



TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN JILID 3

untuk SMK

Dian Ariestadi



JILID 3

Dian Ariestadi

Teknik Struktur Bangunan

untuk
Sekolah
Menengah
Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Dian Ariestadi

TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN

JILID 3

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN JILID 3

Untuk SMK

Penulis : Dian Ariestadi

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25
cm

ARI ARIESTADI, Dian
t Teknik Struktur Bangunan Jilid 3 untuk SMK /oleh Dian
Ariestadi ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah
Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan
Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
ix. 214 hlm
Daftar Pustaka : A1-A3
Glosarium : B1-B6
ISBN : 978-979-060-147-5
978-979-060-150-5

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah

Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK



KATA PENGANTAR

Buku ini merupakan bagian dari program penulisan buku kejuruan yang dilaksanakan oleh Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan (PSMK). Penulis merasa sangat bersyukur karena merupakan bagian dari program yang bertujuan untuk meningkatkan mutu pendidikan kejuruan. Buku sebagai salah satu sarana utama untuk meningkatkan mutu pendidikan pada bidang pendidikan kejuruan khususnya untuk tingkat pendidikan menengah saat ini masih sangat terbatas. Untuk itu semoga adanya buku ini akan semakin memperkaya sumber referensi pada Sekolah Menengah kejuruan.

Buku berjudul **Teknik Struktur Bangunan** dimaksudkan untuk memberikan pengetahuan teori dan praktik tentang struktur bangunan. Pada dasarnya ilmu struktur bangunan merupakan teori dan pengetahuan yang tinjauannya sampai pada tingkat analisis dan perencanaan. Sebagai buku pegangan pada tingkat sekolah menengah kejuruan, maka struktur bangunan yang dimaksud lebih dibatasi dan ditekankan pada pengetahuan-pengetahuan praktis bentuk dan karakter struktur bangunan terutama elemen-elemen pembentuk struktur, sistem struktur dan rangkaiannya, tinjauan struktur berdasarkan bahannya, serta aplikasi teknik struktur pada bangunan gedung dan jembatan.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian buku ini. Keluarga yang sangat mendukung, rekan-rekan dari kalangan akademis Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, rekan-rekan profesi bidang jasa konstruksi bangunan, dan banyak pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhirnya buku ini masih jauh dari sempurna, banyak kekurangan yang perlu untuk dilengkapi. Kritik dan saran untuk kesempurnaan buku ini sangat diharapkan. Semoga buku ini dapat dimanfaatkan bagi pengembangan pendidikan menengah kejuruan khususnya bidang teknik bangunan.

Penulis.



SINOPSIS

Buku berjudul **Teknik Struktur Bangunan** dimaksudkan untuk memberikan pengetahuan teori dan praktik tentang struktur bangunan. Pada dasarnya teknik struktur bangunan merupakan teori dan pengetahuan dengan tingkat kompetensi sampai pada analisis dan perencanaan. Sebagai buku pegangan pada tingkat sekolah menengah kejuruan, maka struktur bangunan yang dimaksud lebih ditekankan pada pengetahuan-pengetahuan praktis bentuk dan karakter struktur bangunan terutama elemen-elemen pembentuk struktur, sistem struktur dan rangkaiannya, tinjauan struktur berdasarkan bahannya, serta aplikasi teknik struktur pada bangunan gedung dan jembatan.

Secara garis besar pembahasan dalam buku ini meliputi: penggambaran umum teknik bangunan, dalam BAB 1 terlebih dahulu dilakukan penggambaran tentang teknik bangunan secara umum. Gambaran teknik bangunan meliputi definisi tentang bangunan, bidang-bidang keilmuan pendukung dalam teknik bangunan, serta proses penyelenggaraan bangunan yang meliputi persyaratan-persyaratan dan kriteria desain sesuai ketentuan teknis dan perundangan yang berlaku. Pada bagian ini juga memberi gambaran tentang ketentuan K3 dan bidang teknik bangunan, manajemen perusahaan dan proyek konstruksi, hingga proses pelelangan dan jenis kontrak proyek konstruksi bangunan.

Saat ini alat bantu komputer telah diaplikasikan pada semua aktivitas kegiatan manusia. BAB 2 menguraikan aplikasi program komputer untuk bidang teknik bangunan. Diuraikan beberapa program yang banyak digunakan yaitu: MS Office untuk kegiatan pengolahan kata, data dan presentasi proyek, MS Project untuk manajemen pengelolaan pelaksanaan proyek, STAAD/Pro sebagai salah satu program untuk membantu analisis struktur, dan AutoCad yang merupakan program untuk menggambar teknik.

Pada BAB 3 diawali dengan membahas pengantar tentang teknik struktur bangunan, yang berisi definisi spesifik teknik struktur, sejarah struktur bangunan, hingga klasifikasi dan elemen-elemen struktur. Selanjutnya diuraikan tentang statika yang merupakan pengetahuan yang mendasari pemahaman struktur. Pembahasan meliputi statika gaya, kekuatan-kekuatan bahan dan stabilitas struktur.

Desain dan analisis elemen yang merupakan tahapan mendasar pengetahuan struktur bangunan diuraikan dalam BAB 4. Aspek desain dan analisis mendasar bentuk elemen struktur dan karakteristik perilakunya, terutama pada bentuk-bentuk mendasar struktur yaitu: struktur rangka batang, struktur balok dan struktur kolom. Melengkapi analisis elemen

struktur juga diuraikan tentang aplikasi konstruksi bangunan secara umum serta konstruksi bangunan bertingkat.

Struktur bangunan secara garis besar dikelompokkan atas struktur bangunan bawah dan sistem struktur bangunan atas. BAB 5 akan membahas pengetahuan mendasar untuk mendukung sistem struktur bangunan bawah. Untuk itu diuraikan pengetahuan tentang tanah dan pengujiannya, daya dukung tanah, serta aplikasi pondasi dan dinding penahan yang merupakan struktur utama pada bangunan bawah.

Aplikasi teknik struktur pada bangunan selalu berkaitan dengan penggunaan bahan-bahan tertentu. Bahan struktur saat ini berkembang dengan pesat serta memiliki jenis yang sangat beragam. BAB 6,7, dan 8, berisi tinjauan teknik struktur yang sudah diaplikasikan dengan penggunaan bahan utama konstruksi baja, beton, dan kayu. Uraian meliputi sifat-sifat bahan, bentuk dan karakteristik bahan, konstruksi elemen dan sambungan-sambungannya, serta beberapa aplikasi pada sistem struktur bangunan.

Pada BAB 9, dijelaskan aplikasi teknik struktur pada jenis dan sistem struktur bangunan jembatan. Berdasarkan tinjauan elemen dan sistem strukturnya, bangunan jembatan memiliki banyak kesamaan dengan sistem bangunan gedung. Untuk itu uraiannya juga meliputi bentuk struktur, elemen-elemen pembentuk, serta proses konstruksinya.

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	i
KATA PENGANTAR	ii
SINOPSIS	iii
DAFTAR ISI	v
PETA KOMPETENSI	vi
STANDAR KOMPETENSI	vii

BUKU JILID 1

1. LINGKUP PEKERJAAN DAN PERATURAN BANGUNAN	1
1.1. Ruang Lingkup Pekerjaan Bangunan	1
1.2. Peraturan Bangunan	6
1.3. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	9
1.4. Kriteria Desain dalam Penyelenggaraan Bangunan	22
1.5. Manajemen Pelaksanaan Konstruksi	28
1.6. Pelelangan Proyek Konstruksi	33
2. PENGGUNAAN PROGRAM KOMPUTER DALAM TEKNIK BANGUNAN	41
2.1. Aplikasi Komputer dalam Teknik Bangunan	41
2.2. Aplikasi Program MS Office dalam Teknik Bangunan	43
2.3. Aplikasi Program MS Project dalam Teknik Bangunan	60
2.4. Aplikasi Program STAAD/Pro dalam Teknik Bangunan	73
2.5. Aplikasi Program AutoCad dalam Teknik Bangunan	88

BUKU JILID 2

3. STATIKA BANGUNAN	115
3.1. Elemen-elemen Sistem Struktur Bangunan	115
3.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Struktur	126
3.3. Macam-macam Gaya dalam Struktur Bangunan	138
3.4. Cara Menyusun Gaya	148
3.5. Statika Konstruksi Balok Sederhana	157
3.6. Analisis Rangka Batang (<i>Truss</i>) Sederhana	169
3.7. Dasar-Dasar Tegangan	175
4. ANALISIS SISTEM STRUKTUR BANGUNAN	181
4.1. Struktur Rangka Batang	181
4.2. Struktur Balok	194
4.3. Struktur Kolom	204
4.4. Sistem Struktur pada Bangunan Gedung Bertingkat	210

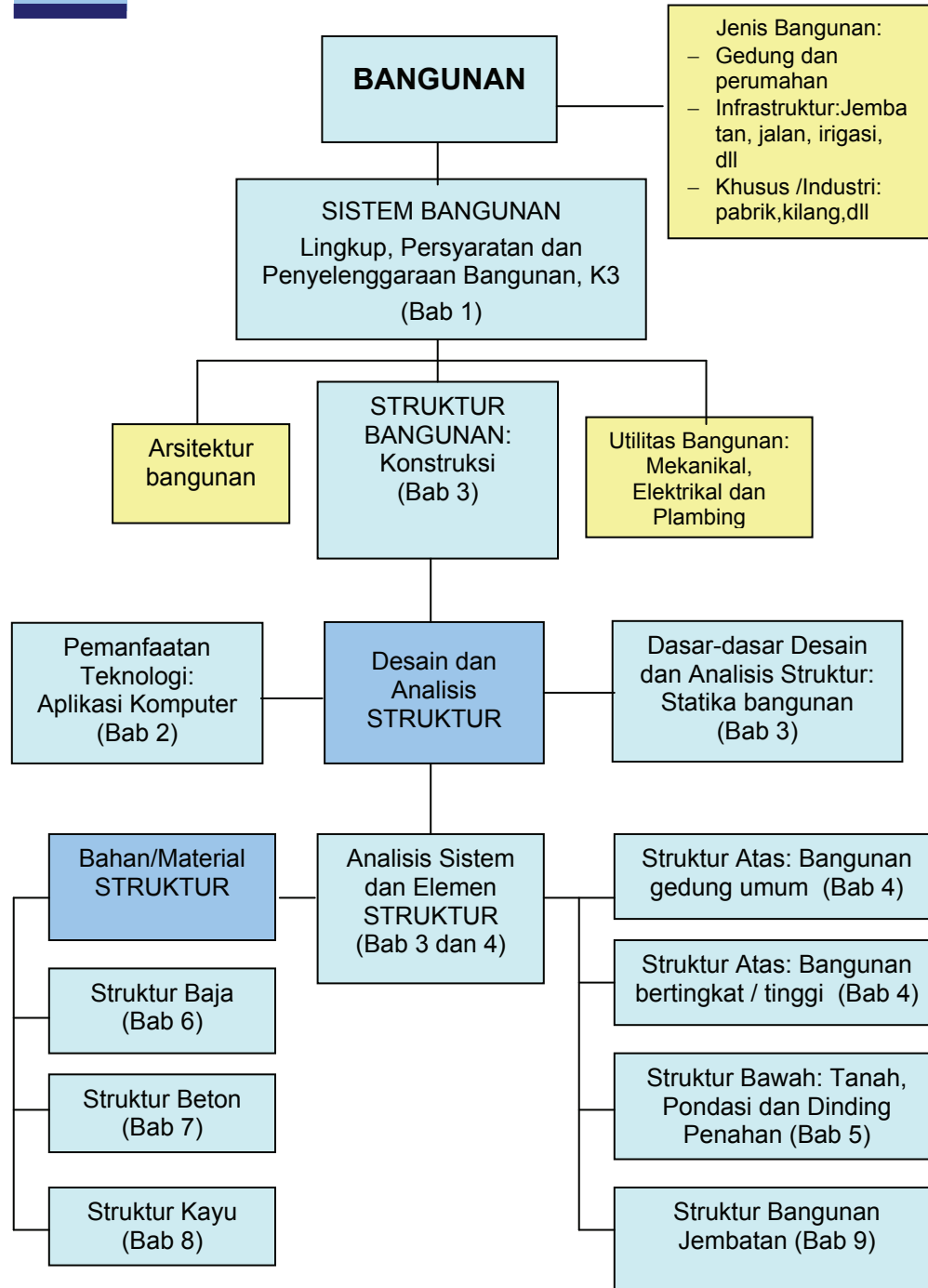
5. DAYA DUKUNG TANAH DAN PONDASI	239
5.1. Tanah dan Sifat-sifatnya	239
5.2. Daya Dukung Tanah	250
5.3. Pondasi	253
5.4. Dinding Penahan (<i>Retaining Wall</i>): tekanan lateral tanah dan struktur penahan tanah	258

BUKU JILID 3

6. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI BAJA	267
6.1. Sifat Baja sebagai Material Struktur Bangunan	267
6.2. Jenis Baja Struktural	269
6.3. Konsep Sambungan Struktur Baja	274
6.4. Penggunaan Konstruksi Baja	301
7. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI BETON	333
7.1. Sifat dan Karakteristik Beton sebagai Material Bangunan	334
7.2. Material Penyusun Beton Bertulang	339
7.3. Konstruksi dan Detail Beton Bertulang	347
7.4. Aplikasi Konstruksi Beton Bertulang	363
8. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI KAYU	395
8.1. Sifat Kayu sebagai Material Konstruksi	395
8.2. Penggolongan Produk Kayu di Pasaran	399
8.3. Sistem Struktur dan Sambungan dalam Konstruksi Kayu	401
8.4. Aplikasi Struktur dengan Konstruksi Kayu	417
9. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN JEMBATAN	429
9.1. Klasifikasi dan Bentuk Jembatan	429
9.2. Elemen Struktur Jembatan	462
9.3. Pendirian Jembatan	470
9.4. Pendukung Struktur Jembatan	471

DAFTAR PUSTAKA
DAFTAR ISTILAH
DAFTAR TABEL
DAFTAR GAMBAR

PETA KOMPETENSI



STANDAR KOMPETENSI

STANDAR KOMPETENSI	KOMPETENSI DASAR
1. Memahami lingkup pekerjaan dan peraturan bangunan	1) Memahami ruang lingkup pekerjaan bangunan 2) Memahami Standar Nasional Indonesia (SNI) yang terkait dengan pekerjaan bangunan 3) Memahami Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) 4) Memahami kriteria desain 5) Memahami pelelangan bangunan 6) Memahami manajemen pelaksanaan konstruksi
2. Memahami penggunaan program komputer dalam teknik bangunan	1) Memahami macam-macam program komputer untuk teknik bangunan 2) Memahami pengoperasian program MS Office 3) Memahami pengoperasian program MS Project 4) Memahami pengoperasian program SAP/STAAD 5) Memahami pengoperasian program CAD
3. Memahami statika bangunan	1) Memahami elemen-elemen struktur 2) Memahami faktor yang mempengaruhi struktur 3) Memahami macam-macam gaya dalam struktur bangunan 4) Memahami cara menyusun gaya 5) Memahami konstruksi balok sederhana (sendi dan rol) 6) Memahami gaya batang pada konstruksi rangka sederhana 7) Memahami tegangan pada struktur
4. Memahami analisa berbagai struktur	1) Memahami analisis struktur rangka batang 2) Memahami analisis struktur balok 3) Memahami analisis struktur kolom 4) Memahami analisis konstruksi bangunan bertingkat
5. Memahami daya dukung tanah dan pondasi	1) Memahami sifat-sifat tanah 2) Memahami daya dukung tanah 3) Memahami berbagai macam pondasi 4) Memahami berbagai macam dinding / perkuatan penahan tanah
6. Memahami konstruksi baja	1) Memahami sifat-sifat baja 2) Memahami bentuk-bentuk baja struktural 3) Memahami konsep sambungan baja 4) Memahami penggunaan konstruksi baja di lapangan

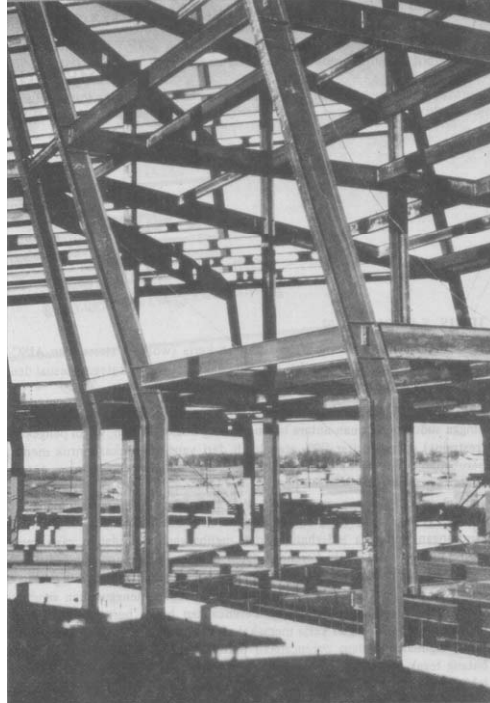
7. Memahami konstruksi beton	1) Memahami sifat-sifat beton
	2) Memahami bahan penyusun beton
	3) Memahami detail penulangan beton
	4) Memahami penggunaan konstruksi beton di lapangan
8. Memahami konstruksi kayu	1) Memahami sifat-sifat beton
	2) Memahami penggolongan kayu
	3) Memahami cara penyambungan konstruksi kayu
	4) Memahami penggunaan konstruksi kayu di lapangan
9. Memahami konstruksi jembatan	1) Memahami berbagai bentuk jembatan
	2) Memahami elemen struktur jembatan
	3) Memahami cara mendirikan jembatan
	4) Memahami pendukung struktur jembatan

6.

TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI BAJA

6.1. Sifat Baja sebagai Material Struktur Bangunan

Penggunaan baja sebagai bahan struktur utama dimulai pada akhir abad kesembilan belas ketika metode pengolahan baja yang murah dikembangkan dengan skala yang luas. Baja merupakan bahan yang mempunyai sifat struktur yang baik. Baja mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan dan oleh karena itu baja adalah elemen struktur yang memiliki batasan sempurna yang akan menahan beban jenis tarik aksial, tekan aksial, dan lentur dengan fasilitas yang hampir sama. Berat jenis baja tinggi, tetapi perbandingan antara kekuatan terhadap beratnya juga tinggi sehingga komponen baja tersebut tidak terlalu berat jika dihubungkan dengan kapasitas muat bebannya, selama bentuk-bentuk struktur yang digunakan menjamin bahwa bahan tersebut dipergunakan secara efisien.



Gambar 6.1. Struktur bangunan baja

Sumber: Macdonald, 2002

6.1.1. Keuntungan Baja sebagai Material Struktur Bangunan

Di samping kekuatannya yang besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan tanpa membutuhkan banyak volume, baja juga mempunyai sifat-sifat lain yang menguntungkan sehingga menjadikannya sebagai salah satu bahan bangunan yang sangat umum dipakai dewasa ini. Beberapa keuntungan baja sebagai material struktur antara lain:

Kekuatan Tinggi

Dewasa ini baja bisa diproduksi dengan berbagai kekuatan yang bisa dinyatakan dengan kekuatan tegangan tekan lelehnya (F_y) atau oleh tegangan tarik batas (F_u). Bahan baja walaupun dari jenis yang paling rendah kekuatannya, tetap mempunyai perbandingan kekuatan per-volume lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan lainnya yang umum dipakai. Hal ini memungkinkan perencanaan sebuah konstruksi baja bisa mempunyai beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga memberikan kelebihan ruang dan volume yang dapat dimanfaatkan akibat langsingnya profil-profil yang dipakai.

Kemudahan Pemasangan

Semua bagian-bagian dari konstruksi baja bisa dipersiapkan di bengkel, sehingga satu-satunya kegiatan yang dilakukan di lapangan ialah kegiatan pemasangan bagian-bagian konstruksi yang telah dipersiapkan. Sebagian besar dari komponen-komponen konstruksi mempunyai bentuk standar yang siap digunakan bisa diperoleh di toko-toko besi, sehingga waktu yang diperlukan untuk membuat bagian-bagian konstruksi baja yang telah ada, juga bisa dilakukan dengan mudah karena komponen-komponen baja biasanya mempunyai bentuk standar dan sifat-sifat yang tertentu, serta mudah diperoleh di mana-mana.

Keseragaman

Sifat-sifat baja baik sebagai bahan bangunan maupun dalam bentuk struktur dapat terkendali dengan baik sekali, sehingga para ahli dapat mengharapkan elemen-elemen dari konstruksi baja ini akan berperilaku sesuai dengan yang diperkirakan dalam perencanaan. Dengan demikian bisa dihindari terdapatnya proses pemborosan yang biasanya terjadi dalam perencanaan akibat adanya berbagai ketidakpastian.

Daktilitas

Sifat dari baja yang dapat mengalami deformasi yang besar di bawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa hancur atau putus disebut sifat daktilitas. Adanya sifat ini membuat struktur baja mampu mencegah terjadinya proses robohnya bangunan secara tiba-tiba. Sifat ini sangat menguntungkan ditinjau dari aspek keamanan penghuni bangunan bila terjadi suatu guncangan yang tiba-tiba seperti misalnya pada peristiwa gempa bumi.

Di samping itu keuntungan-keuntungan lain dari struktur baja, antara lain adalah:

- Proses pemasangan di lapangan berlangsung dengan cepat.
- Dapat di las.
- Komponen-komponen strukturnya bisa digunakan lagi untuk keperluan lainnya.
- Komponen-komponen yang sudah tidak dapat digunakan lagi masih mempunyai nilai sebagai besi tua.

- Struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan cara pemeliharaan yang tidak terlalu sukar.

Selain keuntungan-keuntungan tersebut bahan baja juga mempunyai kelemahan-kelemahan sebagai berikut :

- Komponen-komponen struktur yang dibuat dari bahan baja perlu diusahakan supaya tahan api sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bahaya kebakaran.
- Diperlukannya suatu biaya pemeliharaan untuk mencegah baja dari bahaya karat.
- Akibat kemampuannya menahan tekukan pada batang-batang yang langsing, walaupun dapat menahan gaya-gaya aksial, tetapi tidak bisa mencegah terjadinya pergeseran horisontal

6.1.2. Sifat Mekanis Baja

Menurut SNI 03–1729–2002 tentang TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 6.1.

- **Tegangan leleh** Tegangan leleh untuk perencanaan (f_y) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 6.1.
- **Tegangan putus** Tegangan putus untuk perencanaan (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Sifat mekanis baja struktural

Sumber: Amon dkk, 1996

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

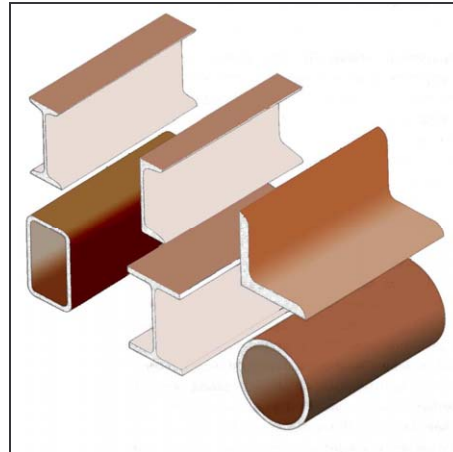
Sifat-sifat mekanis lainnya, Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

Modulus elastisitas :	$E = 200.000 \text{ MPa}$
Modulus geser :	$G = 80.000 \text{ MPa}$
Nisbah poisson :	$\mu = 0,3$
Koefisien pemuaian :	$\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$

6.2. Jenis Baja Struktural

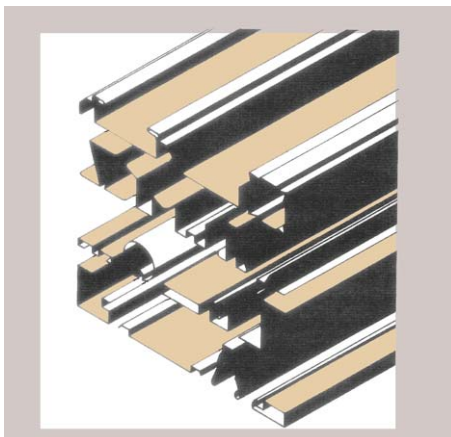
Bentuk elemen baja sangat dipengaruhi oleh proses yang digunakan untuk membentuk baja tersebut. Sebagian besar baja dibentuk oleh proses *hot-rolling* (penggilingan dengan pemanasan) atau *cold-forming* (pembentukan dengan pendinginan). **Penggilingan dengan pemanasan (*hot-rolling*)** adalah proses pembentukan utama di mana bongkahan baja yang merah menyala secara besar-besaran digelindingkan di antara beberapa kelompok penggiling. Penampang melintang dari bongkahan yang dihasilkan biasanya dicetak dari baja yang baru dibuat dan biasanya berukuran sekitar 0,5 m x 0,5 m persegi, yang akibat proses penggilingan ukuran penampang melintang dikurangi menjadi lebih kecil dan menjadi bentuk yang tepat dan khusus.

Batasan bentuk penampang melintang yang dihasilkan sangat besar dan masing-masing bentuk memerlukan penggilingan akhir tersendiri. Bentuk penampang melintang I dan H biasanya digunakan untuk elemen-elemen besar yang membentuk balok dan kolom pada rangka struktur. Bentuk kanal dan siku cocok untuk elemen-elemen kecil seperti lapisan tumpuan sekunder dan sub-elemen pada rangka segitiga. Bentuk penampang persegi, bulat, dan persegi empat yang berlubang dihasilkan dalam batasan ukuran yang luas dan digunakan seperti halnya pelat datar dan batang solid dengan berbagai ketebalan. Perincian ukuran dan geometri yang dimiliki seluruh penampang standar didaftarkan dalam tabel penampang yang dibuat oleh pabrik baja.



Gambar 6.2. Bentuk baja profil canai panas

Sumber: Macdonald, 2002



Gambar 6.3. Bentuk baja profil cold-forming

Sumber: Macdonald, 2002

Pembentukan dengan pendinginan (*cold-forming*) adalah metode lain yang digunakan untuk membuat komponen-komponen baja dalam jumlah yang besar. Dalam proses ini, lembaran baja tipis datar yang telah dihasilkan dari proses penggilingan dengan pemanasan dilipat atau dibengkokkan dalam keadaan dingin untuk membentuk penampang melintang struktur (Gambar 6.3). Elemen-elemen yang dihasilkan dari proses ini mempunyai karakteristik yang serupa dengan

penampang yang dihasilkan dari proses penggilingan dengan pemanasan. Sisi paralel elemen-elemen tersebut memiliki penampang yang tetap, tetapi ketebalan logam tersebut berkurang sehingga elemen-elemen tersebut lebih ringan, dan tentunya memiliki kapasitas muat beban yang lebih rendah. Bagaimanapun, proses-proses tersebut memungkinkan pembuatan bentuk penampang yang sulit. Satu hal lain yang membedakan proses-proses tersebut adalah bahwa peralatan yang digunakan untuk proses pencetakan dengan pendinginan lebih sederhana dan dapat digunakan untuk menghasilkan penampang melintang yang bentuknya disesuaikan untuk penggunaan yang khusus. Karena penampang yang dibentuk dengan pendinginan memiliki kapasitas muat yang rendah, maka penampang ini terutama digunakan untuk elemen sekunder pada struktur atap, seperti purlin, dan untuk sistem lapisan tumpuan. Potensi elemen-elemen tersebut untuk perkembangan di masa yang akan datang sangat besar.

Komponen struktur baja dapat juga dihasilkan dengan pencetakan, yang dalam kasus yang sangat kompleks memungkinkan pembuatan bentuk penampang yang sesuai dengan kebutuhan. Akan tetapi, teknik ini bermasalah ketika digunakan untuk komponen struktur, yang disebabkan oleh kesulitan untuk menjamin mutu cetakan yang baik dan sama di keseluruhan bagian.

Fungsi struktur merupakan faktor utama dalam penentuan konfigurasi struktur. Berdasarkan konfigurasi struktur dan beban rencana, setiap elemen atau komponen dipilih untuk menyangga dan menyalurkan beban pada keseluruhan struktur dengan baik. Batang baja dipilih sesuai standar yang ditentukan oleh *American Institute of Steel Construction* (AISC) juga diberikan oleh American Society of Testing and Materials (ASTM). Pengelasan memungkinkan penggabungan plat dan/atau profil lain untuk mendapatkan suatu profil yang dibutuhkan oleh perencana atau arsitek.

Penampang yang dibuat dengan penggilingan panas, seperti diperlihatkan pada Gambar 6.4. Penampang yang paling banyak dipakai ialah **profil sayap lebar (*wide-flange*)** [Gambar 6.4(a)] yang dibentuk dengan penggilingan panas dalam pabrik baja. Ukuran profil sayap lebar ditunjukkan oleh tinggi nominal dan berat per kaki (ft), seperti W18 X 97 mempunyai tinggi 18 in (menurut AISC Manual tinggi sesungguhnya = 18,59 in) dan berat 97 pon per kaki. (Dalam satuan SI, penampang W18 X 97 disebut sebagai W460 x 142 yang tingginya 460 mm dan massanya 142 kg/m).

Balok Standar Amerika [Gambar 6.4(b)] yang biasanya disebut **balok I** memiliki sayap (*flange*) yang pendek dan meruncing, serta badan yang tebal dibanding dengan profil sayap lebar. Balok I jarang dipakai dewasa ini karena bahan yang berlebihan pada badannya dan kekakuan lateralnya relatif kecil (akibat sayap yang pendek).

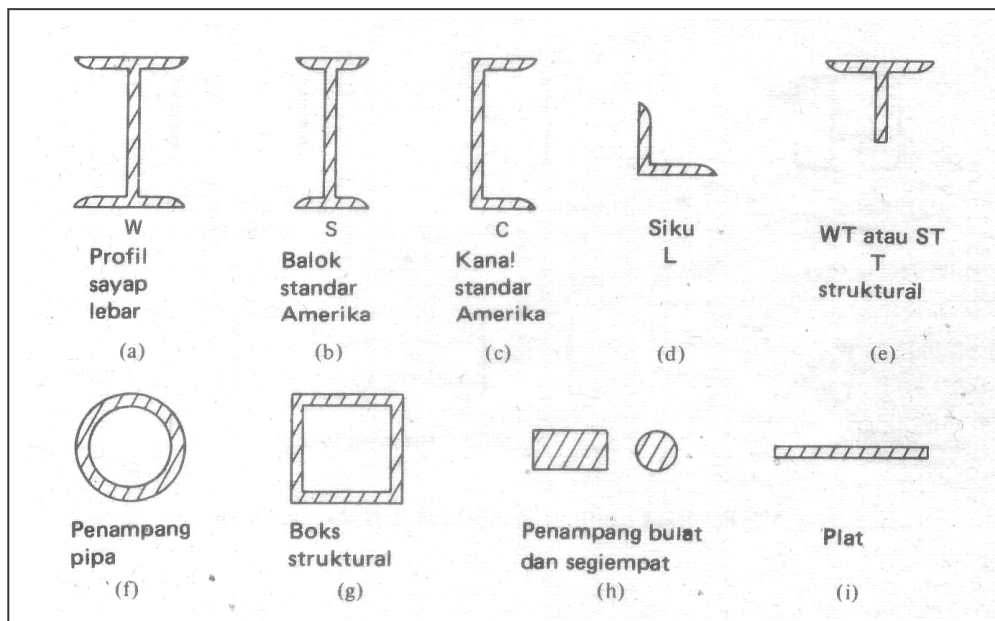
Kanal [Gambar 6.4(c)] dan **siku** [Gambar 6.4(d)] sering dipakai baik secara tersendiri atau digabungkan dengan penampang lain. Kanal misalnya ditunjukkan dengan C12 X 20,7, yang berarti tingginya 1.2 in dan beratnya

20,7 pon per kaki. Siku diidentifikasi oleh panjang kaki (yang panjang ditulis lebih dahulu) dan tebalnya, seperti, L6 X 4 X 3

Profil T struktural [Gambar 6.4(e)] dibuat dengan membelah dua profil sayap lebar atau balok I dan biasanya digunakan sebagai batang pada rangka batang (*truss*). Profil T misalnya diidentifikasi sebagai WT5 X 44, dengan 5 adalah tinggi nominal dan 44 adalah berat per kaki; profil T ini didapat dari W10 X 88,

Penampang pipa [Gambar 6.4(f)] dibedakan atas "standar", "sangat kuat", dan "dua kali sangat kuat" sesuai dengan tebalnya dan juga dibedakan atas diameternya; misalnya, diameter 10 in-dua kali sangat kuat menunjukkan ukuran pipa tertentu.

Boks struktural [Gambar 6.4(g)] dipakai bila dibutuhkan penampilan arsitektur yang menarik dengan baja ekspos. Boks ditunjukkan dengan dimensi luar dan tebalnya, seperti boks struktural 8 X 6 X 1/4.



Gambar 6.4. Standar tipe penampang profil baja canai panas

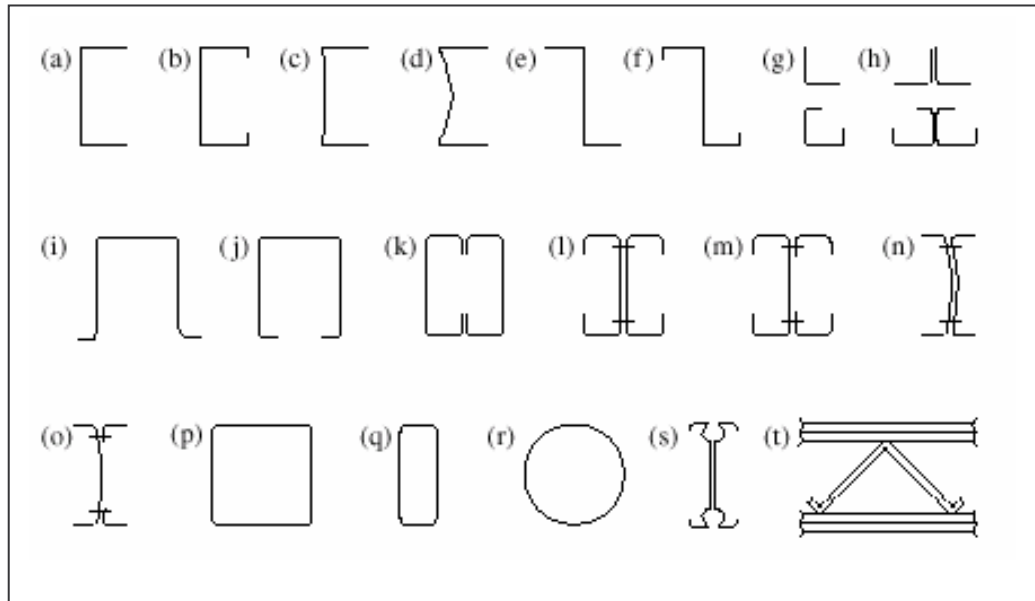
Sumber: Macdonald, 2002

Banyak profil lainnya dibentuk dalam keadaan dingin (*cold-formed*) dari bahan plat dengan tebal tidak lebih dari 1 in, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.5 dan Gambar 6.6. Beberapa keuntungan baja profil dingin antara lain:

- Lebih ringan
- Kekuatan dan kakuhan yang tinggi
- Kemudahan pabrikan dan produksi massal
- Kecepatan dan kemudahan pendirian
- Lebih ekonomis dalam pengangkutan dan pengelolaan

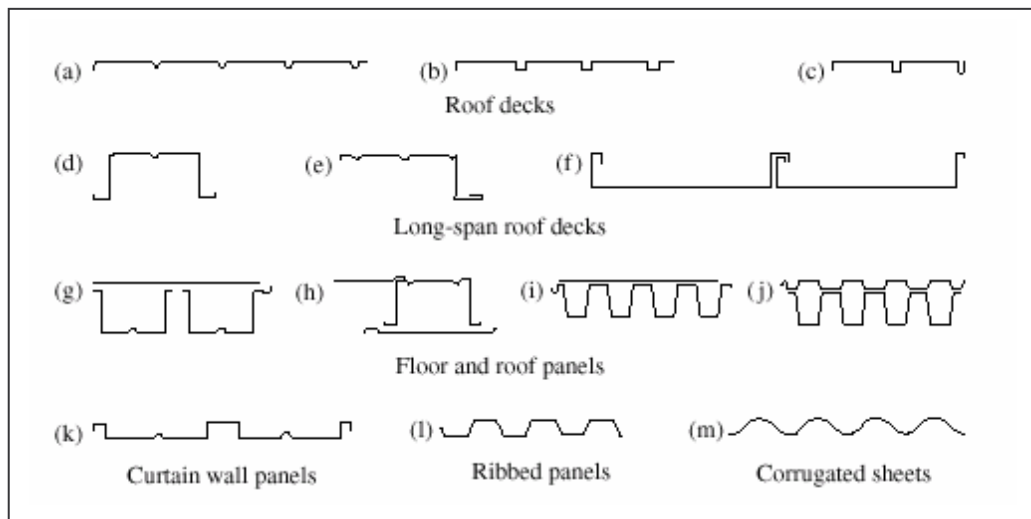
Baja profil keadaan dingin dapat diklasifikasikan menjadi:

- elemen struktur rangka individu (Gambar 6.5)
- lembaran-lembaran panel dan dek (Gambar 6.6)



Gambar 6.5. Beberapa profil elemen struktur rangka individu

Sumber: Schodek, 1999



Gambar 6.6. Beberapa profil lembaran-lembaran panel dan dek

Sumber: Schodek, 1999

Standar Nasional Indonesia

Menurut SNI 03 – 1729 – 2002 tentang TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG, semua baja struktural sebelum difabrikasi, harus memenuhi ketentuan berikut ini:

- SK SNI S-05-1989-F: Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian B (Bahan Bangunan dari Besi/baja);
- SNI 07-0052-1987: Baja Kanal Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji;
- SNI 07-0068-1987: Pipa Baja Karbon untuk Konstruksi Umum, Mutu dan Cara Uji;
- SNI 07-0138-1987: Baja Kanal C Ringan;
- SNI 07-0329-1989: Baja Bentuk I Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji;
- SNI 07-0358-1989-A: Baja, Peraturan Umum Pemeriksaan;
- SNI 07-0722-1989: Baja Canai Panas untuk Konstruksi Umum;
- SNI 07-0950-1989: Pipa dan Pelat Baja Bergelombang Lapis Seng;
- SNI 07-2054-1990: Baja Siku Sama Kaki Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji;
- SNI 07-2610-1992: Baja Profil H Hasil Pengelasan dengan Filter untuk Konstruksi Umum;
- SNI 07-3014-1992: Baja untuk Keperluan Rekayasa Umum;
- SNI 07-3015-1992: Baja Canai Panas untuk Konstruksi dengan Pengelasan;
- SNI 03-1726-1989: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung.

6.3. Konsep Sambungan Struktur Baja

6.3.1. Sistem Struktur dengan Konstruksi Baja

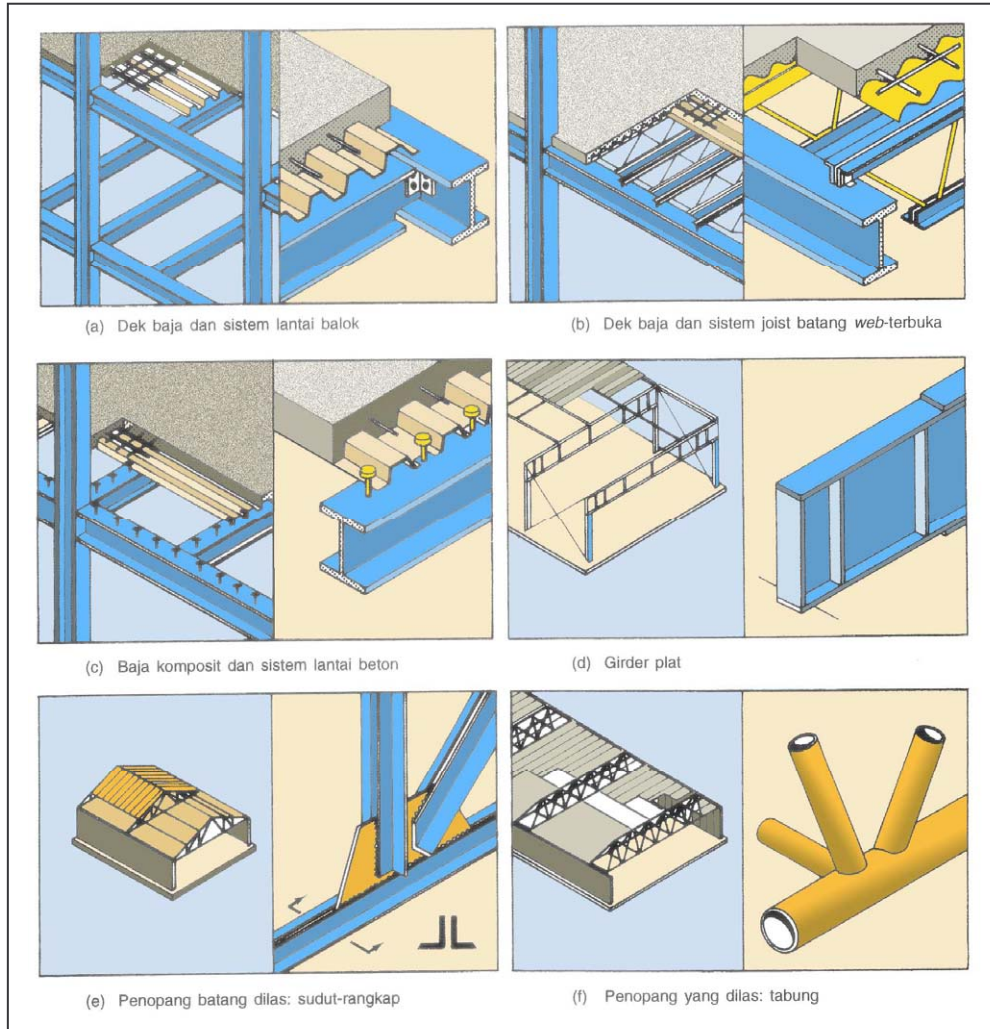
Hampir semua sistem konstruksi baja berat terbuat dari elemen-elemen linear yang membentang satu arah. Berbagai penampang baja profil dengan flens lebar yang tersedia dalam berbagai ukuran dapat digunakan. Banyaknya ukuran penampang ini memungkinkan fleksibilitas dalam desain elemen balok-dan-kolom. Meskipun hubungan sederhana (sendi) umumnya digunakan pada sistem ini, kita dapat dengan mudah membuat titik hubung yang mampu memikul momen.

