurut Badan Standardisasi Nasional dalam SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, pelat yang ditumpu pada empat sisi dengan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek kurang dari dua dianalisis sebagai pelat dua arah, dengan distribusi momen ditentukan melalui koefisien momen atau metode analisis yang memenuhi ketentuan standar (BSN, 2019, hlm. 279–284).

Secara perencanaan, analisis pelat dua arah dapat dilakukan menggunakan metode koefisien momen atau metode rangka ekuivalen (*equivalent frame method*), terutama pada sistem pelat tanpa balok (*flat slab*). Dipohusodo dalam Struktur Beton Bertulang menjelaskan bahwa karena aksi dua arah menyebabkan distribusi momen negatif dan positif pada jalur kolom dan jalur tengah panel, maka penempatan dan pembagian tulangan harus mempertimbangkan zona kolom (*column strip*) dan zona tengah (*middle strip*) agar kapasitas lentur dan kontrol retak terpenuhi (Dipohusodo, 1994, hlm. 198–203). Dengan demikian, pelat dua arah menuntut perencanaan yang lebih kompleks dibanding pelat satu arah karena interaksi momen pada kedua arah bentang.



Gambar 6.3 Tulangan dua Arah

Sumber: Internet

Desain plat lantai dua arah dalam analisis lentur, memperhitungkan koefisien momen baik itu arah x maupun y, untuk momen tumpuan (zona kolom), maupun zona tengah (momen lapangan). Sehingga besaran momen yang dihitung sebanyak 4 buah momen yaitu: M_{tx} (momen tumpuan sb-x), M_{lx} (momen lapangan sb-x) dan M_{ty} (momen tumpuan sb-y) serta M_{ly} (momen lapangan sb-y). Koefisien momen yang menjadi rujukan penghitungan besaran momen disajikan pada Table 7.1 Table ini khusus untuk kuat tekan beton $f'_c = 25$ MPa. Adapun rumus umum untuk nilai momennya

$$M = 0,001wl^2x$$

dimana : M = Momen sb-x dan sb-y (Nmm)

w = beban/berat sendiri (N)

l = bentang (mm)

x = koefisien momen

Tabel 6. 1 Koeffisien Momen Arah X dan Y, $f'_c = 25$ MPa

Koefisien untuk momen Penulangan																		
Lx/ly	$M_{ox} = 0,001wl^2x$									$M_{oy} = 0,001wl^2x$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	-15	+12	-15	-53	22	-53	-30	20	-30	-15	17	17	-47	21	10	-15	17	17
1,2	-19	+14	-19	-63	28	-63	-35	22	-35	-15	18	18	-48	21	11	-15	18	18
1,4	-23	+15	-23	-70	33	-70	-39	24	-39	-15	18	18	-48	20	11	-15	18	18
1,6	-27	+17	-27	-75	35	-75	-43	25	-43	-15	18	18	-47	20	11	-15	18	18
1,8	-31	+18	-31	-76	37	-76	-46	25	-46	-15	17	17	-47	20	11	-15	17	17
2,0	-34	+19	-34	-80	39	-80	-48	25	-48	-15	17	17	-46	20	11	-15	17	17
2,5	-41	+20	-41	-82	41	-82	-54	27	-54	-15	16	16	-45	20	12	-15	16	16
3,0	-47	+23	-47	-83	42	-83	-58	29	-58	-15	16	16	-44	20	13	-15	16	16

Sumber: Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, Ir. Gideon, Hal-30

Contoh Penggunaan misalnya terdapat plat lantai berukuran panjang $l_x = 5\text{m}$ dan lebar $= 3\text{m}$, maka $\beta = \frac{5}{3} = 1,7 < 2$.

Solusi:

Tabel 6. 2 Contoh Analisis Momen Dua Arah

β $=1,7$	Koef M	Momen (plat dua arah)
Sb-x	$x_l x = 36$ $x_t x = -75,5$	$M_l x = 0,001 w 5^2 \cdot 36$ $M_t x = 0,001 w 5^2 75,5$
Sb-y	$x_l y = 20$ $x_t y = -47$	$M_l y = 0,001 w 3^2 20$ $M_t y = 0,001 w 3^2 47$

Sumber: Hasil Analisis

Adapun tebal plat lantai dapat dihitung dengan dengan rumus:

$$h_{\min} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta} \quad \text{dan} \quad h_{\max} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36} \quad \text{dengan}$$

memasukkan harga β dan l_n (bentang Panjang) dan $f'_c = 25$ MPa., maka tebal plat berkisar 9,5 mm-13,5 mm.

6.3 Desain Balok Lentur

Desain balok lentur pada beton bertulang didasarkan pada prinsip bahwa penampang harus mampu menahan momen terfaktor tanpa mengalami keruntuhan getas. Perencanaan dilakukan dengan memastikan bahwa kuat rencana lentur memenuhi ketentuan $\phi M_n \geq M_u$, di mana M_n dihitung berdasarkan keseimbangan gaya tekan beton dan gaya tarik tulangan baja pada kondisi ultimit. Menurut Badan Standardisasi Nasional dalam SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, analisis lentur menggunakan blok tegangan persegi ekuivalen dengan faktor

β_1 untuk merepresentasikan distribusi tegangan tekan beton, serta mensyaratkan penampang bersifat tarik-terkendali (tension-controlled) agar daktilitas tercapai (BSN, 2019, hlm. 88–92).

Selain memenuhi kekuatan nominal, desain balok lentur juga harus memperhatikan batas tulangan minimum dan maksimum guna menghindari keruntuhan mendadak serta memastikan perilaku daktil. Rasio tulangan minimum diperlukan agar setelah beton retak, baja masih mampu menahan gaya tarik secara memadai, sedangkan rasio maksimum dibatasi agar regangan baja mencapai leleh sebelum beton hancur. Hal ini sejalan dengan penjelasan Dipohusodo dalam Struktur Beton Bertulang yang menyatakan bahwa desain lentur harus menjamin distribusi regangan yang kompatibel dan keseimbangan gaya dalam sehingga kapasitas momen dapat dihitung secara rasional berdasarkan teori elastis-plastis (Dipohusodo, 1994, hlm. 156–162).

Desain balok lentur didasarkan pada kapasitas momen nominal (M_n) yang harus lebih besar dari momen yang bekerja. Rumus umum kapasitas lentur adalah:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Dimana A_s adalah luas tulangan tarik, f_y adalah tegangan leleh baja, dan d adalah tinggi efektif (McCormac & Brown, 2015, hlm. 154).

Perencanaan Balok Dengan Tulangan Tunggal

Contoh Soal:

Data-data perencanaan balok sebagai berikut:

- Mutu beton, $f'_c = 25$ MPa

- Mutu baja, $f_y = 400$ MPa, Diameter ($\emptyset$) tulangan utama = 19 mm
- Tebal selimut beton (p) = 40 mm
- Diameter sengkang = 10 mm
- Dimensi balok: $b_w = 250$ mm, $h = 450$ mm.
- $d' = p + \emptyset_{\text{sengkang}} + 1/2 D_{19} = 40 + 10 + 9,5 = 59,5$ mm
- $d = h - d' = 450 - 59,5 = 390,5$ mm

a. Penulangan Tumpuan Balok

$$M_u = 133,899 \text{ mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{133,899}{0,8} = 167,374 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{167,374}{250 (390,5)^2} = 4,390 \text{ MPa}$$

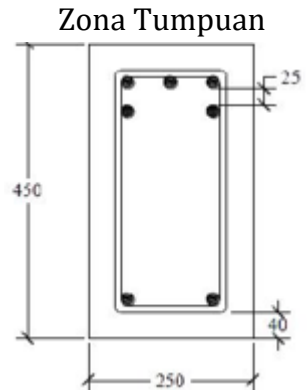
$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

Kontrol tulangan

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,824 \times 4,390}{400}} \right) = 0,01243$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \quad , \quad \rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} = 0,003125$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_{\text{bal}} = 0,75 \frac{0,85 \cdot 250 \cdot 0,85}{400} \frac{600}{600 + 400} = 0,02032$$



Jadi $\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow$ tulangan Tunggal

$$A_s = \rho b d = 0,01243 \cdot 250 \cdot 390,5 = 1213,508 \text{ mm}^2$$

Untuk zona tumpuan dipasang tulangan 5D19 (1417,644 mm²)

Kapasitas Aktual (berdasarkan tulangan terpasang):

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{1417,644 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} = 106,740 \text{ mm}$$

$$d = 450 - 40 - 10 - \frac{850,586 \times 9,5 + 567,057 \times 53,5}{850,586 + 567,057} = 372,9 \text{ mm}$$

$$M_n = 1417,644 \cdot 400 \left(372,9 - \frac{106,740}{2} \right) = 181,192 \text{ KNm}$$

Jadi $\phi M_n = 0,8 \cdot 181,192 = 144,953 \text{ KNm} > 133,899 \text{ KNm}$ (OK)

b. Tulangan Lapangan Balok

$$M_u = 62,164 \text{ KNm}$$

Asumsi bekerja sebagai balok T dngn be = 1750 mm; hf = 120 mm

Kontrol balok T

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{62,164}{0,8} = 77,683 \text{ KNm}$$

Dicoba nilai a = hf

$$C = 0,85 f'_c b a = 0,85 \cdot 25 \cdot 120 \cdot 1750 = 4462,5 \text{ KN}$$

$$M_n = C \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4462,5 \left(390,5 - \frac{120}{2} \right) = 1474,856 \text{ KNm}$$

Karena Mn yang diperlukan $77,683 < 1474,8$ maka harga a < hf

Analisis sebagai balok persegi dengan menggunakan b_e .

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \quad , \quad \rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} = \frac{\sqrt{25}}{4.400} = 0,003125$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ yang dipakai}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_{bal} = 0,75 \frac{b_w}{b_e} (\rho_b^- + \rho_f)$$

$$\rho_b^- = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85.25}{400} \frac{600}{600 + 400} = 0,027$$

$$\rho_f = \frac{0,85 \cdot f'_c (b_e - b_w)}{f_y b_w d} = \frac{0,85.25(1750 - 250)}{400.250.390,5} = 0,0008$$

$$\rho_{max} = 0,75 \frac{250}{1750} (0,027 + 0,0008) = 0,0029$$

Mengecek dengan cara lain

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{77,683.10^6}{1750(390,5)^2} = 0,291 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,824 \times 0,291}{400}} \right) = 0,000733$$

$$\rho = 0,000733 < \rho_{max} = 0,002 \rightarrow \text{(OK)}$$

Untuk zona lapangan dipasang tulangan 2D19 (567,057 mm²)

Kapasitas Aktual (berdasarkan tulangan terpasang):

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

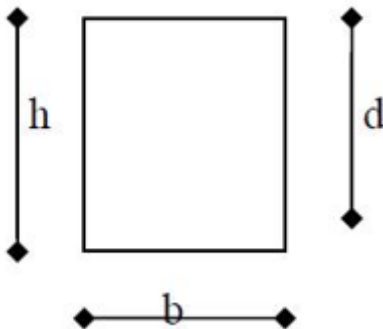
$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{567,057 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1750} = 6,099 \text{ mm}$$

$$M_n = 1417,664.400 \left(390,5 - \frac{6,099}{2} \right) = 87,883 \text{ KNm}$$

Jadi $\phi M_n = 0,8.87,883 = 70,306 \text{ KNm} > 62,146 \text{ KNm (OK)}$

Contoh Perhitungan II

Sebuah balok beton mempunyai ukuran $b \times h = 250 \times 500 \text{ mm}$, mutu beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$, mutu baja $f_y = 400 \text{ Mpa}$, balok memikul beban lentur $M_u = 100 \text{ kNm}$. Ditanya, tentukan jumlah tulangan A_s yang dibutuhkan. Penyelesaian:



$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{100 \times 10^6}{0,8}$$

$$M_n = 125.10^6 \text{ Nm}$$

$$d = 450 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{125.10^6}{259 \times 450^2}$$

$$R_n = 2,47 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,824 \times 2,47}{400}} \right) = 0,0065$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ yang dipakai}$$

$$\rho_b^- = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85 \cdot 25}{400} \frac{600}{600 + 400} = 0,027$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_{bal} = 0,75 \times 0,027 = 0,02$$

$$\text{Jadi } \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow (\text{OK})$$

$$A_s = \rho b d = 0,0065 \cdot 250 \cdot 450 = 731 \text{ mm}^2 = 7,31 \text{ cm}^2$$

Dipakai 4D16 (8,04 cm²)

Cek lelehnya baja dan underreinforce

$$a = \rho m d = 0,0065 \times 18,82 \times 450 = 55,04$$

$$M_n = T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 731 \left(450 - \frac{55,04}{2} \right) \cdot 400 = 123 \text{ kNm}$$

$$X = \frac{a}{\beta} = \frac{55,04}{0,85} = 64,76$$

$$\frac{X}{450 - X} = \frac{0,003}{\epsilon_s}$$

$$\epsilon_s = \frac{450 - X}{X} \cdot 0,003 = \frac{450 - 64,76}{64,76} \cdot 0,003 = 0,017$$

$$\epsilon_y = \frac{400}{2 \cdot 10^5} = 0,002$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y \text{ (leleh)} \rightarrow (\text{OK})$$

Catatan

Cara menentukan factor β_1 SNI (2002)

$$\text{Untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Untuk } f'_c > 30 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - (f'_c - 30)0,005/7 \geq 0,6$$

6.4 Desain Geser Balok

Gaya geser pada balok ditahan oleh beton dan tulangan geser (sengkang). Kapasitas geser total adalah:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana V_c adalah kontribusi beton dan V_s adalah kontribusi tulangan geser (ACI 318, 2019, hlm. 302).

Desain tulangan geser struktur balok berupa tulangan sengkang, dipasang sepanjang balok. Bentang balok dibagi atas tiga zona yaitu zona pertama (zona d)/sengkang kritis ($V_n - V_{s1}$) spasi tulangan transversal yang lebih rapat sesuai analisis atau maksimal $s = d/4$. Apabila spasi sengkang kritis terlalu rapat, maka dapat di bantu menggunakan tulangan tarik diagonal. Zona kedua ($V_{s1} - V_{s2}$) sengkang sedang dengan spasi tulangan transversal yang lebih jarang sesuai hasil analisis atau maksimal $s = d/2$. Adapun bagian ketiga zona tanpa sengkang ($>V_{s2}$) tetapi SNI mensyaratkan tetap dipasang sengkang minimum dengan spasi maksimal 30 cm (Nawy, 1990, hlm. 220–310; ACI 318-14, 2014, hlm. 250–330; SNI 03-2847-2002, hlm. 150–230; Dipohusodo, 1999, hlm. 170–250).

Contoh, diketahui:

- Lebar balok, $b = 300$ mm
- Tinggi efektif, $d = 500$ mm
- Kuat tekan beton, $f'_c = 25$ MPa
- Mutu baja tulangan geser, $f_y = 400$ MPa
- Gaya geser terfaktor, $V_u = 200$ kN
- Faktor reduksi geser, $\phi = 0,75$

Solusi:

a) Cek Apakah perlu tulangan geser?

Syarat: $V_u > \phi V_c$, dimana $V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0,17 \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 500 \\ = 127,5 \text{ kN}$$

Karena: $V_u = 200 \text{ kN} > \phi V_c$ maka perlu tulangan geser

b) Hitung Kebutuhan Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u, \quad V_c + V_s = \frac{200}{0,75} = 266,7 \text{ kN}$$

$$V_s = 266,7 - 127,5 = 139,2 \text{ kN}$$

c) Hitung Spasi Senggang

$V_c = \frac{A_v f_y d}{s}$, dimana digunakan $\phi = 10 \text{ mm}$ ($A_v = 2 \times 78,5 \text{ mm}^2 = 157 \text{ mm}^2$) $\rightarrow$ karena 2 kaki sehingga diperoleh jarak senggang

$$139200 = \frac{157 \times 400 \times 500}{s} \rightarrow s = \frac{31400000}{139200} = 225 \text{ mm} < \frac{d}{2}$$

d) Hasil Akhir

Senggang $\phi 10 - 2 \text{ kaki @ } 225 \text{ mm}$ ($\phi 10 - 225 \text{ mm}$)

e) Catatan pada zona kritis d (spanjang 500 mm dari garis netral kolom) spasi penulangan senggang dapat dipasang $s = d/4$ yaitu $\phi 10 - 110 \text{ mm}$

6.5 Desain Kolom

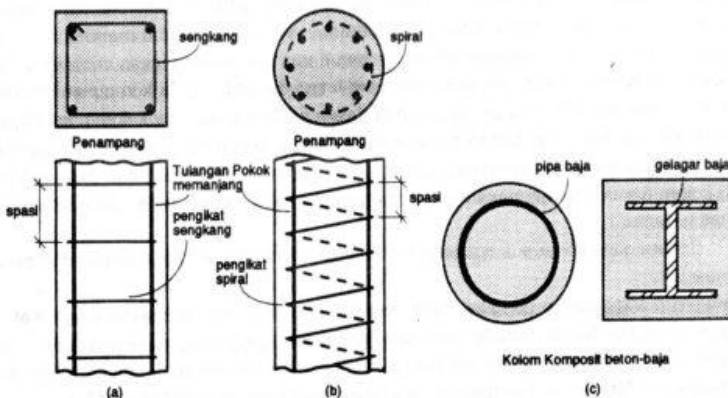
Kolom adalah elemen struktur vertikal yang berfungsi menyalurkan beban dari balok dan pelat ke fondasi. Kolom umumnya mengalami beban aksial tekan yang

dikombinasikan dengan momen lentur akibat eksentrisitas beban atau pengaruh gaya lateral seperti gempa dan angin. Oleh karena itu, perencanaan kolom harus mempertimbangkan interaksi antara beban aksial dan momen yang biasanya dianalisis menggunakan diagram interaksi. Selain itu, stabilitas kolom juga sangat dipengaruhi oleh panjang kolom dan kondisi tumpuan, yang dapat menyebabkan kegagalan akibat tekuk pada kolom langsing (Nilson *et al.*, 2010, hlm. 420).

Kolom adalah elemen struktur vertikal yang menahan beban aksial dan momen. Desain kolom harus mempertimbangkan kombinasi beban tersebut.

Kolom harus memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban tanpa mengalami kegagalan tekan atau tekuk. Menurut Wang (1986) dan Ferguson (1986) serta Istimawan Dipohusodo (1994) jenis kolom ada 3 yaitu:

1. Kolom Ikat (tie column)/Senggang lateral
2. Kolom Spiral (spiral column)
3. Kolom Komposit (composite column)



Gambar 6. 4 Jenis kolom Menurut Senggang

Sumber internet

$\phi P_n = \phi(0,80) [0,85 f'_c A_g + A_{st} (f_y - 0,85 f'_c)] \rightarrow$ sengkang persegi

$\phi P_n = \phi(0,85) [0,85 f'_c A_g + A_{st} (f_y - 0,85 f'_c)] \rightarrow$ sengkang spiral

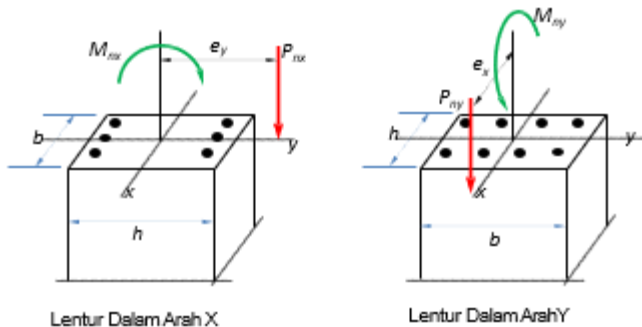
dimana : $f = 0,65$ untuk sengkang persegi

$= 0,75$ untuk sengkang spiral

A_g = luas total penampang kolom (N)

A_{st} = luas total tulangan tekan memanjang
(mm²)

Praktek dilapangan secara praktis penulangannya menggunakan rasio tulangan ρ_g , sebesar 1% hingga maksimum 8% terhadap luas penampang kolom beton.



Gambar 6.5 Hubungan Beban Aksial dan Momen

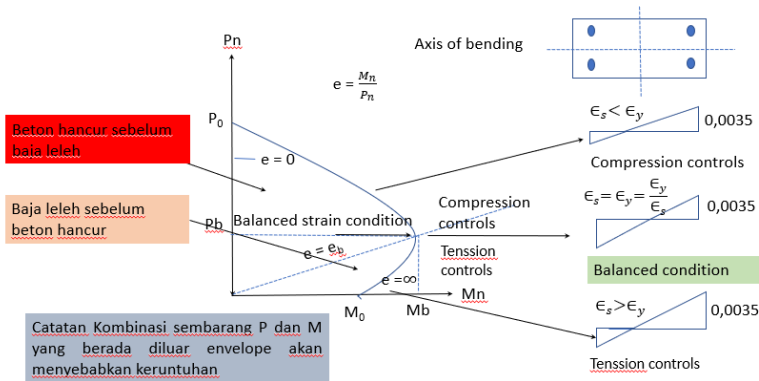
Sumber bahan ajar

Adapun besaran momen menurut Gambar 7.5

$$M = M_1 + M_2$$

dimana: $M_1 = \frac{M_u}{P_u}$ dan $M_2 = P_u \times e$

Kolom umumnya mengalami kombinasi beban aksial dan momen. Diagram interaksi digunakan untuk menentukan kapasitas kolom terhadap kombinasi beban tersebut (Nilson *et al.*, 2010, hlm. 420).