Struktur rangka yang titik-titik hubungnya mampu memikul momen, mempunyai tahanan terhadap beban lateral cukup besar. Kestabilan lateral juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan dinding geser atau elemen pengekang diagonal.

BALOK

Bentuk sayap lebar biasanya digunakan sebagai elemen yang membentang secara horizontal [lihat Gambar 6.7(a)]. Interval bentang yang mungkin untuk elemen ini sangat lebar. Elemen ini biasanya ditumpu

sederhana kecuali apabila aksi rangka diperlukan untuk menjamin stabilitas, di mana hubungan yang mampu memikul momen digunakan. Bentuk-bentuk lain, seperti kanal, kadang-kadang digunakan untuk memikul momen, tetapi biasanya terbatas pada beban ringan dan bentang pendek.



Gambar 6.7. Sistem konstruksi untuk struktur baja

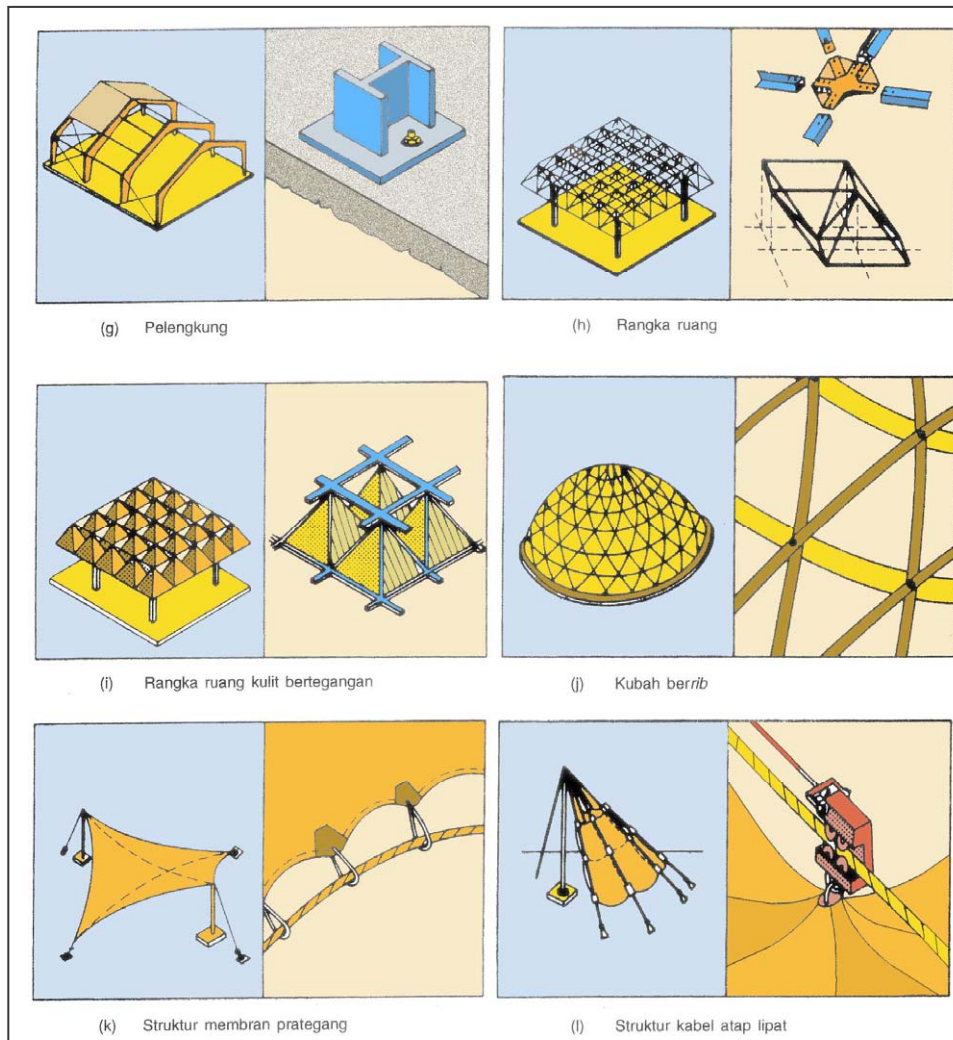
Sumber: Schodek, 1999

GIRDER PLAT

Girder plat adalah bentuk khusus dari balok dengan penampang tersusun [lihat Gambar 6.7(d)], Elemen ini dapat dirancang untuk berbagai macam beban maupun bentang yang dibutuhkan. Elemen struktur ini sangat berguna apabila beban yang sangat besar harus dipikul oleh bentang menengah. Elemen ini sering digunakan, misalnya sebagai elemen penyalur beban utama yang memikul beban kolom pada bentang bersih.

KONSTRUKSI KOMPOSIT

Banyak sistem struktural yang tidak dapat dikelompokkan secara mudah menurut material yang digunakan. Sistem balok komposit seperti terlihat pada Gambar 6.7(c) sering kita jumpai. Dalam hal ini, baja adalah bagian yang diletakkan pertama kali, kemudian beton dicor di sekitar penghubung geser (*shear connectors*) di atas balok baja. Adanya penghubung geser tersebut menyebabkan balok baja dan beton di atasnya bekerja secara integral. Dengan demikian terbentuk penampang T dengan baja sebagai bagian yang mengalami tarik, dan beton yang mengalami tekan.



Gambar 6.7. Sistem konstruksi untuk struktur baja (*lanjutan*)

Sumber: Schodek, 1999

RANGKA BATANG DAN JOIST BATANG TERBUKA

Merupakan variasi tak hingga dari konfigurasi rangka batang yang mungkin digunakan. Rangka batang dapat juga dibuat atau dirancang secara khusus untuk bentang dan beban yang sangat besar.

Joist web terbuka yang merupakan produksi besar-besaran [lihat Gambar 6.7(b)], dapat digunakan baik untuk sistem lantai maupun atap. Elemen ini umumnya relatif ringan dan terdistribusi merata. Joist web terbuka umumnya ditumpu sederhana, tetapi bila diperlukan dapat dibuat hubungan kaku. Pada sistem yang sama dapat digunakan joist web terbuka dan flens lebar yang mempunyai titik hubung yang dapat memikul momen sehingga kita mendapat aksi rangka yang dapat menahan beban lateral.

PELENGKUNG

Pelengkung kaku dengan berbagai bentuk dapat dibuat dari baja. Pelengkung yang telah dibuat di luar lokasi (*prefabricated*) dan telah tersedia untuk bentang kecil sampai menengah. Telah ada pelengkung yang dirancang secara khusus dan mempunyai bentang sangat panjang [misalnya bentang 300 ft (90 m) atau lebih]. Pelengkung baja dapat dibuat dari penampang masif atau dinding terbuka.

CANGKANG

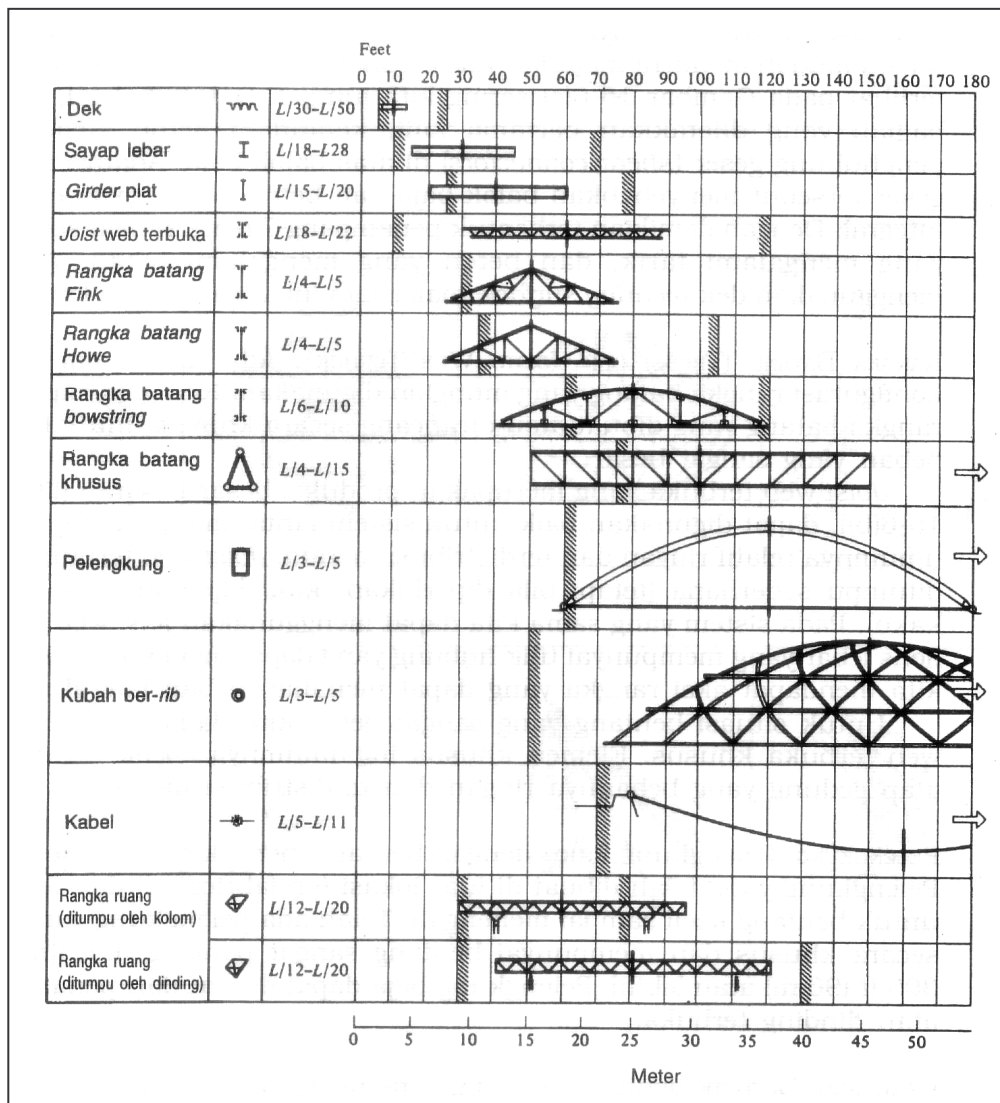
Banyak bentuk cangkang yang menggunakan baja. Masalah utama dalam penggunaan baja untuk memperoleh permukaan berkelengkungan ganda adalah memuat bentuk dari elemen-elemen garis. Pada kubah, misalnya, baik pendekatan dengan rusuk atau geodesik adalah mungkin. Dek baja ringan yang berdimensi kecil umumnya digunakan untuk membentuk permukaan terluarnya. Pada situasi bentang kecil, permukaan baja melengkung dapat dibuat dengan menekan lembaran baja secara khusus agar serupa dengan cara yang digunakan dalam membuat bentuk baja berkelengkungan tunggal maupun ganda pada badan mobil.

STRUKTUR KABEL

Baja adalah satu-satunya material yang dapat digunakan sebagai struktur kabel. Bentuk struktur kabel yang dapat dibuat tak hingga banyaknya. Kabel dapat digunakan untuk atap permanen yang permukaan penutupnya dapat berupa elemen rangka datar kaku atau permukaan membran.

UKURAN ELEMEN

Gambar 6.8 mengilustrasikan batas-batas perbandingan tinggi bentang untuk beberapa sistem struktur baja yang umum digunakan. Kolom baja struktural umumnya mempunyai perbandingan tebal-tinggi bervariasi antara 1 : 24 dan 1 : 9, yang tergantung pada beban dan tinggi kolom. Keseluruhan kemungkinan bentang yang dapat dicapai dari beberapa sistem terangkum dalam gambar 6.9.



Gambar 6.8. Perkiraan batas bentang untuk berbagai sistem baja

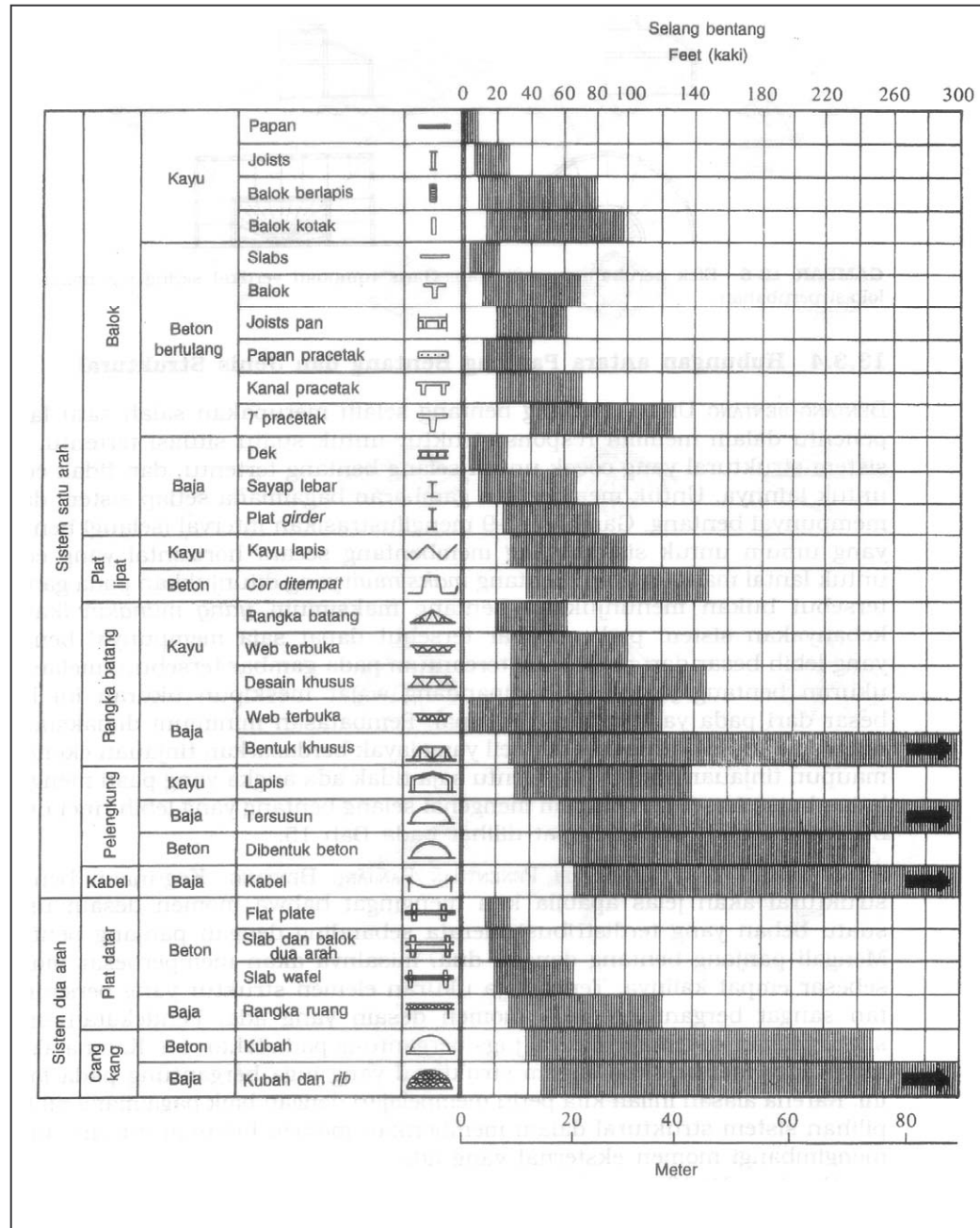
Sumber: Schodek, 1999

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya di ujung batang) dengan beberapa cara. Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las).

6.3.2. Jenis Alat Sambung Bukan Las

Jenis-jenis sambungan struktur baja yang digunakan adalah pengelasan serta sambungan yang menggunakan alat penyambung berupa paku keling

(*rivet*) dan baut. Baut kekuatan tinggi (*high strength bolt*) telah banyak menggantikan paku keling sebagai alat utama dalam sambungan struktural yang tidak dilas.



Gambar 6.9. Bentang yang dapat dicapai untuk beberapa sistem struktural

Sumber: Schodek, 1999

a) Baut kekuatan tinggi

Dua jenis utama baut kekuatan (mutu) tinggi ditunjukkan oleh ASTM sebagai A325 dan A490. Baut ini memiliki kepala segienam yang tebal dan digunakan dengan mur segienam yang setengah halus (*semifinished*) dan tebal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.10(b). Bagian berulirnya lebih pendek dari pada baut non-struktural, dan dapat dipotong atau digiling (*rolled*).

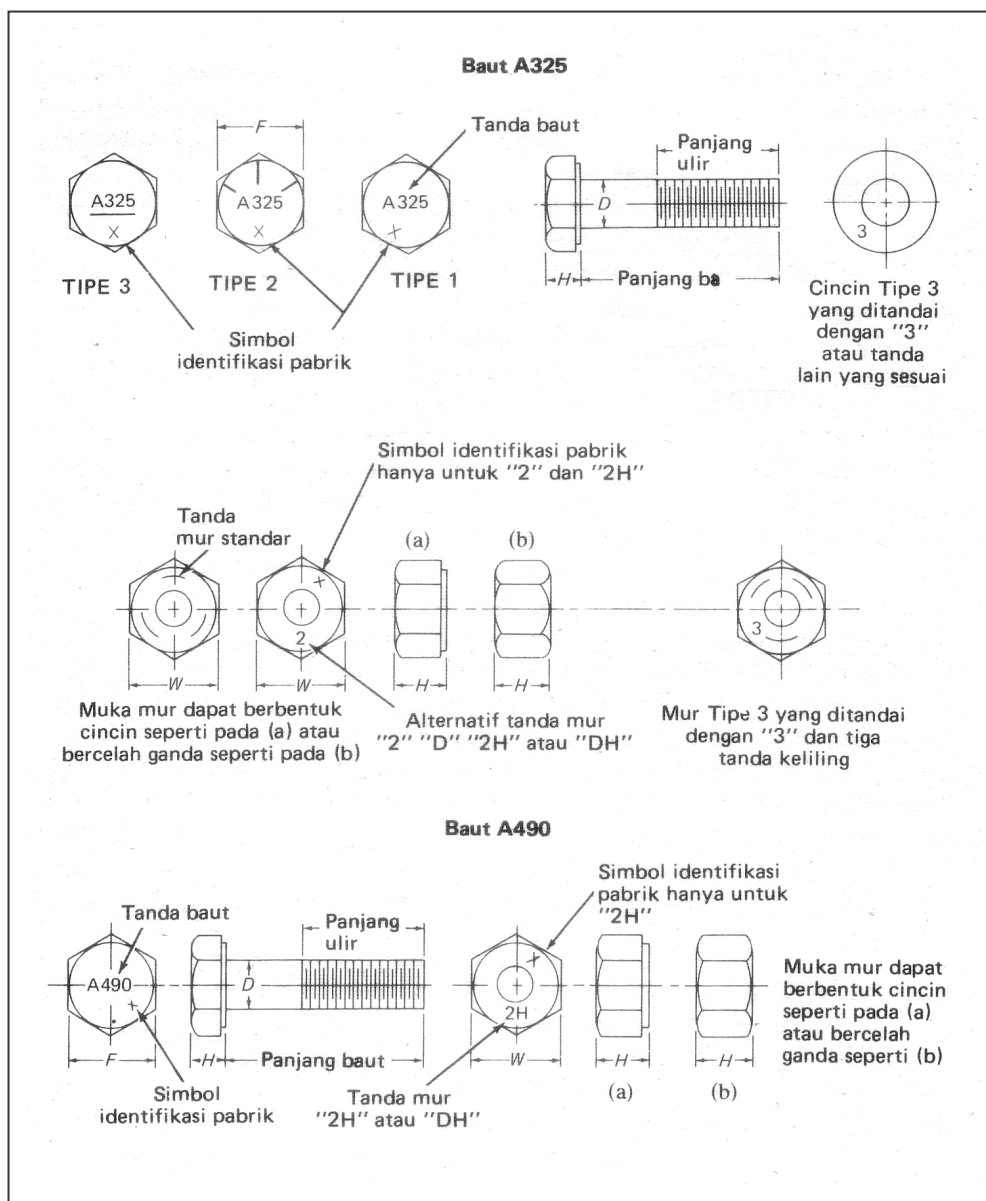
Baut A325 terbuat dari baja karbon sedang yang diberi perlakuan panas dengan kekuatan leleh sekitar 81 sampai 92 ksi (558 sampai 634 MPa) yang tergantung pada diameter. Baut A490 juga diberi perlakuan panas tetapi terbuat dari baja paduan (*alloy*) dengan kekuatan leleh sekitar 115 sampai 130 ksi (793 sampai 896 MPa) yang tergantung pada diameter. Baut A449 kadang-kadang digunakan bila diameter yang diperlukan berkisar dari 1/2 sampai 3 inci, dan juga untuk baut angkur serta batang bulat berulir. Diameter baut kekuatan tinggi berkisar antara 1/2 dan 1 1/2 inci (3 inci untuk A449). Diameter yang paling sering digunakan pada konstruksi gedung adalah 3/4 inci dan 7/8 inci, sedang ukuran yang paling umum dalam perencanaan jembatan adalah 7/8 inci dan 1 inci.

Baut kekuatan tinggi dikencangkan (*tightened*) untuk menimbulkan tegangan tarik yang ditetapkan pada baut sehingga terjadi gaya jepit (*klem/clamping force*) pada sambungan. Oleh karena itu, pemindahan beban kerja yang sesungguhnya pada sambungan terjadi akibat adanya gesekan (*friksi*) pada potongan yang disambung. Sambungan dengan baut kekuatan tinggi dapat direncanakan sebagai tipe geser (*friction type*), bila daya tahan gelincir (*slip*) yang tinggi dikehendaki; atau sebagai tipe tumpu (*bearing type*), bila daya tahan gelincir yang tinggi tidak dibutuhkan.

b) Paku keling

Sudah sejak lama paku keling diterima sebagai alat penyambung batang, tetapi beberapa tahun terakhir ini sudah jarang digunakan di Amerika. Paku keling dibuat dari baja batangan dan memiliki bentuk silinder dengan kepala di salah satu ujungnya. Baja paku keling adalah baja karbon sedang dengan identifikasi ASTM A502 Mutu 1 ($F_v = 28$ ksi) (1190 MPa) dan Mutu 2 ($F_y = 38$ ksi) (260 MPa), serta kekuatan leleh minimum yang ditetapkan didasarkan pada bahan baja batangan. Pembuatan dan pemasangan paku keling menimbulkan perubahan sifat mekanis.

Proses pemasangannya adalah pertama paku keling dipanasi hingga warnanya menjadi merah muda kemudian paku keling dimasukkan ke dalam lubang, dan kepalanya ditekan sambil mendesak ujung lainnya sehingga terbentuk kepala lain yang bulat. Selama proses ini, tangkai (*shank*) paku keling mengisi lubang (tempat paku dimasukkan) secara penuh atau hampir penuh, sehingga menghasilkan gaya jepit (*klem*). Namun, besarnya jepitan akibat pendinginan paku keling bervariasi dari satu paku keling ke lainnya, sehingga tidak dapat diperhitungkan dalam perencanaan. Paku keling juga dapat dipasang pada keadaan dingin tetapi akibatnya gaya jepit tidak terjadi karena paku tidak menyusut setelah dipasang.



Gambar 6.10. Baut dan spesifikasinya

Sumber: Salmon dkk, 1991

c) Baut Hitam

Baut ini dibuat dari baja karbon rendah yang diidentifikasi sebagai ASTM A307, dan merupakan jenis baut yang paling murah. Namun, baut ini belum tentu menghasilkan sambungan yang paling murah karena banyaknya jumlah baut yang dibutuhkan pada suatu sambungan. Pemakaiannya terutama pada struktur yang ringan, batang sekunder atau

pengaku, anjungan (*platform*), gording, rusuk dinding, rangka batang yang kecil dan lain-lain yang bebannya kecil dan bersifat statis. Baut ini juga dipakai sebagai alat penyambung sementara pada sambungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi, paku keling, atau las. Baut hitam (yang tidak dihaluskan) kadangkadang disebut baut biasa, mesin, atau kasar, serta kepala dan murnya dapat berbentuk bujur sangkar.

d) Baut Sekrup (*Turned Bolt*)

Baut yang secara praktis sudah ditinggalkan ini dibuat dengan mesin dari bahan berbentuk segienam dengan toleransi yang lebih kecil (sekitar 5'0 inci.) bila dibandingkan baut hitam. Jenis baut ini terutama digunakan bila sambungan memerlukan baut yang pas dengan lubang yang dibor, seperti pada bagian konstruksi paku keling yang terletak sedemikian rupa hingga penembakan paku keling yang baik sulit dilakukan. Kadang-kadang baut ini bermanfaat dalam mensejajarkan peralatan mesin dan batang struktural yang posisinya harus akurat. Saat itu baut sekrup jarang sekali digunakan pada sambungan struktural, karena baut kekuatan tinggi lebih baik dan lebih murah.

e) Baut Bersirip (*Ribbed Bolt*)

Baut ini terbuat dari baja paku keling biasa, dan berkepala bundar dengan tonjolan sirip-sirip yang sejajar tangkainya. Baut bersirip telah lama dipakai sebagai alternatif dari paku keling. Diameter yang sesungguhnya pada baut bersirip dengan ukuran tertentu sedikit lebih besar dari lubang tempat baut tersebut. Dalam pemasangan baut bersirip, baut memotong tepi keliling lubang sehingga diperoleh cengkaman yang relatif erat. Jenis baut ini terutama bermanfaat pada sambungan tumpu (*bearing*) dan pada sambungan yang mengalami tegangan berganti (bolak-balik).

Variasi dari baut bersirip adalah baut dengan tangkai bergerigi (*interference-body bolt*.) yang terbuat dari baja baut A325. Sebagai pengganti sirip longitudinal, baut ini memiliki gerigi keliling dan sirip sejajar tangkainya. Karena gerigi sekeliling tangkai memotong sirip sejajar, baut ini kadang-kadang disebut baut bersirip terputus (*interrupted-rib*). Baut bersirip sukar dipasang pada sambungan yang terdiri dari beberapa lapis pelat. Baut kekuatan tinggi A325 dengan tangkai bergerigi yang sekarang juga sukar dimasukkan ke lubang yang melalui sejumlah plat; namun, baut ini digunakan bila hendak memperoleh baut yang harus mencengkram erat pada lubangnya. Selain itu, pada saat pengencangan mur, kepala baut tidak perlu dipegang seperti yang umumnya dilakukan pada baut A325 biasa yang polos.

6.3.3. Sistem Sambungan Baut

Jenis baut yang dapat digunakan untuk struktur bangunan sesuai SNI 03 - 1729 - 2002 TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG adalah baut yang jenisnya ditentukan dalam SII (0589-81, 0647-91 dan 0780-83, SII 0781-83) atau SNI (0541-89-A, 0571-89-A, dan 0661-89-A) yang sesuai, atau penggantinya.

Baut yang digunakan pada sambungan struktural, baik baut A325 maupun baut A490 merupakan baut berkepala segi enam yang tebal. Keduanya memiliki mur segi enam tebal yang diberi tanda standar dan simbol pabrik pada salah satu mukanya. Bagian berulir baut dengan kepala segienam lebih pendek dari pada baut standar yang lain; keadaan ini memperkecil kemungkinan adanya ulir pada tangkai baut yang memerlukan kekuatan maksimum.

a) Beban leleh dan penarikan baut

Syarat utama dalam pemasangan baut kekuatan tinggi ialah memberikan gaya pratarik (*pretension*) yang memadai. Gaya pratarik harus sebesar mungkin dan tidak menimbulkan deformasi permanen atau kehancuran baut. Bahan baut menunjukkan kelakuan tegangan-regangan (beban-deformasi) yang tidak memiliki titik leleh yang jelas. Sebagai pengganti tegangan leleh, istilah beban leleh (beban tarik awal/*proof load*) akan digunakan untuk baut. Beban leleh adalah beban yang diperoleh dari perkalian luas tegangan tarik dan tegangan leleh yang ditentukan berdasarkan regangan tetap (*offset strain*) 0,2% atau perpanjangan 0,5% akibat beban. Tegangan beban leleh untuk baut A325 dan A490 masing-masing minimal sekitar 70% dan 80% dari kekuatan tarik maksimumnya.

Tabel 6.2. Beban tarikan minimum baut

Sumber: Salmon dkk, 1991

<i>Ukuran Baut</i>		<i>Baut A325</i>		<i>Baut A490</i>	
<i>(inci)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(kip)</i>	<i>(kN)</i>	<i>(kip)</i>	<i>(kN)</i>
1/2	12,7	12	53	15	67
5/8	15,9	19	85	24	107
3/4	19,1	28	125	35	156
7/8	22,2	39	173	49	218
1	25,4	51	227	64	285
1 1/8	28,6	56	249	80	356
1 1/4	31,8	71	316	102	454
1 3/8	34,9	85	378	121	538
1 1/2	38,1	103	458	148	658

b) Teknik pemasangan

Tiga teknik yang umum untuk memperoleh pratarik yang dibutuhkan adalah metode kunci yang dikalibrasi (*calibrated wrench*), metode putaran mur (*turn-of the nut*), dan metode indikator tarikan langsung (*direct tension indicator*).

Metode kunci yang dikalibrasi dapat dilakukan dengan kunci puntir manual (kunci Inggris) atau kunci otomatis yang diatur agar berhenti pada harga puntir yang ditetapkan. Secara umum, masing-masing proses

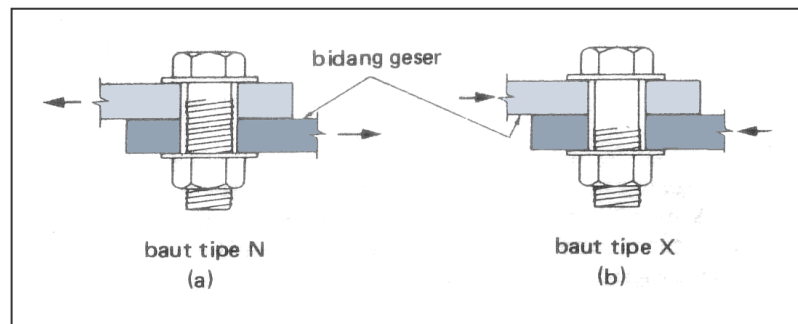
pemasangan memerlukan minimum 2 1/4 putaran dari titik erat untuk mematahkan baut. Bila metoda putaran mur digunakan dan baut ditarik secara bertahap dengan kelipatan 1/8 putaran, baut biasanya akan patah setelah empat putaran dari titik erat. Metode putaran mur merupakan metode yang termurah, lebih handal, dan umumnya lebih disukai.

Metode ketiga yang paling baru untuk menarik baut adalah metode indikator tarikan langsung. Alat yang dipakai adalah cincin pengencang dengan sejumlah tonjolan pada salah satu mukanya. Cincin dimasukkan di antara kepala baut dan bahan yang digenggam, dengan bagian tonjolan menumpu pada sisi bawah kepala baut sehingga terdapat celah akibat tonjolan tersebut. Pada saat baut dikencangkan, tonjolan-tonjolan tertekan dan memendek sehingga celahnya mengecil. Tarikan baut ditentukan dengan mengukur lebar celah yang ada.

c) Perancangan sambungan baut

Sambungan-sambungan yang dibuat dengan baut tegangan tinggi digolongkan menjadi:

- Jenis sambungan gesekan
- Jenis sambungan penahan beban dengan uliran baut termasuk dalam bidang geseran [Gambar 6.11(a)]
- Jenis sambungan penahan beban dengan uliran baut tidak termasuk dalam bidang geseran [Gambar 6.11(b)]



Gambar 6.11. Jenis sambungan-sambungan baut

Sumber: Salmon dkk, 1991

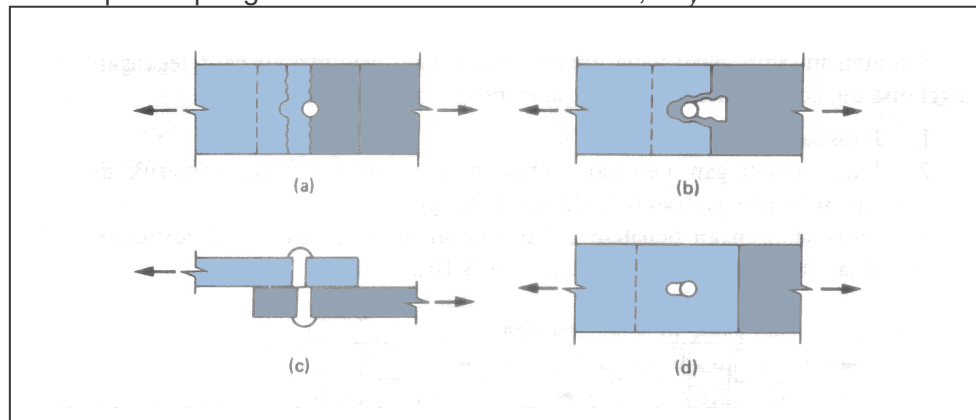
Sambungan-sambungan baut (tipe N atau X) atau paku keling bisa mengalami keruntuhan dalam empat cara yang berbeda.

- Pertama, batang-batang yang disambung akan mengalami keruntuhan melalui satu atau lebih lubang-lubang alat penyambungan akibat bekerjanya gaya tarik (lihat Gambar 6.12a).
- Kedua, apabila lubang-lubang dibor terlalu dekat pada tepi batang tarik, maka baja di belakang alat penyambung akan meletih akibat geseran (lihat Gambar 6.12b).
- Ketiga, alat penyambung sendiri mengalami keruntuhan akibat bekerjanya geseran (Gambar 6.12.c).

- Keempat, satu-satu atau lebih batang tarik mengalami keruntuhan karena tidak dapat menahan gaya-gaya yang disalurkan oleh alat-alat penyambung (Gambar 6.12d).

Untuk mencegah terjadinya keruntuhan maka baik sambungan maupun batang-batang yang disambung harus direncanakan supaya dapat mengatasi keempat jenis keruntuhan yang dikemukakan di atas.

- Pertama, untuk menjamin tidak terjadinya keruntuhan pada bagian-bagian yang disambung, bagian-bagian tersebut harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga tegangan tarik yang bekerja pada penampang bruto lebih kecil dari $0,6 F_y$, dan yang bekerja pada penampang efektif netto lebih kecil dari $0,5 F_y$.



Gambar 6.12. Jenis sambungan

Sumber: Salmon dkk , 1991

- Kedua, untuk mencegah robeknya baja yang terletak di belakang alat penyambung, maka jarak minimum dari pusat lubang alat penyambung ke tepi batang dalam arah yang sama dengan arah gaya tidak boleh kurang dari $2 P / F_u t$. Di sini P adalah gaya yang ditahan oleh alat penyambung, dan t adalah tebal kritis dari bagian yang disambung.
- Ketiga, untuk menjamin supaya alat penyambung tidak runtuh akibat geseran, maka jumlah alat penyambung harus ditentukan sesuai dengan peraturan, supaya dapat membatasi tegangan geser maksimum yang terjadi pada bagian alat penyambung yang kritis.
- Keempat, untuk mencegah terjadinya kehancuran pada bagian yang disambung akibat penyaluran gaya dari alat penyambung ke batang maka harus ditentukan jumlah minimum alat penyambung yang dapat mencegah terjadinya kehancuran tersebut.

6.3.4. Sambungan las

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan dua potong logam dengan pemanasan sampai keadaan plastis atau cair, dengan atau tanpa tekanan. "Pengelasan" dalam bentuk paling sederhana telah dikenal

dan digunakan sejak beberapa ribu tahun yang lalu. Para ahli sejarah memperkirakan bahwa orang Mesir kuno mulai menggunakan pengelasan dengan tekanan pada tahun 5500 sebelum masehi (SM), untuk membuat pipa tembaga dengan memalu lembaran yang tepinya saling menutup. Disebutkan bahwa benda seni orang Mesir yang dibuat pada tahun 3000 SM terdiri dari bahan dasar tembaga dan emas hasil peleburan dan pemukulan. Jenis pengelasan ini, yang disebut pengelasan tempa (*forge welding*), merupakan usaha manusia yang pertama dalam menyambung dua potong logam. Dewasa ini pengelasan tempa secara praktis telah ditinggalkan dan terakhir dilakukan oleh pandai besi. Pengelasan yang kita lihat sekarang ini jauh lebih kompleks dan sudah sangat berkembang.

Asal mula pengelasan tahanan listrik (*resistance welding*) dimulai sekitar tahun 1877 ketika Profesor Elihu Thompson memulai percobaan pembalikan polaritas pada gulungan transformator. Dia mendapat hak paten pertamanya pada tahun 1885 dan mesin las tumpul tahanan listrik (*resistance butt welding*) pertama diperagakan di American Institute Fair pada tahun 1887. Pada tahun 1889, Coffin diberi hak paten untuk pengelasan tumpul nyala partikel (*flash-butt welding*) yang menjadi salah satu proses las tumpul yang penting.

Zerner pada tahun 1885 memperkenalkan proses las busur nyala karbon (*carbon arc welding*) dengan menggunakan dua elektroda karbon. Pada tahun 1888, N.G. Slavinoff di Rusia merupakan orang pertama yang menggunakan proses busur nyala logam dengan memakai elektroda telanjang (tanpa lapisan). Coffin yang bekerja secara terpisah juga menyelidiki proses busur nyala logam dan mendapat hak Paten Amerika dalam 1892. Pada tahun 1889, A.P. Strohmeyer memperkenalkan konsep elektroda logam yang dilapis untuk menghilangkan banyak masalah yang timbul pada pemakaian elektroda telanjang.

Thomas Fletcher pada tahun 1887 memakai pipa tiup hidrogen dan oksigen yang terbakar, serta menunjukkan bahwa ia dapat memotong atau mencairkan logam. Pada tahun 1901-1903 Fouche dan Picard mengembangkan tangkai las yang dapat digunakan dengan asetilen (gas karbit), sehingga sejak itu dimulailah zaman pengelasan dan pemotongan oksiasetilen (gas karbit oksigen).

Setelah 1919, pemakaian las sebagai teknik konstruksi dan fabrikasi mulai berkembang dengan pertama menggunakan elektroda paduan (*alloy*) tembaga-wolfram untuk pengelasan titik pada tahun 1920. Pada periode 1930-1950 terjadi banyak peningkatan dalam perkembangan mesin las. Proses pengelasan busur nyala terbenam (*submerged*) yang busur nyalanya tertutup di bawah bubuk fluks pertama dipakai secara komersial pada tahun 1934 dan dipatenkan pada tahun 1935. Sekarang terdapat lebih dari 50 macam proses pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambung pelbagai logam dan paduan.

a) Proses dasar

Menurut Welding Handbook, proses pengelasan adalah "proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanaskannya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi." ;

Energi pembangkit panas dapat dibedakan menurut sumbernya: listrik, kimiawi, optis, mekanis, dan bahan semikonduktor. Panas digunakan untuk mencairkan logam dasar dan bahan pengisi agar terjadi aliran bahan (atau terjadi peleburan). Selain itu, panas dipakai untuk menaikkan daktilitas (*ductility*) sehingga aliran plastis dapat terjadi walaupun jika bahan tidak mencair; lebih jauh lagi, pemanasan membantu penghilangan kotoran pada bahan.

Proses pengelasan yang paling umum, terutama untuk mengelas baja struktural yang memakai energi listrik sebagai sumber panas; dan paling banyak digunakan adalah busur listrik (nyala). **Busur nyala** adalah pancaran arus listrik yang relatif besar antara elektroda dan bahan dasar yang dialirkan melalui kolom gas ion hasil pemanasan. Kolom gas ini disebut plasma. Pada pengelasan busur nyala, peleburan terjadi akibat aliran bahan yang melintasi busur dengan tanpa diberi tekanan.

Proses lain (yang jarang dipakai untuk struktur baja) menggunakan sumber energi yang lain, dan beberapa proses ini menggunakan tekanan tanpa memandang ada atau tidak adanya pencairan bahan. Pelekatan (*bonding*) dapat juga terjadi akibat difusi. Dalam proses difusi, partikel seperti atom di sekitar pertemuan saling bercampur dan bahan dasar tidak mencair.