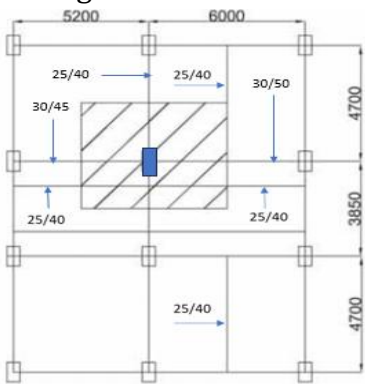


Gambar 6. 6 Hubungan/Interaksi Lentur-Aksial

Sumber: Nawy (2008)

6.5.1 Contoh Perencanaan dimensi Kolom

Perencanaan awal dimensi kolom bersifat pendekatan saja, dengan hanya memperhitungkan beban aksial saja. Beban yang digunakan adalah beban mati dan beban hidup pada bagian luasan yang membebani kolom yang bersangkutan.



a. Beban mati :

Beban dari pelat atap = $4,11 \cdot 5,6 \cdot 4,275 = 98,4 \text{ kN}$
 Balok induk 250/400 = $0,25 \cdot (0,40-0,12) \cdot (4,275) \cdot 24 = 7,182 \text{ kN}$
 Balok induk 300/450 = $0,3 \cdot (0,45-0,12) \cdot (2,6) \cdot 24 = 6,178 \text{ kN}$
 Balok induk 300/500 = $0,3 \cdot (0,50-0,12) \cdot (3) \cdot 24 = 8,208 \text{ kN}$
 Balok anak 250/400 = $0,25 \cdot (0,40-0,12) \cdot (5,6) \cdot 24 = 9,408 \text{ kN}$
 Balok anak 250/400 = $0,25 \cdot (0,40-0,12) \cdot (2,35) \cdot 24 = 3,948 \text{ kN}$

NDL = 133,324 kN

b. Beban Hidup : $NLL = 1 \cdot 5,6 \cdot 4,275 = 23,94 \text{ kN}$

$P_u = 1,2 \cdot NDL + 1,6 \cdot NLL$
 $= 1,2 \cdot 133,3236 + 1,6 \cdot 23,94$
 $= 198,2923 \text{ kN}$

$$\phi P_n = P_u \Leftrightarrow P_n = \frac{P_u}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,65 \text{ untuk kolom}$$

$$P_n = 0,80 \cdot \{0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,80 \cdot \{0,85 \cdot 25 \cdot (A_g - 0,02 \cdot A_g) + 400 \cdot 0,02 \cdot A_g\} \\
 &= 0,8 \cdot \{21,25 \cdot A_g - 0,425 \cdot A_g + 8 \cdot A_g\} \\
 &= 23,06 A_g
 \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{P_n}{23,06} = \frac{\frac{198,292}{0,65}}{23,06} = 13229,188 \text{ mm}^2$$

$$b = h = \sqrt{13229,188} = 115,0018 \text{ mm}$$

Diambil dimensi kolom sebesar 300 x 300 mm²

Contoh soal Hubungan P-M

Misalkan kolom persegi dengan data berikut:

- Dimensi kolom = 300 mm × 300 mm
- Mutu beton $f'_c = 25 \text{ MPa}$
- Mutu baja tulangan $f_y = 400 \text{ MPa}$
- Luas tulangan 1 batang D16 = 201 mm²
- Tulangan longitudinal = 4D16
($A_s = 4 \times 201 = 804 \text{ mm}^2$)
- Total luas tulangan 1% x 300 x 300 = 900 mm² > 804 mm²
- Selimut beton = 40 mm

a) Menghitung Gaya Tekan Beton

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

Asumsi $a = 0,65 \times 150 = 97,5 \sim 100$ (150 adalah garis netral kolom)

$$C_c = 0,85 \times 25 \times 100 \times 300 = 637,5 \text{ kN}$$

b) Menghitung Gaya pada Tulangan

$$T = A_s \times f_y = 804 \times 400 = 321,6 \text{ kN}$$

Catatan: Jika tulangan mengalami tekan maka ditambahkan ke C_c , jika tarik maka dikurangkan

c) Menghitung Kapasitas Aksial Nominal Kolom

$$P = C_c + T = 637,5 + 321,6 = 959,1 \text{ kN}$$

d) Menghitung Kapasitas Momen

Misalkan terdapat eksentrisitas ($e = 120 \text{ mm}$)

$$M_n = P_u \times e = 959,1 \times 0,120 = 115,1 \text{ kN.m}$$

e) Interpretasi Diagram Interaksi P-M

Hasil pasangan nilai $P = 959 \text{ kN}$ dan $M = 115 \text{ kNm}$ merupakan satu titik pada diagram interaksi P-M. Dengan menghitung beberapa kondisi lain (aksial maksimum, kondisi seimbang, dan momen maksimum), akan diperoleh kurva hubungan P-M. Jika titik beban kerja berada di dalam kurva, maka kolom aman. Jika di luar kurva, maka kolom tidak mampu menahan kombinasi beban tersebut.

6.5.2 Kolom Pendek dan Kolom Panjang

1. Kolom pendek gagal karena kuat tekan material.

Berikut contoh perhitungan kolom pendek beton bertulang menurut konsep desain pada SNI 2847. Kolom pendek adalah kolom dengan rasio kelangsingan kecil sehingga pengaruh tekuk dapat diabaikan dan kapasitas kolom terutama ditentukan oleh kekuatan material (beton dan tulangan).

a) Data Kolom

- Diketahui:
- Dimensi kolom $= 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$. ($A_g = 90000 \text{ mm}^2$)
- Tinggi kolom $= 3 \text{ m}$
- Mutu beton $f'_c = 25 \text{ MPa}$
- Mutu baja tulangan $f_y = 400 \text{ MPa}$
- Tulangan longitudinal $= 4D16$ ($A_s = 804 \text{ mm}^2$)

- Luas 1 batang D16 = 201 mm²

b) Menghitung Kapasitas Aksial Nominal Kolom

$$P_n = 0,85f'_c(A_g - A_s) + A_s \times f_y$$

Keterangan:

P_n	Faktor tulangan balanced
f'_c	kuat tekan beton (MPa)
f_y	mutu baja tulangan (MPa)
A_g	Luas penampang kolom (mm ²)
A_s	Luas tulangan longitudinal (mm ²)

$$P_n = 0,85 \times 25 \times (90000 - 804) + 804 \times 400$$

$$P_n = 1895,4 \text{ kN} + 321,6 \text{ kN} = 2217 \text{ kN}$$

Jika menggunakan Sengkang ikat, maka factor reduksi kekuatan: $\phi = 0,65$

$$P_u = 0,65 \times 2217 \text{ kN} = 1441 \text{ kN}$$

c) Kesimpulan

- Dari perhitungan diperoleh:
Kapasitas aksial nominal kolom $P_n = 2217 \text{ kN}$
Kapasitas desain kolom $\phi P_n = 1441 \text{ kN}$
 - Artinya kolom tersebut aman jika beban aksial terfaktor $P_u \leq 1441 \text{ kN}$. Jika beban yang bekerja melebihi nilai tersebut, maka dimensi kolom atau jumlah tulangan harus diperbesar.
2. Kolom panjang gagal karena efek tekuk. Rasio kelangsingan menentukan jenis kolom tersebut (Hibbeler, 2016, hlm. 500).

Berikut contoh perhitungan kolom panjang (slender column) pada beton bertulang. Kolom panjang berbeda dengan kolom pendek karena pengaruh kelangsingan (slenderness) menyebabkan timbulnya momen tambahan akibat efek P-Δ (second order effect) sehingga perlu dihitung faktor pembesaran momen.

a) Data Kolom

- Diketahui:
- Dimensi kolom = 300 mm × 400 mm
- Tinggi kolom = 5 m
- Mutu beton $f'_c = 25$ MPa
- Mutu baja $f_y = 400$ MPa
- Tulangan longitudinal = 6D16
- Beban aksial terfaktor $P_u = 900$ kN
- Momen ujung kolom $M_1 = 40$ kNm
- Momen ujung kolom $M_2 = 60$ kNm

b) Menghitung Rasio Kelangsingan

Kolom dikatakan kolom panjang jika rasio kelangsingan cukup besar.

Rumus rasio kelangsingan:

$$\lambda = \frac{kL}{r}$$

dimana : λ = rasio kelangsingan

k = faktor panjang efektif (misal 1,0)

l = bentang (mm)

r = jari-jari girasi

$$\text{Jari-jari girasi: } r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Untuk penampang persegi panjang:

$$r = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{400}{\sqrt{12}} = 115,5 \text{ mm}, L = 5000 \text{ mm}$$

Ratio kelangsingan $k = 1$, tumpuan sendi-rol

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{1 \times 5000}{115,5} = 43,3$$

Karena $\lambda > 22$, maka kolom termasuk kolom panjang.

c) Menghitung Faktor Pembesaran Momen

- Efek kelangsingan $\rightarrow$ momen bertambah.
- Rumus pembesaran momen:
- $M_u = \delta M_2$
- Faktor pembesaran:

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cr}}}$$

d) Menghitung Beban Kritis Euler

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2}$$

Modulus elastisitas beton:

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

Inertia bahan:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{300 \times 400^3}{12} = 1,6 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Sehingga

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 23500 \times 1,6 \times 10^9}{(1 \times 5000)^2} = 1480 \text{ kN}$$

e) Faktor Pembesaran Momen

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{900}{1450}} = 2,55$$

f) Momen Desain Kolom

$$M_u = \delta x M_2 = 2,55 x 60 = 153 \text{ kNm}$$

g) Kesimpulan

- Dari hasil perhitungan diperoleh:
- Rasio kelangsingan kolom = 43.3 → kolom panjang
- Faktor pembesaran momen = 2.55
- Momen desain kolom = 153 kNm
- Artinya, akibat efek kelangsingan, momen kolom meningkat dari 60 kNm menjadi 153 kNm sehingga desain tulangan kolom harus mampu menahan kombinasi $P_u=900 \text{ kN}$ dan $M_u=153 \text{ kNm}$.

6.6 Detail Penulangan

Detail penulangan sangat penting untuk memastikan perilaku struktur sesuai perencanaan. Panjang penyaluran (development length) harus cukup agar gaya dapat ditransfer dengan baik antara beton dan baja (ACI 318, 2019, hlm. 410).

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, penulangan harus dirancang sesuai dengan prinsip keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan antara beton dan baja. Baja tulangan ditempatkan pada daerah yang mengalami tegangan tarik terbesar, misalnya pada bagian bawah balok yang menerima beban gravitasi. Selain itu, jumlah dan diameter tulangan harus dihitung berdasarkan kebutuhan kekuatan struktur agar mampu menahan momen

lentur, gaya geser, maupun gaya aksial yang bekerja pada elemen tersebut (Park & Paulay, 1975, hlm. 72).

Selain tulangan utama yang berfungsi menahan gaya lentur atau aksial, terdapat pula tulangan tambahan seperti tulangan geser (sengkang), tulangan distribusi, dan tulangan susut. Tulangan geser berfungsi menahan gaya geser serta menjaga posisi tulangan utama agar tetap stabil. Sementara itu, tulangan distribusi dan tulangan susut digunakan untuk mengendalikan retak yang timbul akibat perubahan suhu, penyusutan beton, maupun distribusi beban yang tidak merata pada elemen struktur (MacGregor & Wight, 2012, hlm. 145).

Dalam detail penulangan terdapat beberapa persyaratan baja tulangan yaitu:

6.6.1 Syarat Penjangkaran (Anchorage) Baja Tulangan

Penjangkaran adalah panjang tertentu dari ujung tulangan yang ditanam dalam beton agar gaya tarik atau tekan pada tulangan dapat dipindahkan secara sempurna ke beton melalui ikatan (bond) antara beton dan baja. Panjang penjangkaran ini disebut panjang penyaluran (*development length*). Dalam perencanaan beton bertulang, panjang penyaluran harus cukup agar tulangan tidak terlepas atau mengalami slip sebelum mencapai tegangan leleh. Menurut SNI 2847:2019, panjang penyaluran dipengaruhi oleh diameter tulangan, kuat leleh baja, kuat tekan beton, serta kondisi penempatan tulangan (tulangan tarik atau tekan). Untuk tulangan tarik, panjang penyaluran umumnya dihitung dengan rumus berikut.

$$l_d = \frac{f_y d_b}{1,25 \sqrt{f'_c}}$$

dimana : l_d = panjang penyaluran tulangan

f_y = kuat leleh baja tulangan

d_b = diameter tulangan

f'_c = kuat tekan beton

Selain panjang lurus, penjangkaran juga dapat dilakukan dengan **kait (hook)**, penekukan, atau penggunaan tulangan sengkang agar ikatan antara beton dan baja lebih kuat.

6.6.2 Syarat Lewatan Tulangan (Lap Splice)

Lewatan tulangan adalah metode penyambungan dua batang tulangan dengan **cara saling menindih sepanjang panjang tertentu** sehingga gaya dari satu batang dapat dipindahkan ke batang lainnya. Panjang lewatan harus lebih besar atau sama dengan panjang penyaluran agar sambungan mampu menahan gaya tarik atau tekan tanpa kegagalan.

Menurut SNI 2847:2019, panjang lewatan tulangan tarik biasanya diambil sebagai kelipatan dari panjang penyaluran. Untuk sambungan tarik pada kondisi umum:

$$l_s = 1,3l_d$$

dimana : l_s = panjang lewatan tulangan

l_d = panjang penyaluran tulangan

Pada praktik konstruksi, panjang lewatan juga sering disederhanakan menjadi **40d sampai 50d** (d = diameter tulangan) tergantung mutu beton dan kondisi pembebanan.

6.6.3 Ketentuan Umum Penempatan Sambungan

Beberapa syarat tambahan dalam perencanaan sambungan tulangan antara lain:

1. Sambungan tidak boleh ditempatkan pada daerah dengan momen maksimum jika memungkinkan.

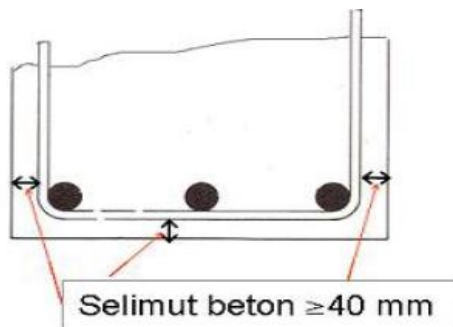
2. Sambungan tulangan tarik sebaiknya tidak semua berada pada satu penampang (harus diselang-seling).
3. Panjang lewatan harus berada dalam daerah beton yang cukup terkekang oleh sengkang atau tulangan transversal.
4. Untuk tulangan berdiameter besar biasanya dianjurkan menggunakan sambungan mekanis atau las.

Ketentuan tersebut dibuat agar sambungan tulangan tetap aman dan tidak menjadi titik lemah pada elemen struktur beton bertulang.

6.6.4 Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan. Selimut beton ini diperlukan untuk :

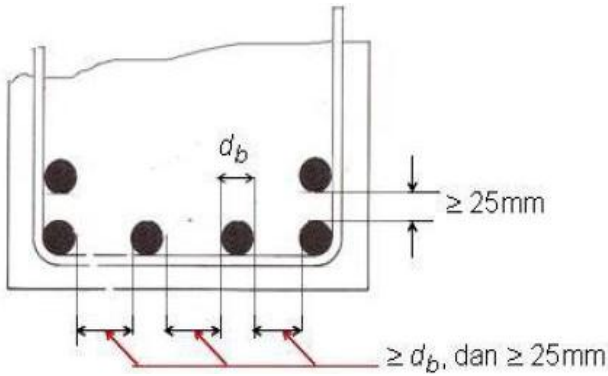
- a. Memberikan daya lekat tulangan ke beton.
- b. Melindungi tulangan dari korosi.
- c. Melindungi tulangan dari panas tinggi jika terjadi kebakaran. (Panas tinggi dapat menyebabkan menurun/hilangnya kekuatan baja tulangan).



Gambar 6. 7 Selimut Beton (Cover)

Sumber: Internet

Tebal minimum selimut beton untuk balok adalah : 40 mm(SNI beton 2002 pasal 9.7). Sedangkan Jarak antar tulangan ditetapkan seperti Gambar 3.5



Gambar 6.8 Jarak Antar Tulangan

Sumber: Internet

DAFTAR PUSTAKA

- Aa Santosa. (2024). *Gambar Teknik Dan CAD*. Mega Press Nusantara.
- Abdul Majid, N. H., & Shireen Jahn Kassim. (2023). The "Punctured" Pavilions. Dalam *Eco-Urbanism and the South East Asian City: Climate, Urban-Architectural Form and Heritage*. Springer.
- Adena, M. N. L. (2012). *Perancangan Aplikasi Proyeksi Objek 3 Dimensi Terhadap Bidang Proyeksi 2 Dimensi*.
- Aggarwal, C., & Molleti, S. (2024). State-of-the-Art Review: Effects of Using Cool Building Cladding Materials on Roofs. *Buildings*, 14(8).
- Agung, P. A. M., & Hasan, M. F. R. (2022). *Fondasi Dangkal Jembatan*. PNJ Press. <https://press.pnj.ac.id/?p=14740>
- Ahmed, I. M., & Tsavdaridis, K. D. (2019). The Evolution of Composite Flooring Systems: Applications, Testing, Modelling and Eurocode Design Approaches. *Journal of Constructional Steel Research*, 155, 286–300.
- Alfanov, T., & Leman, S. (2024). Analisis Performa Balok T Beton Bertulang Dengan Serat Polimer Menggunakan Aplikasi MIDAS FEA NX. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 859–872.
- Alvianti. (2021). Studi Eksperimental Balok Kayu Laminasi Dengan Variasi Modulus Elastisitas Dan Bentuk Penampang. *Jurnal Poli-Teknologi*, 20(1), 1–13.
- Ambrosious, L. (2022). *AutoCAD 2023 Beginning and Intermediate*. Mercury Learning and Information.

- American Concrete Institute (ACI). (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. Farmington Hills, MI.
- Annisa, Wiradinata, I., & Ilham. (2023). Perencanaan Berkelanjutan pada Desain Struktur Atap PT IPK. *Structure: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 1–6.
- Autodesk, Inc. (2024). *AutoCAD 2025 User Guide*. Autodesk Official Documentation.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6796-2002 tentang Metode Pengujian untuk Menentukan Daya Dukung Tanah dengan Beban Statis pada Pondasi Dangkal*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. BSN.
- Benavente, M. C. (2022). *Bjerrum (1963) Allowable Settlement of Structures*.
<https://www.scribd.com/document/592608257/Bjerrum>

- Bertoline, G. R. (2010). *Fundamentals of Graphics Communication*.
- Bertoline, G. R., Wiebe, E. N., Miller, C. L., & Nasman, L. O. (2002). *Fundamentals of Graphics Communications*. McGraw-Hill.
- Betine, J. D. (2020). *Engineering Graphics with AutoCAD 2020*. Pearson Education.
- Binti, S. J., Wantouw, S., Pratiwi, N., et al. (2026). *Teknik Arsitektur: Konsep, Desain, Dan Aplikasi Dalam Perancangan Bangunan*. CV Get Press Indonesia.
- Budhyowati, M. Y. N. (2022). Kajian Konstruksi Atap Bangunan Hemat Energi. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 4(2), 62–71.
- Carina, A., & Prasetyo, D. J. (2024). *Dasar-dasar Pembelajaran AutoCAD 2021*. Unisda Press.
- Cervantes-Nájera, A. L., et al. (2024). Green Roof Systems within the Framework of a Circular Economy: A Scoping Review. *Recycling*, 9(4).
- Chang, I. K., Callahan, M. P., Lu, P., Chan, H. Y., & Luong, S. (2013). Teaching Seismic and Wind Subjects to Architecture Students. Dalam *Structures and Architecture*. CRC Press.
- Cheng, Y. M., et al. (2024). *Analysis, Design and Construction of Foundations* (2nd ed.). CRC Press.
- Ching, F. D. K. (2020). *Building Construction Illustrated* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Ching, F. D. K. (2023). *Architectural Graphics*. John Wiley & Sons.
- Civinnoate. (2025). *Types of Foundation in Construction*. <https://civinnoate.com/2024/10/24/types-of-foundation-in-construction/>

- Dark Specialist. (2019). *Pondasi Jalur atau Memanjang (Strip Foundations)*.
<https://darkspecialistd.blogspot.com/2019/08/pondasi-jalur-atau-memanjang-strip.html>
- Das, B. M. (2023). *Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement* (3rd ed.). CRC Press.
- Diphusodo, I. (1999). *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Elise, M. (2023). *AutoCAD 2024: A Power Guide for Beginners and Intermediate Users*. CADArtifex.
- Erdani, Y., Hanna, M. P., Rambak, E. P., et al. (2024). *Dasar Gambar Teknik Sipil*. PT. Adab Indonesia.
- Evangelou, I. E., Vitsas, N., Papaioannou, G., Georgioudakis, M., & Chatzisyneon, A. (2021). Shape Classification of Building Information Models Using Neural Networks. *Proceedings*, 1–4.
- Fajarwati, A. N., Arystianto, D. P., & Zettyara, D. (2022). *Belajar Menggambar Rumah dengan AutoCAD 2D & 3D*. Cerdas Ulet Kreatif.
- Farib, A. (2024). *Analisis Pengaruh Kondisi Tanah Terhadap Proyek Kontruksi Pondasi Dangkal*. Zenodo.
<https://zenodo.org/records/12703670>
- Furika. (2014). *Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Gambut Menggunakan Kombinasi Perkuatan Anyaman Bambu dan Grid Bambu dengan Variasi Lebar dan Jumlah Lapisan Perkuatan* [Skripsi]. Universitas Sriwijaya.
- Gheorghiu, D. (2024). Stone-Atlantes: Anthropomorphic Metaphors of Force in Pre-Pottery Neolithic Architecture in Mesopotamia. *Anthropomorphism, Anthropogenesis, Cognition*, 181.