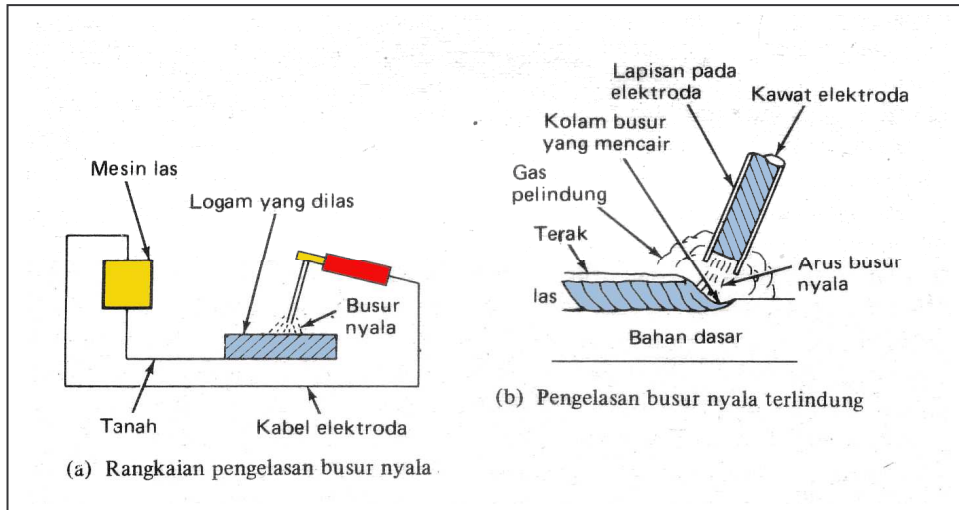
b) Pengelasan Busur Nyala Logam Terlindung (SMAW)

Pengelasan busur nyala logam terlindung (*Shielded metal arc welding*) merupakan salah satu jenis yang paling sederhana dan paling canggih untuk pengelasan baja struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik (nyala) antara elektroda yang dilapis dan bahan yang akan disambung. Rangkaian pengelasan diperlihatkan pada Gambar 6.13.

Elektroda yang dilapis akan habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke bahan dasar selama proses pengelasan. Kawat elektroda (kawat las) menjadi bahan pengisi dan lapisannya sebagian dikonversi menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak (*slag*), dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti senyawa flour, karbonat, oksida, paduan logam, dan selulosa. Campuran ini ditekan dari acuan dan dipanasi hingga diperoleh lapisan konsentris kering yang keras.

Pemindahan logam dari elektroda ke bahan yang dilas terjadi karena penarikan molekul dan tarikan permukaan tanpa pemberian tekanan. Perlindungan busur nyala mencegah kontaminasi atmosfer pada cairan logam dalam arus busur dan kolam busur, sehingga tidak terjadi penarikan

nitrogen dan oksigen serta pembentukan nitrit dan oksida yang dapat mengakibatkan kegetasan.



Gambar 6.13. Pengelasan Busur Nyala Logam Terlindung (SMAW)

Sumber: Salmon dkk, 1991

Lapisan elektroda berfungsi sebagai berikut:

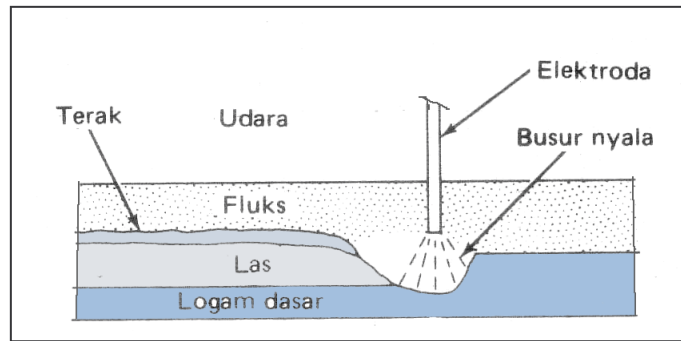
- Menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil.
- Memberikan bahan lain, seperti unsur pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las.
- Menghasilkan lapisan terak di atas kolam yang mencair dan memadatkan las untuk melindunginya dari oksigen dan nitrogen dalam udara, serta juga memperlambat pendinginan.

c) Pengelasan Busur Nyala Terbenam (SAW)

Pada proses SAW (*Submerged Arc Welding*), busurnya tidak terlihat karena tertutup oleh lapisan bahan granular (berbentuk butiran) yang dapat melebur (lihat Gambar 6.14). Elektroda logam telanjang akan habis karena ditimbun sebagai bahan pengisi. Ujung elektroda terus terlindung oleh cairan fluks yang berada di bawah lapisan fluks granular yang tak melebur.

Fluks, yang merupakan ciri khas dari metode ini, memberikan penutup sehingga pengelasan tidak menimbulkan kotoran, percikan api, atau asap. Fluks granular biasanya terletak secara otomatis sepanjang kampuh (*seam*) di muka lintasan gerak elektroda. Fluks melindungi kolam las dari atmosfer, berlaku sebagai pembersih logam las, dan mengubah komposisi kimia dari logam las.

Las yang dibuat dengan proses busur nyala terbenam memiliki mutu yang tinggi dan merata, daktilitas yang baik, kekuatan kejutan (*impact*) yang tinggi, kerapatan yang tinggi dan tahan karat yang baik. Sifat mekanis las ini sama baiknya seperti bahan dasar.



Gambar 6.14. Pengelasan Busur Nyala Terbenam (SAW)

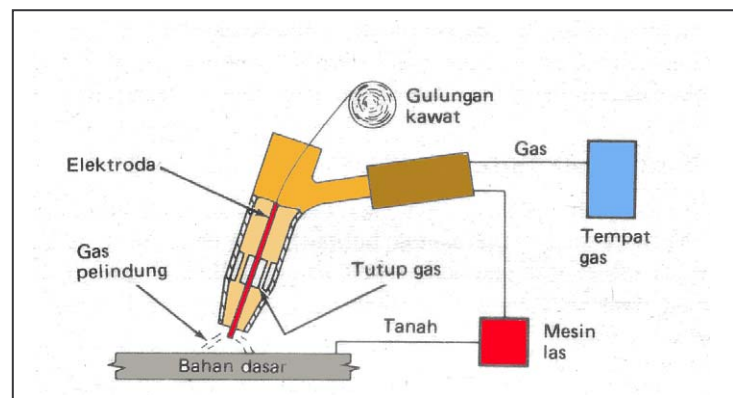
Sumber: Salmon dkk, 1991

d) Pengelasan Busur Nyala Logam Gas (GMAW)

Pada proses GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), elektrodanya adalah kawat menerus dari 1 gulungan yang disalurkan melalui pemegang elektroda (alat yang berbentuk pistol seperti pada Gambar 6.15). Perlindungan dihasilkan seluruhnya dari gas atau campuran gas yang diberikan dari luar.

Mula-mula metode ini dipakai hanya dengan perlindungan gas mulia (tidak reaktif) sehingga disebut MIG (*Metal Inert Gas*/gas logam mulia). Gas yang reaktif biasanya tidak praktis, kecuali CO₂ (karbon dioksida). Gas CO₂, baik CO₂ saja atau dalam campuran dengan gas mulia, banyak digunakan dalam pengelasan baja.

Argon sebenarnya dapat digunakan sebagai gas pelindung untuk pengelasan semua logam, namun, gas ini tidak dianjurkan untuk baja karena mahal serta kenyataan bahwa gas pelindung dan campuran gas lain dapat digunakan. Untuk pengelasan baja karbon dan beberapa baja paduan rendah baik (1) 75% argon dan 25% CO, ataupun (2) 100% CO₂ lebih dianjurkan [10]. Untuk baja paduan rendah yang ketiutannya (*toughness*) penting, Pustaka [10] menyarankan pemakaian campuran dari 60-70% helium, 25-30% argon, dan 4-5% CO₂.



Gambar 6.15. Pengelasan Busur Nyala Logam Gas (GMAW)

Sumber: Salmon dkk, 1991

Selain melindungi logam yang meleleh dari atmosfer, gas pelindung mempunyai fungsi sebagai berikut.

- Mengontrol karakteristik busur nyala dan perindahan logam.
- Mempengaruhi penetrasi, lebar peleburan, dan bentuk daerah las.
- Mempengaruhi kecepatan pengelasan.
- Mengontrol peleburan berlebihan (*undercutting*).

Pencampuran gas mulia dan gas reaktif membuat busur nyala lebih stabil dan kotoran selama perindahan logam lebih sedikit. Pemakaian CO₂ saja untuk pengelasan baja merupakan prosedur termurah karena rendahnya biaya untuk gas pelindung, tingginya kecepatan pengelasan, lebih baiknya penetrasi sambungan, dan baiknya sifat mekanis timbunan las. Satu-satunya kerugian ialah pemakaian CO₂ menimbulkan kekasaran dan kotoran yang banyak.

e) Pengelasan Busur Nyala Berinti Fluks (FCAW)

Proses FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) sama seperti GMAW tetapi elektroda logam pengisi yang menerus berbentuk tubular (seperti pipa) dan mengandung bahan fluks dalam intinya. Bahan inti ini sama fungsinya seperti lapisan pada SMAW atau fluks granular pada SAW. Untuk kawat yang diberikan secara menerus, lapisan luar tidak akan tetap lekat pada kawat. Gas pelindung dihasilkan oleh inti fluks tetapi biasanya diberi gas pelindung tambahan dengan gas CO₂.

f) Pengelasan-Terak Listrik (ESW)

Proses ESW (*Electroslag Welding*) merupakan proses mesin yang digunakan terutama untuk pengelasan dalam posisi vertikal. Ini biasanya dipakai untuk memperoleh las lintasan tunggal (satu kali jalan) seperti untuk sambungan pada penampang kolom yang besar. Logam las ditumpukan ke dalam alur yang dibentuk oleh tepi plat yang terpisah dan "sepatu" (alas) yang didinginkan dengan air. Terak cair yang konduktif melindungi las serta mencairkan bahan pengisi dan tepi plat. Karena terak padat tidak konduktif, busur nyala diperlukan untuk mengawali proses dengan mencairkan terak dan memanaskan plat.

Busur nyala dapat dihentikan setelah proses berjalan dengan baik. Selanjutnya, pengelasan dilakukan oleh panas yang ditimbulkan melalui tahanan terak terhadap aliran arus listrik. Karena pemanasan akibat tahanan digunakan untuk seluruh proses kecuali sumber panas mula-mula, proses SAW sebenarnya bukan merupakan proses pengelasan busur nyala.

g) Pengelasan Stud

Proses yang paling umum digunakan dalam pengelasan *stud* (baut tanpa ulir) ke bahan dasar disebut pengelasan stud busur nyala (*arc stud welding*). Proses ini bersifat otomatis tetapi karakteristiknya sama seperti proses SMAW. *Stud* berlaku sebagai elektroda, dan busur listrik timbul dari ujung *stud* ke plat. *Stud* dipegang oleh penembak yang mengontrol waktu selama proses. Perlindungan dilakukan dengan meletakkan cincin keramik di sekeliling ujung *stud* pada penembak. Penembak diletakkan dalam

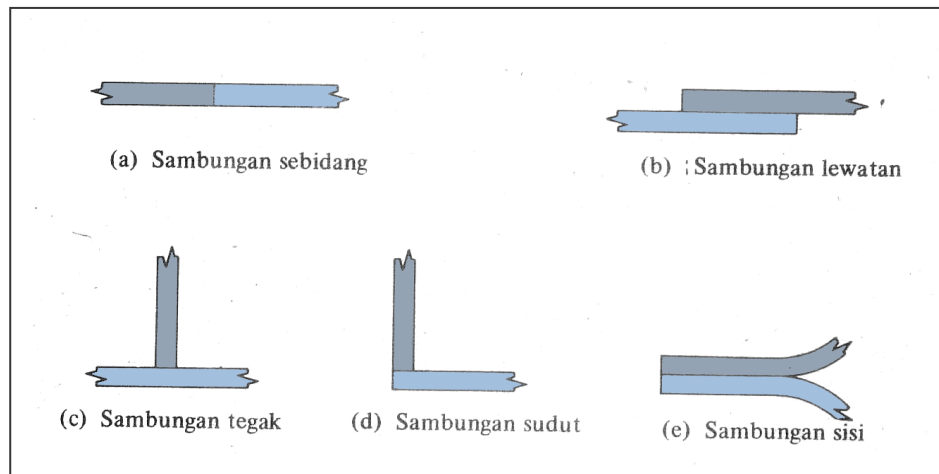
posisinya dan busur ditimbulkan pada saat cincin keramik berisi logam cair. Setelah beberapa saat, penembak mendorong *stud* ke kolam yang mencair dan akhirnya terbentuk las sudut (*fillet weld*) keel di sekeliling *stud*. Penetrasi sempurna di seluruh penampang lintang *stud* diperoleh dan pengelasan biasanya selesai dalam waktu kurang dari satu detik.

6.3.5. Kemampuan dilas dari baja struktural

Kebanyakan baja konstruksi dalam spesifikasi ASTM dapat dilas tanpa prosedur khusus atau perlakuan khusus. Kemampuan dapat dilas (*weldability*) dari baja adalah ukuran kemudahan menghasilkan sambungan struktural yang teguh tanpa retak. Beberapa baja struktural lebih sesuai dilas dari pada yang lain. Prosedur pengelasan sebaiknya didasarkan pada kimiawi baja bukan pada kandungan paduan maksimum yang ditetapkan, karena kebanyakan hasil pabrik berada di bawah batas paduan maksimum yang ditentukan oleh spesifikasinya.

6.3.6. Jenis sambungan las

Jenis sambungan tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran dan profil batang yang bertemu di sambungan, jenis pembebanan, besarnya luas sambungan yang tersedia untuk pengelasan, dan biaya relatif dari berbagai jenis las. Sambungan las terdiri dari lima jenis dasar dengan berbagai macam variasi dan kombinasi yang banyak jumlahnya. Kelima jenis dasar ini adalah sambungan sebidang (*butt*), lewatan (*lap*), tegak (T), sudut, dan sisi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.16.



Gambar 6.16. Pengelasan Busur Nyala

Sumber: Salmon dkk, 1991

♦ Sambungan Sebidang

Sambungan sebidang dipakai terutama untuk menyambung ujung-ujung plat datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama. Keuntungan utama jenis sambungan ini ialah menghilangkan eksentrisitas yang timbul pada sambungan lewatan tunggal seperti

dalam Gambar 6.16(b). Bila digunakan bersama dengan las tumpul penetrasi sempurna (*full penetration groove weld*), sambungan sebidang menghasilkan ukuran sambungan minimum dan biasanya lebih estetik dari pada sambungan bersusun. Kerugian utamanya ialah ujung yang akan disambung biasanya harus disiapkan secara khusus (diratakan atau dimiringkan) dan dipertemukan secara hati-hati sebelum dilas. Hanya sedikit penyesuaian dapat dilakukan, dan potongan yang akan disambung harus diperinci dan dibuat secara teliti. Akibatnya, kebanyakan sambungan sebidang dibuat di bengkel yang dapat mengontrol proses pengelasan dengan akurat.

♦ Sambungan Lewatan

Sambungan lewatan pada Gambar 6.17 merupakan jenis yang paling umum. Sambungan ini mempunyai dua keuntungan utama:

- Mudah disesuaikan.
Potongan yang akan disambung tidak memerlukan ketepatan dalam pembuatannya bila dibanding dengan jenis sambungan lain. Potongan tersebut dapat digeser untuk mengakomodasi kesalahan kecil dalam pembuatan atau untuk penyesuaian panjang.
- Mudah disambung.
Tepi potongan yang akan disambung tidak memerlukan persiapan khusus dan biasanya dipotong dengan nyala (api) atau geseran. Sambungan lewatan menggunakan las sudut sehingga sesuai baik untuk pengelasan di bengkel maupun di lapangan. Potongan yang akan disambung dalam banyak hal hanya dijepit (diklem) tanpa menggunakan alat pemegang khusus. Kadang-kadang potongan-potongan diletakkan ke posisinya dengan beberapa baut pemasangan yang dapat ditinggalkan atau dibuka kembali setelah dilas.
- Keuntungan lain sambungan lewatan adalah mudah digunakan untuk menyambung plat yang tebalnya berlainan.

♦ Sambungan Tegak

Jenis sambungan ini dipakai untuk membuat penampang bentukan (*built-up*) seperti profil T, profil I, gelagar plat (*plat girder*), pengaku tumpuan atau penguat samping (*bearing stiffener*), penggantung, konsol (*bracket*). Umumnya potongan yang disambung membentuk sudut tegak lurus seperti pada Gambar 6.16(c). Jenis sambungan ini terutama bermanfaat dalam pembuatan penampang yang dibentuk dari plat datar yang disambung dengan las sudut maupun las tumpul.

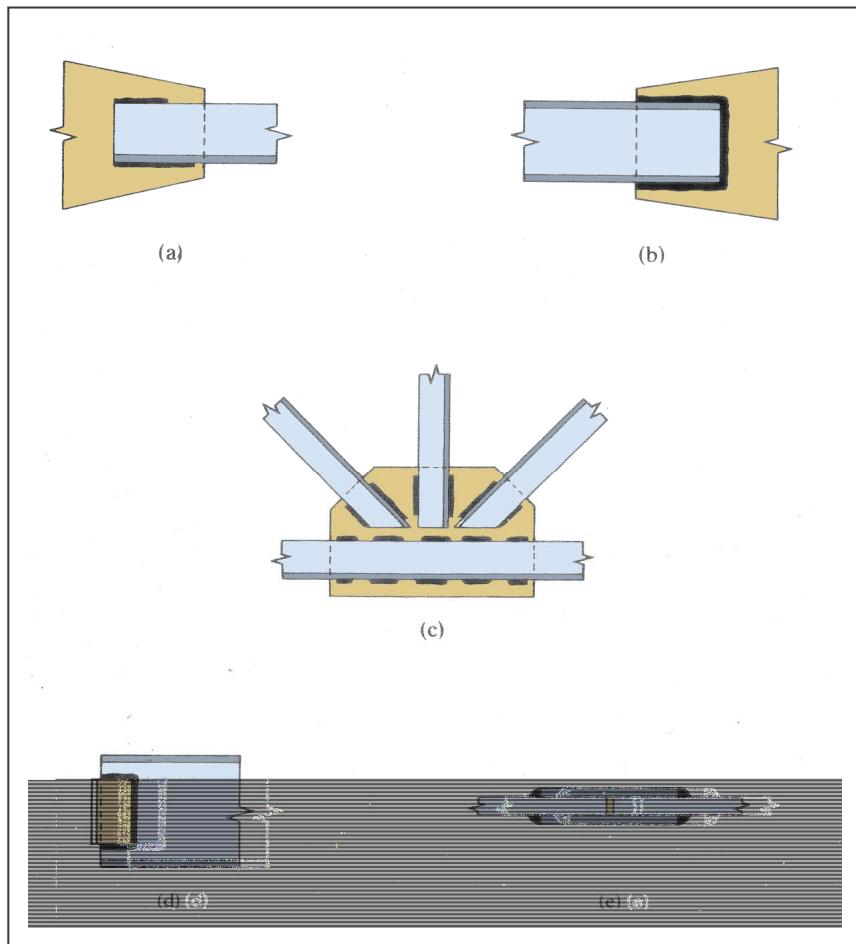
♦ Sambungan Sudut

Sambungan sudut dipakai terutama untuk membuat penampang berbentuk boks segi empat seperti yang digunakan untuk kolom dan balok yang memikul momen puntir yang besar.

♦ Sambungan Sisi

Sambungan sisi umumnya tidak struktural tetapi paling sering dipakai untuk menjaga agar dua atau lebih plat tetap pada bidang tertentu atau untuk mempertahankan kesejajaran (*alignment*) awal.

Seperti yang dapat disimpulkan dari pembahasan di muka, variasi dan kombinasi kelima jenis sambungan las dasar sebenarnya sangat banyak. Karena biasanya terdapat lebih dari satu cara untuk menyambung sebuah batang struktural dengan lainnya, perencana harus dapat memilih sambungan (atau kombinasi sambungan) terbaik dalam setiap persoalan.



Gambar 6.17. Contoh sambungan lewatan

Sumber: Salmon dkk, 1991

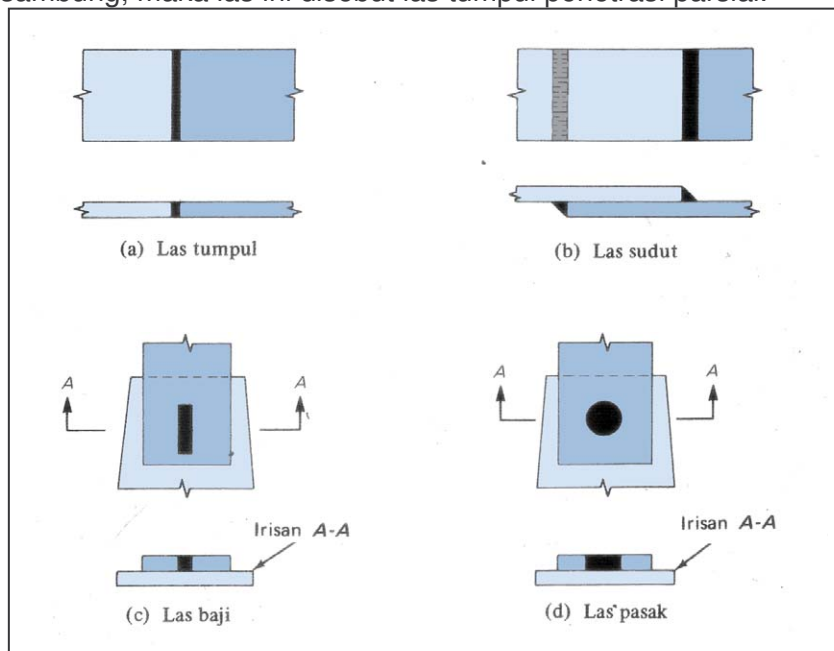
6.3.7. Jenis las

Jenis las yang umum adalah las tumpul, sudut, baji (*slot*), dan pasak (*plug*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.18. Setiap jenis las memiliki keuntungan tersendiri yang menentukan jangkauan penia-kaiannya. Secara

kasar, persentase pemakaian keempat jenis tersebut untuk konstruksi las adalah sebagai berikut: las tumpul, 15%; las sudut, 80%; dan sisanya 5% terdiri dari las baji, las pasak dan las khusus lainnya.

♦ Las Tumpul

Las tumpul (*groove weld*) terutama dipakai untuk menyambung batang struktural yang bertemu dalam satu bidang. Karena las tumpul biasanya ditujukan untuk menyalurkan semua beban batang yang disambungnya, las ini harus memiliki kekuatan yang sama seperti potongan yang disambungnya. Las tumpul seperti ini disebut las tumpul penetrasi sempurna. Bila sambungan direncanakan sedemikian rupa hingga las tumpul tidak diberikan sepanjang ketebalan potongan yang disambung, maka las ini disebut las tumpul penetrasi parsial.



Gambar 6.18. Jenis las

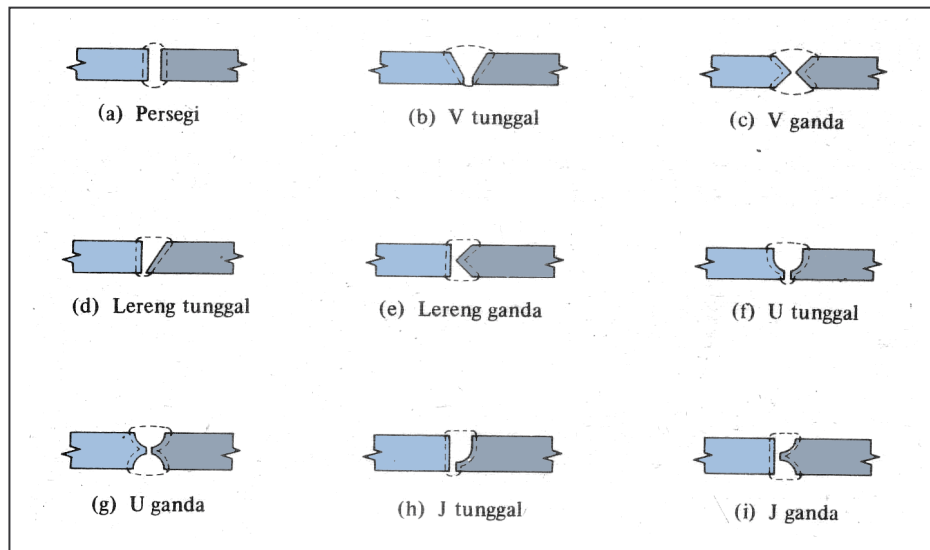
Sumber: Salmon dkk, 1991

Banyak variasi las tumpul dapat dibuat dan masing-masing dibedakan menurut bentuknya. Las tumpul umumnya memerlukan penyiapan tepi tertentu dan disebut menurut jenis penyiapan yang dilakukan. Gambar 6.19 memperlihatkan jenis las tumpul yang umum dan menunjukkan penyiapan alur yang diperlukan. Pemilihan las tumpul yang sesuai tergantung pada proses pengelasan yang digunakan, biaya penyiapan tepi, dan biaya pembuatan las. Las tumpul juga dapat dipakai pada sambungan tegak.

♦ Las Sudut

Las sudut bersifat ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat, dan mampu beradaptasi, serta merupakan jenis las yang paling banyak

dipakai dibandingkan jenis las dasar yang lain. Beberapa pemakaian las sudut diperlihatkan pada Gambar 6.20. Las ini umumnya memerlukan lebih sedikit presisi dalam pemasangan karena potongannya saling bertumpang (*overlap*), sedang las tumpul memerlukan kesejajaran yang tepat dan alur tertentu antara potongan. Las sudut terutama menguntungkan untuk pengelasan di lapangan, dan untuk menyesuaikan kembali batang atau sambungan yang difabrikasi dengan toleransi tertentu tetapi tidak cocok dengan yang dikehendaki. Selain itu, tepi potongan yang disambung jarang memerlukan penyiapan khusus, seperti pemiringan (*beveling*), atau penegakan, karena kondisi tepi dari proses pemotongan nyala (*flame cutting*) atau pemotongan geser umumnya memadai.



Gambar 6.19. Jenis las tumpul

Sumber: Salmon dkk, 1991

♦ Las Baji dan Pasak

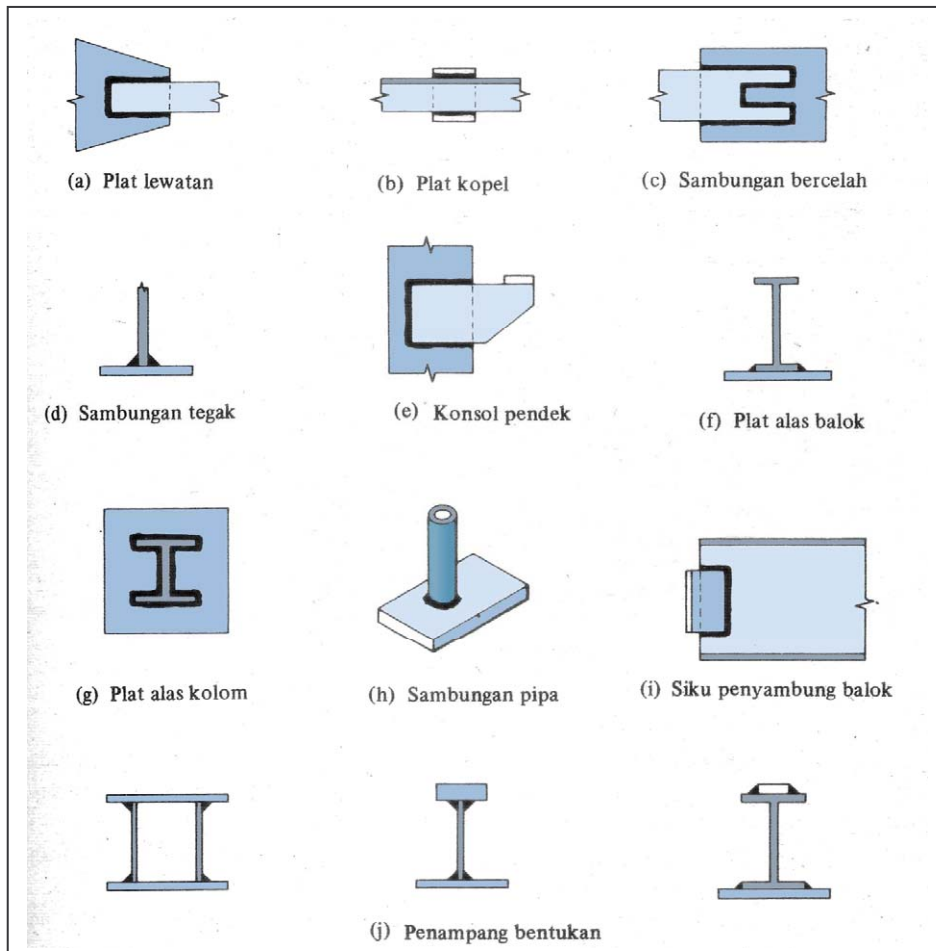
Las baji dan pasak dapat dipakai secara tersendiri pada sambungan seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.21(c) dan (d), atau dipakai bersama-sama dengan las sudut seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9.34. Manfaat utama las baji dan pasak ialah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatkan bila ukuran sambungan membatasi panjang yang tersedia untuk las sudut atau las sisi lainnya. Las baji dan pasak juga berguna untuk mencegah terjadinya tekuk pada bagian yang saling bertumpang.

6.3.8. Faktor yang mempengaruhi mutu sambungan las

Untuk memperoleh sambungan las yang memuaskan, gabungan dari banyak keahlian individu diperlukan, mulai dari perencanaan las sampai operasi pengelasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas sambungan las

♦ **Elektroda yang sesuai, alat las, dan prosedur**

Ukuran elektroda dipilih berdasarkan ukuran las yang akan dibuat dan arus listrik yang dihasilkan oleh alat las. Karena umumnya mesin las mempunyai pengatur untuk memperkecil arus listrik, elektroda yang lebih kecil dari kemampuan maksimum mudah diakomodasi dan sebaiknya digunakan. Oleh karena penimbunan logam las pada pengelasan busur nyala terjadi akibat medan elektromagnetis dan bukan akibat gravitasi, pengelasan tidak harus dilakukan pada posisi tidur atau horisontal. Empat posisi pengelasan utama diperlihatkan pada Gambar 6.22. Sebaiknya dihindari (bila mungkin) posisi menghadap ke atas karena merupakan posisi yang paling sulit. Sambungan yang dilas di bengkel biasanya diletakkan pada posisi tidur atau horisontal, tetapi las lapangan dapat sembarang posisi pengelasan yang tergantung pada orientasi sambungan. Posisi pengelasan untuk las lapangan sebaiknya diperhatikan dengan teliti oleh perencana.



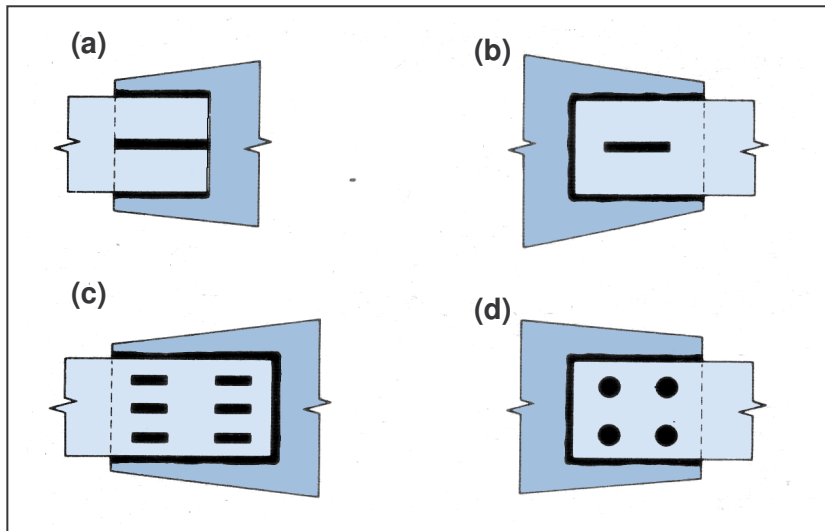
Gambar 6.20. Macam-macam pemakaian las sudut

Sumber: Salmon dkk, 1991

♦ **Persiapan tepi yang sesuai**

Persiapan tepi yang umum, untuk las tumpul diperlihatkan pada Gambar 6.23. Lebar celah (*root opening*) R adalah jarak pisah antara potongan yang akan disambung dan dibuat agar elektroda dapat menembus dasar sambungan. Semakin kecil lebar celah, semakin besarlah sudut lereng yang harus dibuat. Tepi runcing pada Gambar 6.23(a) akan mengalami pembakaran menerus (*burn-through*) jika tidak diberikan plat pelindung (*backup plate*) seperti pada Gambar 6.23(b). Plat pelindung umumnya digunakan bila pengelasan, dilakukan hanya dari satu sisi. Masalah pembakaran menerus dapat dibatasi jika lerengnya diberi bagian tegak seperti pada Gambar 6.23(c).

Pembuat las sebaiknya tidak memberikan plat pelindung bila sudah ada bagian tegak, karena kemungkinan besar kantung gas akan terbentuk sehingga merintangi las penetrasi sempurna. Kadang-kadang pemisah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.23(d) diberikan untuk mencegah pembakaran menerus, tetapi pemisah ini dicabut kembali sebelum sisi kedua dilas.



Gambar 6.21. Kombinasi las baji dan pasak dengan las sudut

Sumber: Salmon dkk, 1991

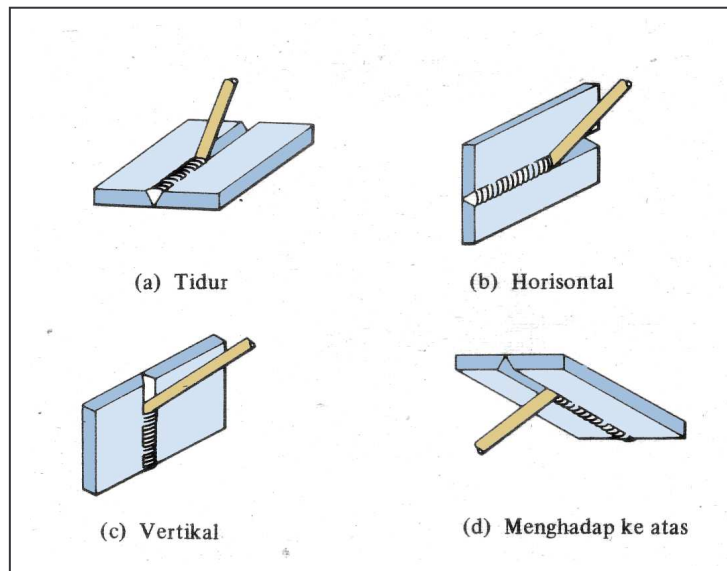
♦ **Pengontrolan**

Faktor lain yang mempengaruhi kualitas las adalah penyusutan. Jika las titik diberikan secara menerus pada suatu plat, maka plat akan mengalami distorsi (perubahan geometri). Distorsi ini akan terjadi jika tidak berhati-hati baik dalam perencanaan sambungan maupun prosedur pengelasan.

Berikut ini adalah ringkasan cara untuk memperkecil distorsi

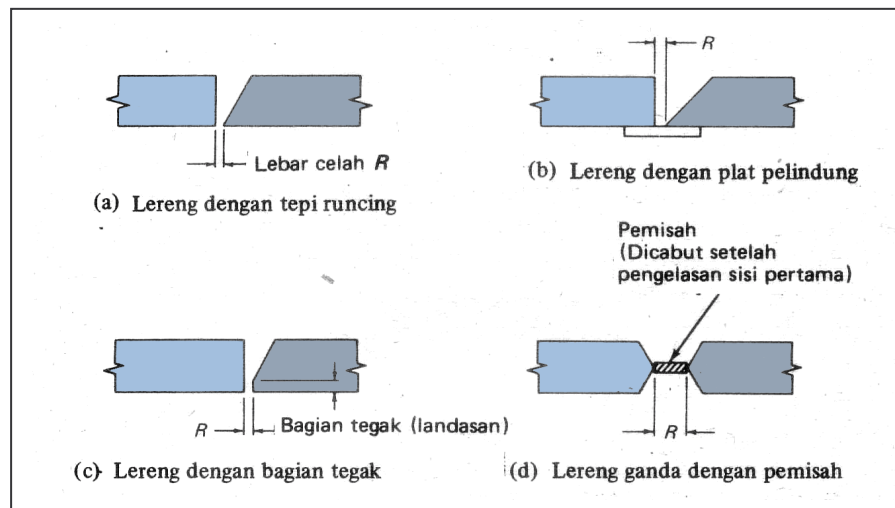
- Perkecil gaya susut dengan:

- Menggunakan logam las minimum; untuk las tumpul, lebar celah jangan lebih besar dari yang diperlukan, jangan mengelas berlebihan
- Sedapat mungkin mempersedikit jumlah lintasan
- Melakukan persiapan tepi dan penyesuaian yang tepat
- Menggunakan las terputus-putus, minimal untuk sambungan prakonstruksi
- Menggunakan langkah mundur (*backstepping*), yaitu menimbun las pada las sebelumnya yang telah selesai, atau menimbun dalam arah berlawanan dengan arah pengelasan sambungan.
- Biarkan penyusutan terjadi dengan:
 - Mengungkit plat sehingga setelah penyusutan terjadi plat akan berada pada posisi yang tepat.
 - Menggunakan potongan yang diberi lenturan awal.
- Seimbangkan gaya susut dengan:
 - Melakukan pengelasan simetris; las sudut pada setiap sisi potongan menghasilkan pengaruh yang saling menghilangkan
 - Menggunakan segmen las tersebar
 - Pemukulan, yaitu meregangkan logam dengan sejumlah pukulan
 - Menggunakan klem, alat pemegang dan lain-lain; alat ini membuat logam las meregang ketika mendingin.



Gambar 6.22. Posisi pengelasan

Sumber: Salmon dkk, 1991

**Gambar 6.23. Persiapan tepi untuk las tumpul**

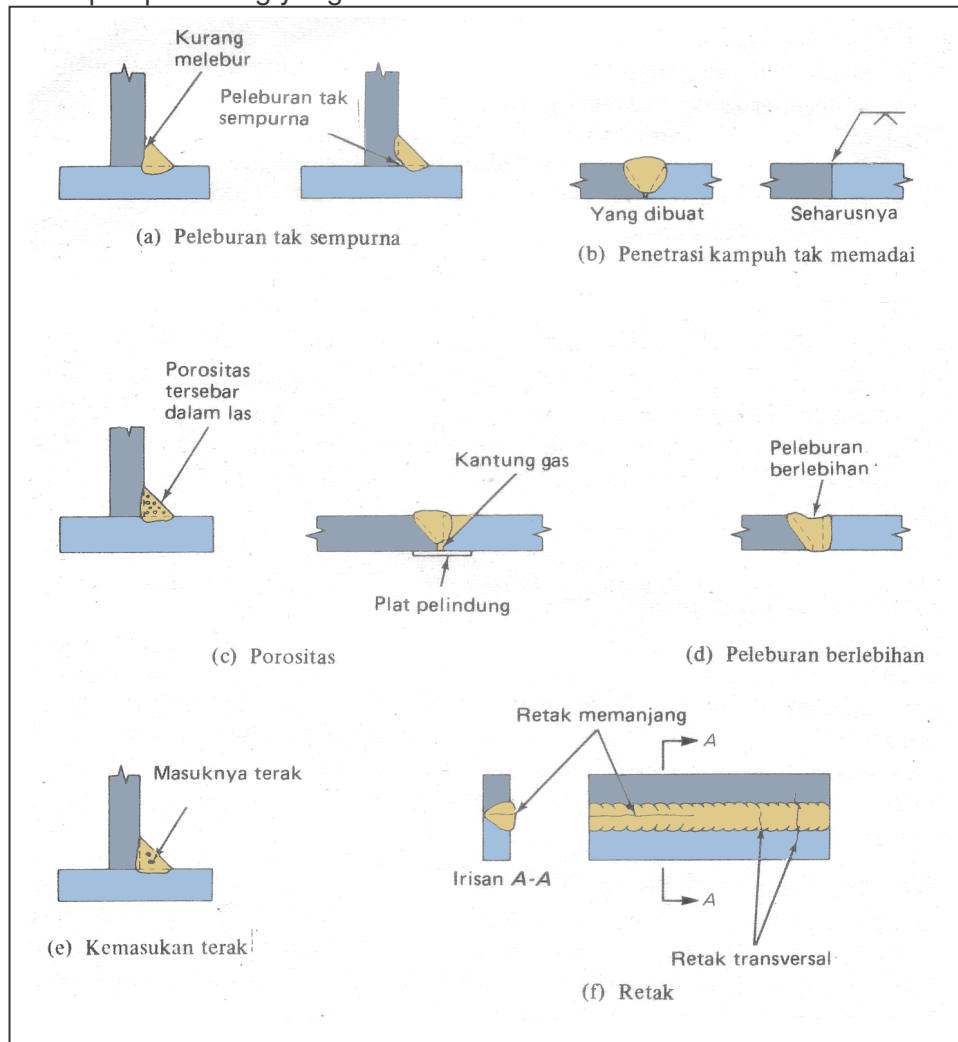
Sumber: Salmon dkk, 1991

6.3.9. Cacat yang mungkin terjadi pada las

Teknik dan prosedur pengelasan yang tidak baik menimbulkan cacat pada las yang menyebabkan diskontinuitas dalam las. Cacat yang umumnya dijumpai ialah (Gambar 6.24.):

- **Peleburan Tak Sempurna**
Peleburan tak sempurna terjadi karena logam dasar dan logam las yang berdekatan tidak melebur bersama secara menyeluruh. Ini dapat terjadi jika permukaan yang akan disambung tidak dibersihkan dengan baik dan dilapisi kotoran, terak, oksida, atau bahan lainnya. Penyebab lain dari cacat ini ialah pemakaian peralatan las yang arus listriknya tidak memadai, sehingga logam dasar tidak mencapai titik lebur. Laju pengelasan yang terlalu cepat juga dapat menimbulkan pengaruh yang sama.
- **Penetrasi Kampuh yang Tak Memadai**
Penetrasi kampuh yang tak memadai ialah keadaan di mana kedalaman las kurang dari tinggi alur yang ditetapkan. Keadaan ini diperlihatkan pada sambungan dalam Gambar 9.37 yang seharusnya merupakan penetrasi sempurna. Penetrasi kampuh parsial hanya dapat diterima bila memang ditetapkan demikian.
Cacat ini, yang terutama berkaitan dengan las tumpul, terjadi akibat perencanaan alur yang tak sesuai dengan proses pengelasan yang dipilih, elektroda yang terlalu besar, arus listrik yang tak memadai, atau laju pengelasan yang terlalu cepat.
- **Porositas**
Porositas terjadi bila rongga-rongga atau kantung-kantung gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. Cacat ini ditimbulkan oleh arus listrik yang terlalu tinggi atau busur nyala yang terlalu panjang. Porositas dapat terjadi secara merata tersebar dalam las,

atau dapat merupakan rongga yang besar terpusat di dasar las sudut atau dasar dekat plat pelindung pada las tumpul. Yang terakhir diakibatkan oleh prosedur pengelasan yang buruk dan pemakaian plat pelindung yang ceroboh.



Gambar 6.24. Cacat-cacat las yang mungkin terjadi

Sumber: Salmon dkk, 1991

- **Peleburan Berlebihan**
Peleburan berlebihan (*uncercutting*) ialah terjadinya alur pada bahan dasar di dekat ujung kaki las yang tidak terisi oleh logam las. Arus listrik dan panjang busur nyala yang berlebihan dapat membakar atau menimbulkan alur pada logam dasar. Cacat ini mudah terlihat dan dapat diperbaiki dengan memberi las tambahan.
- **Kemasukan Terak**
Terak terbentuk selama proses pengelasan akibat reaksi kimia lapisan elektroda yang mencair, serta terdiri dari oksida logam dan

senyawa lain. Karena kerapatan terak kecil dari logam las yang mencair, terak biasanya berada pada permukaan dan dapat dihilangkan dengan mudah setelah dingin. Namun, pendinginan sambungan yang terlalu cepat dapat menjerat terak sebelum naik ke permukaan. Las menghadap ke atas seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.22(d) sering mengalami kemasukan terak dan harus diperiksa dengan teliti. Bila beberapa lintasan las dibutuhkan untuk memperoleh ukuran las yang dikehendaki, pembuat las harus membersihkan terak yang ada sebelum memulai pengelasan yang baru. Kelalaian terhadap hal ini merupakan penyebab utama masuknya terak.

– Retak

Retak adalah pecah-pecah pada logam las, baik searah ataupun transversal terhadap garis las, yang ditimbulkan oleh tegangan internal. Retak pada logam las dapat mencapai logam dasar, atau retak terjadi seluruhnya pada logam dasar di sekitar las. Retak mungkin merupakan cacat las yang paling berbahaya, namun, retak halus yang disebut retak mikro (*mikrofissures*) umumnya tidak mempunyai pengaruh yang berbahaya.

Retak kadang-kadang terbentuk ketika las mulai memadat dan umumnya diakibatkan oleh unsur-unsur yang getas (baik besi ataupun elemen paduan) yang terbentuk sepanjang serat perbatasan. Pemanasan yang lebih merata dan pendinginan yang lebih lambat akan mencegah pembentukan retak "panas".

Retak pada bahan dasar yang sejajar las juga dapat terbentuk pada suhu kamar. Retak ini terjadi pada baja paduan rendah akibat pengaruh gabungan dari hidrogen, mikrostruktur martensit yang getas, serta pengekangan terhadap susut dan distorsi. Pemakaian elektroda rendah-hidrogen bersama dengan pemanasan awal dan akhir yang sesuai akan memperkecil retak "dingin" ini.

6.4. Penggunaan Konstruksi Baja

6.4.1. Dasar Perencanaan Struktur Baja

Desain struktur harus memenuhi kriteria kekuatan (*strength*), kemampuan layan (*serviceability*) dan ekonomis (*economy*).

- ♦ **Kekuatan** berkaitan dengan kemampuan umum dan keselamatan struktur pada kondisi pembebanan yang ekstrem. Struktur diharapkan mampu bertahan meskipun terkadang mendapat beban yang berlebihan tanpa mengalami kerusakan dan kondisi yang membahayakan selama waktu pemakaian struktur tersebut.
- ♦ **Kemampuan layan** mengacu pada fungsi struktur yang sesuai, berhubungan dengan tampilan, stabilitas dan daya tahan, mengatasi pembebanan, defleksi, vibrasi, deformasi permanen, retakan dan korosi, dan persyaratan-persyaratan desain lainnya.

- ♦ **Ekonomis** mengutamakan pada keseluruhan persyaratan biaya material, pelaksanaan konstruksi dan tenaga kerja, mulai tahapan perencanaan, pabrikasi, pendirian dan pemeliharaan struktur.

Secara umum ada dua filosofi perencanaan yang dipakai dewasa ini, yaitu:

- ♦ **Filosofi perencanaan tegangan kerja-elastis (*working stress design*)**, elemen struktural harus direncanakan sedemikian rupa hingga tegangan yang dihitung akibat beban kerja, atau servis, tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan. Tegangan ijin ini ditentukan oleh peraturan bangunan atau spesifikasi untuk mendapatkan faktor keamanan terhadap tercapainya tegangan batas, seperti tegangan leleh minimum atau tegangan tekuk (*buckling*). Tegangan yang dihitung harus berada dalam batas elastis, yaitu tegangan sebanding dengan regangan.
- ♦ **Filosofi perencanaan keadaan batas (*limit state*)**. Filosofi ini meliputi metoda yang umumnya disebut "perencanaan kekuatan batas," "perencanaan kekuatan," "perencanaan plastis," "perencanaan faktor beban," "perencanaan batas," dan yang terbaru "perencanaan faktor daya tahan dan beban" (*LRFD/Load and Resistance Factor Design*).

Keadaan batas adalah istilah umum yang berarti "suatu keadaan pada struktur bangunan di mana bangunan tersebut tidak bisa memenuhi fungsi yang telah direncanakan".

Keadaan batas dapat dibagi atas kategori kekuatan (*strength*) dan kemampuan layan (*serviceability*).

- Keadaan batas kekuatan (atau keamanan) adalah kekuatan daktilitas maksimum (biasa disebut kekuatan plastis), tekuk, lelah (*fatigue*), pecah (*fracture*), guling, dan geser.
- Keadaan batas kemampuan layan berhubungan dengan penghunian bangunan, seperti lendutan, getaran, deformasi permanen, dan retak.

Dalam perencanaan keadaan batas, keadaan batas kekuatan atau batas yang berhubungan dengan keamanan dicegah dengan mengalikan suatu faktor pada pembebanan. Berbeda dengan perencanaan tegangan kerja yang meninjau keadaan pada beban kerja, peninjauan pada perencanaan keadaan batas ditujukan pada ragam keruntuhan (*failure mode*) atau keadaan batas dengan membandingkan keamanan pada kondisi keadaan batas.

6.4.2. Batang Tarik

Batang tarik didefinisikan sebagai batang-batang dari struktur yang dapat menahan pembebanan tarik yang bekerja searah dengan sumbunya. Batang tarik umumnya terdapat pada struktur baja sebagai batang pada elemen struktur penggantung, rangka batang (jembatan, atap dan menara). Selain itu, batang tarik sering berupa batang sekunder seperti batang untuk

pengaku sistem lantai rangka batang atau untuk penumpu antara sistem dinding berusuk (*bracing*).

Batang tarik dapat berbentuk profil tunggal ataupun variasi bentuk dari susunan profil tunggal. Bentuk penampang yang digunakan antara lain bulat, plat strip, plat persegi, baja siku dan siku ganda, kanal dan kanal ganda, profil WF, H, I, ataupun boks dari susunan profil tunggal. Secara umum pemakaian profil tunggal akan lebih ekonomis, namun penampang tersusun diperlukan bila:

- Kapasitas tarik profil tunggal tidak memenuhi
- Kekakuan profil tunggal tidak memadai karena kelangsingannya
- Pengaruh gabungan dari lenturan dan tarikan membutuhkan kekakuan lateral yang lebih besar
- Detail sambungan memerlukan penampang tertentu
- Faktor estetika.

Kekakuan batang tarik

Kekakuan batang tarik diperlukan untuk menjaga agar batang tidak terlalu fleksibel. Batang tarik yang terlalu panjang akan memiliki lendutan yang sangat besar akibat oleh berat batang itu sendiri. Batang akan bergetar jika menahan gaya-gaya angin pada rangka terbuka atau saat batang harus menahan alat-alat yang bergetar.

Kriteria kekakuan didasarkan pada angka kelangsingan (*slenderness ratio*), dengan melihat perbandingan L/r dari batang, di mana L =panjang batang dan r =jari-jari kelembaman

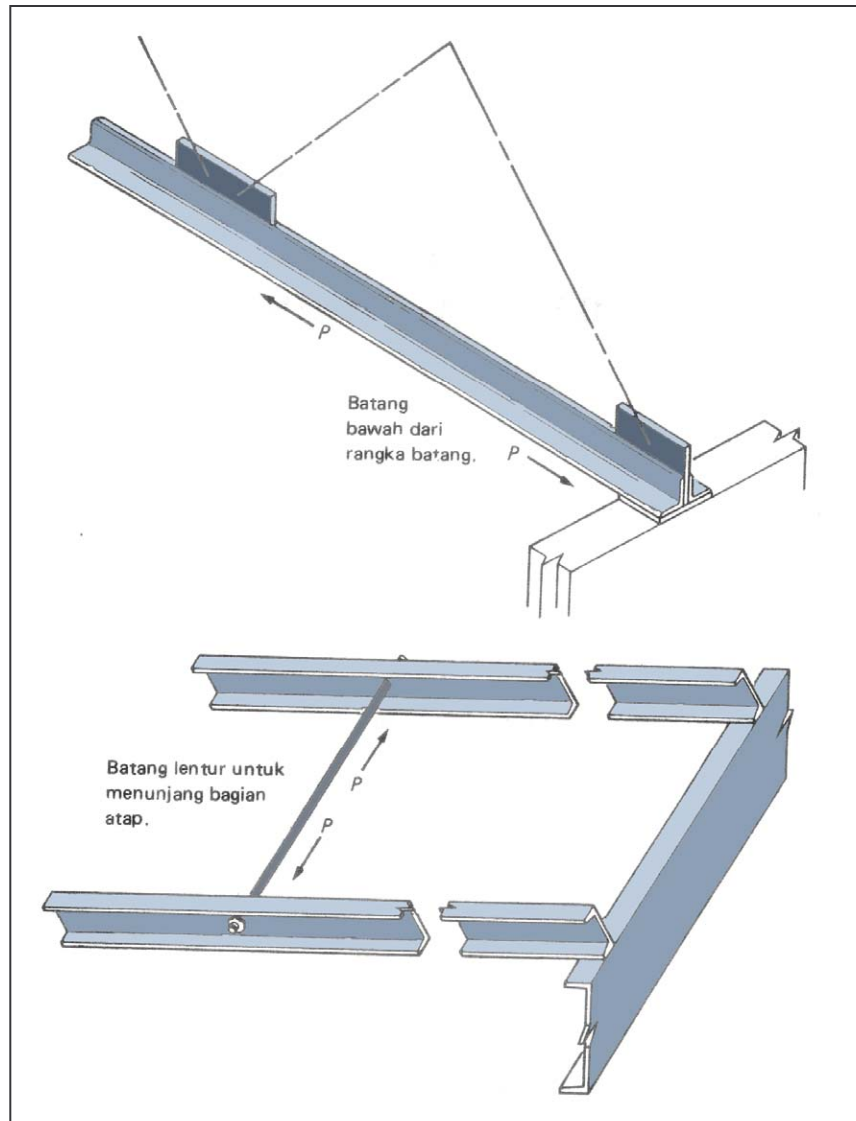
Biasanya bentuk penampang batang tidak berpengaruh pada kapasitas daya tahannya terhadap gaya tarik. Kalau digunakan alat-alat penyambung (baut atau paku keling), maka perlu diperhitungkan konsentrasi tegangan yang terjadi disekitar alat penyambung yang dikenal dengan istilah *Shear lag*. Tegangan lain yang akan timbul adalah tegangan lentur apabila titik berat dari batang-batang yang disambung tidak berimpit dengan garis sumbu batang. Pengaruh ini biasanya diabaikan, terutama pada batang-batang yang dibebani secara statis.

Menurut spesifikasi ini tegangan yang diizinkan harus ditentukan baik untuk luas batang bruto maupun untuk luas efektif netto. Biasanya tegangan pada luas penampang bruto harus direncanakan lebih rendah dari besarnya tegangan leleh untuk mencegah terjadinya deformasi yang besar, sedang luas efektif netto direncanakan untuk mencegah terjadinya keruntuhan lokal pada bagian-bagian struktur.

Pada perhitungan-perhitungan dengan luas efektif netto perlu diberikan koefisien reduksi untuk batang tarik. Hal ini bertujuan untuk mengatasi bahaya yang timbul akibat terjadinya *Shear lag*. Tegangan geser yang terjadi pada baut penyambung akan terkonsentrasi pada titik sambungannya. Efek dari *Shear lag* ini akan berkurang apabila alat penyambung yang digunakan banyak jumlahnya.

Luas penampang bruto, netto dan efektif netto

Luas penampang bruto dari sebuah batang Ag didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tebal dan lebar bruto batang. Luas penampang netto didefinisikan sebagai perkalian antara tebal batang dan lebar nettoya. Lebar netto didapat dengan mengurangi lebar bruto dengan lebar dari lubang tempat sambungan yang terdapat pada suatu penampang.

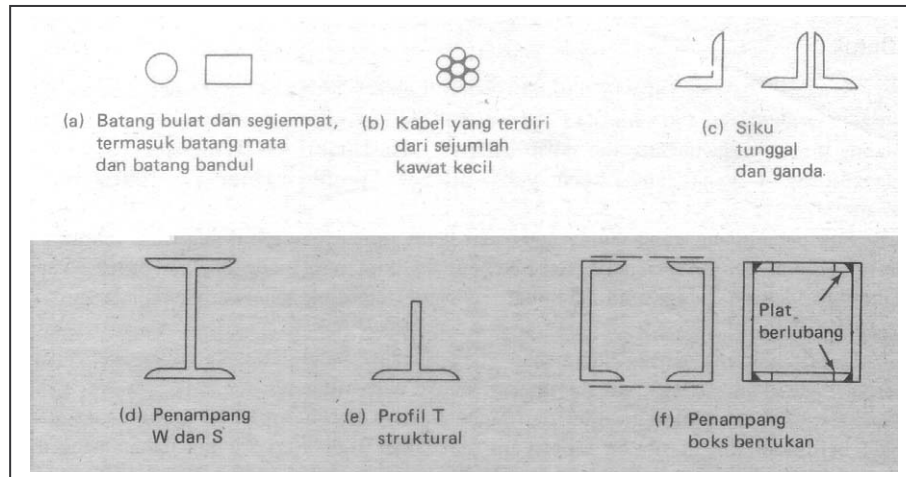


Gambar 6.25. Contoh aplikasi batang tarik

Sumber: Amon dkk, 1996

Di dalam AISCS ditentukan bahwa dalam menghitung luas netto lebar dari paku keling atau baut harus diambil **1/16** in lebih besar dari

dimensi nominal lubangnya dalam arah normal pada tegangan yang bekerja. AISC memberikan daftar hubungan antara diameter lubang dengan ukuran alat penyambung. Untuk lubang-lubang standar, diameter lubang di ambil $1/16$ in lebih besar dari ukuran nominal alat penyambung. Dengan demikian di dalam menghitung luas netto, diameter alat penyambung harus ditambah $1/8$ in atau $(d + 1/16 + 1/16)$.



Gambar 6.26. Beberapa tipe penampang batang tarik

Sumber: Salmon dkk, 1991

Batang tarik bulat

Batang tarik yang umum dan sederhana adalah batang bulat berulir. Batang ini biasanya merupakan batang sekunder dengan tegangan rencana yang kecil, seperti (a) pengikat gording untuk menyokong gording pada bangunan industri (Gambar 6.27a); (b) pengikat vertikal untuk menyokong rusuk pada dinding bangunan industri; (c) penggantung, seperti batang tarik yang menahan balkon (Gambar 6.27c); dan (d) batang tarik untuk menahan desakan pada pelengkung (*arch*).

Batang tarik bulat sering digunakan dengan tarikan awal sebagai ikatan angin diagonal pada dinding, atap dan menara. Tarikan awal bermanfaat untuk memperkaku serta mengurangi lendutan dan getaran yang cenderung menimbulkan kehancuran lelah pada sambungan. Tarikan awal ini dapat diperoleh dengan merencanakan batang $1/16$ in lebih pendek untuk setiap panjang 20 ft.

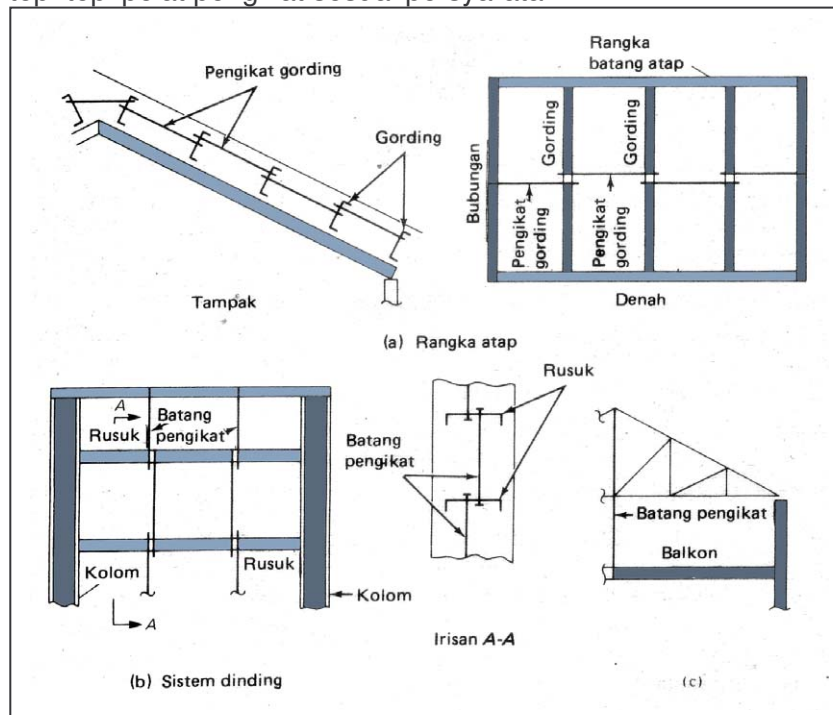
Batang-batang jadi

Jarak mendatar dari alat sambungan paku keling baut atau las setempat untuk dua buah pelat atau sebuah pelat dan sebuah perletakan rol tidak boleh melebihi 24 kali ketebalan dari pelat yang paling tipis atau 12 in. Jarak mendatar dari baut, paku keling atau las setempat yang menghubungkan dua atau lebih perletakan rol tidak boleh lebih dari 24 in.

Untuk batang-batang yang dipisahkan oleh rusuk-rusuk berselang seling, jarak antar rusuk-rusuk penyambung tersebut harus dibuat sedemikian rupa sehingga perbandingan kerampingan dari tiap komponen yang panjangnya diambil sebesar jarak antara alat-alat penyambung dari rusuk, tidak boleh melampaui 240.

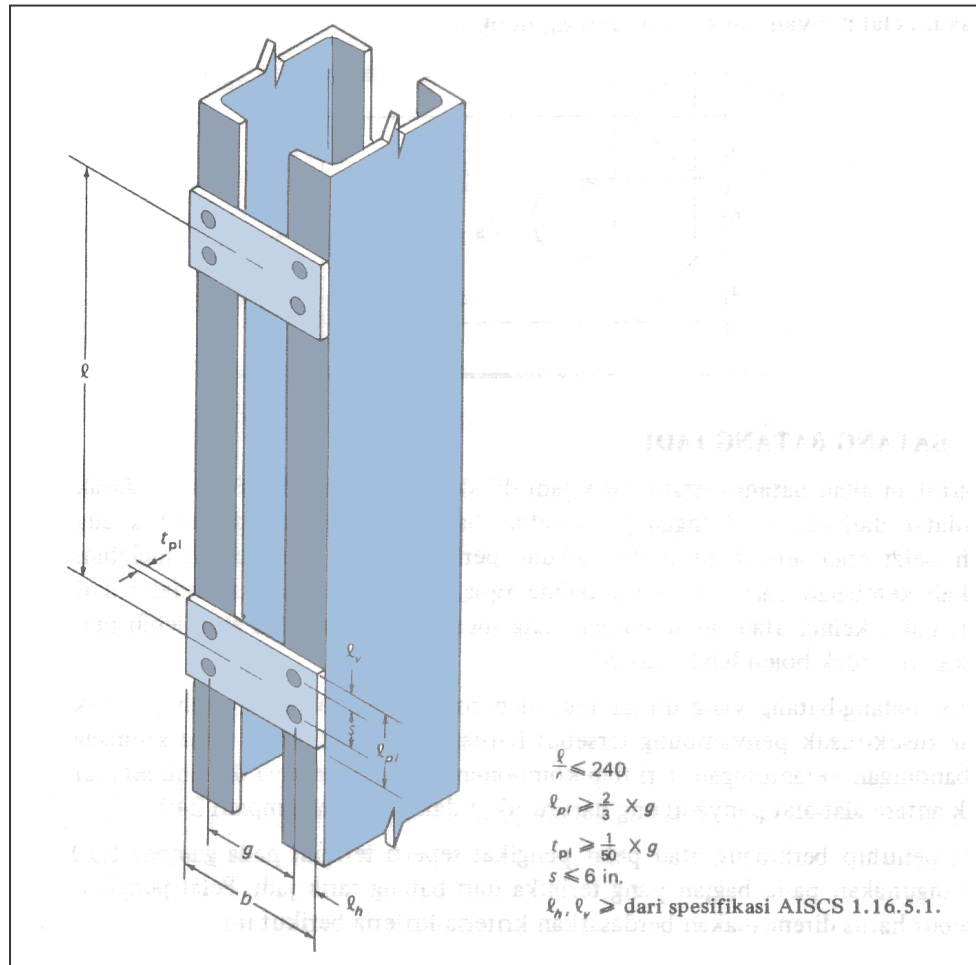
Pelat penutup berlubang atau pelat pengikat seperti terlihat pada Gambar 6.28 bisa digunakan pada bagian yang terbuka dari batang tarik jadi. Pelat pengikat tersebut harus direncanakan berdasarkan kriteria-kriteria berikut ini:

- Jarak antara pelat harus diambil sedemikian rupa hingga perbandingan kerampingan dari tiap komponen yang berada di antara kedua pelat tersebut tidak melampaui 240.
- Panjang (tinggi) dari pelat pengikat tidak boleh kurang dari dua pertiga jarak horisontal dari alat penyambung paku keling, baut atau las yang menghubungkan alat tersebut dengan komponen dari batang jadi.
- Tebalnya alat penyambung tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ dari jarak horisontal tersebut.
- Jarak vertikal dari alat-alat penyambung yang terdapat pada pelat pengikat seperti paku keling, baut atau las tidak boleh melampaui 6 in.
- Jarak minimum dari alat-alat penyambung seperti tersebut di atas ke tepi-tepi pelat pengikat sesuai persyaratan.



Gambar 6.27. Pemakaian batang tarik bulat

Sumber: Salmon dkk, 1991



Gambar 6.28. Jarak antar pelat yang dibutuhkan batang tarik

Sumber: Amon dkk, 1996

6.4.3. Batang Tekan

Pada struktur baja terdapat 2 macam batang tekan, yaitu:

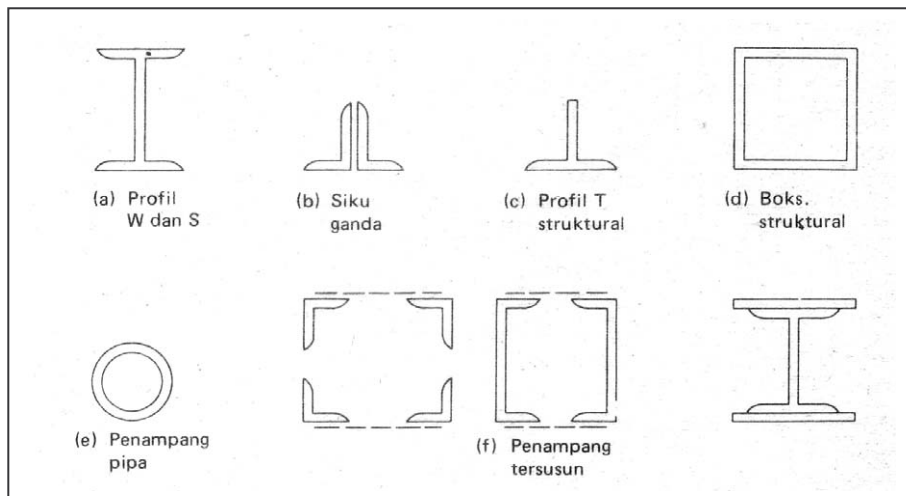
1. Batang yang merupakan bagian dari suatu rangka batang. Batang ini dibebani gaya tekan aksial searah panjang batangnya. Umumnya pada suatu rangka batang maka batang-batang tepi atas merupakan batang tekan
2. Kolom merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, balok lantai dan rangka atap, dan selanjutnya menyalurkan beban tersebut ke pondasi.

Batang-batang lurus yang mengalami tekanan akibat bekerjanya gaya-gaya aksial dikenal dengan sebutan kolom. Untuk kolom-kolom yang pendek ukurannya, kekuatannya ditentukan berdasarkan kekuatan leleh dari bahannya. Untuk kolom-kolom yang panjang kekuatannya ditentukan faktor

tekuk elastis yang terjadi, sedangkan untuk kolom-kolom yang ukurannya sedang, kekuatannya ditentukan oleh faktor tekuk plastis yang terjadi. Sebuah kolom yang sempurna yaitu kolom yang dibuat dari bahan yang bersifat isotropis, bebas dari tegangan-tegangan sampingan, dibebani pada pusatnya serta mempunyai bentuk yang lurus, akan mengalami perpindahan yang seragam akibat terjadinya regangan tekan yang seragam pada penampangnya. Kalau beban yang bekerja pada kolom ditambah besarnya secara berangsur-angsur, maka akan mengakibatkan kolom mengalami lenturan lateral dan kemudian mengalami keruntuhan akibat terjadinya lenturan tersebut. Beban yang mengakibatkan terjadinya lenturan lateral pada kolom disebut beban kritis dan merupakan beban maksimum yang masih dapat ditahan oleh kolom dengan aman.

Keruntuhan batang tekan dapat terjadi dalam 2 kategori, yaitu

1. Keruntuhan yang diakibatkan terlampauinya tegangan leleh. Hal ini umumnya terjadi pada batang tekan yang pendek
2. Keruntuhan yang diakibatkan terjadinya tekuk. Hal ini terjadi pada batang tekan yang langsing



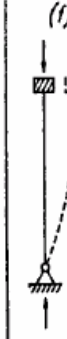
Gambar 6.29. Beberapa tipe penampang batang tekan

Sumber: Salmon dkk, 1991

Kelangsingan batang tekan, tergantung dari jari-jari kelembaman dan panjang tekuk. Jari-jari kelembaman umumnya terdapat 2 harga λ , dan yang menentukan adalah yang harga λ terbesar. Panjang tekuk juga tergantung pada keadaan ujungnya, apakah sendi, jepit, bebas dan sebagainya.

Menurut SNI 03-1729-2002, untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\bar{\lambda} = Lk/r$ dibatasi sebesar 200 mm. Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan L/r dibatasi sebesar 300 mm untuk batang sekunder dan 240 mm untuk batang primer. Ketentuan di

atas tidak berlaku untuk batang bulat dalam tarik. Batang-batang yang ditentukan oleh gaya tarik, namun dapat berubah menjadi tekan yang tidak dominan pada kombinasi pembebanan yang lain, tidak perlu memenuhi batas kelangsingan batang tekan.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk						
Nilai k_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai k_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung	 Jepit Sendi Roll tanpa putaran sudut Ujung bebas					

Gambar 6.30. Faktor panjang efektif pada kondisi ideal

Sumber: Salmon dkk, 1991

Panjang tekuk

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) bergantung pada kekangan rotasi dan translasi pada ujung-ujung komponen struktur. Untuk komponen struktur tak-bergoyang, kekangan translasi ujungnya dianggap tak-hingga, sedangkan untuk komponen struktur bergoyang, kekangan translasi ujungnya dianggap nol. Nilai faktor panjang tekuk (k_c) yang digunakan untuk komponen struktur dengan ujung-ujung ideal ditunjukkan pada Gambar 6.30.

6.4.4. Batang Lentur

Batang lentur didefinisikan sebagai batang struktur yang menahan baban transversal atau beban yang tegak lurus sumbu batang. Batang-batang lentur pada struktur yang biasanya disebut gelagar atau balok bisa dikategorikan sebagai berikut:

- Joist: adalah susunan gelagar-gelagar dengan jarak yang cukup dekat antara satu dan yang lainnya, dan biasanya berfungsi untuk menahan lantai atau atap bangunan

- Lintel: adalah balok yang membujur pada tembok yang biasanya berfungsi untuk menahan beban yang ada di atas bukaan-bukaan dinding seperti pintu atau jendela
- Balok spandrel: adalah balok yang mendukung dinding luar bangunan yang dalam beberapa hal dapat juga menahan sebagian beban lantai
- Girder: adalah susunan gelagar-gelagar yang biasanya terdiri dari kombinasi balok besar (induk) dan balok yang lebih kecil (anak balok)
- Gelagar tunggal atau balok tunggal

Gelagar biasanya direncanakan sebagai gelagar sederhana (*simple beam*) dengan perletakan sendi-rol, perletakan jepit, jepit sebagian atau sebagai balok menerus.

Gelagar atau balok pada umumnya akan mentransfer beban vertikal sehingga kemudian akan terjadi lenturan. Pada saat mengalami lenturan, bagian atas dari garis netral tertekan dan bagian bawah akan tertarik, sehingga bagian atas terjadi perpempakan dan bagian bawah terjadi perpanjangan.

Struktur balok sebagai batang lentur harus memenuhi **tegangan lentur yang diijinkan**. Tegangan lentur balok adalah hasil pembagian antara perkalian momen lentur dan jarak dari serat penampang terjauh ke garis netral, dengan momen inersia penampang.

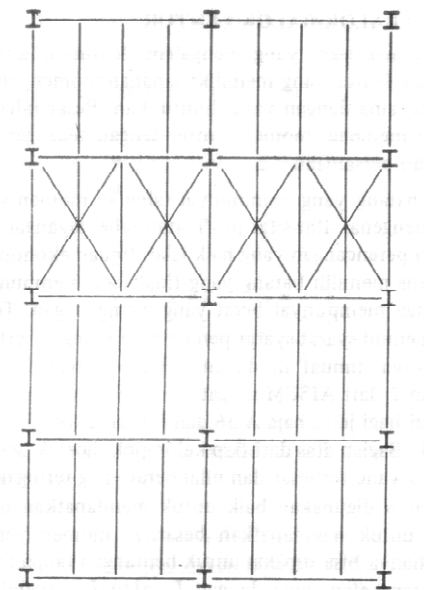
Menurut AISC, pada kondisi umum tegangan lentur yang diijinkan sebesar:

$$F_b = 0.66 F_y.$$

Batang lentur juga harus memenuhi syarat-syarat kekompakan sayap profil batang baja dan tahanan lateral dari sayap tekan. Batang lentur kompak didefinisikan sebagai batang yang mampu mencapai batas momen plastisnya sebelum terjadi tekuk pada batang tersebut. Hampir semua profil W dan S mempunyai sifat kompak.

Tahanan lateral dari gelagar

Apabila ada beban transversal yang bekerja pada gelagar maka sayap tekan akan bertindak laku dalam cara yang sama seperti sebuah kolom. Apabila panjang gelagar bertam-



Gambar 6.31. Ikatan lateral sistem rangka lantai satu atap

Sumber: Sagel dkk, 1993

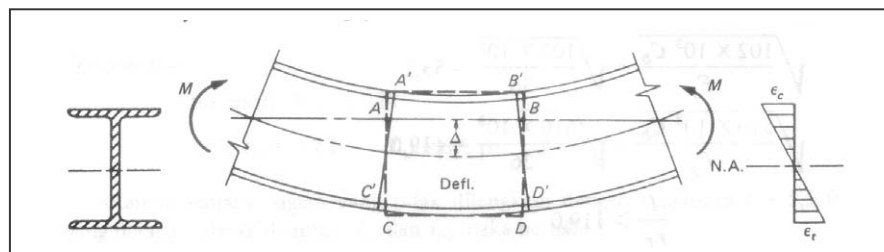
bah, maka sayap tekan bisa mengalami tekukan. Terjadinya perpindahan ini pada sumbu yang lebih lemah akan menyebabkan timbulnya puntiran yang akhirnya bisa menyebabkan terjadinya keruntuhan. Batang-batang yang mengalami pembengkokan bukan pada sumbu utamanya tidak memerlukan konstruksi ikatan. Namun demikian batang-batang tersebut harus memenuhi syarat-syarat yang dimuat dalam AISCS 1.9.2. Struktur kotak biasanya tidak memerlukan konstruksi ikatan menurut ketentuan dalam AISCS 1.5.1.4. 1. dan 1.5.1.4.4. Batang-batang yang mengalami pembengkokan pada sumbu utamanya, perlu mendapatkan konstruksi ikatan pada sayap tekannya untuk mencegah terjadinya ketidakstabilan lateral.

Untuk menentukan bentuk tunjangan lateral, diperlukan suatu penilaian tertentu sesuai dengan keadaan yang dihadapi. Sebuah gelagar yang dibungkus dengan beton dapat dikatakan telah dilengkapi dengan tunjangan lateral pada seluruh bentangnya. Balok bersilangan yang mengikat gelagar yang satu dengan gelagar yang lainnya apabila disambung dengan baik pada sayap tekan, juga merupakan suatu tunjangan lateral. Dalam hal ini perlu diperhatikan bahwa balok silang tersebut harus mempunyai kekakuan yang cukup baik. Kadang-kadang kita perlu memberikan ikatan diagonal pada suatu bagian tertentu untuk mencegah terjadinya pergerakan pada kedua arah. Konstruksi ikatan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.31. dapat memberikan kekakuan pada beberapa bagian lainnya.

Lantai metal dalam beberapa hal bukanlah merupakan konstruksi ikatan lateral. Setelah diberikan sambungan-sambungan secukupnya, barulah lantai metal dapat dianggap sebagai konstruksi ikatan lateral. Kasus-kasus tunjangan parsial (sebagian) bisa diubah menjadi tunjangan sepenuhnya dengan melipat gandakan jarak celahnya. Misalnya lantai yang dipaku mati setiap empat ft bisa dianggap sebagai sepertiga dari tunjangan lateral yang utuh, dan pada jarak 12 ft lantai tersebut akan merupakan suatu tunjangan yang utuh.

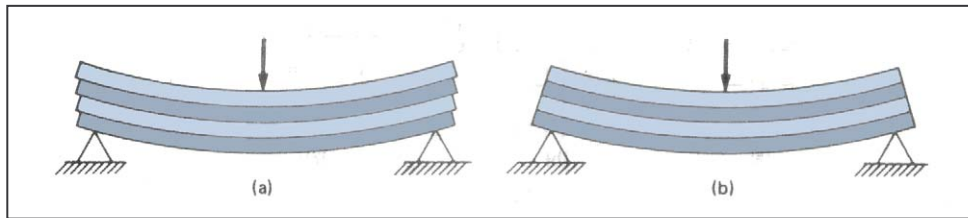
Gaya geser

Pada sebuah gelagar yang diberikan beban berupa momen lentur positif, serat-serat bagian bawah batang tersebut akan mengalami perpanjangan, sedang serat-serat bagian atasnya akan mengalami perpendekan dan pada sumbu netralnya panjang serat tidak akan mengalami perubahan (lihat Gambar 6.32).



Gambar 6.32. Deformasi lentur dan sebuah gelagar

Sumber: Salmon dkk, 1991



Gambar 6.33. Lenturan pada gelagar yang terdiri dari papan-papan yang disusun

Sumber: Salmon dkk, 1991

Karena adanya deformasi yang bervariasi ini, maka tiap-tiap serat mempunyai kecenderungan untuk bergeser terhadap serat lainnya. Kalau sebuah gelagar dibentuk dari lembaran-lembaran papan yang disusun sedemikian rupa sehingga papan yang satu berada di atas papan yang lain dan kemudian diberi beban transversal, maka akan terjadi suatu konfigurasi seperti yang bisa kita lihat pada Gambar 6.33 (a).

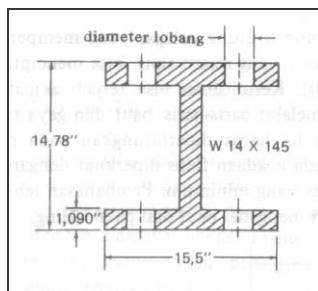
Kalau papan-papan tersebut disambung antara yang satu dengan yang lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 6.33(b), maka kecenderungan untuk terjadinya pergeseran antara papan yang satu dengan papan yang lainnya akan di tahan oleh kemampuan daya tahan terhadap geseran dari alat penyambungannya. Untuk sebuah gelagar tunggal, kecenderungan untuk bergeser ditahan oleh kekuatan daya tahan terhadap geser dari materialnya.

Menurut AISC, pada kondisi umum tegangan lentur yang diijinkan sebesar:

$$F_v = 0.40 F_y$$

Lubang-lubang pada gelagar

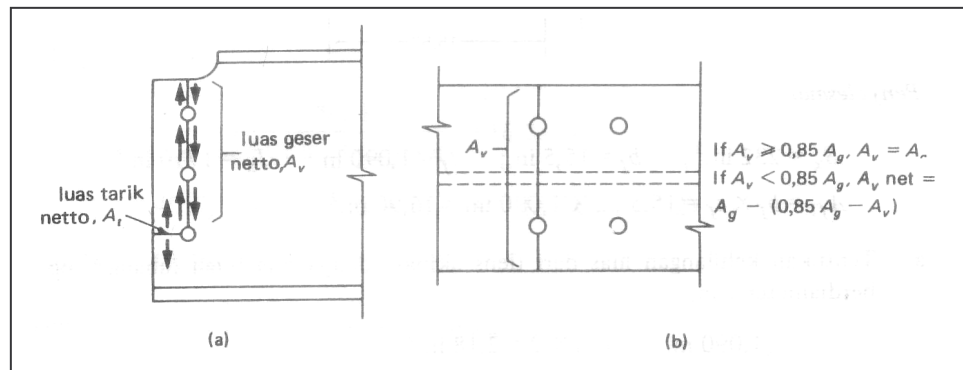
Sedapat mungkin lubang-lubang pada gelagar harus dihindarkan. Apabila lubang-lubang mutlak diperlukan, harus diusahakan untuk menghindari adanya lubang pada badan profil yang mengalami gaya geser besar dan pada bagian sayap yang mengalami beban momen besar.



Gambar 6.34. Contoh lubang pada sayap gelagar

Sumber: Salmon dkk, 1991

Sambungan ujung gelagar yang menggunakan baut pada badan profil yang tipis dapat menciptakan suatu kondisi robeknya badan profil. Keruntuhan dapat terjadi akibat kombinasi bekerjanya gaya geser/lintang melalui baris-baris baut dan gaya tarikan pada penampang bidang baut.

**Gambar 6.35. Lubang pada gelagar**

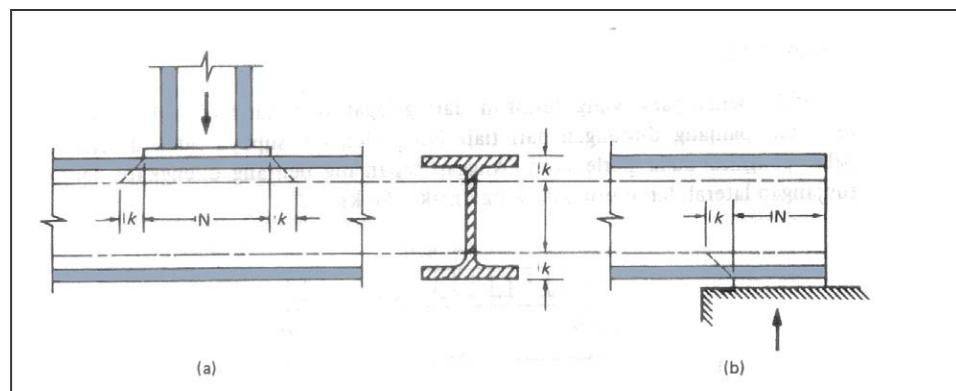
Sumber: Salmon dkk, 1991

Keruntuhan badan profil

Gelagar dapat mengalami kegagalan dalam menjalankan fungsinya akibat terjadinya keruntuhan pada badan profil, serta pada titik-titik terdapatnya konsentrasi tegangan yang besar karena bekerjanya beban terpusat atau adanya reaksi perletakan. Hal ini dapat dicegah dengan memakai pengaku-pengaku badan vertikal. Keruntuhan terjadi pada ujung rusuk badan, pada titik gelagar menyalurkan tekanan dari sayap yang relatif lebar ke badan profil yang sempit. Dalam perhitungan tegangan pada badan profil bekerja menyebar sepanjang badan, dengan sudut 45° .

Lenturan

Lenturan dari sebuah batang struktur merupakan fungsi dari momen inersianya. Lenturan yang diijinkan pada gelagar biasanya dibatasi oleh peraturan dan perlu diperiksa dalam proses pemilihan gelagar. Menurut AISC batas lenturan terhadap beban hidup dari gelagar yang menyangga langit-langit sebesar $1/360$ panjang bentangnya.