- Giesecke, F. E., Lockhart, S., Goodman, M., & Johnson, C. M. (2023). *Technical Drawing with Engineering Graphics*. Peachpit Press.
- Gurki, T. S. (2010). *Beton Bertulang* (Edisi Revisi). Rekayasa Sains.
- Hakiki, R. (2025). Evaluasi Kinerja Energi Serap Balok Jembatan Komposit Kayu Laminasi-Beton Berlapis CFRP Pada Beban Statis. *Jurnal Jalan Jembatan*, 42(1).
- Hardiyatmo, H. C. (2021). *Teknik Fondasi I* (Edisi ke-2). Gadjah Mada University Press.
- Hariy, M. W., & Hendrayana, Y. (2024). Teknis Pelaksanaan Pemasangan Struktur Atap Space Frame Truss pada Proyek Pembangunan GGM Majalengka. *Seminar Teknologi Majalengka (STIMA)*, 8, 258–265.
- Haris, S. (2020). Studi Analitik Karakteristik Penampang Baja Profil-I. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 1–11.
- Hendry, A. W. (1998). *Structural Masonry*. Bloomsbury Publishing.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Structural Analysis* (9th ed.). Pearson.
- Hoernel-Metzger, B., & Naujoks, B. (2015). Sandwich Panels as Bracing Diaphragm and Load Bearing Wall. *STAHLBAU*, 84(11), 849-+.
- Hoffmann, C. M. (1989). *Geometric and Solid Modeling: An Introduction*. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Ida Bagus Idedhyana. (2024). *Buku Ajar Menggambar Arsitektur Bali (Jilid I)*. Nilacakra.
- Janis, I. A. (2018). *Perencanaan Pondasi Dangkal Dan Metode Pelaksanaan Pondasi Dangkal Pada Proyek Pembangunan Terminal Tondano Tipe C* [Thesis]. Politeknik Negeri Manado.
<http://repository.polimdo.ac.id/id/eprint/1540>

- Japar, S. R. (2018). *Autodesk AutoCAD: AutoCAD itu Mudah*. Mujahid Press.
- Kawuwung, Y. S., & Purwanto, L. M. F. (2023). Struktur Atap Green dengan Teknologi Ramah Lingkungan. *Jurnal Arsitektur Kolaborasi*, 3(1), 1–9.
- Kibrispdr. (2023). *Detail Gambar Pondasi Batu Kali Koleksi Nomer 4*. <https://www.kibrispdr.org/detail-3/gambar-pondasi-batu-kali.html>
- Lukačević, F., Becattini, N., & Škec, S. (2024). Engineering Designers' CAD Performance When Modelling from Isometric and Orthographic Projections. *Proceedings of the Design Society*, 4, 653–662.
- Mabaso, T. P., Mbatha, A. J., & Nkomo, N. Z. (2024). *A Review of Trends in Truss Materials Used in the Construction Industry*.
- MacGregor, J. G., & Wight, J. K. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design* (6th ed.). Pearson.
- Malonda, A., Arsjad, T. T., & Walangitan, D. R. O. (2024). Metode Pelaksanaan Konstruksi Pekerjaan Atap dan Plafon pada Pembangunan Rumah Dinas Kejari Kotamobagu. *TEKNO*, 22(87), 107–114.
- Masoudnia, R. (2020). State of the Art of the Effective Flange Width for Composite T-Beams. *Construction and Building Materials*, 244, 118303.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2015). *Design of Reinforced Concrete* (10th ed.). Wiley.
- Miglioreno, G., & Henriksen, T. K. (2014). Structure, Mechanisms and Deployables. Dalam *The International Handbook of Space Technology*. Springer.
- Monge, G. (1811). *Géométrie Descriptive*. J. Klostermann fils.

- Mosleh, M. A., et al. (2023). A Systematic Review of Photovoltaic-Green Roof Systems in Different Climatic Conditions Focusing on Sustainable Cities and Societies. *Sustainable Cities and Society*, 98.
- Muhammad Syarif, Abdullah, Imran, M., Yusri, A., Idrus, I., Artayani, M., Puspaningtyas, R., Binti, S. J., Wantouw, S., & Tiagas, D. H. (2024). *Struktur dan konstruksi bangunan sederhana*. Tohar Media.
- Muhammad Syarif, Kafrain, I. G. Y., Komara, I., Budi, L., Andiyan, Al Muhyi, A., & Rahmayanti. (2024). *Menggambar atau rekayasa struktur*. Get Press Indonesia.
- Muin, R. B. (2009). *Struktur Beton Bertulang*. Universitas Mercu Buana.
- Mulyono, T. (2024). *Fondasi Dangkal: Data dan Perancangan*. Figshare.
- Nawy, E. G. (2008). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*. Pearson Prentice Hall.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson.
- Nilson, A. H. (2010). *Design of Concrete Structures*. McGraw-Hill.
- Nilson, A. H., Darwin, D., & Dolan, C. W. (2010). *Design of Concrete Structures* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Nishioka, H., Koda, M., Hirao, J., & Higuchi, S. (2008). Development of Sheet-Pile Foundation That Combines Footing with Sheet Piles. *Quarterly Report of RTRI*, 49(2), 73–78.
- Nurhamdani. (2023). *AutoCAD 2024 Instructor*. SDC Publications.
- O'Brien, T., Talby, R., Willoner, A., & Markvukaj, S. (2023). Foundation Types and Conceptual Design Principles. *ICE*

- Manual of Geotechnical Engineering Volume 2: Geotechnical Design, Construction and Verification*, 2.
- O'Reilly, G. J., & Calvi, G. M. (2020). *Seismic Risk Classification of Non-Structural Elements*. (Under Review).
- Olugbeja, S. (2024). *AutoCAD 2025 For Beginners*. Independently Published.
- Onstott, S. (2023). *Introduction to AutoCAD 2024: A Modern Perspective*. Pearson Education.
- Otegui, J. L. (2014). Mechanisms of Damage and Failure. Dalam *Failure Analysis: Fundamentals and Applications in Mechanical Components*. Springer.
- Ou, C. Y., Yang, K. H., Teng, F., Chiou, J. S., Lu, C. W., Li, J., Ching, J., & Liao, J. T. (2023). Shallow foundations. Dalam *Fundamentals of Foundation Engineering*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003350019-3>
- Page, T., & Thorsteinsson, G. (2005). *Representation of Product Form through Drafting and Tolerancing*.
- Page, T., & Thorsteinsson, G. (2007). *Multi-Dimensional Tolerance Assignment*.
- Park, R., & Gamble, W. L. (1999). *Reinforced Concrete Slabs*. John Wiley & Sons.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley & Sons.
- Pasaribu, W. Y. (2022). *Rekayasa Pondasi Dangkal*. Universitas HKBP Nommensen.
- Pilz-Savioli, T. L., et al. (2020). Construction Processes of Roof Structures: A Systematic Review. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(4), 520–527.
- Pramesti, M. A., Winarno, S., Nuryanto, H., & Purnomo, H. (2024). *Perbandingan penggunaan material batu belah*

- dan blok beton untuk fondasi dangkal: Aspek kekuatan dan aspek ekonomis.* Universitas Islam Indonesia.
- Price, J. S. (2016). *Statics: Moments in Equilibrium.* Dalam *Introduction to Structures.* Routledge.
- Puspito, S. D. H. (2011). *Pengembangan Media Pembelajaran Dengan Macromedia Flash CS3 Pada Teori Gambar Proyeksi Di SMK N 1 Seyegan Sleman* [Skripsi]. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Putra, A. M., Noorhidana, V. A., & Isneini, M. (2020). Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pada Beton Mutu Normal. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 8(2), 367–384.
- Putra, I. M. A., Arya, I. W., & Yasada, G. (2022). *Analisa Daya Dukung Pondasi Dengan Menggunakan Data Sondir Berdasarkan Rumus Meyerhof Dan Terzaghi* [Diploma thesis]. Politeknik Negeri Bali.
- Roeder, C. W., Stephens, M. T., & Lehman, D. E. (2018). Concrete Filled Steel Tubes for Bridge Pier and Foundation Construction. *International Journal of Steel Structures*, 18(1), 39–49.
- Romero-Jaren, R., Arranz, J. J., Navas-Sánchez, L., Erduran, E., Martinez-Cuevas, S., & Benito, B. (2021). Automatic Segmentation of Point Clouds in the Architecture Environment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 215–221.
- Romero-Jarén, R., Benito, B., & Arranz, J. J. (2019). Testing and Application of Geospatial Techniques in Seismic Engineering. *Sensors*, 19(1), 23.

- Sakarovitch, J. (2005). Gaspard Monge, Géométrie Descriptive, (1795). Dalam *Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940*. Elsevier.
- Salgado, R. (2022). Shallow Foundations in Soils: Types of Shallow Foundations and Construction Techniques. Dalam *The Engineering of Foundations, Slopes and Retaining Structures*. CRC Press.
- Salvadori, M. (2000). *The Art of Construction: Projects and Principles for Beginning Engineers and Architects*. Chicago Review Press.
- Sastra, S. (2019). *Mudah dan Praktis Membuat Gambar Kerja dengan AutoCAD*. Elex Media Komputindo.
- Schneider, P., & Eberly, D. H. (2002). *Geometric Tools for Computer Graphics*. Elsevier.
- Sebastian, D., & Leman, S. (2024). Analisis Perbandingan Kapasitas Balok Komposit Standar Dengan Balok Komposit Kastela Menggunakan Aplikasi MIDAS FEA NX. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 683–696.
- Setiawan, B. D. (2016). *Struktur Beton Bertulang*. Andi.
- Shaikh, H. (2023). *Drawing Attention: Architecture in the Age of Social Media*. Routledge.
- Shalunts, G., Haxhimusa, Y., & Sablatnig, R. (2012a). Architectural Style Classification of Domes. *Proceedings*, 420–429.
- Shalunts, G., Haxhimusa, Y., & Sablatnig, R. (2012b). Classification of Gothic and Baroque Architectural Elements. *Proceedings*, 316–319.
- Shetty, S., Kadabinakatti, S., & Shetty, D. (2025). Optimizing Structural and Architectural Design of Columns in Multi-Storey Buildings. *Civil Engineering and Architecture*, 13(3), 2153.