**Gambar 6.36. Keruntuhan badan gelagar**

Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.5. Kombinasi Lentur dan Gaya Aksial

Hampir semua batang pada struktur memikul momen lentur dan beban aksial, baik tarik ataupun tekan. Bila salah satu relatif kecil, pengaruhnya biasanya diabaikan dan batang direncanakan sebagai balok, sebagai kolom dengan beban aksial, atau sebagai batang tarik. Dalam banyak hal, kedua pengaruh tersebut tidak dapat diabaikan dan kelakuan akibat beban gabungan harus diperhitungkan dalam perencanaan. Batang yang memikul tekanan aksial dan momen lentur disebut *balok-kolom*.

Oleh karena batang mengalami lentur, semua faktor lenturan, geser, serta puntir atau torsi berlaku di sini, terutama faktor yang berkaitan dengan stabilitas, seperti tekuk puntir lateral dan tekuk setempat pada elemen tekan. Bila lentur digabungkan dengan tarikan aksial, kemungkinan menjadi tidak stabil berkurang dan kelelahan (*yielding*) biasanya membatasi perencanaan. Untuk gabungan lentur dengan tekanan aksial, kemungkinan menjadi tidak stabil meningkat dan semua pertimbangan yang terkait dengan batang tekan juga berlaku. Disamping itu, bila batang memikul tekanan aksial, batang akan mengalami momen lentur sekunder yang sama dengan gaya tekan aksial kali lendutan.

Beberapa kategori gabungan lentur dan beban aksial bersama dengan ragam kegagalan (*mode of failure*) yang mungkin terjadi dapat diringkas sebagai berikut:

- Tarikan aksial dan lentur: kegagalan biasanya karena leleh
- Tekanan aksial dan lentur terhadap satu sumbu: kegagalan disebabkan oleh ketidakstabilan pada bidang lentur, tanpa puntir. (contoh, balok-kolom dengan beban transversal yang stabil terhadap tekuk puntir lateral)
- Tekanan aksial dan lentur terhadap sumbu kuat: kegagalan disebabkan tekuk puntir lateral
- Tekanan aksial dan lentur biaksial (dua sumbu)-penampang yang kuat terhadap puntir, kegagalan disebabkan oleh ketidak-stabilan pada satu arah utama. (Profil W biasanya termasuk kategori ini)
- Tekanan aksial dan lentur biaksial-penampang, terbuka berdinding tipis (penampang yang lemah terhadap puntir): kegagalan disebabkan oleh gabungan puntir dan lentur.
- Tekanan aksial, lentur biaksial, dan puntir: kegagalan akan disebabkan oleh gabungan puntir dan lentur bila pusat geser tidak terletak pada bidang lentur.

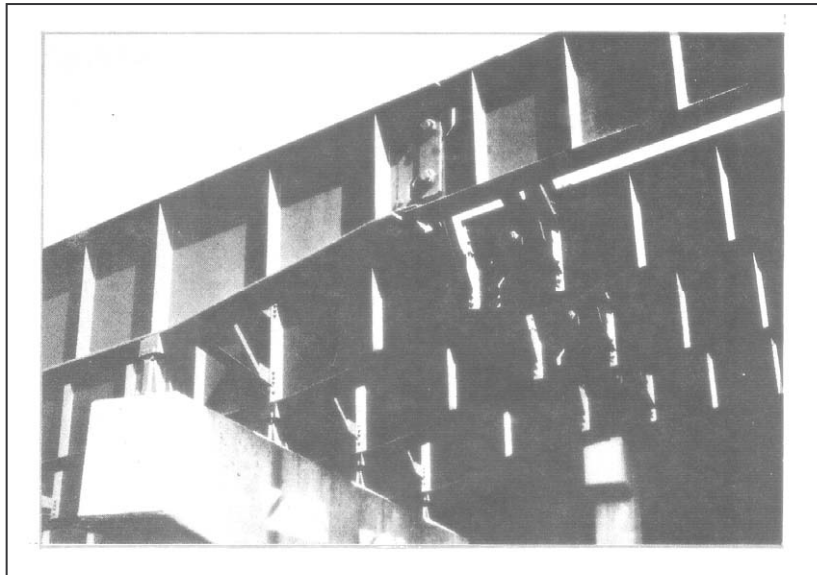
Oleh karena banyaknya ragam kegagalan, kelakuan yang beraneka ragam ini umumnya tidak dapat disertakan dalam cara perencanaan yang sederhana. Prosedur-prosedur perencanaan yang ada dapat dibedakan atas tiga kategori berikut: (1) pembatasan tegangan gabungan; (2) rumus interaksi semi empiris berdasarkan metode tegangan kerja (*working stress*), dan (3) prosedur interaksi semi empiris berdasarkan kekuatan batas.

Pembatasan tegangan gabungan biasanya tidak menghasilkan kriteria yang tepat kecuali ketidak-stabilan dicegah atau faktor keamanannya besar. Persamaan interaksi mendekati kelakuan yang sebenarnya karena persamaan ini memperhitungkan keadaan stabilitas yang biasanya dijumpai. Rumus Spesifikasi AISC untuk balok-kolom merupakan jenis interaksi.

6.4.6. Gelagar Plat

Gelagar plat (*plate girder*) adalah balok yang dibentuk oleh elemen-elemen plat untuk mencapai penataan bahan yang lebih efisien dibanding dengan yang bisa diperoleh dari balok profil giling (*rolled shape*). Gelagar plat akan ekonomis bila panjang bentang sedemikian rupa hingga biaya untuk keperluan tertentu bisa dihemat dalam perencanaan. Gelagar plat bisa berbentuk konstruksi paku keling, baut atau las.

Pada awalnya gelagar plat dengan paku keling (Gambar 6.38) yang terbuat dari profil-profil siku yang disambung ke plat badan, dengan atau tanpa plat rangkap (*cover plate*). Bentuk ini digunakan pada bentangan yang berkisar antara 50 dan 150 ft. Saat ini gelagar plat umumnya selalu dilas di bengkel dengan menggunakan dua plat sayap dan satu plat badan untuk membentuk penampang melintang profil I.

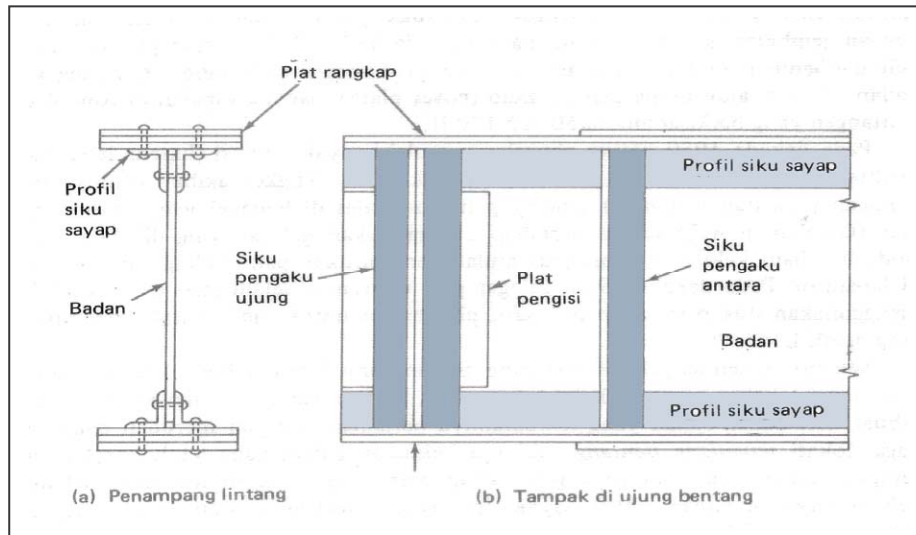


Gambar 6.37. Contoh aplikasi struktur gelagar plat

Sumber: Salmon dkk, 1991

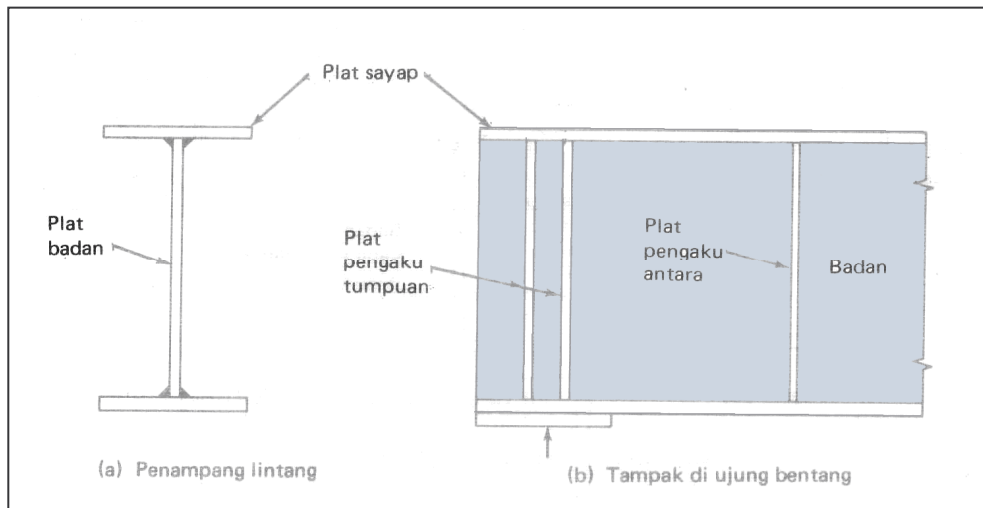
Sementara semua gelagar plat yang dikeling umumnya terbuat dari plat dan profil siku dengan bahan yang titik lelehnya sama, gelagar yang dilas dewasa ini cenderung dibuat dari bahan-bahan yang kekuatannya berlainan. Dengan merubah bahan di berbagai lokasi sepanjang bentang sehingga kekuatan bahan yang lebih tinggi berada di tempat momen dan/atau gaya geser yang besar, atau dengan memakai bahan yang

kekuatannya berlainan untuk sayap dan badan (gelagar campuran/hibrida), gelagar menjadi lebih efisien dan ekonomis.



Gambar 6.38. Komponen umum gelagar yang dikeling

Sumber: Salmon dkk, 1991



Gambar 6.39. Komponen umum gelagar yang dilas

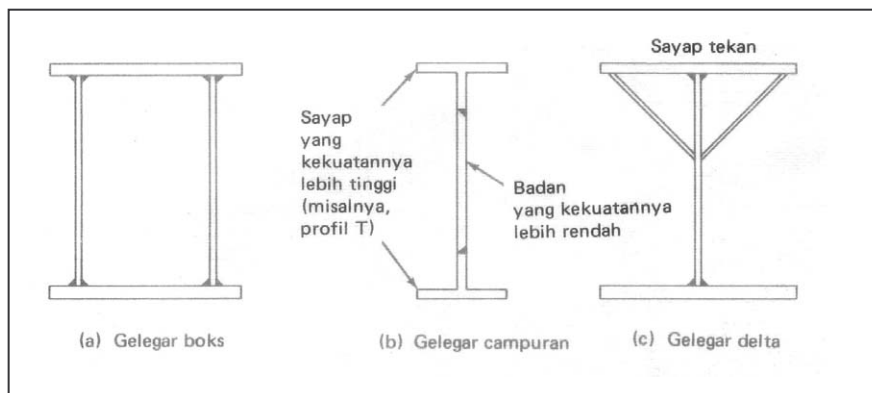
Sumber: Salmon dkk, 1991

Pengertian yang lebih baik tentang kelakuan gelagar plat, baja yang berkekuatan lebih tinggi, dan teknik pengelasan yang sudah maju membuat gelagar plat ekonomis untuk banyak keadaan yang dahulu dianggap ideal untuk rangka batang. Umumnya, bentang sederhana sepanjang 70 sampai 150 ft (20 sampai 50 m) merupakan jangkauan pemakaian gelagar plat. Untuk jembatan, bentang menerus dengan pembesaran penampang (penampang dengan tinggi variabel) sekarang merupakan aturan bagi

bentangan sepanjang 90 ft atau lebih. Ada beberapa gelagar plat menerus tiga bentang di Amerika dengan bentang tengah yang melampaui 400 ft, dan bentangan yang lebih panjang mungkin akan dibuat di masa mendatang. Gelegar plat terpanjang di dunia adalah struktur menerus tiga bentang yang melintasi Sungai Save di Belgrado, Yugoslavia, dengan bentang 246-856-246 ft (175-260-75 m). Penampang lintang jembatan ini berupa gelegar boks ganda yang tingginya berkisar antara 14 ft 9 in (4,5 m) di tengah bentang dan 31 ft 6 in (9,6 m) di atas pilar.

Tiga jenis gelegar plat yang lain diperlihatkan pada Gambar 6.40 :

- gelegar boks, memiliki kekakuan puntir besar dan digunakan untuk jembatan dengan bentangan yang panjang,
- gelegar campuran, yang terbuat dari bahan dengan kekuatan yang berlainan sesuai dengan tegangan;
- gelegar delta, yang memiliki kekakuan lateral yang besar untuk bentang tanpa sokongan samping (*lateral support*) yang panjang.



Gambar 6.40. Jenis gelegar plat yang dilas

Sumber: Salmon dkk, 1991

Konsep umum perencanaan gelegar plat makin cenderung didasarkan pada kekuatan batas. Gelagar plat dengan pengaku yang jaraknya direncanakan dengan tepat memiliki perilaku (setelah ketidakstabilan pada badan terjadi) yang hampir mirip seperti rangka batang, dengan badan sebagai pemikul gaya tarik diagonal dan pengaku sebagai pemikul gaya tekan. Perilaku seperti rangka batang ini disebut aksi medan tarik (*tension field*). Teori tekuk klasik pun menyadari bahwa kapasitas cadangan bisa diperoleh karena faktor keamanan terhadap tekuk badan lebih rendah daripada terhadap kekuatan batang keseluruhan.

Ketidakstabilan yang berkaitan dengan beban pada plat badan

Bila perencana bebas menata bahan untuk mencapai pemikulan beban yang paling efisien, maka jelaslah bahwa untuk momen lentur yang hampir seluruhnya dipikul oleh sayap, penampang yang tinggi lebih disukai. Badan diperlukan agar sayap-sayap bekerja sebagai satu kesatuan dan

untuk memikul gaya geser, tetapi tebal badan yang berlebihan menambah berat gelagar. Ditinjau dari sudut bahan, badan yang tipis dengan pengaku akan menghasilkan gelagar yang paling ringan. Dengan demikian, stabilitas plat badan yang tipis menjadi masalah utama.

Ketidakstabilan pada plat badan antara lain diakibatkan adanya:

- Tekuk elastis akibat geser murni
- Tekuk inelastis akibat geser murni
- Gabungan geser dan lentur
- Tekuk elastis akibat tekanan merata

Ketidakstabilan pada sayap tekan

Plat-plat sayap pada balok profil giling dihubungkan oleh badan yang relatif tebal sehingga kedua sayap bekerja sebagai satu kesatuan (kekakuan puntir yang besar) ketika ketidakstabilan lateral hampir terjadi. Bila h/t plat badan diperbesar, pengaruh dari sayap tarik menurun (kekuatan kolom. sayap tekan berdasarkan kekakuan lentur lateral lebih dominan). Jika h/t melampaui harga kritis uriluk tekuk akibat lentur pada bidang badan, maka penampang lintang akan berlaku memikul tegangan lentur seolah-olah sebagian badan tidak ada. Akibatnya, sokongan vertikal yang diberikan oleh badan pada sayap tekan akan banyak berkurang dan kemungkinan tekuk vertikal pada sayap harus ditinjau. Juga, setelah sokongan badan terhadap sayap berkurang, tekuk puntir sayap yang berbentuk T (gabungan sayap dan segmen badan) cenderung terjadi, tergantung pada tebal badan dan banyaknya bagian badan yang bekerja sebagai satu kesatuan dengan plat sayap.

Ketidakstabilan pada sayap tekan antara lain diakibatkan adanya

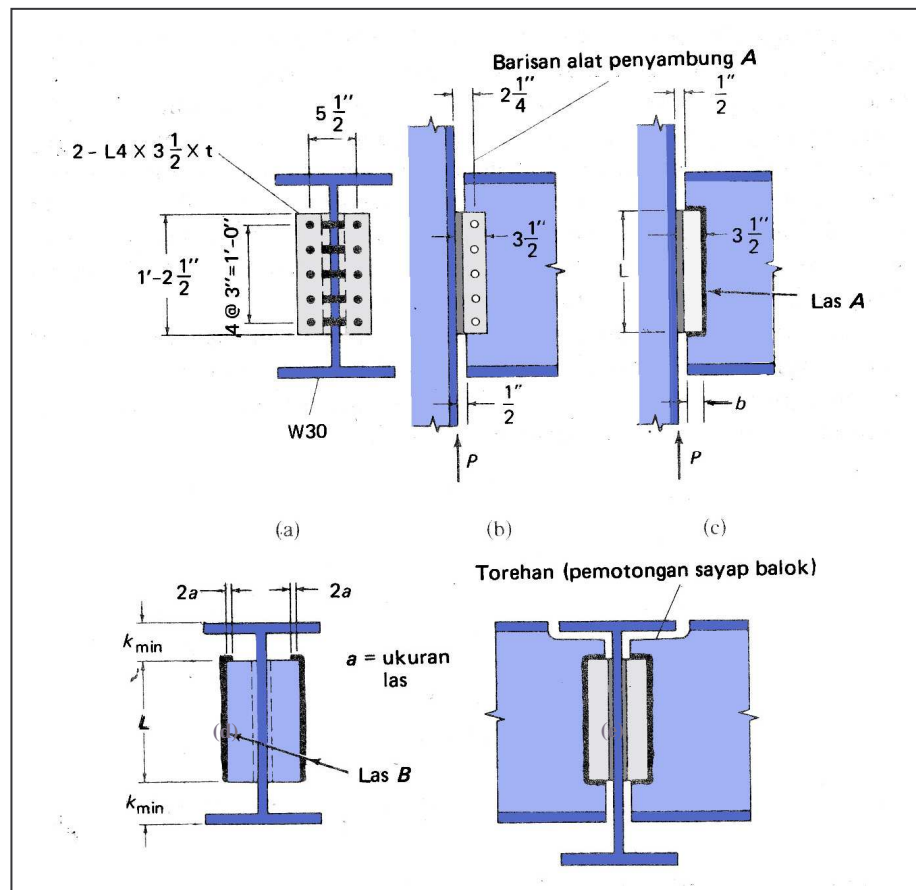
- Tekuk puntir lateral
- Tekuk vertikal
- Tekuk puntir

6.4.7. Jenis Konstruksi Sambungan pada Struktur Baja

Konstruksi sambungan pada struktur baja pada umumnya dikategorikan atas:

Sambungan portal kaku, yaitu sambungan yang memiliki kontinuitas penuh sehingga sudut pertemuan antara batang-batang tidak berubah, yakni dengan pengekangan (*restraint*) rotasi sekitar 90% atau lebih. Sambungan ini umumnya digunakan pada metode perancangan plastis.

Sambungan kerangka sederhana, yaitu sambungan dengan pengekangan rotasi pada ujung batang sekecil mungkin. Suatu kerangka dianggap sederhana jika sudut semula antara batang-batang yang berpotongan dapat berubah sampai 80% dari besarnya perubahan teoritis yang diperoleh dengan menggunakan sambungan sendi tanpa gesekan. Sambungan kerangka semi kaku, yaitu sambungan dengan pengekangan antara 20-90% dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut.



Gambar 6.41. Sambungan balok sederhana

Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.8. Sambungan balok sederhana

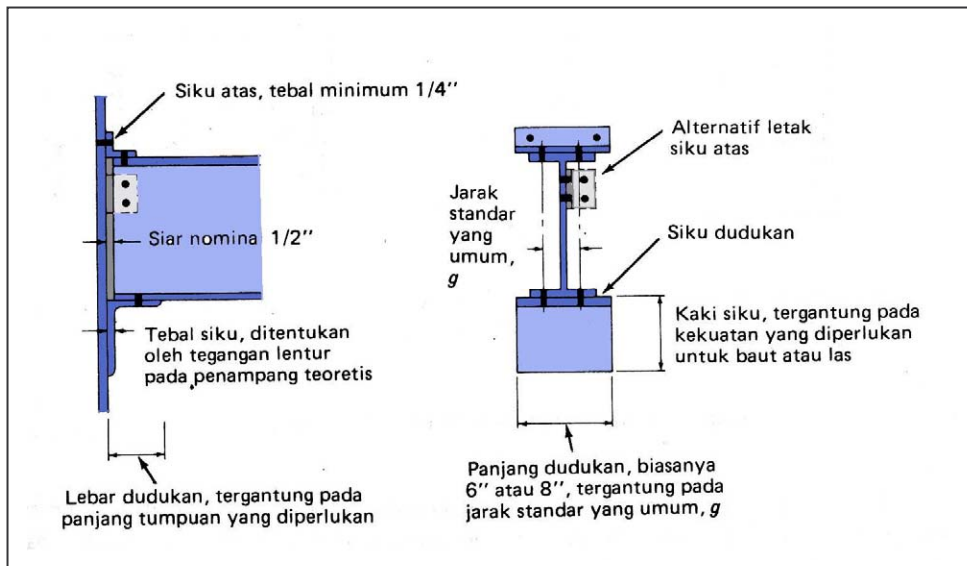
Jenis sambungan balok sederhana umumnya digunakan untuk menyambung suatu balok ke balok lainnya atau ke sayap kolom. Sambungan balok sederhana yang dilas dan dibaut diperlihatkan pada gambar 6.41. Pada sambungan ini, siku penyambung dibuat sefleksibel mungkin. Gambar 6.41(a), adalah sambungan dengan dengan 5 lubang baut yang digambarkan dengan lingkaran lubang baut yang diblok berwarna hitam. Sedangkan pada gambar 9.38(b), adalah sambungan ke badan balok dengan lubang baut yang dikerjakan di bengkel yang digambarkan dengan lingkaran yang tidak diblok. Sambungan dengan siku penyambung dapat juga dilas seperti pada gambar 6.41 (c) dan (d).

Dalam praktek konstruksi saat ini, sambungan yang dibuat di bengkel umumnya dilas sedangkan sambungan di lapangan dapat dibaut ataupun dilas. Bila sebuah balok disambungkan dengan balok lain sehingga sayap balok berada pada level yang sama, sayap balok harus

dipotong/ditoreh. Kehilangan sayap tidak banyak mengurangi kekuatan geser, karena bagian sayap hanya memikul sedikit gaya geser

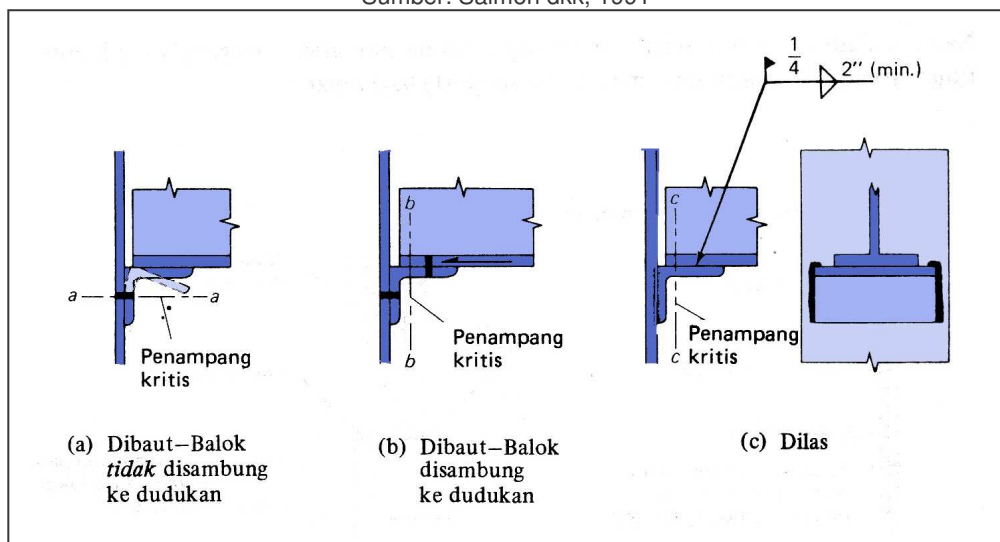
6.4.9. Sambungan balok dengan dudukan tanpa perkuatan

Merupakan alternatif dari sambungan balok sederhana dengan siku badan. Balok dapat ditumpu pada satu dudukan tanpa perkuatan (*stiffened*). Dudukan (siku) tanpa perkuatan seperti ditunjukkan pada gambar 6.42 dan direncanakan untuk memikul reaksi penuh. Sambungan dengan dudukan ditujukan hanya untuk memindahkan reaksi vertikal dan tidak boleh menimbulkan momenmyang besar pada ujung balok.



Gambar 6.42. Sambungan balok dengan dudukan tanpa perkuatan

Sumber: Salmon dkk, 1991



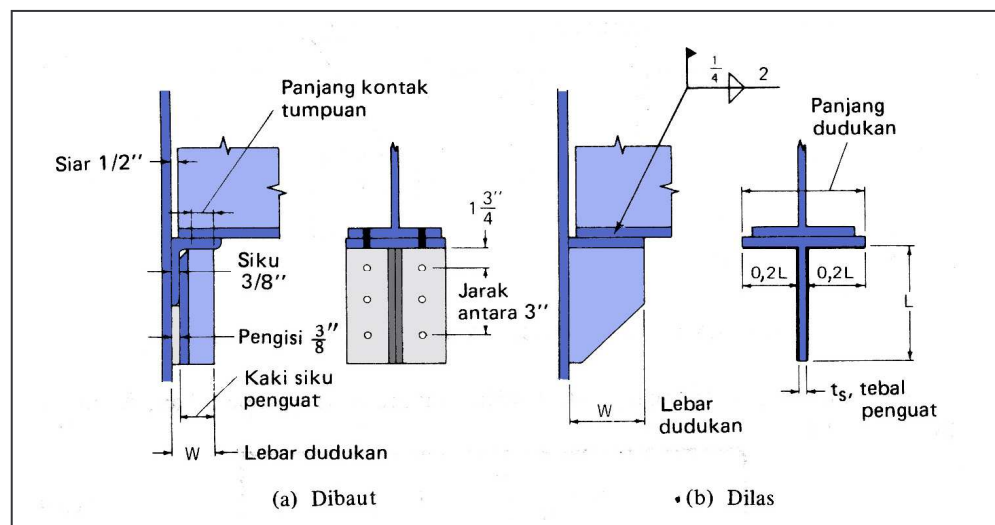
Gambar 6.43. Penampang kritis untuk lentur pada dudukan

Sumber: Salmon dkk, 1991

Tebal dudukan ditentukan oleh tegangan lentur pada penampang kritis siku tersebut, seperti pada gambar 6.43. Pada gambar 6.43(a), dipakai sambungan baut tanpa penyambungan ke balok. Penampang kritis diambil pada penampang netto yang melalui barisan baut teratas. Jika balok dihubungkan ke siku seperti gambar 6.43(b), rotasi ujung balok menimbulkan gaya yang cenderung mencegah pemisahan balok dari kolom. Pada sambungan yang dilas, las penuh pada sepanjang ujung dudukan akan melekatkan siku pada kolom, sehingga penampang kritisnya seperti ditunjukkan pada gambar 6.43(c), tanpa memandang apakah balok dihubungkan dengan dudukannya.

6.4.10. Sambungan dudukan dengan perkuatan

Bila reaksi pada dudukan terlalu berat, siku dudukan pada konstruksi baut dapat diperkuat, atau dudukan dengan perkuatan yang berbentuk T pada konstruksi las. Dudukan dengan perkuatan ini juga tidak ditujukan untuk sambungan penahan momen, tetapi hanya untuk menahan beban vertikal. Sambungan dudukan dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 6.44.

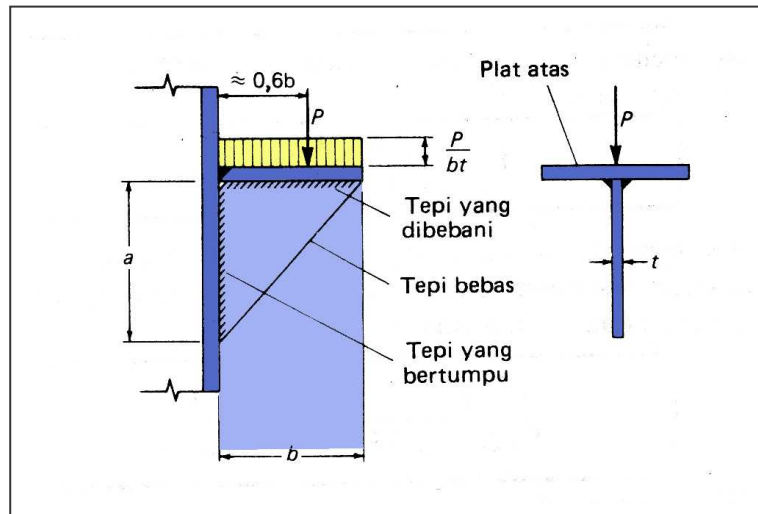


Gambar 6.44. Sambungan dudukan dengan perkuatan

Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.11. Sambungan dengan plat konsol segitiga

Merupakan sambungan dudukan perkuatan yang dipotong menjadi bentuk segitiga. Pada plat kecil dengan perkuatan yang memikul reaksi balok, bahaya yang timbul karena tekuk akan sangat kecil jika dipotong menjadi bentuk segitiga. Secara umum penguat akan menghasilkan tumpuan yang lebih kaku jika dibandingkan dengan bentuk segi empat.



Gambar 6.45. Sambungan dengan plat konsol segitiga

Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.12. Sambungan menerus balok ke kolom

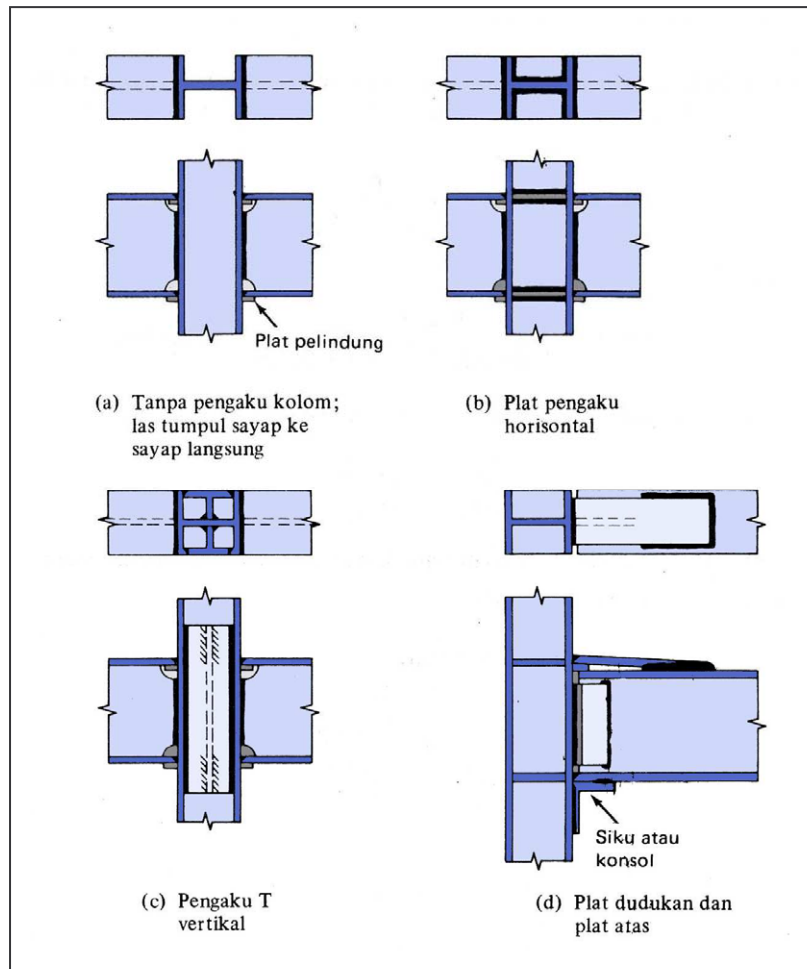
Sambungan menerus balok ke kolom bertujuan untuk memindahkan semua momen dan memperkecil atau meniadakan rotasi batang pada sambungan (jenis sambungan portal kaku). Karena sayap suatu balok memikul hampir seluruh momen lentur melalui gaya tarik dan gaya tekan sayap yang terpisah oleh lengan momen yang kira-kira sama dengan tinggi balok. Karena gaya geser utamanya dipikul oleh badan balok, maka kontinuitas penuh mengharuskan gaya geser dipindahkan langsung dari badan balok.

Konstruksi sambungan menerus balok ke kolom dapat diletakan ke sayap kolom dengan menggunakan sambungan las (Gambar 6.46) atau dengan sambungan baut (Gambar 6.47). Selain itu sambungan kolom juga dapat diletakan ke badan kolom seperti pada Gambar 6.48. Kolom dapat berhubungan secara kaku dengan balok-balok pada kedua sayapnya, seperti pada gambar 6.46 (a),(b) dan (c), atau yang hanya disambungkan pada satu sayap seperti pada gambar 6.46 (d).

6.4.13. Sambungan menerus balok ke balok

Bila sambungan balok bertemu secara tegak lurus dengan balok atau gelagar lain, balok dapat disambungkan ke badan gelagar dengan sambungan balok sederhana atau dengan gabungan dudukan dan sambungan balok sederhana. Untuk balok menerus dengan kontinuitas yang akan dipertahankan, sambungan harus memiliki derajat kekakuan yang lebih tinggi. Tujuan sambungan balok ke balok adalah untuk menyalurkan gaya tarik pada salah satu sayap balok ke balok lain yang bertemu pada sisi badan balok atau gelagar yang lain. Sambungan ini dibedakan atas: sambungan dengan sayap-sayap tarik yang bertemu tidak

disambung secara kaku (gambar 6.49) dan sambungan dengan sayap-sayap yang bertemu dan disambungkan secara kaku (gambar 6.50)



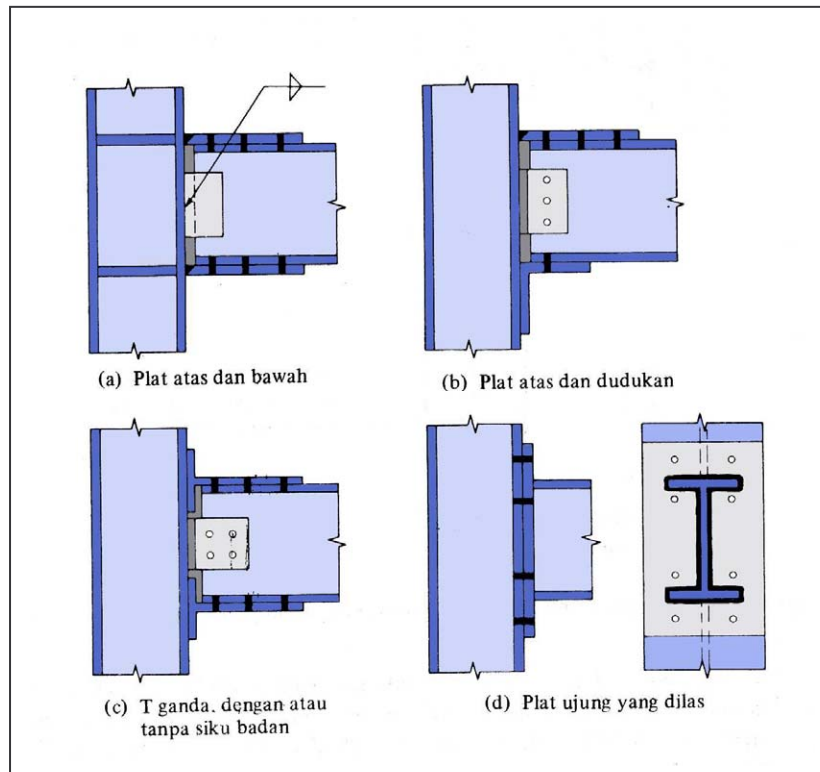
Gambar 6.46. Sambungan menerus balok yang dilas ke sayap kolom

Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.14. Sambungan sudut portal kaku

Pada perencanaan portal kaku menurut perencanaan plastis, pemindahan tegangan yang aman di pertemuan balok dan kolom sangat penting. Bila batang-batang bertemu hingga badannya terletak pada bidang portal, pertemuannya disebut sambungan sudut (*knee joint*). Sambungan yang sering digunakan adalah:

- ♦ Sudut lurus dengan atau tanpa pengaku diagonal atau lainnya (Gambar 6.51 a dan b)
- ♦ Sudut lurus dengan konsol (Gambar 6.51 c)
- ♦ Sudut dengan pelebaran lurus (*straight haunched*) (Gambar 6.51 d)
- ♦ Sudut dengan pelebaran lengkung (*curved haunched*) (Gambar 6.51 e)



Gambar 6.47. Sambungan menerus balok dengan baut ke sayap kolom

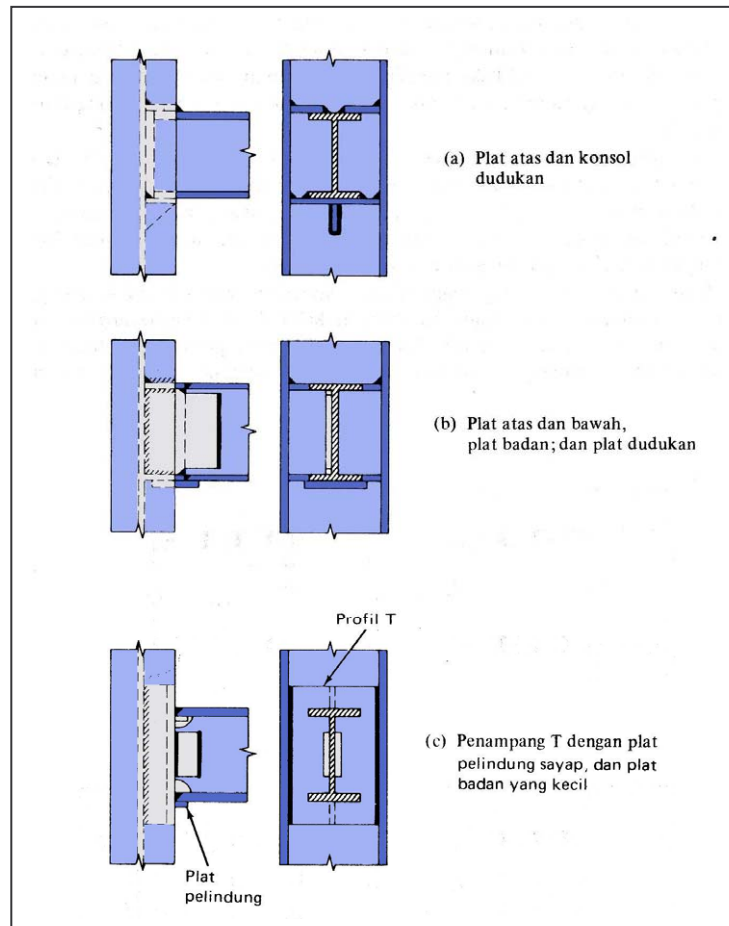
Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.15. Sambungan pada alas kolom

Sambungan pada alas kolom harus memperhatikan: (1) gaya tekan pada sayap kolom harus disebar oleh plat alas ke media penyangganya sedemikian sehingga tegangan tumpunya masih dalam batas-batas yang diijinkan, (2) penjangkaran pada alas kolom ke pondasi beton.

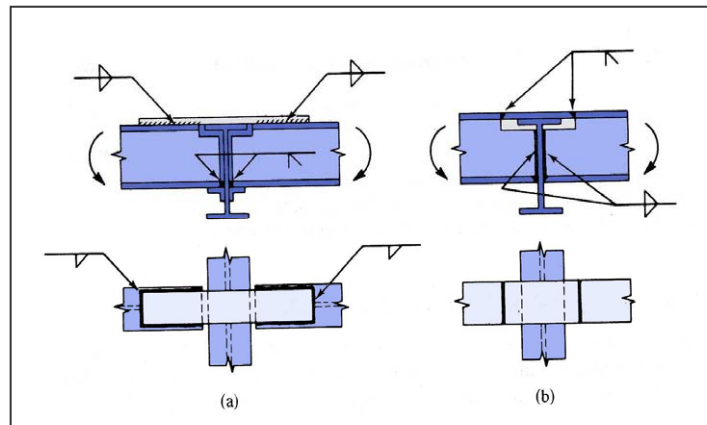
Pada alas kolom yang memikul beban aksial, dimensi dan pembebanan plat alas seperti ditunjukkan pada gambar 6.52. Distribusi tegangan di bawah plat alas dianggap merata dan daerah di luar penampang kritis dianggap bekerja seperti balok kantilever.

Alas kolom pada umumnya harus menahan momen disamping gaya aksial. Ketika momen bekerja, pratekan pada bagian tarik akibat lentur akan berkurang (seringkali menjadi 0), sehingga daya tahan terhadap tarik hanya diberikan oleh baut angkur. Pada bagian tekan bidang kontak tetap mengalami tekanan. Penjangkaran mampu menjalani deformasi rotasi yang tergantung pada panjang baut angkur untuk berubah bentuk secara elastis. Sejumlah metode dan detail konstruksi yang rumit dikembangkan pada perencanaan alas kolompemahan momen, yang bervariasi tergantung pada besarnya eksentrisitas beban dan detail penjangkaran yang khusus. Beberapa detail sambungan alas kolom untuk menahan momen diperlihatkan pada Gambar 6.53.