- Shih, R. (2024). *AutoCAD 2025 Tutorial First Level 2D Fundamentals*. SDC Publications.
- Stellman, T., & Bhatt, G. (2023). *Autodesk AutoCAD 2024 Fundamentals*. SDC Publications.
- Sullivan, T. J., Dhakal, R. P., & Stanway, J. (2020). A Framework for the Seismic Rating of Non-Structural Elements in Buildings. *Proceedings*, 13–18.
- Syarif, M., Purnama, A., et al. (2026). *Laboratorium Uji Bahan Konstruksi*. Get Press Indonesia.
- Teclaw, W., Tomczak, A., Kasznia, M., Luczkowski, M., Labonnote, N., & Hjelseth, E. (2025). ContextNET-Contextual Classification of Building Components Using Deep Neural Networks. *Advanced Engineering Informatics*, 67, 103484.
- Timoshenko, S. (1983). *History of Strength of Materials: With a Brief Account of the History of Theory of Elasticity and Theory of Structures*. Courier Corporation.
- Vayas, I., Ermopoulos, J., & Ioannidis, G. (2018). Multi Storey Buildings. Dalam *Design of Steel Structures to Eurocodes*. Springer.
- Vesic, A. S. (1975). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*.
- Wang, C. K., & Salmon, C. G. (1985). *Reinforced Concrete Design* (4th ed.). Harper & Row.
- Wang, Y., et al. (2023). Carbon Dioxide Reduction from Green Roofs: A Comprehensive Review of Processes, Factors, and Quantitative Methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182.
- Widjaya, R., & Leman, S. (2024). Analisis Kapasitas Balok Komposit Dengan Variasi Tulangan Pelat Terhadap

- Keruntuhan Kolom Menggunakan Aplikasi MIDAS FEA. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 149–164.
- Widodo. (2020). *Khatam Dasar-dasar AutoCAD 2D dalam 7 Hari*. Leutikaprio.
- Xie, J. (2020). Pillars of Heaven: The Symbolic Function of Column and Bracket Sets in the Han Dynasty. *Architectural History*, 63, 1–36.
- Yudianto, A. (2021). *Panduan Praktis AutoCAD 2022 untuk Pemula*. Andi Publisher.
- Zulkarnaen, Padusung, Purnama, A., Nuraini, E., & Sugandi, I. (2025). Analisis Sistem Ketahanan Dinding Penahan Balok Beton Segmental Pada Pantai Gelora Kecamatan Rhee. *Jurnal SainTekA*, 6(2), 164–171. <https://ejournalppmunsa.ac.id/index.php/SainTekA/article/view/1972/1787>
- Zulkarnaen, Purnama, A., Najimuddin, D., & Suryani, N. (2026). Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Jalan Samota Lanjutan Menggunakan Geotekstil Non Woven. *Jurnal SainTekA*, 7(1), 164–171. <https://ejournalppmunsa.ac.id/index.php/SainTekA/article/view/2329/2031>

INDEKS

A

Aksesoris Atap, viii, 150, 151
 American Society for Engineering Education (ASEE), 27
 American Society of Civil Engineers (ASCE), 24
 American Society of Mechanical Engineers (ASME), 50

B

Balok, vi, vii, 12, 15, 72, 73, 75, 76, 156, 157, 163, 164, 165, 166, 170, 185, 189, 193, 194, 195, 196
 Balok Beton Bertulang, 193
 Balok Komposit, 194, 195
 Beban Aksial, viii, 173
 Beban mati, 5, 130
 Beton Bertulang, vi, 121, 155, 159, 161, 162, 164, 185, 188, 189, 191, 194
 Bowplank, 123
 Building Information Modeling (BIM), 25, 49

C

Command Line, iii, 95
 Composite Caisson–Pile Foundation (CCPF), 65
 Computer-Aided Design (CAD), 25, 32, 49, 91
 Concentrically Braced Frame (CBF), 59

D

Daya Dukung Tanah, v, 115, 127, 186
 Denah, ii, 4, 6, 8, 13
 Detail Penulangan, vi, 180
 Dimension Style Manager, iv, 104
 Dinding (Walls), 81
 Drawing Area, iii, 95

E

Eccentrically Braced Frame (EBF), 59

Elemen Struktur, ii, iii, ix, 54, 60, 62

Expanded Polystyrene (EPS), 83

F

Faktor Keamanan (*Safety Factor*), v, 127

Finite Element Analysis (FEA), 87

Finite Element Method (FEM), 56

Fondasi Dalam, vii, 64

G

Geometric Dimensioning and Tolerancing (GD&T), 52

Gording, 148

Grid, 9, 18, 95, 188

H

Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC), 88

I

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 27

Insulated Concrete Forms (ICF), 83

International Organization for Standardization (ISO), 50

ISO (International Organization for Standardization), 39

K

Kolom, vi, vii, 11, 12, 15, 60, 67, 68, 114, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 180, 196

Kolom Pendek, vi, 176

Kontrol kualitas, 124

Kontrol penurunan, 125

Kontrol tegangan tanah, 125

Kuda-Kuda, 146, 147

Kuda-Kuda Baja Profil, 147

Kuda-Kuda Baja Ringan, 146

Kuda-Kuda Kayu, 146

L

Layer Properties Manager, iv, viii, 101, 102, 103

Layout, iv, vii, 84, 95, 105, 107

Lewatan Tulangan (Lap Splice), vi, 182

M

Model Space, iv, 105, 108

Model-Based Definition (MBD), 49

MTEXT, iv, viii, 103, 104

P

Paper Space, iv, viii, 105, 106, 108

Pelaksanaan Konstruksi, v, 122, 190

Penjangkaran (Anchorage), vi, 181

Penurunan Konsolidasi, v, 119

Penurunan Segera (Immediate Settlement), v, 119

Penutup Atap, v, viii, 133, 149, 150

Pondasi Batu Kali, v, viii, 110, 113, 190

Pondasi Dangkal, iv, v, ix, 109, 110, 113, 119, 120, 130, 186, 188, 189, 192

Pondasi Gabungan (*Combined Footing*), iv, viii, 111, 112

Pondasi Lajur (*Strip Footing*), 110

Pondasi Rakit (*Mat/Raft Foundation*), iv, 112

Product Lifecycle Management (PLM), 53

Proyeksi, ii, vii, 8, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 45, 49, 185, 193

Proyeksi Aksonometri, vii, 43

Proyeksi Amerika (Kuadran III), 40

Proyeksi Eropa (Kuadran I), 40

Proyeksi Paralel, vii, 33, 39

Q

Quick Access Toolbar, iii, 94, 106

R

Rammed Aggregate Pier (RAP), 66

Rasio Kelangsingan, 178

Reng, 148, 149

S

Sheet Pile, 191

SNI 1726

2019, 124, 128, 130, 186

SNI 1727

2020, 2, 5, 12, 16, 20, 186

SNI 2847

2019, 2, 6, 12, 16, 20, 129, 130, 154, 157, 158, 159, 161, 163, 181, 182, 186

SNI 8460

2017, 127, 129, 130, 186

Space frame, 147

Space Frame, 147, 189

Status Bar, iii, 95

Struktur Atap, v, 133, 136, 186, 189, 190

T

Tegangan Tanah, v, 118, 125

TEXT, iv, viii, 103, 104

U

Usuk (Kasau), 148

V

Viewport, iv, viii, 105, 106

GLOSARIUM

Aksesoris Atap: Komponen pelengkap pada sistem atap yang berfungsi meningkatkan kinerja, keamanan, ketahanan, dan estetika atap (seperti nok, talang, flashing, dan ventilator).

Aksonometri: Metode proyeksi piktorial untuk menggambarkan objek tiga dimensi pada bidang dua dimensi dengan sudut kemiringan tertentu.

Anchoring (Penjangkaran): Penanaman atau pengikatan elemen struktur (seperti baja tulangan atau angkur) ke dalam beton untuk menyalurkan gaya secara aman.

Antarmuka (Interface) AutoCAD: Tampilan visual pengguna pada perangkat lunak AutoCAD yang mencakup area kerja, menu, toolbar, dan perintah.

ARC (Perintah AutoCAD): Perintah dasar dalam AutoCAD yang digunakan untuk membuat garis lengkung atau busur lingkaran.

Atap Hijau (Green Roof): Sistem atap berlapis vegetasi/tanaman yang berfungsi mengisolasi panas, mengelola air hujan, dan mendukung ramah lingkungan.

Balok: Elemen struktur horizontal yang berfungsi menahan beban lentur dan menyalurkan beban dari pelat ke kolom.

Balok Beton Bertulang: Balok yang dibuat dari campuran beton dan tulangan baja untuk menahan gaya tekan dan tarik.

Balok I / H: Balok berbahan baja profil dengan penampang menyerupai huruf I atau H yang memiliki efisiensi tinggi menahan lentur.

Balok Kantilever: Balok yang hanya ditumpu pada salah satu ujungnya, sedangkan ujung lainnya bebas.

Balok Komposit: Balok yang menggabungkan dua material berbeda (seperti profil baja dan pelat beton) agar bekerja bersama sebagai satu kesatuan struktur.

Balok T (T-Beam): Struktur balok beton bertulang yang dicetak menyatu dengan pelat lantai sehingga membentuk penampang huruf T.

Beban (Load): Gaya atau aksi luar yang bekerja pada suatu struktur bangunan.

Beban Aksial: Gaya yang bekerja sejajar dan searah dengan sumbu memanjang suatu elemen struktur (sepanjang pusat kolom/balok).

Beban Gempa: Gaya horisontal/dinamis yang bekerja pada bangunan akibat getaran tanah dari aktivitas seismik.

Beban Hidup: Beban yang bersifat sementara dan dapat berpindah/berubah-ubah (seperti manusia, perabotan, dan kendaraan).

Beban Lateral: Gaya tegak lurus sumbu struktural yang bekerja secara horizontal, seperti beban angin dan gempa.

Beban Mati: Beban permanen yang berasal dari berat sendiri elemen struktur dan komponen tetap bangunan.

Beton Bertulang: Material komposit yang menggabungkan beton (kuat tekan) dan baja tulangan (kuat tarik).

Building Information Modeling (BIM): Teknologi berbasis model 3D cerdas untuk merencanakan, merancang, membangun, dan mengelola infrastruktur.

Bowplank: Papan kayu sementara yang dipasang di sekeliling tapak proyek untuk menentukan as (garis tengah) dan elevasi bangunan.

CIRCLE (Perintah AutoCAD): Perintah dalam aplikasi AutoCAD yang digunakan untuk menggambar objek berbentuk lingkaran.