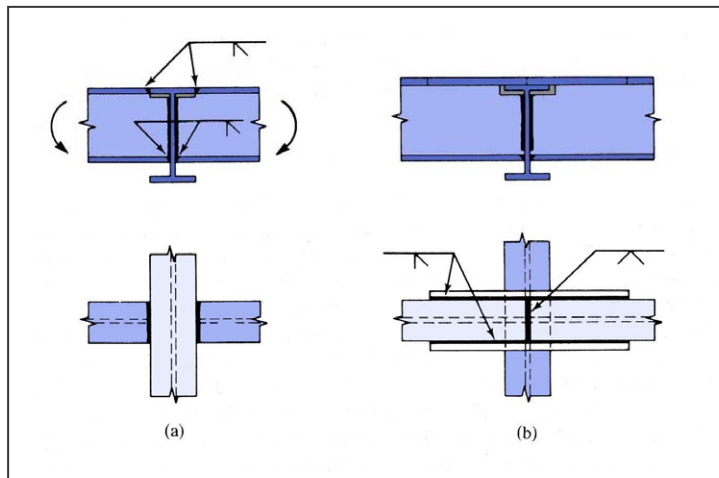
Gambar 6.48. Sambungan menerus balok yang dilas ke badan kolom

Sumber: Salmon dkk, 1991



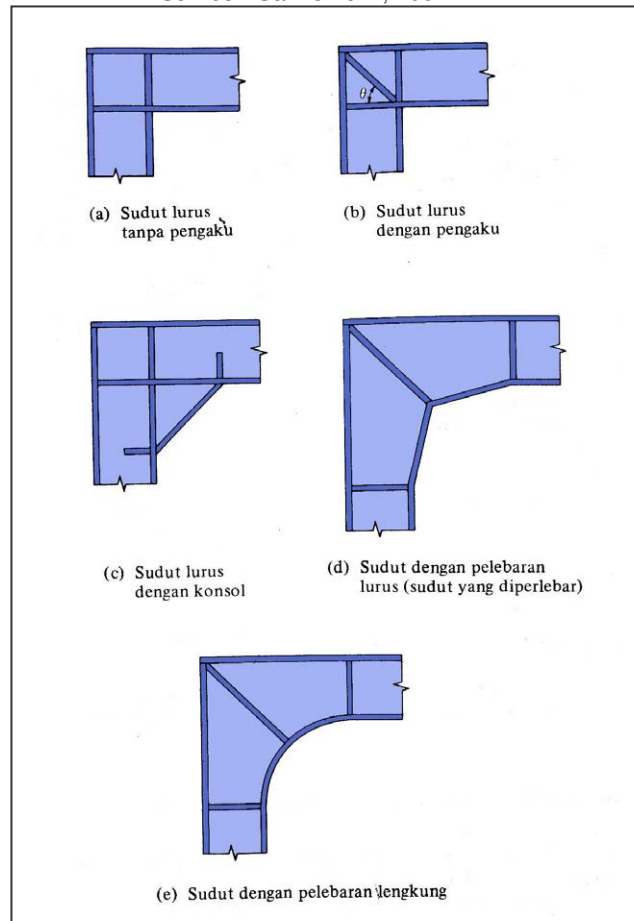
Gambar 6.49. Sambungan menerus balok ke balok dengan sayap yang tidak disambung secara kaku

Sumber: Salmon dkk, 1991



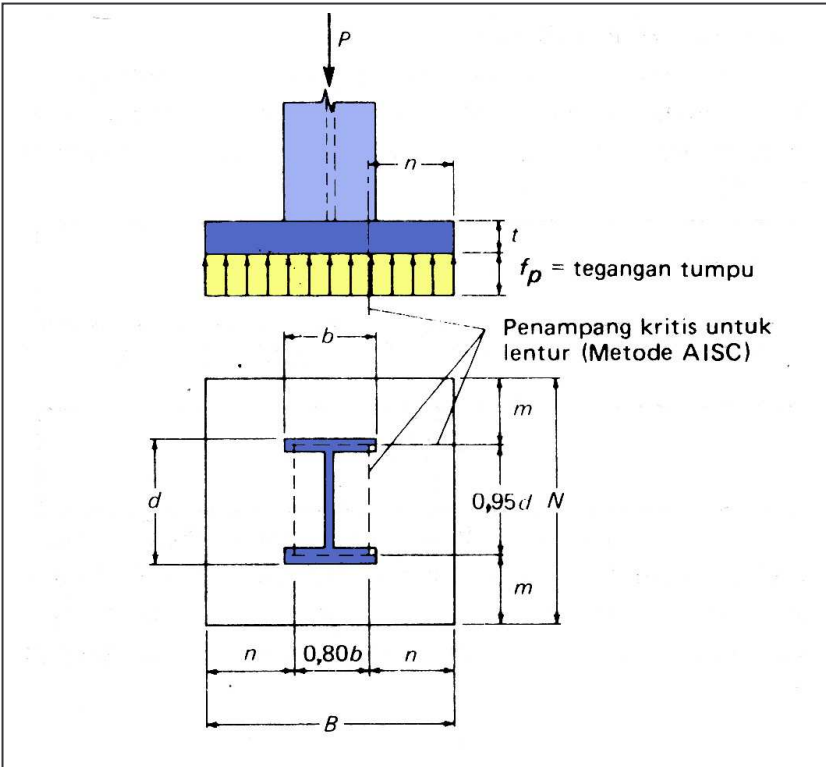
Gambar 6.50. Sambungan menerus balok ke balok dengan sayap yang disambung secara kaku

Sumber: Salmon dkk, 1991



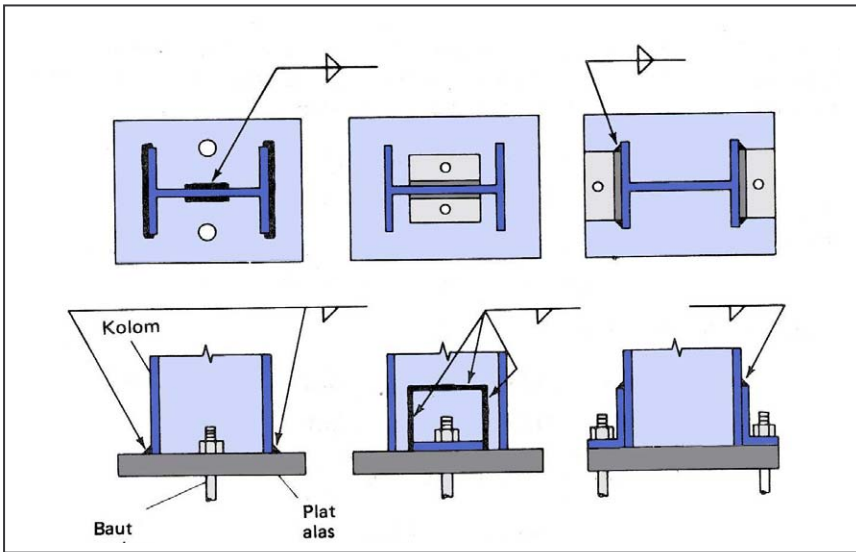
Gambar 6.51. Sambungan sudut portal kaku

Sumber: Salmon dkk, 1991



Gambar 6.52. Sistem dan dimensi plat alas kolom

Sumber: Salmon dkk, 1991

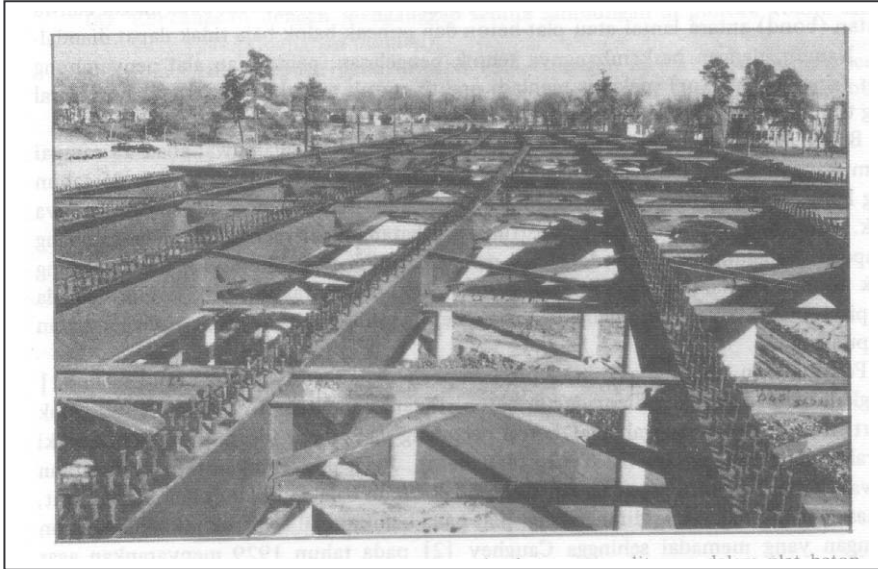


Gambar 6.53. Sambungan alas kolom yang menahan momen

Sumber: Salmon dkk, 1991

6.4.16. Baja sebagai Elemen Komposit

Kerangka baja yang menyangga konstruksi plat beton bertulang yang dicor di tempat pada awalnya direncanakan dengan anggapan bahwa plat beton dan baja bekerja secara terpisah dalam menahan beban. Pengaruh komposit dari baja dan beton yang bekerja sama tidak diperhitungkan.



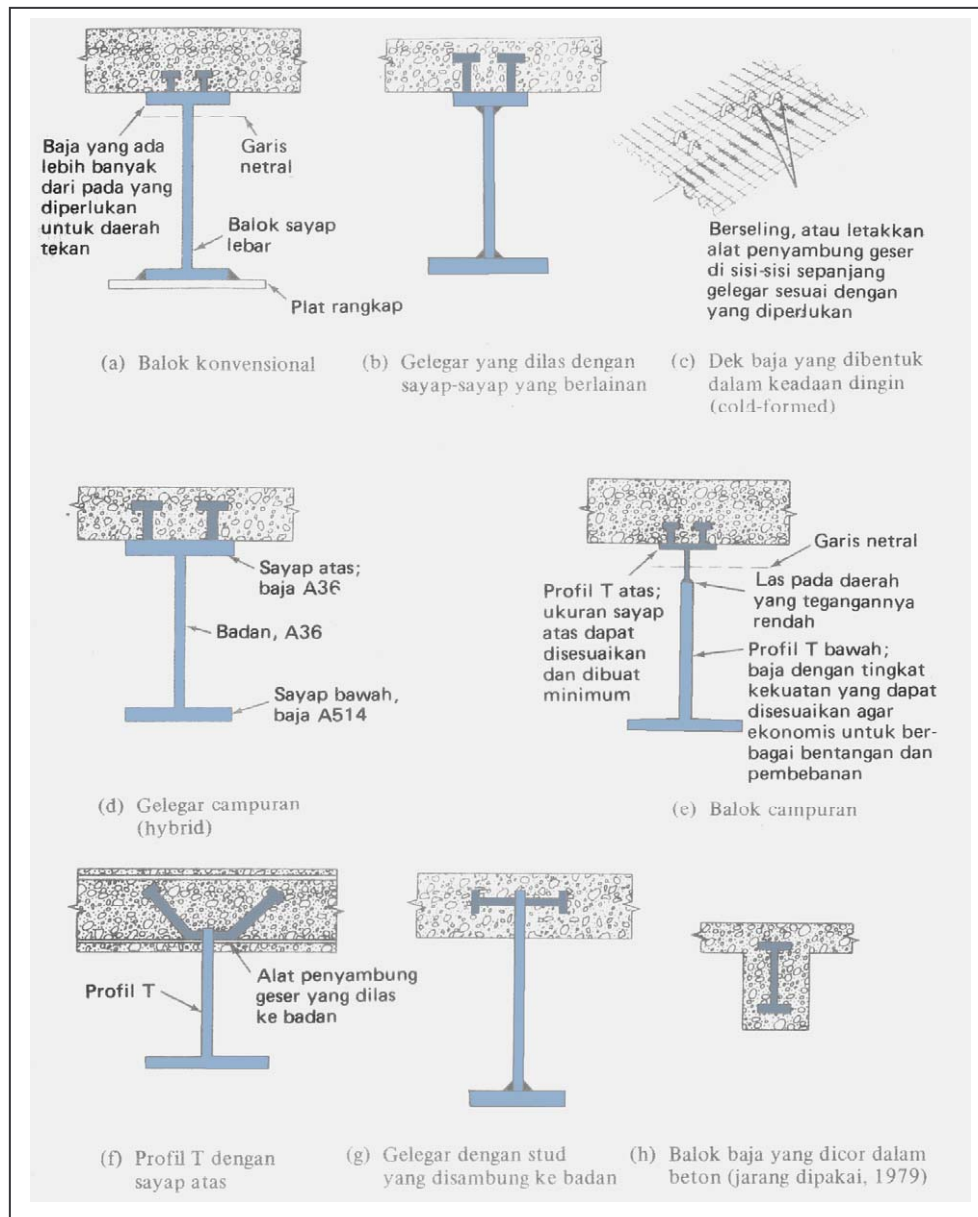
Gambar 6.54. Struktur baja komposit

Sumber: Salmon dkk, 1991

Pengabaian ini didasarkan pada alasan bahwa lekatan (*bond*) antara lantai atau plat beton dan bagian atas balok baja tidak dapat diandalkan. Namun, dengan berkembangnya teknik pengelasan, pemakaian alat penyambung geser (*shear connector*) mekanis menjadi praktis untuk menahan gaya geser horisontal yang timbul ketika batang terlentur.

Karena tegangan dalam plat lebar yang bertumpu pada balok baja tidak seragam sepanjang lebar plat, rumus lentur yang biasa ($f = Mc/I$) tidak berlaku. Sama seperti pada penampang T yang seluruhnya terbuat dari beton bertulang, plat yang lebar diubah menjadi plat dengan lebar ekuivalen agar rumus lentur dapat diterapkan untuk memperoleh kapasitas momen yang tepat.

Faktor yang penting pada aksi komposit ialah lekatan antara beton dan baja harus tetap ada. Ketika para perencana mulai meletakkan plat beton pada puncak balok baja penyanggah, para peneliti mulai mempelajari kelakuan alat penyambung geser mekanis. Alat penyambung geser menghasilkan interaksi yang diperlukan untuk aksi komposit antara balok baja profil I dan plat beton, yang sebelumnya hanya dihasilkan oleh lekatan untuk balok yang ditanam seluruhnya dalam beton.



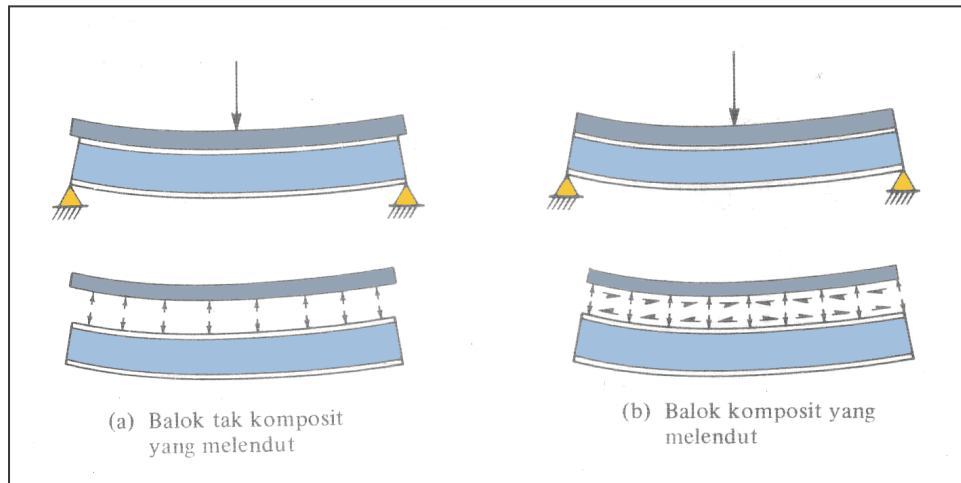
Gambar 6.55. Berbagai macam struktur komposit

Sumber: Salmon dkk, 1991

Aksi komposit

Aksi komposit timbul bila dua batang struktural pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan balok baja penyangga disambung secara integral dan melendut secara satu kesatuan. Contoh penampang lintang komposit yang umum diperlihatkan pada Gambar 6.56. Besarnya aksi komposit yang

timbul bergantung pada penataan yang dibuat untuk menjamin regangan linear tunggal dari atas plat beton sampai muka bawah penampang baja.



Gambar 6.56. Perbandingan lendutan balok dengan dan tanpa aksi komposit

Sumber: Salmon dkk, 1991

Untuk memahami konsep kelakuan komposit, pertama tinjaulah balok yang tidak komposit dalam Gambar 6.56(a). Pada keadaan ini, jika gesekan antara plat dan balok diabaikan, balok dan plat masing-masing memikul suatu bagian beban secara terpisah. Bila plat mengalami deformasi akibat beban vertikal, permukaan bawahnya akan tertarik dan memanjang; sedang permukaan atas balok tertekan dan memendek. Jadi, diskontinuitas akan terjadi pada bidang kontak. Karena gesekan diabaikan, maka hanya gaya dalam vertikal yang bekerja antara plat dan balok.

Keuntungan dan kerugian

Keuntungan utama dari perencanaan komposit ialah:

- Penghematan berat baja
- Penampang balok baja dapat lebih rendah
- Kekakuan lantai meningkat
- Panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar
- Kapasitas pemikul beban meningkat

Penghematan berat baja sebesar 20 sampai 30% seringkali dapat diperoleh dengan memanfaatkan semua keuntungan dari sistem komposit. Pengurangan berat pada balok baja ini biasanya memungkinkan pemakaian penampang yang lebih rendah dan juga lebih ringan. Keuntungan ini bisa banyak mengurangi tinggi bangunan bertingkat banyak sehingga diperoleh penghematan bahan bangunan yang lain seperti dinding luar dan tangga.

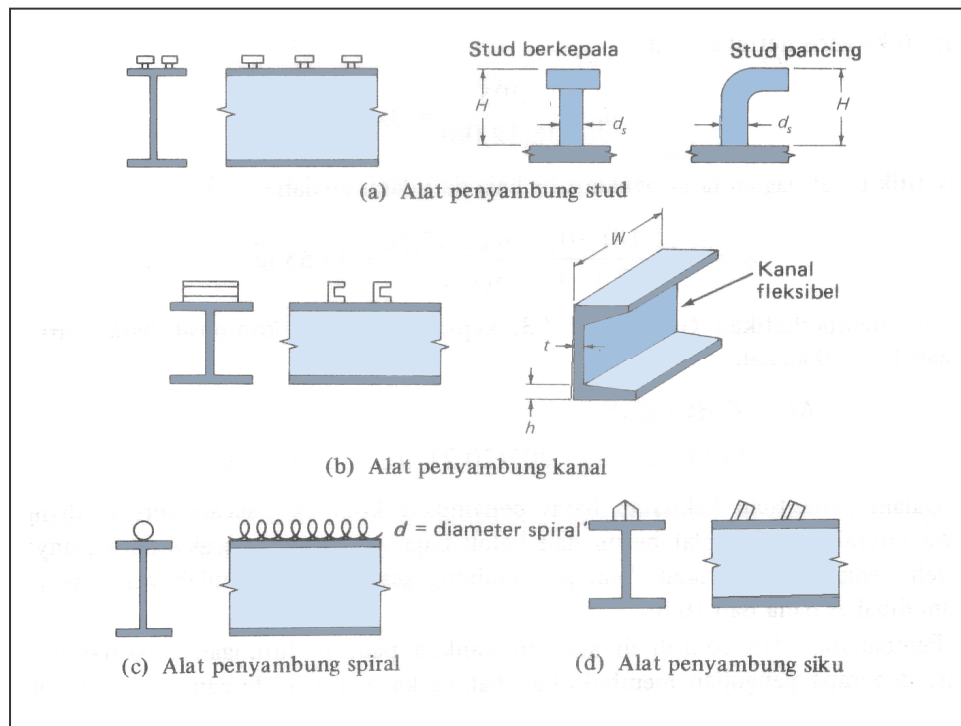
Kekakuan lantai komposit jauh lebih besar dari kekakuan lantai beton yang balok penyanggahnya bekerja secara terpisah. Biasanya plat beton bekerja sebagai plat satu arah yang membentang antara balok-balok baja

penyangga. Dalam perencanaan komposit, aksi plat beton dalam arah sejajar balok dimanfaatkan dan digabungkan dengan balok baja penyangga. Akibatnya, momen inersia konstruksi lantai dalam arah balok baja meningkat dengan banyak. Kekakuan yang meningkat ini banyak mengurangi lendutan beban hidup dan jika penunjang (*shoring*) diberikan selama pembangunan, lendutan akibat beban mati juga akan berkurang. Pada aksi komposit penuh, kekuatan batas penampang jauh melampaui jumlah dari kekuatan plat dan balok secara terpisah sehingga timbul kapasitas cadangan yang tinggi.

Keuntungan keseluruhan dari pemakaian konstruksi komposit bila ditinjau dari segi biaya bangunan total nampaknya baik dan terus meningkat. Pengembangan kombinasi sistem lantai yang baru terus menerus dilakukan, dan pemakaian baja berkekuatan tinggi serta balok campuran dapat diharapkan memberi keuntungan yang lebih banyak. Juga, sistem dinding komposit dan kolom komposit mulai dipakai pada gedung-gedung.

Walaupun konstruksi komposit tidak memiliki kerugian utama, konstruksi ini memiliki beberapa batasan yang sebaiknya disadari, yakni:

- Pengaruh kontinuitas
- Lendutan jangka panjang



Gambar 6.57. Alat penyambung geser komposit yang umum

Sumber: Salmon dkk, 1991

Lendutan jangka panjang dapat menjadi masalah jika aksi penampang komposit menahan sebagian besar beban hidup atau jika beban hidup terus bekerja dalam waktu yang lama. Namun, masalah ini dapat dikurangi

dengan memakai lebar plat efektif yang direduksi atau dengan memperbesar rasio modulus elastisitas n .

Alat Penyambung Geser Komposit

Gaya geser horisontal yang timbul antara plat beton dan balok baja selama pembebanan harus ditahan agar penampang komposit bekerja secara monolit. Walaupun lekatan yang timbul antara plat beton dan balok baja mungkin cukup besar, lekatan ini tidak dapat diandalkan untuk memberi interaksi yang diperlukan. Juga, gaya gesek antara plat beton dan balok baja tidak mampu mengembangkan interaksi ini. Sebagai gantinya, alat penyambung geser mekanis yang disambung ke bagian atas balok baja harus diberikan. Alat penyambung geser yang umum diperlihatkan pada Gambar 6.57.

Pertanyaan pemahaman:

1. Apakah kelebihan penggunaan bahan baja sebagai material struktur bangunan?
2. Sebutkan sifat-sifat mekanis baja?
3. Sebutkan jenis-jenis profil baja di pasaran berdasarkan klasifikasi proses pembentukannya?
4. Sebutkan dan jelaskan beberapa sistem konstruksi baja untuk struktur bangunan?
5. Jelaskan karakteristik sambungan baut untuk konstruksi baja?
6. Sebutkan macam-macam sambungan las?
7. Jelaskan kriteria struktur dengan konstruksi baja!
8. Jelaskan kriteria dan persyaratan struktur dengan konstruksi baja untuk elemen batang tarik, batang tekan dan lentur!
9. Gambarkan beberapa aplikasi konstruksi pada struktur baja?

Tugas pendalaman:

Cari sebuah contoh bangunan dengan struktur rangka baja. Gambarkan macam-macam konstruksi sambungan yang terdapat pada struktur rangka baja tersebut. Jelaskan jenis konstruksi sambungan serta peralatan sambung apa saja yang digunakan.

7.

TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI BETON

Beton merupakan bahan komposit dari agregat bebatuan dan semen sebagai bahan pengikat, yang dapat dianggap sebagai sejenis pasangan bata tiruan karena beton memiliki sifat yang hampir sama dengan bebatuan dan batu bata (berat jenis yang tinggi, kuat tekan yang sedang, dan kuat tarik yang kecil). Beton dibuat dengan pencampuran bersama semen kering dan agregat dalam komposisi yang tepat dan kemudian ditambah dengan air, yang menyebabkan semen mengalami hidrolisasi dan kemudian seluruh campuran berkumpul dan mengeras untuk membentuk sebuah bahan dengan sifat seperti bebatuan.

Beton mempunyai satu keuntungan lebih dibandingkan dengan bebatuan, yaitu bahwa beton tersedia dalam bentuk semi cair selama proses pembangunan dan hal ini mempunyai tiga akibat penting: pertama, hal ini berarti bahwa bahan-bahan lain dapat digabungkan ke dalamnya dengan mudah untuk menambah sifat yang dimilikinya. Baja yang terpenting dari baja-baja lainnya adalah baja dalam bentuk batang tulangan tipis yang memberikan kepada bahan komposit yakni beton bertulang kekuatan tarik dan kekuatan lentur selain kekuatan tekan. Kedua, tersedianya beton dalam bentuk cairan membuatnya dapat dicetak ke dalam variasi bentuk yang luas. Ketiga, proses pencetakan memberikan sambungan antar elemen yang sangat efektif dan menghasilkan struktur yang menerus yang meningkatkan efisiensi struktur.

Beton bertulang selain memiliki kekuatan tarik, juga memiliki kekuatan tekan dan karena itu cocok untuk semua jenis elemen struktur termasuk elemen struktur yang memikul beban jenis lentur. Beton bertulang juga merupakan bahan yang kuat, dengan demikian beton dapat digunakan pada berbagai bentuk struktur seperti pada rangka kerja di mana diperlukan bahan yang kuat dan elemen-elemen yang ramping. Beton bertulang juga

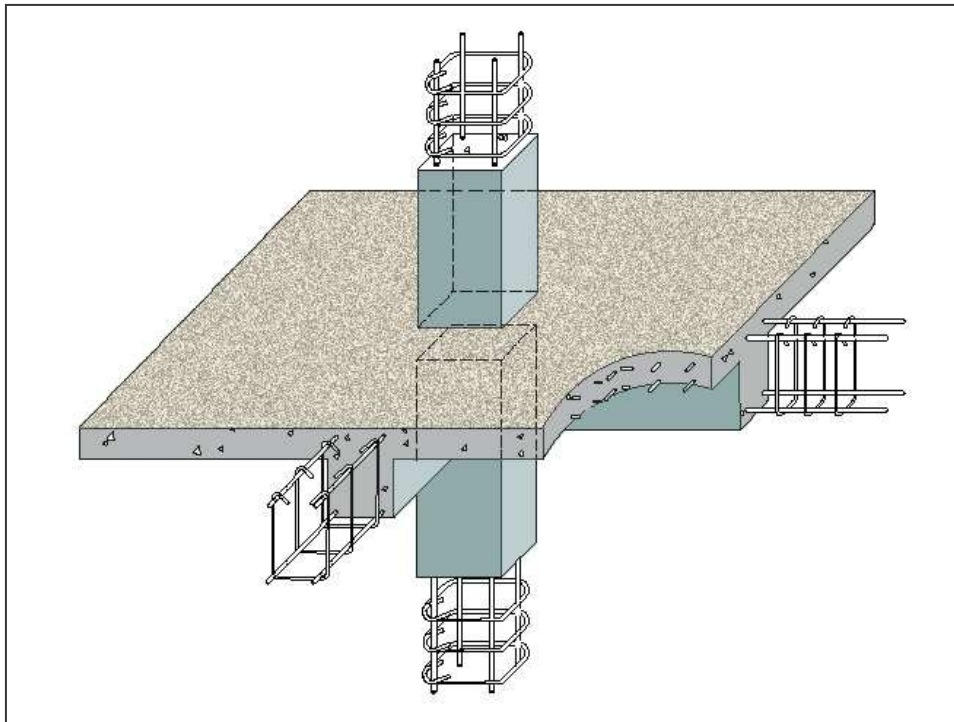


Gambar 7.1. Bangunan struktur beton

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

dapat digunakan untuk membuat struktur bentang panjang, struktur yang tinggi, dan struktur bangunan bertingkat banyak.

Gambar 7.2. Struktur beton bertulang



Sumber: Chen & M. Lui, 2005

2.1. Sifat dan Karakteristik Beton sebagai Material Struktur Bangunan

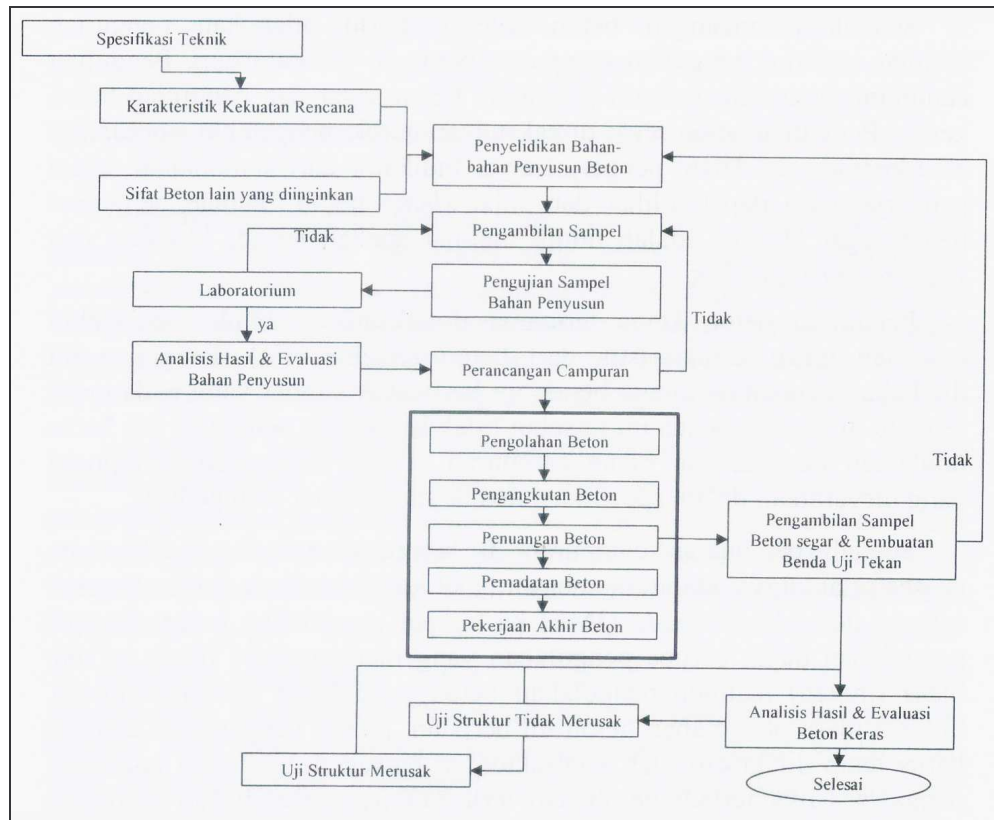
7.1.1. Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan (f'_c) merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas, dan dinyatakan dengan Mpa atau N/mm^2 . Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang sangat kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kuat tekan dapat dilakukan dengan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 pada umum benda uji 28 hari.

Kuat tekan beton ditetapkan oleh perencana struktur (dengan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, Berdasarkan SNI 03-2847-2002, beton harus dirancang sedemikian hingga menghasilkan kuat tekan sesuai dengan aturan-aturan dalam tata cara tersebut dan tidak boleh kurang daripada 17,5 Mpa.

7.1.2. Kemudahan Pengerjaan

Kemudahan pengerjaan beton juga merupakan karakteristik utama yang juga dipertimbangkan sebagai material struktur bangunan. Walaupun suatu struktur beton dirancang agar mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi jika rancangan tersebut tidak dapat diimplementasikan di lapangan karena sulit untuk dikerjakan maka rancangan tersebut menjadi percuma. Secara garis besar pengerjaan beton mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3. Bagan alir aktivitas pengerjaan beton

Sumber: Mulyono, 2005

7.1.3. Rangkak dan Susut

Setelah beton mengeras, maka beton akan mengalami pembebanan. Pada kondisi ini maka terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton akan menunjukkan sifat elastisitas murni jika mengalami waktu pembebanan singkat, jika tidak maka beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai lama pembebanannya.

Rangkak (*creep*) adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Rangkak timbul dengan intensitas yang

semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemudian berakhir setelah beberapa tahun. Nilai rangkai untuk beton mutu tinggi akan lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah. Umumnya, rangkai tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur, tetapi akan mengakibatkan redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya lendutan (*deflection*).

Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Proses susut pada beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya akan bersifat menambah deformasi rangkai.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkai dan susut:

- Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat)
- Rasio air terhadap jumlah semen
- suhu pada saat pengerasan
- Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan
- Umur beton pada saat beban bekerja
- Nilai slump
- Lama pembebanan
- Nilai tegangan
- Nilai rasio permukaan komponen struktur

7.1.4. Standar Nasional Indonesia

Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan struktur beton untuk bangunan gedung adalah **SNI 03-2847-2002** tentang **Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung**, yang menggunakan acuan normatif:

- SK SNI S-05-1989-F, Standar spesifikasi bahan bangunan bagian B (bahan bangunan dari besi/baja).
- SNI 03 2492 1991, Metode pengambilan benda uji beton inti.
- SNI 03-1726-1989, Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung.
- SNI 03-1727-1989-F, Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.
- SNI 03-1974-1990, Metode pengujian kuat tekan beton.
- SNI 03-2458-1991, Metode pengujian pengambilan contoh untuk campuran beton segar.
- SNI 03-2461-1991, Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktur.
- SNI 03-2492-1991, Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium.
- SNI 03-2496-1991, Spesifikasi bahan tambahan pembentuk gelembung untuk beton.
- SNI 03-2834-1992, Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.
- SNI 03-3403-1991-03, Metode pengujian kuat tekan beton inti pemboran.

- SNI 03-3403-1994, Metode pengujian kuat tekan beton inti.
- SNI 03-4433-1997, Spesifikasi beton siap pakai.
- SNI 03-4810-1998, Metode pembuatan dan perawatan benda uji di lapangan.
- SNI 07-0052-1987, Baja kanal bertepi bulat canai panas, mutu dan cara uji.
- SNI 07-0068-1987, Pipa baja karbon untuk konstruksi umum, mutu dan cara uji.
- SNI 07-0722-1989, Baja canai panas untuk konstruksi umum.
- SNI 07-3014-1992, Baja untuk keperluan rekayasa umum.
- SNI 07-3015-1992, Baja canai panas untuk konstruksi dengan pengelasan.
- SNI 15-2049-1994, Semen portland.
- ANSI/AWS D1.4, Tata cara pengelasan – Baja tulangan.
- ASTM A 184M, Standar spesifikasi untuk anyaman batang baja ulir yang difabrikasi untuk tulangan beton bertulang.
- ASTM A 185, Standar spesifikasi untuk serat baja polos untuk beton bertulang.
- ASTM A 242M, Standar spesifikasi untuk baja struktural campuran rendah mutu tinggi.
- ASTM A 36M-94, Standar spesifikasi untuk baja karbon struktural.
- ASTM A 416M, Standar spesifikasi untuk strand baja, tujuh kawat tanpa lapisan untuk beton pategang.
- ASTM A 421, Standar spesifikasi untuk kawat baja penulangan - Tegangan tanpa pelapis untuk beton pategang.
- ASTM A 496-94, Standar spesifikasi untuk kawat baja untuk beton bertulang.
- ASTM A 497-94a, Standar spesifikasi untuk jaring kawat las ulir untuk beton bertulang.
- ASTM A 500, Standar spesifikasi untuk las bentukan dingin dan konstruksi pipa baja karbon tanpa sambungan.
- ASTM A 501-93, Standar spesifikasi untuk las canai-panas dan dan pipa baja karbon struktural tanpa sambungan.
- ASTM A 53, Standar spesifikasi untuk pipa, baja, hitam dan pencelupan panas, zinc pelapis las dan tanpa sambungan.
- ASTM A 572M, Standar spesifikasi untuk baja struktural mutu tinggi campuran columbium vanadium.
- ASTM A 588M, Standar spesifikasi untuk baja struktural campuran rendah mutu tinggi dengan kuat leleh minimum 345 MPa pada ketebalan 100 mm.
- ASTM A 615M, Standar spesifikasi untuk tulangan baja ulir dan polos gilas untuk beton bertulang
- ASTM A 616M-96a, Standar spesifikasi untuk rel baja ulir dan polos untuk, bertulang termasuk keperluan tambahan S1.

- ASTM A 617M, Standar spesifikasi untuk serat baja ulir dan polos untuk beton bertulang.
- ASTM A 645M-96a, Standar spesifikasi untuk baja gilas ulir and polos - Tulangan baja untuk beton bertulang.
- ASTM A 706M, Standar spesifikasi untuk baja ulir dan polos paduan rendah mutu tinggi untuk beton prategang.
- ASTM A 722, Standar spesifikasi untuk baja tulangan mutu tinggi tanpa lapisan untuk beton prategang.
- ASTM A 767M-90, Standar spesifikasi untuk baja dengan pelapis seng (galvanis) untuk beton bertulang.
- ASTM A 775M-94d, Standar spesifikasi untuk tulangan baja berlapis epoksi.
- ASTM A 82, Standar spesifikasi untuk kawat tulangan polos untuk penulangan beton.
- ASTM A 82-94, Standar spesifikasi untuk jaringan kawat baja untuk beton bertulang.
- ASTM A 884M, Standar spesifikasi untuk kawat baja dan jaring kawat las berlapis epoksi untuk tulangan.
- ASTM A 934M, Standar spesifikasi untuk lapisan epoksi pada baja tulangan yang diprefabrikasi.
- ASTM C 1017, Standar spesifikasi untuk bahan tambahan kimiawi untuk menghasilkan beton dengan kelecakan yang tinggi.
- ASTM C 109, Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis.
- ASTM C 109-93, Standar metode uji kuat tekan mortar semen hidrolis (menggunakan benda uji kubus 50 mm).
- ASTM C 1240, Standar spesifikasi untuk silica fume untuk digunakan pada beton dan mortar semen-hidrolis.
- ASTM C 31-91, Standar praktis untuk pembuatan dan pemeliharaan benda uji beton di lapangan.
- ASTM C 33, Standar spesifikasi agregat untuk beton.
- ASTM C 33-93, Standar spesifikasi untuk agregat beton.
- ASTM C 39-93a, Standar metode uji untuk kuat tekan benda uji silinder beton.
- ASTM C 42-90, Standar metode pengambilan dan uji beton inti dan pemotongan balok beton.
- ASTM C 494, Standar spesifikasi bahan tambahan kimiawi untuk beton.
- ASTM C 595, Standar spesifikasi semen blended hidrolis.
- ASTM C 618, Standar spesifikasi untuk abu terbang dan pozzolan alami murni atau terkalsinasi untuk digunakan sebagai bahan tambahan mineral pada beton semen portland.
- ASTM C 685, Standar spesifikasi untuk beton yang dibuat melalui penakaran volume dan pencampuran menerus.
- ASTM C 845, Standar spesifikasi semen hidrolis ekspansif.
- ASTM C 94-94, Standar spesifikasi untuk beton jadi.

- ASTM C 989, Standar spesifikasi untuk kerak tungku pijar yang diperhalus untuk digunakan pada beton dan mortar.

2.2. Material Penyusun Beton bertulang

Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan-ikat. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen. Pada prinsipnya pasta semen mengikat pasir dan bahan-bahan agregat lain (batu kerikil, basalt dan sebagainya). Rongga di antara bahan-bahan kasar diisi oleh bahan-bahan halus. Hal ini memberi gambaran bahwa harus ada perbandingan optimal antara agregat campuran yang bentuknya berbeda-beda agar pembentukan beton dapat dimanfaatkan oleh seluruh material.

Material penyusun beton secara umum dibedakan atas:

- semen: bahan pengikat hidrolis,
- agregat campuran: bahan batu-batuan yang netral (tidak bereaksi) dan merupakan bentuk sebagian besar beton (misalnya: pasir, kerikil, batu-pecah, *basalt*);
- air
- bahan tambahan (*admixtures*) bahan kimia tambahan yang ditambahkan ke dalam spesi-beton dan/atau beton untuk mengubah sifat beton yang dihasilkan (misalnya; '*accelerator*', '*retarder*' dan sebagainya)

Sedangkan produk campuran tersebut dibedakan atas:

- batuan-semen: campuran antara semen dan air (pasta semen) yang mengeras
- spesi-mortar: campuran antara semen, agregat halus dan air yang belum mengeras;
- mortar: campuran antara semen, agregat halus dan air yang telah mengeras;
- spesi-beton: campuran antara semen, agregat campuran (halus dan kasar) dan air yang belum mengeras;
- beton: campuran antara semen, agregat campuran dan air yang telah mengeras;

7.2.1. Semen

Semen dipakai sebagai pengikat sekelompok bahan-ikat hidrolis untuk pembuatan beton. Hidrolis berarti bahwa semen bereaksi dengan air dan membentuk suatu batuan massa, suatu produksi keras (batuan-semen) yang kedap air.

Semen adalah suatu hasil produksi yang dibuat di pabrik-semen. Pabrik-pabrik semen memproduksi bermacam-macam jenis semen dengan sifat-sifat dan karakteristik yang berlainan.

Semen dibedakan dalam dua kelompok utama yakni:

- semen dari bahan klinker-semen-Portland
 - semen Portland,
 - semen Portland abu terbang,
 - semen Portland berkadar besi,
 - semen tanur-tinggi ('*Hoogovenement*'),
 - semen Portland tras/puzzolan,
 - semen Portland putih.
- semen-semen lain
 - aluminium semen,
 - semen bersulfat

Perbedaan di atas berdasarkan karakter dari reaksi pengerasan kimiawi. Semen-semen dari kelompok-1, diantara yang satu dan yang lain tidak saling bereaksi (membentuk persenyawaan lain). Semen kelompok-2 bila saling dicampur atau bercampur dengan kelompok-1 akan membentuk suatu persenyawaan baru. Hal ini berarti semen dari kelompok-2 tidak boleh dicampur. Semen portland dan semen portland abu-terbang adalah semen yang umum dipakai di Indonesia.

Semen dan air saling bereaksi, persenyawaan ini dinamakan hidratisasi sedangkan hasil yang terbentuk disebut hidrasi-semen. Proses reaksi berlangsung sangat cepat. Kecepatan yang mempengaruhi waktu pengikatan adalah:

- kehalusan semen
- faktor air-semen
- temperatur.

Kehalusan penggilingan semen mempengaruhi kecepatan pengikatan. Kehalusan penggilingan dinamakan penampang spesifik (adalah total diameter penampang semen). Jika seluruh permukaan penampang lebih besar, maka semen akan memperluas bidang kontak (persinggungan) dengan air yang semakin besar. Lebih besar bidang persinggungannya semakin cepat kecepatan bereaksinya, Karena itu kekuatan awal dari semen-semen yang lebih halus (penampang spesifik besar) akan lebih tinggi, sehingga pengaruh kekuatan-akhir berkurang.

Ketika semen dan air bereaksi timbul panas, panas ini dinamakan panas-hidratisasi. Jumlah panas yang dibentuk antara lain tergantung dari jenis semen yang dipakai dan kehalusan penggilingan. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat membentuk suatu masalah yakni retakan yang terjadi ketika pendinginan. Pada beberapa struktur beton retakan ini tidak diinginkan. Terutama pada struktur beton mutu tinggi pembentukan panas ini sangat besar. Panas hidratisasi pada suatu struktur beton dapat ditentukan dan untuk beberapa pemakaian semen yang lain, dalam masa pelaksanaannya harus dilakukan dengan pendinginan. Aspek lain yang besar pengaruhnya terhadap pembentukan panas hidratisasi adalah faktor air-semen.

Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan antara berat air dan berat semen:

$$\text{F.A.S} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}}$$

Misalkan:

$$\text{F.A.S} = 0,5; \text{ bila digunakan semen } 350 \text{ [kg/m}^3\text{]},$$

$$\text{Maka banyaknya air} = 350 \times 0,5 = 175 \text{ [l/ m}^3\text{]}$$

Faktor air-semen yang rendah (kadar air sedikit) menyebabkan air di antara bagian- bagian semen sedikit, sehingga jarak antara butiran butiran semen pendek. Akibatnya massa semen menunjukkan lebih berkaitan, karenanya kekuatan awal lebih dipengaruhi dan batuan-semen mencapai kepadatan tinggi.

Semen dapat mengikat air sekitar 40% dari beratnya; dengan kata lain air sebanyak 0,4 kali berat semen telah cukup untuk membentuk seluruh semen berhidrasi. Air yang berlebih tinggal dalam pori-pori. Beton normal selalu bervolume pori-pori halus rata yang saling berhubungan, karena itu disebut pori-pori kapiler. Bila spesi-beton ditambah ekstra air, maka sebenarnya hanya pori-porinya yang bertambah banyak. Akibatnya beton lebih berpori-pori dan kekuatan serta masa pakainya berkurang.

7.2.2. Agregat

Agregat adalah bahan-bahan campuran-beton yang saling diikat oleh perekat semen. Agregat yang umum dipakai adalah pasir, kerikil dan batu-batu pecah. Pemilihan agregat tergantung dari:

- syarat-syarat yang ditentukan beton
- persediaan di lokasi pembuatan beton
- perbandingan yang telah ditentukan antara biaya dan mutu

Dari pemakaian agregat spesifik, sifat-sifat beton dapat dipengaruhi. Suatu pembagian yang sepiantas lalu (kasar) dapat dilakukan sebagai berikut:

- agregat normal (kuarsit, pasir, kerikil, basalt)
- agregat halus (puing-batu, terak-lahar, serbuk-batu/*bims*).
- agregat kasar (bariet, bijib-besi *magnetiet* dan *limoniet*).

Kecuali agregat alam dapat juga digunakan produk-alami sinter atau terbakar, beton gilas atau puing tembok batu-bata.

Umumnya pasir yang digali dari dasar sungai cocok digunakan untuk pembuatan beton. Produksi penggalian pasir dan kerikil akan dipisahkan dengan ayakan dalam 3 kelompok yaitu:

- kerikil kasar (lebih besar dari 30 mm)
- kerikil beton (dari 5 mm sampai 30 mm)
- pasir beton (lebih kecil dari 5 mm).

Dua kelompok terakhir adalah yang cocok (atau dengan mencampurkannya hingga cocok) untuk pembuatan beton. Dari kelompok pertama dapat dipecahkan agar dapat digunakan.

Di samping bahan agregat diperoleh dari galian alami (hampir langsung dapat digunakan untuk beton), dapat juga didapatkan dengan pemecahan formasi batuan tertentu dengan mesin pecah batu (*stone crusher*) sampai berbentuk batu-pecah dengan kasar yang berbeda-beda. Pemecahan ini dilakukan dalam tingkatan yang berbeda-beda. Dari jenis bongkah-bongkah yang cocok seperti basalt, granit dan kuarsit akan diledakkan dahulu sampai berupa batu-batu gumpalan. Kemudian gumpalan ini dimasukkan ke dalam mesin pecah batu secara mekanis atau dengan tangan dan dipecahkan sampai mendapat bentuk yang diinginkan. Umumnya bentuk-bentuk yang didapatkan berupa butir-butir ukuran 7 mm sampai 50 mm yang nantinya ditambah dengan bahan-bahan antara 5 mm sampai 10 mm.

7.2.3. Air

Karena pengerasan beton berdasarkan reaksi antara semen dan air, maka sangat perlu diperiksa apakah air yang akan digunakan memenuhi syarat-syarat tertentu. Air tawar yang dapat diminum, tanpa diragukan boleh dipakai. Bila tidak terdapat air minum disarankan untuk mengamati apakah air yang digunakan tersebut tidak mengandung bahan-bahan yang merusak beton/baja.

Pertama-tama yang harus diperhatikan adalah kejernihan air tawar, apabila ada beberapa kotoran yang terapung, maka air tidak boleh dipakai. Di samping pemeriksaan visual, harus juga diamati apakah air itu tidak mengandung bahan-bahan perusak, contohnya: fosfat, minyak, asam, alkali, bahan-bahan organis atau garam-garam. Penelitian semacam ini harus dilakukan di laboratorium kimia. Selain air dibutuhkan untuk reaksi pengikatan, dipakai pula sebagai perawatan-sesudah beton dituang. Suatu metode perawatan selanjutnya dengan cara membasahi terus-menerus atau beton yang baru direndam air.

Air ini pun harus memenuhi syarat-syarat yang lebih tinggi daripada air untuk pembuatan beton. Misalkan air untuk perawatan selanjutnya keasaman tidak boleh memiliki kadar pHnya > 6 , juga tidak dibolehkan terlalu sedikit mengandung kapur.

7.2.4. Bahan kimia tambahan

Bahan kimia tambahan (*admixtures*) suatu bahan produksi di samping bahan semen, agregat campuran dan air, yang juga dicampurkan dalam campuran spesi-beton. Tujuan dari penambahan bahan kimia ini adalah untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu dari campuran beton lunak dan keras. Takaran bahan kimia tambahan ini sangat sedikit dibandingkan dengan bahan utama hingga takaran bahan ini dapat diabaikan. Bahan kimia tambahan tidak dapat mengoreksi komposisi spesi-beton yang buruk.

Karenanya harus diusahakan komposisi beton seoptimal mungkin dengan bahan-bahan dasar yang cocok.

Dari macam-macam bahan kimia tambahan yang ada harus diadakan percobaan awal terlebih dahulu demi kepentingan apakah takarannya memenuhi sifat-sifat yang dituju. Beberapa bahan tambahan mungkin mempunyai garis-garis besar atau norma yang menentukan pemakaiannya. Suatu pemakaian dari bahan kimia tambahan yang penting adalah untuk menghambat pengikatan serta meninggikan konsistensinya tanpa pertambahan air. Oleh karena itu, spesi mudah diangkut serta mempertinggi kelecakan agar pada bentuk-bentuk bekisting yang sulit pun dapat terisi pula dengan baik.

Bahan kimia tambahan yang umum dipakai adalah:

- *super-plasticizer*, untuk mempertinggi kelecakan (zona konsistensi dipertinggi), mengurangi jumlah air pencampur;
- pembentuk gelembung udara meninggikan sifat kedap air, meninggikan kelecakannya;
- '*retarder*', memperlambat awal pengikatan atau pengerasan, memperpanjang waktu pengerjaan; digunakan pada siar ccr, membatasi panas hidrasi (struktur tingkat berat);
- bahan warna, untuk memberi warna permukaan.

7.2.5. Tulangan

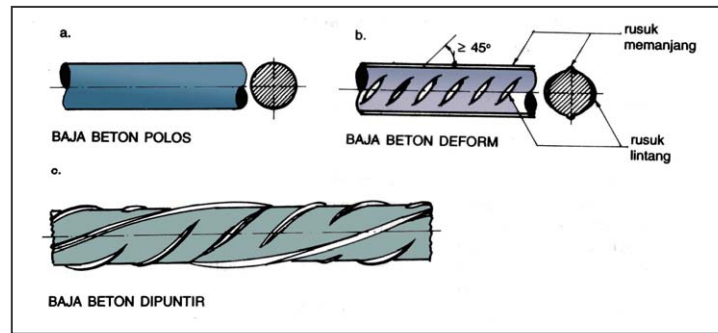
Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami keretakan. Oleh karena itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam sistem struktur, beton perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang berfungsi menahan gaya tarik. Penulangan beton menggunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis yang kuat menahan gaya tarik. Baja beton yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran atau kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang-batang baja yang dianyam dengan teknik pengelasan.

Baja beton dikodekan berurutan dengan: huruf BJ, TP dan TD,

- BJ berarti Baja
- TP berarti Tulangan Polos
- TD berarti Tulangan Deformasi (Ulir)

Angka yang terdapat pada kode tulangan menyatakan batas leleh karakteristik yang dijamin. Baja beton BJTP 24 dipasang sebagai baja beton polos, dan bentuk dari baja beton BJTD 40 adalah deform atau dipuntir (Gambar 7.4).

Baja beton yang dipakai dalam bangunan harus memenuhi norma persyaratan terhadap metode pengujian dan pemeriksaan untuk bermacam-macam mutu baja beton menurut Tabel 7.1.



Gambar 7.4. Jenis baja tulangan

Sumber: Sagel dkk, 1994

Tabel 7. 1. Karakteristik baja tulangan

Sumber: Sagel dkk, 1994

Jenis	Mutu baja	Batas luluh Mpa (kg/cm ²)	Kuat tarik Mpa (kg/cm ²)	Regangan pada beban maksimum
Polos	Bj.Tp 24	240 (2400)	390 (3900)	3 %
Deform	Bj.Td 40	400 (4000)	500 (5000)	5 %

Secara umum berdasarkan **SNI 03-2847-2002** tentang **Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung**, baja tulangan yang digunakan harus tulangan ulir. Baja polos diperkenankan untuk tulangan spiral atau tendon. Baja tulangan umumnya harus memenuhi persyaratan yang berorientasi pada **ASTM (American Society for Testing Materials)** yang diantaranya memenuhi salah satu ketentuan berikut:

- “Spesifikasi untuk batang baja billet ulir dan polos untuk penulangan beton” (ASTM A615M).
- “Spesifikasi untuk batang baja axle ulir dan polos untuk penulangan beton” (ASTM A617M).
- “Spesifikasi untuk baja ulir dan polos low-alloy untuk penulangan beton” (ASTM A706M).

Sedangkan di Indonesia, produksi baja tulangan dan baja struktur telah diatur sesuai dengan **Standar Industri Indonesia (SII)**, antara lain adalah SII 0136-80 dan SII 318-80.

Di samping mutu baja beton BJTP 24 dan BJTD 40 seperti yang ditabelkan itu, mutu baja yang lain dapat juga spesial dipesan (misalnya BJTP 30). Tetapi perlu juga diingat, bahwa waktu didapatnya lebih lama dan harganya jauh lebih mahal. Guna menghindari kesalahan pada saat pemasangan, lokasi penyimpanan baja yang spesial dipesan itu perlu dipisahkan dari baja Bj.Tp 24 dan Bj.Td 40 yang umum dipakai.

Sifat-sifat fisik baja beton dapat ditentukan melalui pengujian tarik, dengan diagram seperti pada gambar 10.4. Sifat fisik tersebut adalah:

- kuat tarik; (f_y)

- batas luluh/leleh;
- regangan pada beban maksimal;
- modulus elastisitas (konstanta material), (E_s)

Produk tulangan baja beton sangat bervariasi, untuk itu dalam pelaksanaan di lapangan diberlakukan beberapa toleransi terhadap penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Beberapa toleransi terhadap penyimpangan pada kondisi baja yang ada di lapangan disebutkan dalam tabel 7.2 hingga tabel 7.5.

Tabel 7.2. Penyimpangan yang diizinkan untuk panjang batang

Sumber: Sagel dkk, 1994

Panjang	Toleransi
Di bawah 12 meter	Minus 0 mm
	Plus 40 mm
Mulai 12 meter ke atas	Minus 0 mm
	Plus 50 mm

Tabel 7.3. Penyimpangan atau toleransi yang diizinkan untuk massa teoretis per panjang

Sumber: Sagel dkk, 1994

Diameter (mm)	Toleransi (%)
Kurang dari 10 mm	± 7 %
10 mm – 16 mm	± 6 %
16 mm – 28 mm	± 5 %
Lebih dari 28 mm	± 4 %

Tabel 7.4. Penyimpangan yang diizinkan untuk berat teoretis

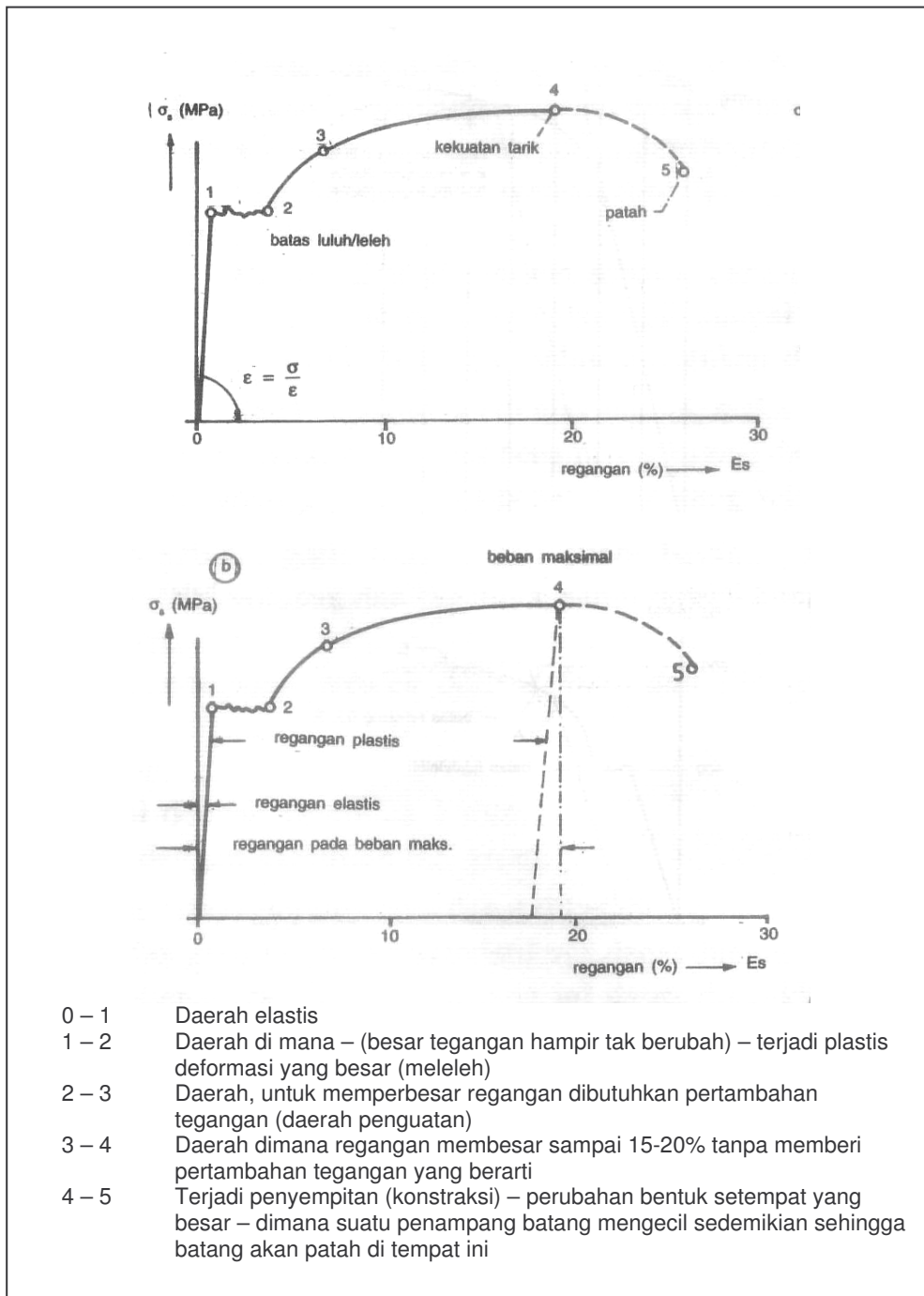
Sumber: Sagel dkk, 1994

Diameter (mm)	Toleransi (%)
Kurang dari 10 mm	± 6 %
10 mm – 16 mm	± 5 %
16 mm – 28 mm	± 4 %
Lebih dari 28 mm	± 3 %

Tabel 7.5. penyimpangan yang diizinkan dari diameter nominal

Sumber: Sagel dkk, 1994

Diameter (mm)	Toleransi (%)	Penyimpangan kebulatan
Sampai dengan 14 mm	± 0,4 mm	Maksimum 70 % dari batas normal
16 mm – 25 mm	± 0,5 mm	
28 mm – 34 mm	± 0,6 mm	
36 mm – 50 mm	± 0,8 mm	



Gambar 7.5. Diagram tegangan-regangan

Sumber: Sagel dkk, 1994

2.3. Konstruksi dan Detail Beton Bertulang

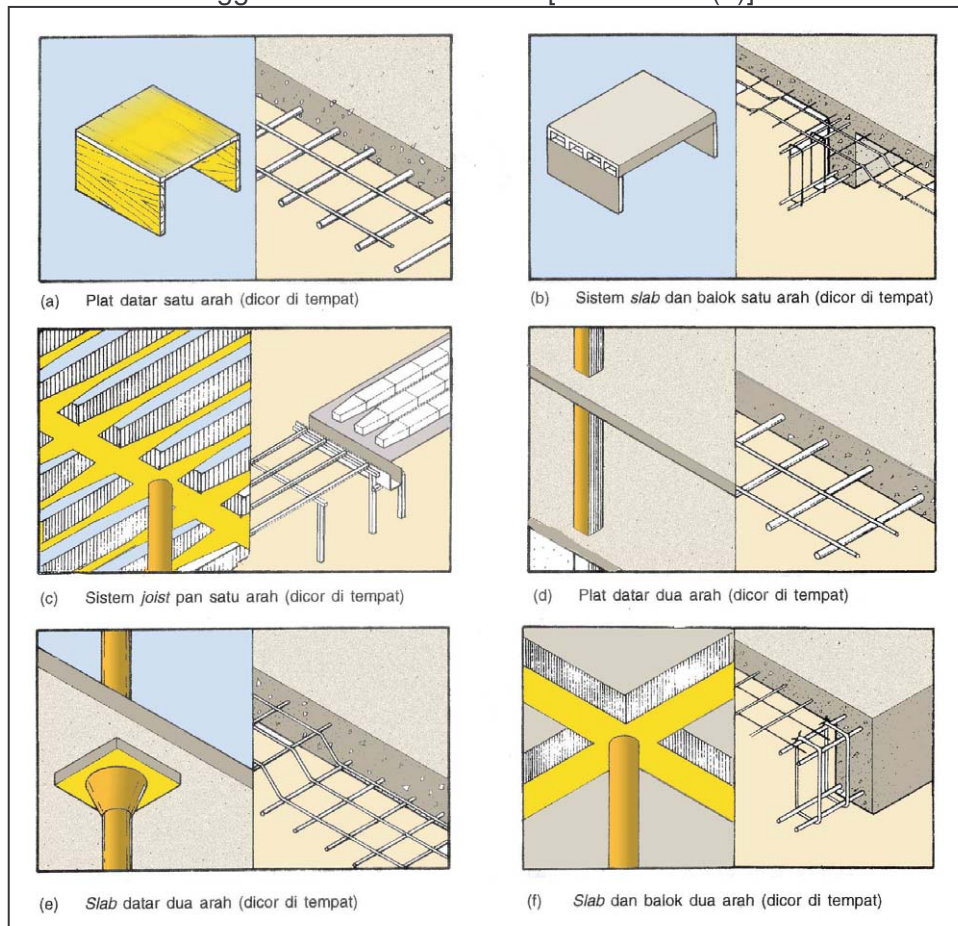
Sistem struktur dengan konstruksi beton sampai saat ini masih menjadi pilihan utama dalam pengerjaan bangunan. Selain karena kemudahan pengerjaan dan kuat tekan yang tinggi, beberapa pertimbangan lain diantaranya adalah kemudahan untuk mendapatkan material penyusun serta kelangsungan proses pengadaan beton pada proses produksinya.

2.2.1. Sistem Konstruksi Beton Bertulang

Sistem konstruksi beton yang digunakan antara lain:

a) Slab dan Balok

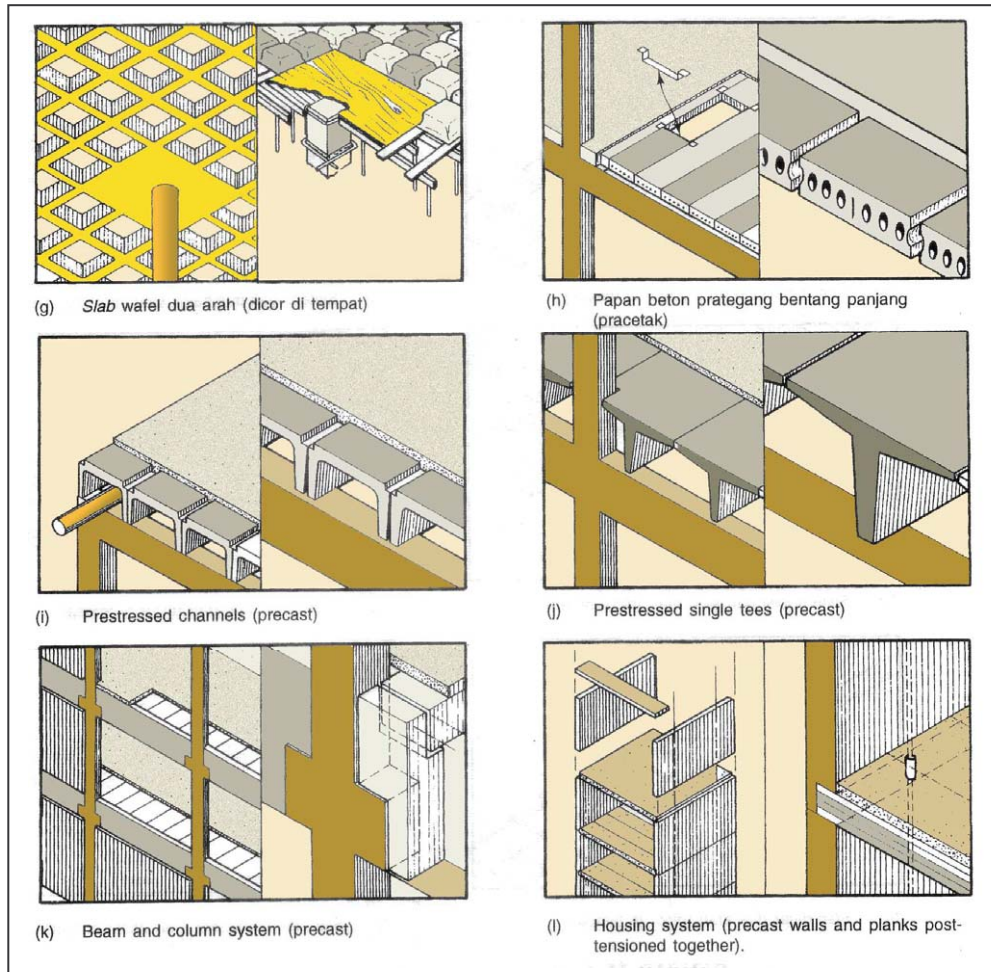
Di antara semua sistem beton bertulang, yang paling sederhana adalah slab satu arah konvensional [Gambar 7.6 (a)]. Salah satu keuntungan sistem ini adalah mudah dalam pelaksanaannya. Sistem dengan tinggi konstan ini khususnya cocok untuk bentang kecil. Untuk bentang besar, berat sendiri slab menjadi sangat besar sehingga akan lebih efisien kalau menggunakan slab ber-rusuk [Gambar 7.6(b)]



Gambar 7.6. Sistem konstruksi untuk struktur beton

Sumber: Schodek, 1999

Sistem balok satu arah dengan slab satu arah melintang dapat digunakan untuk bentang yang relatif panjang (khususnya apabila balok tersebut *post-tensioned*) dan memikul bentang besar. Sistem demikian biasanya tinggi. Jarak balok biasanya ditentukan berclasarkan kebutuhan untuk menumpu slab melintang.



Gambar 7.6. Sistem konstruksi untuk struktur beton (*lanjutan*)

Sumber: Schodek, 1999

b) Sistem Plat Ber-rusuk Satu Arah

Sistem plat dengan rusuk satu arah adalah plat berusuk yang dibuat dengan mengecor (menuang) beton pada perancah baja atau fiberglass berbentuk khusus [lihat gambar 7.6(c)]. Balok melintang dengan berbagai tinggi dapat dengan mudah dicor di tempat sehingga pada sistem ini pola denah kolom dapat sangat bervariasi. Balok longitudinal (memanjang) juga dapat dengan mudah dicor di tempat, yaitu dengan mengatur jarak pan. Plat

ber-rusuk ini dapat mempunyai bentang lebih besar dibandingkan dengan plat masif, terlebih lagi kalau plat ber-rusuk itu diberi pasca tegangan (*post-tensioned*). Penumpu vertikal pada sistem ini dapat berupa kolom-kolom atau dinding bata penikul beban.

Sistem kolom dan plat ber-rusuk mempunyai kemampuan besar dalam memikul beban horizontal karena balok membujur maupun melintang dicor secara monolit dengan sistem lantai. Dengan demikian, aksi rangka (*frame action*) akan diperoleh pada kedua arah (transversal dan longitudinal).

c) Konstruksi Plat Datar

Plat datar adalah sistem slab beton bertulang dua arah bertinggi konstan [lihat Gambar 7.6(d)]. Konstruksi ini cocok digunakan untuk beban atap dan lantai ringan dan bentang relatif pendek. Sistem demikian banyak digunakan pada konstruksi rumah. Meskipun sistem demikian lebih cocok digunakan dengan pola kolom teratur, kita dapat saja membuat pola kolom tidak teratur. Plat datar sering digunakan apabila ortogonalitas kaku yang disyaratkan pada banyak sistem lain terhadap pola tumpuan vertikal tidak dikehendaki atau tidak mungkin dilaksanakan. Tetapi, pada konstruksi ini bentangnya tidak dapat sebesar sistem yang menggunakan balok maupun yang menggunakan rusuk.

Dengan konstruksi plat datar ini kita dapat memperoleh jarak plafon ke lantai yang lebih kecil daripada sistem-sistem lainnya. Pada sistem plat datar ini diperlukan tulangan baja lebih banyak sebagai akibat tipisnya plat yang digunakan. Faktor desain yang menentukan pada plat datar umumnya geser pons pada plat di pertemuannya dengan kolom. Dengan demikian, untuk mengatasinya di daerah ini diperlukan tulangan khusus. Selain itu, kolom yang terletak di tepi plat biasanya diletakkan agak ke dalam untuk menjamin bahwa luas kritis pons tetap besar.

Kestabilan lateral untuk keseluruhan susunan plat dan kolom juga perlu diperhatikan. Karena plat dan kolom dicor secara monolit, titik hubungannya relatif kaku sehingga memberi kontribusi pada tahanan lateral struktur, dan hal ini sudah cukup untuk gedung bertingkat rendah. Akan tetapi, karena tipisnya elemen plat, tahanan ini sangat terbatas. Untuk struktur bertingkat tinggi, kestabilan terhadap beban lateral baru terpenuhi dengan menggunakan dinding geser atau elemen inti yang dicor di tempat pada gedung, yang biasanya terdapat di sekitar elevator (lift) atau di sekitar tangga.

Pada sistem ini, keuntungan lain yang dapat diperoleh adalah mudahnya membuat perancah. Perilaku planar pada permukaan bawah juga memudahkan desain dan penempatan komponen gedung lainnya. Sistem ini sering digunakan pada gedung apartemen dan asrama yang umumnya membutuhkan ruang fungsi yang tidak besar, tetapi banyak.

d) Konstruksi Slab Datar

Slab datar adalah sistem beton bertulang dua arah yang hampir sama dengan plat datar, hanya berbeda dalam hal luas kontak antar plat dan kolom yang diperbesar dengan menggunakan drop panels dan atau kepala kolom (*column capitals*) [lihat Gambar 7.6(e)]. Drop panels atau kepala kolom itu berfungsi mengurangi kemungkinan terjadinya keruntuhan geser pons. Sistem demikian khususnya cocok untuk kondisi pembebanan relatif berat (misalnya untuk gudang), dan cocok untuk bentang yang lebih besar daripada bentang plat datar. Drop panels dan kepala kolom juga memberikan kontribusi dalam memperbesar tahanan sistem slab-dan-kolom terhadap beban lateral.

e) Konstruksi Slab dan Balok Dua Arah

Sistem slab dan balok dua arah terdiri atas plat dengan balok beton bertulang yang dicor di tempat secara monolit, dan balok tersebut terdapat di sekeliling plat [lihat Gambar 7.6(f)]. Sistem ini baik untuk kondisi beban besar dan bentang menengah. Beban terpusat yang besar juga dapat dipikul apabila bekerja langsung di atas balok. Pada sistem ini selalu digunakan kolom sebagai penumpu vertikal. Karena balok dan kolom dicor secara monolit, sistem ini secara alami akan membentuk rangka pada dua arah. Hal ini sangat meningkatkan kapasitas pikul beban lateral sehingga sistem demikian banyak digunakan pada gedung bertingkat banyak.

f) Slab Wafel

Slab wafel (*waffle slab*) adalah sistem beton bertulang dua arah bertinggi konstan yang mempunyai rusuk dalam dua arah [lihat Gambar 7.6(g)]. Rusuk ini dibentuk oleh cetakan khusus yang terbuat dari baja atau *fibreglass*. Rongga yang dibentuk oleh rusuk sangat mengurangi berat sendiri struktur. Untuk situasi bentang besar, slab wafel lebih menguntungkan dibandingkan dengan plat datar. Slab wafel juga dapat diberi pasca tarik untuk digunakan pada bentang besar,

Di sekitar kolom, slab biasanya dibiarkan tetap tebal. Daerah yang kaku ini berfungsi sama dengan drop panels atau kepala kolom pada slab datar. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya keruntuhan geser pons akan berkurang, dan kapasitas tahanan momen sistem ini akan meningkat termasuk pula kapasitas pikul bebannya.

g) Bentuk Lengkung

Setiap bentuk lengkung tunggal maupun ganda (silinder, kubah, dan sebagainya) selalu dapat dibuat dari beton bertulang. Pada umumnya di dalam cangkang beton terdapat jaring tulangan baja. Biasanya pada lokasi yang mengalami gaya internal besar, tulangan itu semakin banyak. Pemberian pasca tarik pada umumnya dilakukan untuk elemen-elemen khusus (misalnya cincin tarik pada kubah).

h) Elemen Beton Pracetak

Elemen beton pracetak dibuat tidak di lokasi bangunan, dan harus diangkut ke lokasi apabila akan digunakan. Elemen ini umumnya berupa elemen yang membentang satu arah, yang pada umumnya diberi pratarik.

Banyak bentuk penampang melintang yang dapat dibuat untuk berbagai kondisi bentang dan beban. Elemen ini umumnya digunakan untuk beban terpusat (pada lantai maupun atap) yang terdistribusi merata dan tidak untuk beban terpusat atau beban terdistribusi yang sangat besar. Elemen struktur pracetak ini hampir selalu ditumpu sederhana.

Hubungan yang mampu menahan gaya momen harus dibuat dengan konstruksi khusus, tetapi hal ini umumnya sulit dilakukan. Dengan demikian, penggunaan elemen ini sebagai kantilever besar juga sulit. Penggunaan elemen pracetak akan sangat terasa untuk bagian yang berulang.

i) Papan Beton Pracetak

Papan beton pracetak berbentuk pendek mempunyai bentang sedikit lebih besar daripada papan kayu. Biasanya di atas papan beton pracetak ini ada permukaan beton yang dicor di tempat (*wearing surface*). Permukaan ini memang biasanya digunakan di atas balok beton bertulang pracetak atau joist web terbuka. Papan beton bentang besar dapat mempunyai bentang antara 16 dan 34 ft (5 dan 11 m), bergantung pada lebar dan tinggi eksak elemen. Papan beton bentang besar ini umumnya diberi prategang dan juga diberi rongga untuk mengurangi berat dirinya. Beton yang dicor di tempat di atas papan pracetak mempunyai fungsi sebagai penghubung geser antara elemen-elemen yang dihubungkannya sehingga struktur ini dapat berperilaku sebagai plat satu arah [lihat Gambar 7.6(h)]. Papan beton umumnya cocok digunakan untuk memikul beban atap atau beban lantai yang tidak besar. Papan beton pracetak selalu ditumpu sederhana dan sering kali digunakan bersama dinding pemikul beban sebagai sistem penumpu vertikalnya (dinding ini harus terbuat dari bata atau beton, bukan kayu). Papan tersebut juga dapat digunakan bersama balok beton bertulang maupun balok baja.

j) Bentuk T Rangkap dan Kanal

Elemen prategang, pracetak, satu arah, yang ber-rusuk dapat digunakan untuk bentang panjang [Gambar 7.6(i)]. Jenis elemen ini biasa digunakan untuk beban mati dan hidup pada atap. Di atas elemen ini biasanya digunakan beton yang dicor di tempat sebagai lantai guna, juga sebagai penghubung dengan elemen T lain di dekatnya.

k) Bentuk T Tunggal

Elemen prategang, pracetak, dan besar yang umumnya mempunyai bentang relatif panjang. Elemen ini sangat jarang digunakan untuk situasi bentang kecil karena sulitnya melaksanakan perakitannya. Elemen ini selalu ditumpu sederhana. Elemen ini dapat digunakan untuk beban yang relatif besar. Sebagai contoh, elemen ini dapat digunakan untuk garasi dan gedung lain yang mempunyai bentang besar dan beban yang lebih besar dari beban biasa (Gambar 7.6(j)),

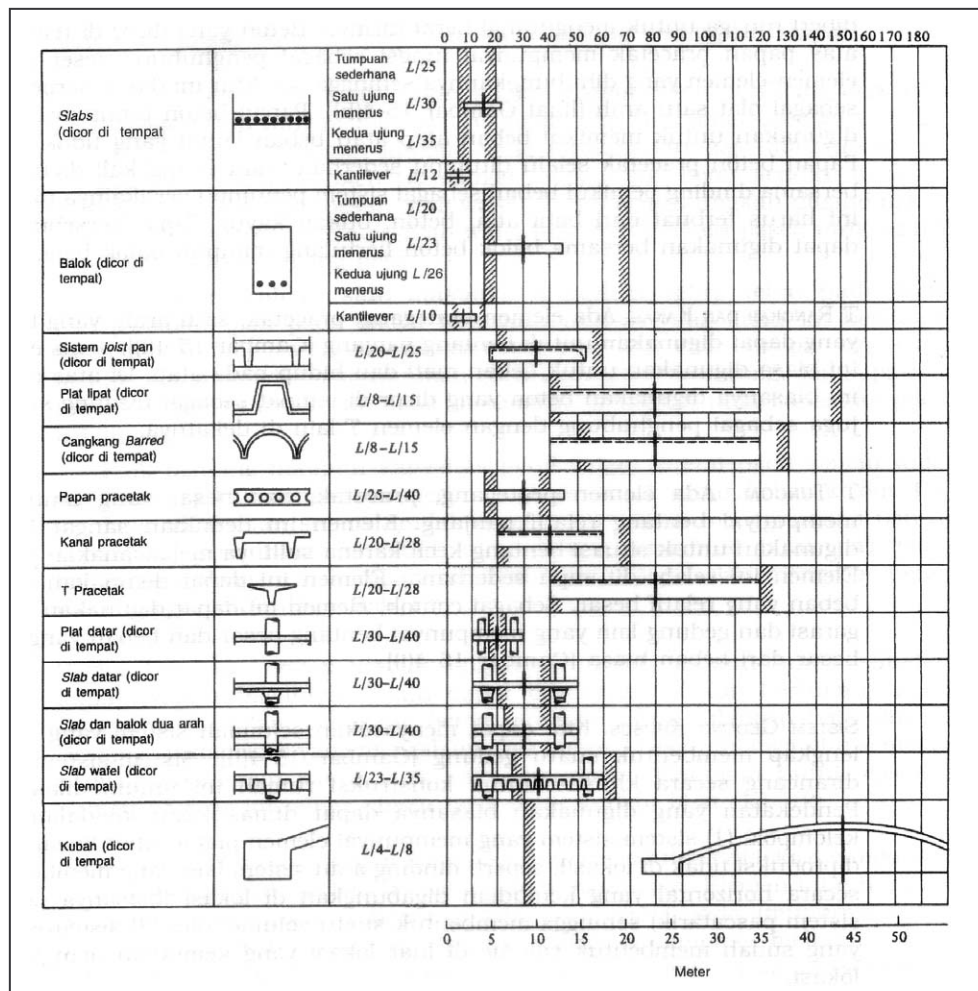
l) Sistem Gedung Khusus

Kita dapat menyatukan sejumlah sistem yang secara lengkap membentuk suatu gedung [Gambar 7.6(l)]. Sistem-sistem yang dirancang

secara khusus untuk konstruksi rumah ini umum dilakukan. Pendekatan yang digunakan biasanya dapat dimasukkan ke dalam dua kelompok: (1) sistem-sistem yang mempunyai elemen planar atau linear (yang tidak diproduksi di lokasi), seperti dinding atau sistem lain yang membentang secara horisontal yang kemudian digabungkan di lokasi (biasanya dengan sistem pascatarik) sehingga membentuk suatu volume; dan (2) sistem-sistem yang sudah membentuk volume di luar lokasi yang kemudian diangkut ke lokasi.

2.2.2. Ukuran Elemen

Gambar 7.7. mengilustrasikan batas-batas bentang dan tinggi yang umum untuk beberapa sistem beton bertulang. Kolom beton bertulang umumnya mempunyai perbandingan tebal-tinggi (t / h) bervariasi dari 1 : 15 untuk kolom pendek dan dibebani ringan hingga sekitar 1 : 6 untuk kolom yang dibebani besar pada gedung bertingkat banyak. Dinding beton bertulang pemikul beban mempunyai perbandingan t / h bervariasi antara 1 : 22 dan 1 : 10.



Gambar 7.7. Perkiraan batas bentang untuk berbagai sistem beton

Sumber: Schodek, 1999

2.2.3. Detail Beton bertulang

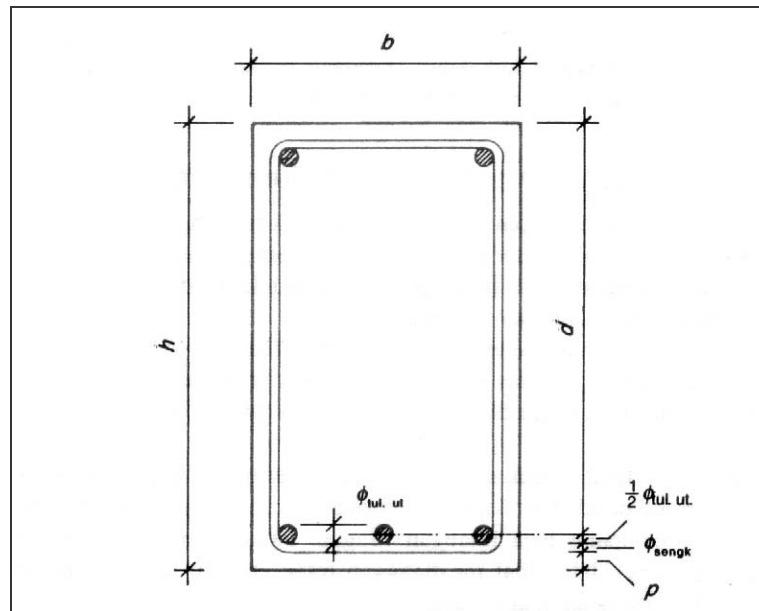
Beton merupakan bahan yang sangat mampu menahan tegangan tekan tetapi tidak dapat atau hampir tidak dapat menahan tegangan tarik. Dalam beton bertulang maka baja tulangan merupakan bahan yang menahan tegangan tarik.

Sebuah batang baja tulangan yang tertanam baik dalam beton yang mengeras akan merekat sedemikian rupa hingga diperlukan gaya yang cukup besar untuk menariknya keluar. Gejala ini disebut dengan adhesi atau lekatan yang memungkinkan kedua bahan dapat saling bekerja sama secara struktural. Selain itu, penutup beton yang cukup padat dan tebal sebagai pelindung tulangan, akan melindungi tulangan baja terhadap korosi.

a) Penampang balok bertulang

Sebuah penampang balok bertulang berbentuk empat persegi panjang dengan tinggi h dan lebar b digambarkan pada gambar 10.5. Bagian atas merupakan bagian beton daerah tekan dan A_s adalah luas penampang baja tulangan. Selanjutnya d adalah tinggi efektif penampang atau jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tarik. Selisih antara tinggi total balok (h) dan tinggi efektif (d) terutama ditentukan oleh tebal penutup beton.