Command Line: Baris perintah dalam AutoCAD tempat pengguna mengetikkan nama Perintah atau melihat petunjuk instruksi.

Combined Footing (Pondasi Gabungan): Pondasi telapak yang dirancang untuk mendukung dua atau lebih kolom dalam satu plat penyangga.

Cool Roof: Sistem atap berpemantulan tinggi yang dirancang untuk memantulkan sinar matahari dan menyerap lebih sedikit panas.

COPY (Perintah AutoCAD): Perintah AutoCAD untuk menggandakan objek yang dipilih ke lokasi lain.

Daktilitas: Kemampuan struktur atau material untuk mengalami deformasi plastis yang besar sebelum mengalami keruntuhan/patah.

Daya Dukung Tanah: Kemampuan tanah dasar untuk menahan beban dari pondasi tanpa mengalami keruntuhan geser.

Denah: Gambar proyeksi horizontal potongan bangunan yang memperlihatkan tata letak ruang, dinding, dan bukaan dari atas.

Detail Penulangan: Gambar kerja teknis yang memperlihatkan susunan, diameter, panjang, dan bentuk pembengkokan baja tulangan.

Diagram Interaksi (P-M): Grafik hubungan antara kapasitas beban aksial (P) dan momen lentur (M) dari suatu kolom beton bertulang.

DIMLINEAR / DIMRADIUS: Perintah AutoCAD untuk membuat dimensi garis lurus (DIMLINEAR) atau dimensi jari-jari (DIMRADIUS).

Dimension Style Manager: Fitur AutoCAD untuk mengatur format, ukuran, dan tampilan garis dimensi/ukuran.

Dinding (Walls): Elemen vertikal penyekat ruang atau pemikul beban pada struktur bangunan.

Dinding Geser (Shear Wall): Dinding beton bertulang vertikal yang dirancang khusus untuk menahan beban lateral akibat gempa atau angin.

Dinding Rongga (Cavity Wall): Dinding двой shift yang terdiri dari dua lapis sejajar dengan ruang udara di antaranya untuk isolasi panas/suara.

Drawing Area: Area/ruang kerja utama tempat penggambaran objek pada AutoCAD.

Efek P-Delta: Efek sekunder pada kolom atau struktur jangkung akibat beban aksial yang bekerja pada posisi yang terdeformasi secara lateral.

Elemen Nonstruktural: Komponen bangunan yang tidak memikul beban utama struktur, seperti arsitektural dan utilitas.

Elemen Struktur: Bagian-bagian utama dari bangunan yang saling terhubung untuk menahan dan menyalurkan beban ke tanah.

Elemen Primer: Komponen utama pembawa beban struktur (seperti kolom, balok utama, dan pondasi).

Elemen Sekunder: Komponen pembantu yang menyalurkan beban ke elemen primer (seperti gording dan usuk).

ERASE (Perintah AutoCAD): Perintah dasar AutoCAD untuk menghapus objek gambar yang dipilih.

Faktor Keamanan (Safety Factor): Rasio antara daya dukung ultimit tanah/material dengan batas beban izin yang direncanakan.

Fiber Reinforced Polymer (FRP): Komposit serat berperforma tinggi yang digunakan untuk perkuatan dan perbaikan elemen struktur.

Finite Element Analysis (FEA): Metode simulasi komputasi numerik untuk menganalisis tegangan dan deformasi struktur kompleks.

Flashing: Lembaran penutup tahan air (biasanya dari seng/logam) yang dipasang pada pertemuan celah atap untuk mencegah kebocoran.

Fondasi / Pondasi: Bagian struktur bawah bangunan yang mentransfer seluruh beban bangunan ke tanah dasar.

Fondasi Batu Kali: Jenis pondasi dangkal dari pasangan batu alam yang diikat adukan semen.

Fondasi Dalam: Jenis pondasi (seperti tiang pancang/bored pile) yang menyalurkan beban ke lapisan tanah keras yang jauh di dalam tanah.

Fondasi Dangkal (Shallow Foundation): Pondasi yang meneruskan beban ke tanah pendukung yang letaknya dekat dari permukaan.

Fondasi Jalur / Lajur (Strip Footing): Pondasi memanjang yang digunakan untuk mendukung dinding pemikul beban atau deretan kolom.

Fondasi Rakit (Mat/Raft Foundation): Pelat beton tebal yang membentang di bawah seluruh area bangunan untuk meratakan beban.

Fondasi Telapak (Pad/Spread Footing): Pondasi berbentuk pelat terpisah yang menopang satu kolom tunggal.

Geometri Deskriptif: Cabang matematika/teknik menggambar untuk merepresentasikan objek 3D ke dalam bidang 2D.

Geser (Shear): Aksi gaya sejajar internal yang cenderung menyebabkan dua bagian material bergeser satu sama lain.

Gording: Balok kayu/baja horizontal di atas kuda-kuda yang menopang rangka atap atau penutup atap.

Grid: Sistem garis perpotongan aksial (titik acu) yang menentukan tata letak elemen struktur.

ISO (International Organization for Standardization): Badan standar internasional yang menetapkan standar penggambaran teknik dan material.

Kolom: Elemen struktur vertikal utama yang menahan beban aksial tekan dan menyalurkannya ke pondasi.

Kolom Panjang (Slender Column): Kolom yang mengalami penurunan kapasitas beban akibat pengaruh tekuk lateral (efek kelangsingan).

Kolom Pendek: Kolom yang hancur karena kegagalan material (tekan) langsung, tanpa dipengaruhi efek tekuk.

Kuda-Kuda: Rangkaian segitiga rangka pembentuk struktur utama penopang beban atap.

Kuda-Kuda Baja Profil: Rangka kuda-kuda yang dirangkai menggunakan besi profil baja (seperti siku, C-channel).

Kuda-Kuda Baja Ringan: Rangka kuda-kuda berbahan baja mutu tinggi berkadar seng-aluminium yang tipis dan ringan.

Kuda-Kuda Kayu: Rangka utama penopang atap berbahan kayu balok.

Layer (Manajemen Layer): Fitur pengelompokan objek gambar dalam AutoCAD berdasarkan kategori (seperti as, dinding, dimensi).

Layer Properties Manager: Jendela pengaturan di AutoCAD untuk mengubah warna, tipe garis, dan visibilitas layer.

Layout: Lembar kerja 2D dalam AutoCAD tempat mengatur tata letak cetak gambar dan viewport.

Lentur (Flexure): Kondisi deformasi melengkung pada elemen struktur akibat gaya luar yang tegak lurus sumbu batang.

Lewatan Tulangan (Lap Splice): Sambungan dua batang baja tulangan dengan cara menumpuk ujungnya sepanjang jarak tertentu.

LINE (Perintah AutoCAD): Perintah dasar AutoCAD untuk membuat garis lurus tunggal.

Lisplank: Papan penutup di tepi atap yang merapikan ujung kasau/usuk dan melindungi dari hujan.

Model Space: Ruang kerja utama 3D/2D tanpa batas di AutoCAD tempat pemodelan objek dibuat.

Momen Lentur: Gaya internal yang timbul pada elemen struktur yang mengalami pembebanan lentur.

MOVE (Perintah AutoCAD): Perintah AutoCAD untuk memindahkan objek dari satu posisi ke posisi lain.

MTEXT: Perintah AutoCAD untuk membuat paragraf atau beberapa baris teks sekaligus.

Nok: Bumbungan atap atau penutup paling atas pada pertemuannya dua bidang atap.

Notasi dan Kode Elemen: Sistem penulisan simbol dan penamaan singkat untuk mengidentifikasi jenis elemen struktur pada gambar teknis.

Paper Space: Tampilan lembar kertas dalam AutoCAD (layout) yang siap dikonfigurasi untuk dicetak.

Pelat (Slabs): Elemen struktur tipis dan datar berarah horizontal yang menahan beban lantai atau atap.

Pelat Dua Arah (Two-Way Slab): Pelat lantai yang menyalurkan beban ke empat sisi tumpuannya secara berimbang.

Pelat Satu Arah (One-Way Slab): Pelat lantai yang melentur dominan ke satu arah dan disangga oleh dua tumpuan sejajar.

Pelaksanaan Konstruksi: Proses realisasi fisik perencanaan struktur di lapangan sesuai dokumen teknis.

Penjangkaran (Anchorage): Panjang penyaluran bungkusan tulangan baja ke dalam beton agar terjadi pelekatan mekanis yang sempurna.

Penentu Skala (Scale): Perbandingan ukuran objek pada gambar teknis dengan ukuran sebenarnya di lapangan.

Penurunan (Settlement): Pergerakan penurunan tanah secara vertikal akibat pembebanan dari struktur di atasnya.

Penurunan Konsolidasi: Penurunan tanah secara perlahan akibat keluarnya air pori pada lapisan tanah lempung jenuh.

Penurunan Segera (Immediate Settlement): Penurunan tanah elastis yang terjadi langsung setelah pembebanan selesai.

Penutup Atap: Lapisan terluar penutup atap (seperti genteng atau seng) yang melindungi bangunan dari elemen cuaca.

Plotting (Cetak Gambar): Proses mencetak gambar teknis dari AutoCAD ke media kertas atau file PDF.

Potongan (Section): Gambar iris vertikal bangunan untuk memperlihatkan bagian dalam dan ketinggian elemen.

Proyeksi: Metode penggambaran bayangan objek 3D ke atas bidang datar 2D.

Proyeksi Aksonometri: Metode proyeksi sejajar yang menampilkan objek tiga dimensi secara miring terhadap bidang proyeksi.

Proyeksi Amerika (Kuadran III): Sistem proyeksi ortogonal di mana pandangan depan berada pada kuadran ketiga (pandangan sesuai arah pengamatan).

Proyeksi Eropa (Kuadran I): Sistem proyeksi ortogonal di mana pandangan proyeksi berlawanan dengan arah pengamatan (kuadran pertama).

Proyeksi Isometrik: Proyeksi aksonometri dengan sudut kemiringan sumbu x dan y sebesar 30° terhadap garis horizontal.

Proyeksi Miring (Oblique): Proyeksi di mana garis-garis proyeksi sejajar satu sama lain tetapi miring terhadap bidang proyeksi.

Proyeksi Ortogonal: Proyeksi gambar teknik di mana garis proyeksi berdiri tegak lurus terhadap bidang gambar.

Proyeksi Paralel: Proyeksi dengan garis-garis penarik yang sejajar satu sama lain menuju bidang gambar.

Proyeksi Sentral / Perspektif: Metode penggambaran 3D berdasar penglihatan mata manusia yang memusat ke satu atau beberapa titik hilang.

Quick Access Toolbar: Bilah alat AutoCAD di bagian atas layar berisi perintah umum seperti Save, Undo, dan Print.

Rasio Kelangsingan: Perbandingan antara panjang efektif kolom dengan jari-jari girasi penampangnya.

Reng: Kayu/baja kecil bersilang di atas usuk untuk menautkan dan menahan genteng.

Ribbon (AutoCAD): Panel perintah utama AutoCAD berbentuk tab berisi ikon-ikon alat gambar.

ROTATE (Perintah AutoCAD): Perintah AutoCAD untuk memutar objek terhadap suatu titik acuan.

Selimut Beton (Concrete Cover): Ketebalan beton antara permukaan luar beton bertulang dengan permukaan luar tulangan terluar.

Senggang (Stirrups): Tulangan baja melingkar/berbentuk sengkang untuk menahan gaya geser pada balok atau kolom.

Sheet Pile: Dinding penahan tanah tipis yang ditancapkan secara teratur untuk mencegah kelongsoran tanah.

Space Frame: Struktur rangka 3 dimensi dari batang-batang terhubung yang membentuk pola geometris kaku.

Status Bar: Baris informasi di bagian bawah AutoCAD untuk mengaktifkan mode bantu seperti Ortho dan Snap.

Struktur Atap: Bagian atas bangunan berupa Rangka dan penutup yang menopang seluruh beban penutup atap.

Talang: Saluran penampung dan penyalur air hujan di tepi atau pertemuan bidang atap.

Tampak (Elevation): Gambar arsitektur yang memperlihatkan sisi luar bagian depan, samping, atau belakang bangunan secara datar.

Tegangan Tanah: Tekanan per satuan luas yang bekerja pada tanah akibat beban pondasi di atasnya.

Tekuk (Buckling): Ketidakstabilan struktur di mana elemen tekan yang langsing tiba-tiba melengkung secara lateral.

TEXT: Perintah AutoCAD untuk membuat satu baris teks tunggal pada gambar.

Titik Hilang (Vanishing Point): Titik fokus pada gambar perspektif tempat garis-garis sejajar tampak sejajar bertemu di kejauhan.

Tulangan (Reinforcing Bars): Batang baja polos atau ulir yang dimasukkan ke dalam beton untuk menahan gaya tarik.

Tulangan Geser: Senggang atau tulangan miring yang dipasang untuk menahan gaya geser melintang pada elemen struktur.

Tulangan Maksimum: Batas persentase baja tulangan terbanyak yang diizinkan agar beton tetap berperilaku daktil.

Tulangan Minimum: Batas persentase baja tulangan terkecil yang diwajibkan untuk mencegah retak beton akibat suhu atau retak mendadak.

Usuk (Kasau): Balok miring pada rangka atap yang membentang di atas gording untuk menumpu reng.

Ventilator Atap: Alat sirkulasi udara di atap untuk membuang udara panas dari dalam bangunan.

Viewport: Jendela pada lembar *layout* AutoCAD yang memperlihatkan area model dengan skala tertentu.

BIODATA PENULIS



Dr., Ir., Muhammad

Syarif., ST., MT., SH., MH., MM., IPM., MPU., ASEAN Eng

Dosen dan Praktisi Ahli Hukum Kontrak Konstruksi

Penulis Lahir di Ujung Pandang pada tanggal 16 September 1971. menyelesaikan pendidikan S-1 fakultas teknik tahun 1997. Gelar S-2 (MT) Fakultas Teknik konsentrasi Struktur Konstruksi dan Material tahun 2013. Gelar S-3 (Dr) Fakultas Teknik juga pada bidang konsentrasi Struktur Konstruksi dan Material tahun 2019. Gelar S-2 (MM) Ekonomi Manajemen pada tahun 2018, Gelar S-1 (SH) Ilmu Hukum Pidana tahun 2025, Gelar S-2 (MH) Ilmu Hukum Pidana tahun 2023. Gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) pada 2018. Studi profesi Insinyur (Ir) tahun 2021. Gelar Ahli Manajemen Proyek (MPU) thn 2022, demikian pula penganugerahan gelar ASEAN Eng diperoleh pada tahun 2022 di Phnom Penh Kamboja. Aktif sebagai pemateri dalam berbagai Simposium Internasional dan Nasional. Selain sebagai ahli konstruksi, penulis juga sebagai Ahli Hukum Kontrak Konstruksi.

BIODATA PENULIS



La Pande Jurumai, S.T., M.Arch.

Dosen Program Studi Arsitektur

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Kendari

Penulis lahir di Soligi tanggal 08 Maret 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur di Universitas Halu Oleo Kendari, melanjutkan S2 pada Program Magister Arsitektur di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, dan saat ini sedang melanjutkan S3 pada Program Doktor Program Studi Arsitektur Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Ade Fitriyanti Ulul Azmi, S.Ars., M.Ars.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas teknik Universitas Islam Malang

Penulis lahir di lahir di Lumajang, 4 Maret 1995, Ia memiliki latar belakang pendidikan Teknik Arsitektur Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan melanjutkan pendidikan magister pada bidang Arsitektur dengan konsentrasi Perancangan Arsitektur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam bidang akademik dan profesional, Ade memiliki keahlian pada perancangan arsitektur dan desain, khususnya Biophilic Design, Architectural Public Space, Sense of Place, dan Behavior Architecture. Ketertarikannya terhadap pengembangan desain dan teknologi digital juga tercermin dari berbagai pelatihan yang diikuti, antara lain SketchUp, 3D Rendering, Revit, Enscape Interior Rendering, dan BIM Archicad.

Sebagai akademisi, ia aktif dalam kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Karya ilmiahnya mencakup kajian perancangan arsitektur, keberlanjutan, biophilic design, ruang publik, hingga pengembangan dan penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam bidang konstruksi. Ia juga terlibat dalam berbagai kegiatan perancangan dan pengawasan bangunan, mulai dari fasilitas pendidikan, fasilitas kampus, rumah tinggal, hingga bangunan publik.

Dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat, Ade juga aktif mengembangkan pendekatan yang menghubungkan keilmuan arsitektur, teknologi, pendidikan, dan kebutuhan masyarakat. Pengalamannya mencakup kegiatan desain, digitalisasi, pengembangan UMKM, serta berbagai program pemberdayaan masyarakat.

Sebagai penulis, Ade Fitriyanti Ulul Azmi memiliki perhatian khusus pada pengembangan desain arsitektur yang responsif terhadap kebutuhan manusia, pemanfaatan teknologi digital dalam proses perancangan dan konstruksi, serta penguatan pembelajaran berbasis teknologi untuk mendukung kesiapan generasi muda menghadapi perkembangan industri.

BIODATA PENULIS



Ady Purnama, S.T., M.Eng.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Samawa

Penulis lahir di Sumbawa tanggal 2 September 1984. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Samawa. Lulus pendidikan S-1 pada Jurusan Teknik Sipil & Lingkungan UGM (2010). Lulus pendidikan S-2 pada Jurusan Teknik Sipil & Lingkungan UGM (2014), dan sedang melanjutkan S3 pada Jurusan Doktor Manajemen Rekayasa (DMR).

Ringkasan Kualifikasi:

- Ahli Utama di Bidang Keahlian Manajemen Konstruksi
- Ahli Utama di Bidang Keahlian Teknik Bangunan Gedung
- Praktisi dibidang Teknik Sipil seperti Teknik Sumber Daya Air, Manajemen Konstruksi, Teknik Bangunan Gedung, Jalan.

Organisasi:

- Tim Penilai Ahli Bangunan Gedung Kabupaten Sumbawa
- Instruktur & Asesor Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP)

ID:

- SINTA ID : 6137972
- E-mail : adypurnama48@gmail.com
- <https://sinta.kemdikbud.go.id/authors/profile/6137972>
- <https://scholar.google.com/citations?user=0kooxfAAAAAJ&hl=id&oi=ao>

BIODATA PENULIS



Retno Mayasari, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan
Rumpun Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Penulis lahir di Temanggung tanggal 12 Desember 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Rumpun Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Bidang keahlian dan penelitian yang ditekuni meliputi Pendidikan Vokasi, Strategi Perencanaan dan Pengelolaan Pengajaran, Teknologi Pembelajaran, Dasar Konstruksi Bangunan, Menggambar Teknik, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) konstruksi, Pembelajaran berbasis proyek, Pengembangan media pembelajaran digital. Berbagai karya ilmiah telah dipublikasikan pada jurnal nasional maupun prosiding internasional, di antaranya terkait penerapan K3 dalam pembelajaran praktik bangunan, efektivitas pembelajaran

daring, pengembangan e-modul interaktif berbasis multimedia dan augmented reality, serta inovasi pembelajaran pada bidang teknik sipil dan konstruksi.

BIODATA PENULIS



DR. IR. H. ARQAM LAYA, M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis adalah salah seorang dosen pada Departement of Civil Engineering, State University of Gorontalo. Lahir di Gorontalo Tahun 1964. Alumni: Insinyur Teknik Sipil Bidang Keahlian Rekayasa Struktur UNSRAT Manado (Lulus 1990), Magister Teknik Sipil Bidang Rekayasa Struktur UGM (Lulus 2007), dan Doktor Ilmu Geografi UGM (Lulus 2013) Bidang Keahlian Struktur & Mitigasi Bencana Alam Berbasis Geospasial. Jabatan Strutural Akademik pernah di emban: KAJUR Teknik Arsitektur UNG 2001-2005, Kepala Laboratorium Teknik Sipil UNG 2003-2005 & 2020-2023, KAPRODI Teknik Sipil UNG 2007-2009 & 2017-2023. Salah satu pendiri Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna Gorontalo, Jurusan Sipil Fakultas Teknik UNG dan Jurusan Sipil Universitas Gorontalo. Mengampu mata kuliah: Struktur Beton II, Struktur Baja II, Struktur Kayu dan Bambu, Analisis Struktur Statis Tertentu, Analisis Struktur Statis Tak Tentu, Kalkulus (II-III) dan Fisika untuk Teknik Sipil. Capaian karya tulis artikel dan buku yang telah diterbitkan, berupa artikel jurnal nasional dan international berkaitan tanah, infiltrasi,

geomorphologi, kebencanaan. Dalam bentuk buku berkaitan dengan analisis struktur, teknologi beton, beton bertulang, jembatan BM 100. Selain sebagai akademisi, juga berkecimpung sebagai konsultan dan tenaga ahli di bidang Rekayasa Struktur Konstruksi Bangunan Sipil, Perencanaan Wilayah dan Kota, Mitigasi Bencana Alam, dan Asesor Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti). Di bidang organisasi profesional, saat ini sebagai pengurus dan anggota PII, HATHI, HPJI, Aptekindo dan LPJK Provinsi Gorontalo. Bidang organisasi sosial sebagai pengurus & anggota Duango lo Adati Provinsi Gorontalo. Email: arqamlaya@gmail.com dan arqam@ung.ac.id