Pada gambar 7.8 ditunjukkan pula letak tulangan utama (tulangan pokok) serta sengkang. Diameter nominal tulangan dinyatakan dengan ϕ_p untuk baja tulangan polos dan ϕ_D untuk baja tulangan deform.



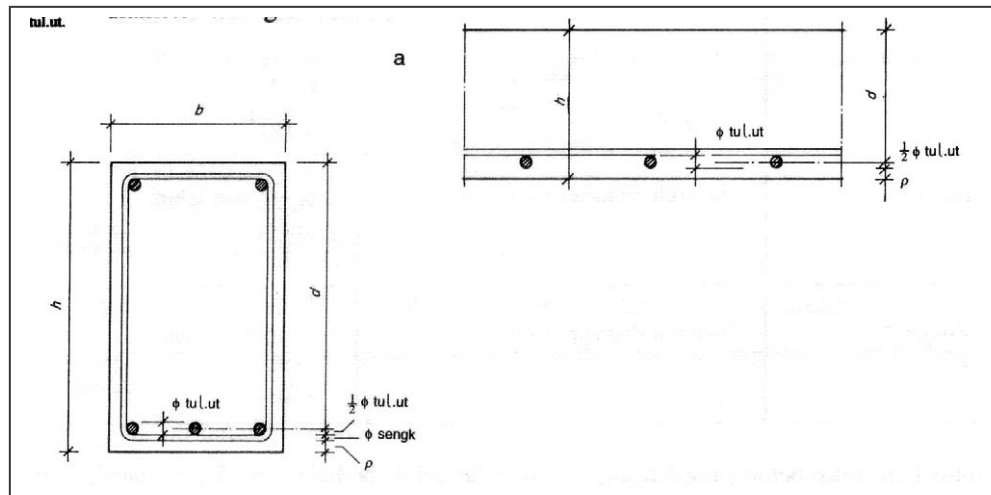
Gambar 7.8. Detail penampang beton bertulang

Sumber: Sagel dkk, 1994

b) Penutup beton tulangan

Tinggi total penampang (h) dan tinggi efektif (d) merupakan dimensi yang penting pada analisis penampang baik pada balok maupun plat (gambar 7.9.). Secara umum, hubungan antara h dan d adalah:

- ♦ untuk plat: $h = d + \frac{1}{2} \phi_{tul. ut.} + p$
- ♦ untuk balok $h = d + \frac{1}{2} \phi_{tul. ut.} + \phi_{sengk} + p$



efektif dan penutup beton

Sumber: Sagel dkk, 1994

Tabel 7.6. Tebal minimum penutup beton dari tulangan terluar (mm)

Sumber: Sagel dkk, 1994

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
Batang D-19 hingga D-56	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah:	
<u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u>	
Batang D-44 dan D-56	40
Batang D-36 dan yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom:</u>	
Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u>	
Batang D-19 dan yang lebih besar	20
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	15

Salah satu faktor yang menentukan perbedaan antara h dan d adalah penutup beton (p). Penutup beton adalah bagian beton yang digunakan untuk melindungi baja tulangan.

Penutup beton yang sesuai dengan ketentuan akan berfungsi untuk:

- Menjamin penanaman tulangan dan kekekatannya dengan beton
- Menghindari korosi pada tulangan

- Meningkatkan perlindungan struktur terhadap kebakaran

Penutup beton yang memenuhi ketentuan tergantung pada:

- Kepadatan dan kekedapan beton
- Ketelitian pelaksanaan pekerjaan
- Kondisi lingkungan sekitar elemen struktur tersebut

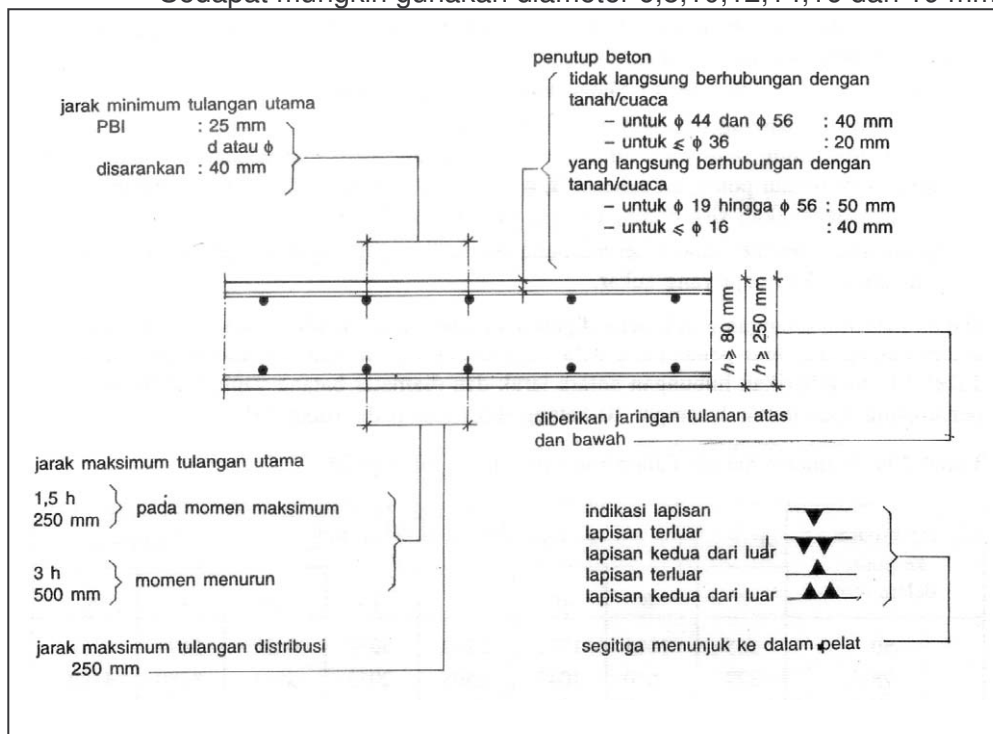
Tebal minimum penutup beton yang diukur dari tulangan terluar berdasarkan SNI 03-2847-2002, seperti dalam tabel 7.6.

c) Detail penulangan beton

Tulangan plat

Syarat-syarat untuk mendapat penulangan plat yang baik, antara lain dengan memperhatikan aspek-aspek berikut:

- Batasi ukuran diameter batang yang berbeda-beda
- Sedapat mungkin gunakan diameter 6,8,10,12,14,16 dan 19 mm



Gambar 7.10. Syarat-syarat untuk penulangan plat

Sumber: Sagel dkk, 1994

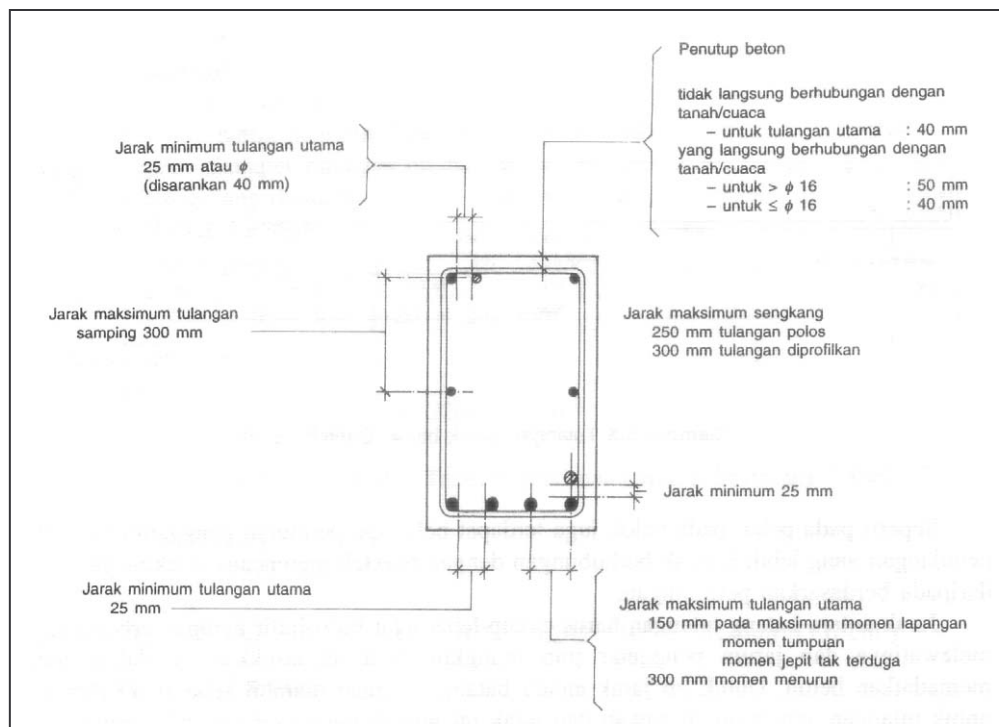
- Gunakan batang sesedikit mungkin, yaitu dengan cara menggunakan jarak tulangan semaksimal mungkin sesuai dengan yang diijinkan
- Sebaiknya gunakan jarak batang dalam kelipatan 25 mm
- Perhitungkan panjang batang yang umum digunakan sehingga dapat menghindari sisa potongan yang terbuang percuma

Pertahankan bentuk sesederhana mungkin agar menghindari pekerjaan pembengkokan tulangan yang sulit. Prinsip detail penulangan plat dapat dilihat pada Gambar 7.11.

Tulangan balok

Syarat-syarat untuk mendapat penulangan balok yang baik, antara lain:

- Batasi ukuran diameter batang yang berbeda-beda
- Sedapat mungkin gunakan diameter 6,8,10,12,14,16,19, 22, dan 32 mm
- Gunakan batang sesedikit mungkin, yaitu dengan cara menggunakan jarak tulangan semaksimal mungkin sesuai dengan yang diijinkan
- Perhitungkan panjang batang yang umum digunakan sehingga dapat menghindari sisa potongan yang terbuang percuma



Gambar 7.11. Syarat penulangan balok yang harus dipenuhi

Sumber: Sagel dkk, 1994

- Ukuran batang yang dibengkokkan harus cukup pendek, sebaiknya gunakan batang yang panjang untuk tulangan lurus
- Gunakan sengkang yang semuanya dari satu mutu baja dan diameter yang sama
- Usahakan jarak antara sepasang batang pada tulangan atas tidak kurang dari 50 mm, sehingga terdapat jarak yang cukup

untuk pengecoran dan pemadatan, khususnya bila terdapat tulangan dua lapis.

Prinsip detail penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 7.11.

Kait standar

Pembengkokan tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Bengkokan 180° ditambah perpanjangan $4d_b$ (diameter batang tulangan, mm), tapi tidak kurang dari 60 mm, pada ujung bebas kait.
- Bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12 d_b$ pada ujung bebas kait.
- Untuk sengkang dan kait pengikat:
 - Batang D-16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $6 d_b$ pada ujung bebas kait, atau
 - Batang D-19, D-22, dan D-25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12 d_b$ pada ujung bebas kait, atau
 - Batang D-25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan $6 d_b$ pada ujung bebas kait.

Diameter bengkokan minimum

- Diameter bengkokan yang diukur pada bagian dalam batang tulangan tidak boleh kurang dari nilai dalam Tabel 7.7. Ketentuan ini tidak berlaku untuk sengkang dan sengkang ikat dengan ukuran D-10 hingga D-16.
- Diameter dalam dari bengkokan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk batang D-16 dan yang lebih kecil. Untuk batang yang lebih besar daripada D-16, diameter bengkokan harus memenuhi Tabel 7.7.
- Diameter dalam untuk bengkokan jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang digunakan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk kawat ulir yang lebih besar dari D7 dan $2d_b$ untuk kawat lainnya. Bengkokan dengan diameter dalam kurang dari $8d_b$ tidak boleh berada kurang dari $4d_b$ dari persilangan las yang terdekat.

Cara pembengkokan

- Semua tulangan harus dibengkokkan dalam keadaan dingin, kecuali bila diizinkan lain oleh pengawas lapangan.
- Tulangan yang sebagian sudah tertanam di dalam beton tidak boleh dibengkokkan di lapangan, kecuali seperti yang ditentukan pada gambar rencana, atau diizinkan oleh pengawas lapangan.

Tabel 7.7. Diameter bengkokan minimum

Sumber: Sagel dkk, 1994

Ukuran tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai dengan D-25	$6d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8d_b$
D-44 dan D-56	$10d_b$

Penempatan tulangan

- Tulangan harus ditempatkan secara akurat dan ditumpu secukupnya sebelum beton dicor, dan harus dijaga agar tidak tergeser melebihi toleransi yang diizinkan.
- Toleransi untuk tinggi d dan selimut beton minimum dalam komponen struktur lentur, dinding dan komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan pada tabel 7.8.

Tabel 7.8. Toleransi untuk tulangan dan selimut beton

Sumber: Sagel dkk, 1994

	Toleransi untuk d	Toleransi untuk selimut beton minimum
$d \leq 200$ mm	± 10 mm	- 10 mm
$d > 200$ mm	± 13 mm	- 13 mm

- Toleransi letak longitudinal dari bengkokan dan ujung akhir tulangan harus sebesar ± 50 mm kecuali pada ujung tidak menerus dari komponen struktur dimana toleransinya harus sebesar ± 13 mm.

Batasan spasi tulangan

- Jarak bersih antara tulangan sejajar dalam lapis yang sama, tidak boleh kurang dari d_b ataupun 25 mm.
- Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang dari 25 mm.
- Pada komponen struktur tekan yang diberi tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ ataupun 40 mm.
- Pembatasan jarak bersih antar batang tulangan ini juga berlaku untuk jarak bersih antara suatu sambungan lewatan dengan sambungan lewatan lainnya atau dengan batang tulangan yang berdekatan.
- Pada dinding dan plat lantai yang bukan berupa konstruksi plat rusuk, tulangan lentur utama harus berjarak tidak lebih dari tiga kali tebal dinding atau plat lantai, ataupun 500 mm.

Bundel tulangan:

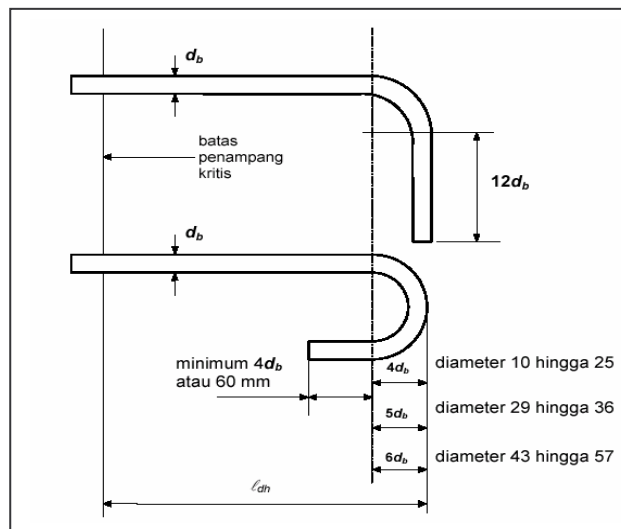
- Kumpulan dari tulangan sejajar yang diikat dalam satu bundel sehingga bekerja dalam satu kesatuan tidak boleh terdiri lebih dari empat tulangan per bundel.
- Bundel tulangan harus dilingkupi oleh sengkang atau sengkang pengikat.
- Pada balok, tulangan yang lebih besar dari D-36 tidak boleh dibundel.
- Masing-masing batang tulangan yang terdapat dalam satu bundel tulangan yang berakhir dalam bentang komponen struktur lentur harus diakhiri pada titik-titik yang berlainan, paling sedikit dengan jarak 40 db secara berselang.
- Jika pembatasan jarak dan selimut beton minimum didasarkan pada diameter tulangan d_b , maka satu unit bundel tulangan harus diperhitungkan sebagai tulangan tunggal dengan diameter yang didapat dari luas ekuivalen penampang gabungan.

Penyaluran tulangan

Beton bertulang dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan komposit jika baja tulangan saling bekerja sama sepenuhnya dengan beton. Untuk itu perlu diusahakan agar terjadi penyaluran gaya dari bahan satu ke bahan lainnya. Agar batang tulangan dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, baja harus tertanam dalam beton hingga kedalaman tertentu yang disebut sebagai panjang penyaluran.

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang pengankuran, kait atau alat mekanis, atau kombinasi dari cara-cara tersebut. Kait sebaiknya tidak dipergunakan untuk menyalurkan tulangan yang berada dalam kondisi tekan.

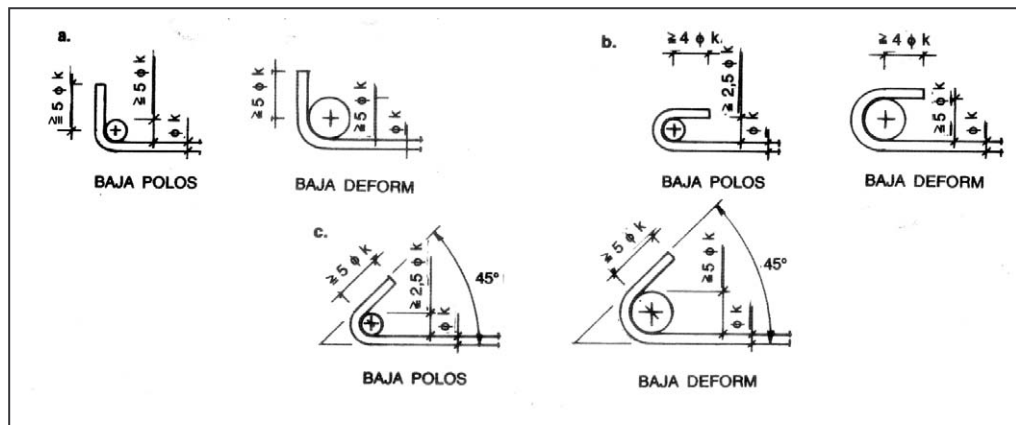
- Panjang penyaluran l_d , dinyatakan dalam diameter d_b untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, harus ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2002 bagian 14.2(2) atau 14.2(3), tetapi l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Panjang penyaluran l_d , dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{db} pada SNI 03-2847-2002 bagian 14.3(2) dengan faktor modifikasi yang berlaku sesuai dengan SNI 03-2847-2002 bagian 14.3(3), tetapi l_d tidak boleh kurang dari 200 mm.
- Panjang penyaluran l_{dh} , dalam mm, untuk batang ulir dalam kondisi tarik yang berakhir pada suatu kait standar harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{hb} pada SNI 03-2847-2002 bagian 14.5(2) dengan faktor atau faktor-faktor modifikasi yang berlaku yang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 bagian 14.5(3), tetapi l_{dh} tidak boleh kurang dari $8d_b$ ataupun 150 mm (Gambar 7.12).



Gambar 7.12. Detail kaitan untuk penyaluran kait standar

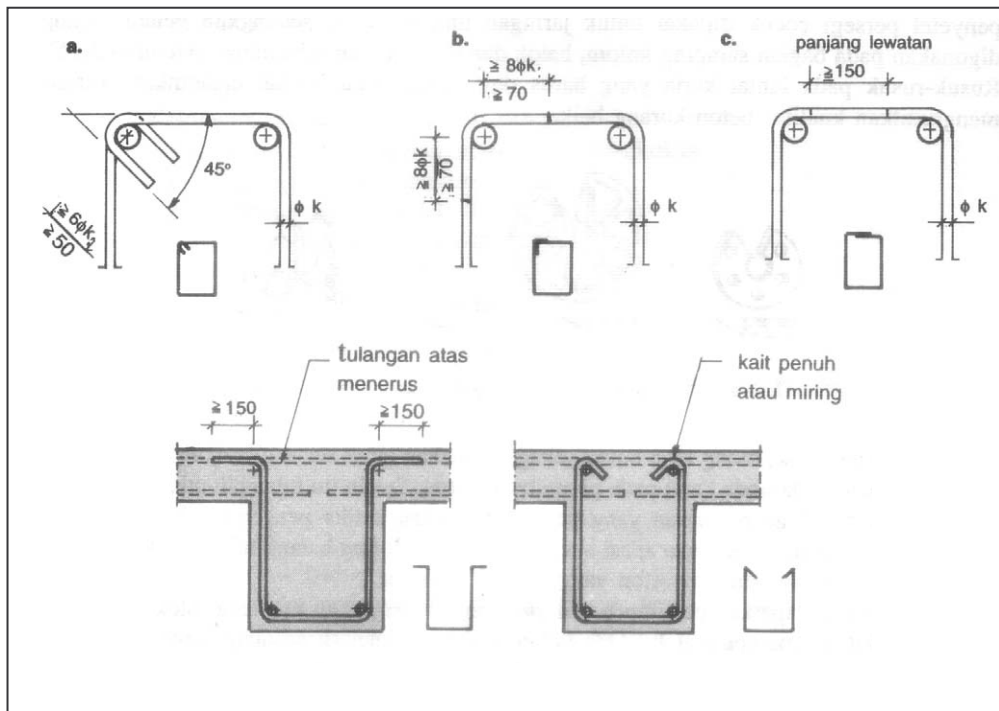
Sumber: Sagel dkk, 1994

Kait-kait pada batang-batang tulangan dapat berupa kait penuh, miring atau lurus. Untuk baja polos kaitan harus dibengkok agar garis tengah kait paling sedikit $2,5 \phi$, (Gambar 7.12). Garis tengah kait dari batang deform minimal harus 5ϕ . Selanjutnya ujung-lurus untuk kait penuh paling sedikit harus 4ϕ dan untuk kait lurus dan miring 5ϕ .



Gambar 7.13. Kait-kait pada batang-batang penulangan

Sumber: Sagel dkk, 1994



Gambar 7.14. Kait-kait pada senggang

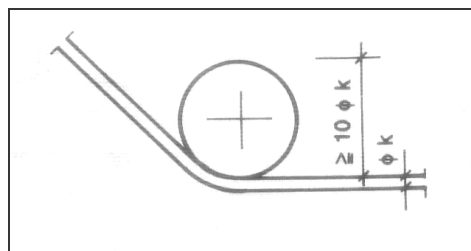
Sumber: Sagel dkk, 1994

Pengaitan pada senggang

Senggang-senggang pada balok dan kolom harus dilengkapi kait miring (Gambar 7.14a) atau kait lurus (Gambar 7.14b). Penggunaan senggang menurut Gambar 7.14c juga diizinkan, tetapi pada kolom harus dipasang berselang-seling. Pada balok-T boleh digunakan bentuk senggang seperti pada Gambar 7.14d.

Pembengkokan pada batang-batang

Pembengkokan adalah perubahan arah yang diperlukan batang. Pembengkokan pada batang-batang tulangan utama harus mempunyai garis tengah dalam paling sedikit 10ϕ (Gambar 7.15)



Gambar 7.15. Pembengkokan tulangan

Sumber: Sagel dkk, 1994

2.4. Aplikasi Konstruksi Beton bertulang

7.4.1. Desain Struktur Beton Bertulang

a) Tujuan Desain

Pada struktur beton bertulang, tujuan desain harus mengandung:

- Mengatur sistem struktur yang mungkin dikerjakan dan ekonomis. Hal ini berkaitan dengan pemilihan kesesuaian model struktur, dan penataan lokasi dan pengaturan elemen-elemen struktur seperti kolom dan balok.
- Menentukan dimensi-dimensi struktural, ukuran penampang komponen struktur, termasuk tebal selimut beton.
- Menentukan persyaratan kekuatan tulangan baik longitudinal maupun transversal
- Detail tulangan beton seperti panjang tulangan, kait, dan pembekokannya
- Memenuhi persyaratan kemapulayaan seperti defleksi dan retakan

b) Kriteria Desain

Untuk mencapai tujuan desain, terdapat empat kriteria umum yang harus dipenuhi:

- Keselamatan, kekuatan, dan stabilitas; Sistem struktur dan elemen struktur harus didesain dengan batas-batas angka keamanan agar tidak terjadi kegagalan struktur.
- Estetis; meliputi pertimbangan bentuk, proporsi geometris, simetri tekstur permukaan, dan artikulasi. Hal ini sangat penting pada struktur-struktur dengan bentuk-bentuk khusus seperti monumen dan jembatan. Ahli struktur harus berkoordinasi dengan perencana, arsitek dan desain profesional lain.
- Persyaratan fungsional. Suatu struktur harus selalu dirancang untuk melayani fungsi-fungsi tertentu. Kemudahan konstruksi adalah pertimbangan utama dari persyaratan fungsional. Suatu disain struktural harus praktis dan ekonomis untuk dibangun.
- Ekonomis. Struktur harus dirancang dan dibangun sesuai target anggaran proyek. Pada struktur beton bertulang, disain yang ekonomis tidak boleh dicapai melalui minimalisasi jumlah beton dan tulangan. Bagian terbesar dari biaya konstruksi adalah biaya tenaga kerja, *formwork* dan kesalahan kerja. Oleh karena itu, desain ukuran elemen dan penyederhanaan penempatan kekuatan akan berakibat pada kemudahan dan kecepatan, yang selanjutnya mengakibatkan desain menjadi lebih ekonomis dan menggunakan material yang minimum.

c) Proses Desain

Desain beton bertulang sering menggunakan proses trial-and-error dan melibatkan pertimbangan keputusan perancanganya. Setiap proyek

struktur adalah unik. Proses disain untuk struktur beton bertulang mengikuti langkah-langkah berikut:

- Konfigurasi sistem struktur
- Penentuan data-data desain: desain pembebanan, kriteria desain, dan spesifikasi materialnya.
- Membuat estimasi awal usulan elemen, misalnya berdasarkan pada aturan-aturan kontrol defleksi dengan penambahan persyaratan estétika dan fungsional.
- Menghitung properti penampang elemen, analisis struktural untuk gaya-gaya internal: momen, gaya aksial, gaya geser, dan puntir. Juga, peninjauan kembali perhitungan defleksi.
- Menghitung persyaratan kekuatan longitudinal yang didasarkan pada kebutuhan momen dan gaya axial. Menghitung persyaratan kekuatan transversal berdasarkan tuntutan geser dan momen puntir.
- Jika elemen tidak memenuhi kriteria desain, modifikasi desain dan ulangi langkah 1-3
- Lengkapi dengan evaluasi yang lebih detail desain elemen tersebut dengan menambahkan beban-beban khusus dan kombinasi-kombinasi, dan kekuatan serta persyaratan kemampuan berdasarkan persyaratan peraturan, stándar dan spesifikasi
- Detail penulangan, pengembangan gambar-gambar desain, catatan-catatan dan spesifikasi.

7.4.2. Persyaratan kekuatan beton bertulang untuk perancangan struktur

Kekuatan beton bertulang untuk struktur harus memenuhi persyaratan:

Untuk beton : f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa atau kg/cm^2)

Untuk baja : f_y = tegangan leleh yang disyaratkan (Mpa atau kg/cm^2)

Tabel 7.9 memberikan nilai f'_c untuk berbagai mutu beton, dan tabel 7.10 adalah nilai f_y untuk berbagai mutu baja.

Tabel 7.9. Kuat tekan beton

Sumber: Sagel dkk, 1994

Mutu beton	f'_c (Mpa)	f'_c (kg/cm^2)
15	15	150
20	20	200
25	25	250
30	30	300
35	35	350

Tabel 7.10. Tegangan leleh baja

Sumber: Sagel dkk, 1994

Mutu baja	f_y (Mpa)	f_y (kg/cm ²)
240	240	2400
400	400	4000

a) Lendutan

Suatu struktur beton disyaratkan memiliki kekakuan yang cukup tegar, sehingga dapat menahan deformasi akibat lendutan tanpa menimbulkan kerusakan atau gangguan. Struktur yang mengalami lendutan yang besar dapat mengakibatkan dinding-dinding yang didukungnya menjadi retak, atau terjadi getaran pada saat orang berjalan diatas lantai. Ketinggian suatu penampang merupakan hal penting yang perlu dipertimbangkan berkaitan dengan momen inersia dan kekakuan. Dalam SNI 03-2847-2002 tercantum tebal minimum yang dipersyaratkan terhadap bentang. Nilai pada tabel 7.11 berlaku untuk struktur yang tidak mendukung serta sulit terdeformasi atau berpengaruh terhadap struktur yang mudah rusak akibat lendutan yang besar.

Tabel 7.11. Faktor reduksi kekuatan pada struktur beton

Sumber: Sagel dkk, 1994

Kondisi Struktur	Faktor reduksi (ϕ)
Lentur, tanpa beban aksial	0,80
Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur (Untuk beban aksial dengan lentur, kedua nilai kuat nominal dari beban aksial dan momen harus dikalikan dengan nilai ϕ tunggal yang sesuai):	
Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,80
Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:	
Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,70
Komponen struktur lainnya	0,65
Geser dan torsi	0,75

b) Retak

Retak pada komponen struktur dengan penulangan dapat mengakibatkan korosi pada baja tulangan. Pembentukan karat pada korosi memungkinkan beton disekitar tulangan akan pecah dan lepas. Faktor terpenting yang mengakibatkan retak adalah regangan dalam baja yakni tegangan baja. Pembatasan retak dapat dicapai dengan membatasi tegangan dari baja.

Tabel 7.12. Lendutan izin maksimum

Sumber: Sagel dkk, 1994

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\ell^a / 180$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\ell / 360$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat pembebanan beban hidup) ^c	$\ell^b / 480$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\ell^d / 240$
a. Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase. b. Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan. c. Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5(2(5)) atau 11.5(4(2)), tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau. d. Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.		

c) Panjang bentang

Panjang bentang komponen struktur ditentukan menurut ketentuan-ketentuan berikut:

- Panjang bentang dari komponen struktur yang tidak menyatu dengan struktur pendukung dihitung sebagai bentang bersih ditambah dengan tinggi dari komponen struktur. Besarnya bentang tersebut tidak perlu melebihi jarak pusat ke pusat dari komponen struktur pendukung yang ada.
- Dalam analisis untuk menentukan momen pada rangka atau struktur menerus, panjang bentang harus diambil sebesar jarak pusat ke pusat komponen struktur pendukung.

- Untuk balok yang menyatu dengan komponen struktur pendukung, momen pada bidang muka tumpuan dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan penampang.
- Plat atau plat berusuk, yang bentang bersihnya tidak lebih dari 3 m dan yang dibuat menyatu dengan komponen struktur pendukung dapat dianalisis sebagai plat menerus di atas banyak tumpuan dengan jarak tumpuan sebesar bentang bersih plat dan pengaruh lebar struktur balok pendukung dapat diabaikan.

7.4.3. Konstruksi Balok dan plat beton bertulang

a) Balok beton

Suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan mengalami deformasi (regangan) lentur. Dalam hal tersebut, regangan tekan akan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah penampang. Karena tulangan baja dipasang pada bagian tegangan tarik bekerja yaitu pada bagian bawah, maka secara teoritis balok ini disebut sebagai balok bertulangan tarik saja. Pada bagian tekan atau bagian atas penampang umumnya tetap dipasang perkuatan tulangan, tetapi bertujuan untuk membentuk kerangka kokoh yang stabil pada masing-masing sudut komponen.

Tulangan pada balok selain dipengaruhi oleh beban-beban yang diterimanya, juga dipengaruhi oleh ukuran dan syarat-syarat tumpuan. Tumpuan dianggap kaku jika tidak terdapat deformasi. Tiga syarat-syarat tumpuan yang dipertimbangkan:

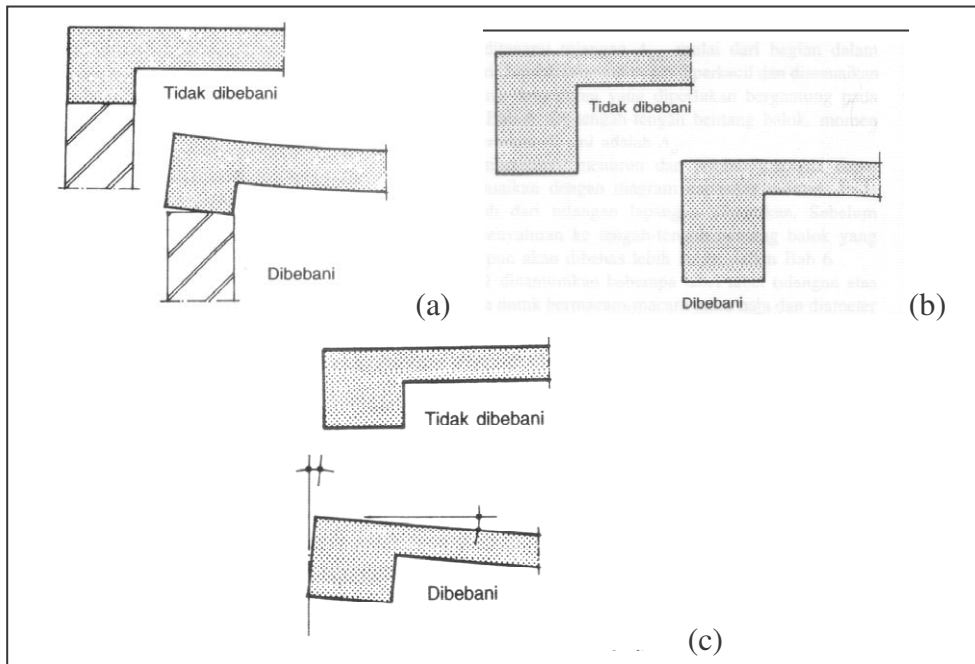
- Tumpuan bebas, bila tumpuan mengalami perputaran sudut pada perletakannya.
- Tumpuan terjepit penuh, bila terdapat jepitan penuh sehingga perputaran tidak mungkin terjadi.
- Tumpuan terjepit sebagian, bila tumpuan pada keadaan yang memungkinkan terjadi sedikit perputaran

b) Plat beton

Perencanaan plat beton bertulang tidak hanya terbatas pada pertimbangan pembebanan saja, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan tepi. Syarat-syarat tumpuan menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung di tumpuan. Secara umum terdapat tiga jenis tumpuan pada plat, yaitu:

- **Bebas**; apabila plat dapat berotasi bebas pada tumpuan, misalnya sebuah plat tertumpu pada tembok bata (gambar 7.16a)
- **Terjepit penuh**; apabila tumpuan dapat mencegah plat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir, misalnya plat yang monolit atau menyatu dengan balok yang tebal (gambar 7.16b).

- **Terjepit sebagian atau elastis**; plat yang menempel pada balok tepi tetapi balok tepi tidak cukup kuat untuk mencegah rotasi (gambar 7.16c).



Gambar 7.16. Jenis tumpuan pada plat beton

Sumber: Sagel dkk, 1994

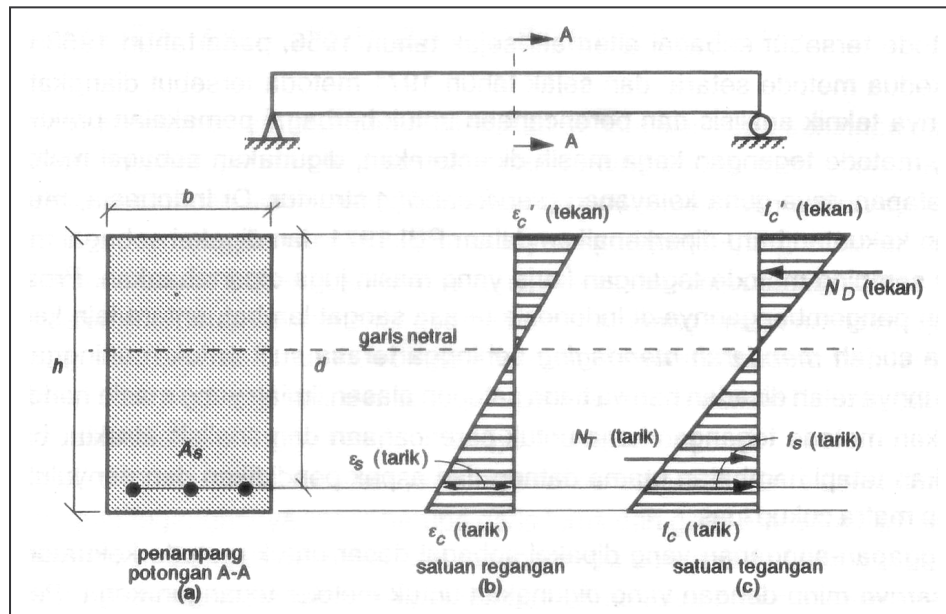
Jenis-jenis plat dengan tumpuan tersebut antara lain adalah plat yang menumpu menerus sepanjang dua tepi yang sejajar atau pada keempat tepinya, panel plat, dan plat menerus untuk pondasi. Panel adalah bagian segiempat suatu plat, atau suatu plat yang tepi-tepi dikelilingi oleh tumpuan-tumpuan. Pada plat yang tertumpu pada sepanjang dua sisinya dapat disebut juga sebagai bentang balok, jika menggunakan analogi balok. Dalam kasus plat terjepit pada dinding bata, meskipun dapat terjadi momen jepit maka umumnya tetap akan dianggap sebagai tumpuan bebas.

Distribusi tegangan

Distribusi tegangan dapat diilustrasikan sebagai berikut:

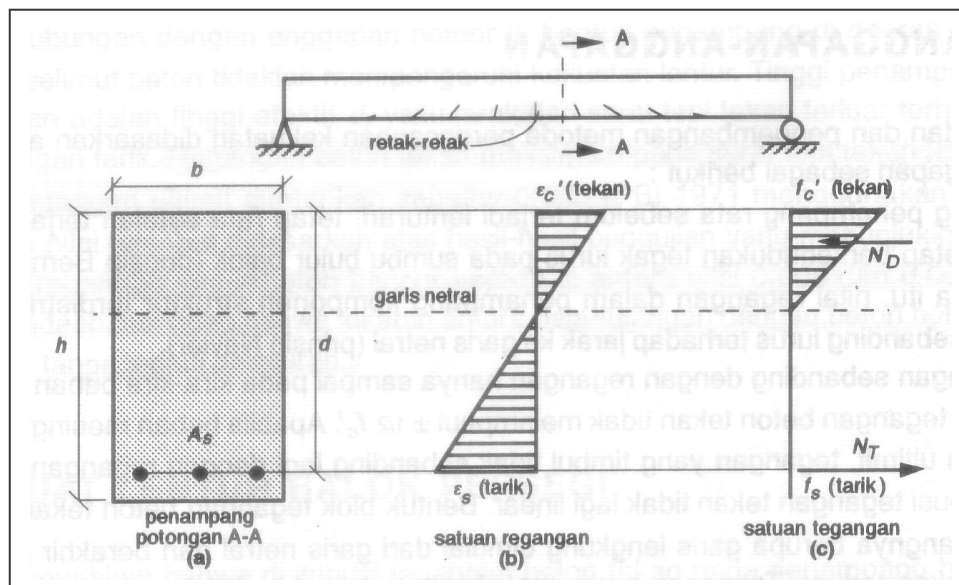
- ♦ Pada beban kecil distribusi tegangannya linier, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 7.17.
- ♦ Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak. Beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi bagian-bagian retak karena terputus-putus, selanjutnya tulangan baja akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Distribusi tegangan untuk penampang pada/dekat bagian yang

mengalami retak seperti pada Gambar 7.18, diperkirakan terjadi pada nilai tegangan beton sampai dengan $1/2 f'_c$.



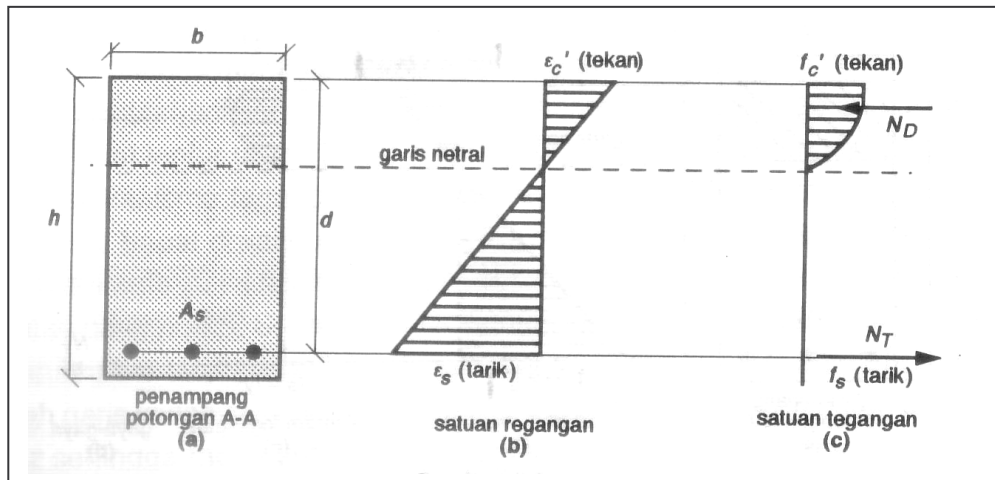
Gambar 7.17. Perilaku lentur pada beban kecil

Sumber: Dipohusodo, 1994



Gambar 7.18. Perilaku lentur pada beban sedang

Sumber: Dipohusodo, 1994



Gambar 7.19. Perilaku lentur pada beban ultimit

Sumber: Dipohusodo, 1994

- ♦ Pada beban yang sangat besar (ultimit), nilai regangan serta regangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding dengan diantara keduanya, dimana tegangan tekan beton akan membentuk kurva non-linear. Kurva tegangan di atas garis netral (daerah tekan) berbentuk sama dengan kurva tegangan regangan seperti pada Gambar 7.19. Kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh/leleh, dan beton mengalami hancur. Struktur akan mengalami strata runtuh atau setengan runtuh meskipun belum hancur secara keseluruhan.

Regangan maksimum tekan beton sebagai regangan ultimit digunakan sebesar 0,003 atau 0,3%, yang ditetapkan berdasarkan hasil-hasil pengujian.

Kuat lentur

Kuat lentur M_n merupakan kekuatan lentur balok, yang besarnya tergantung dari resultan gaya tekan dalam (N_D) dan resultan gaya tarik dalam (N_T).

$$\text{Kuat lentur pada gaya tekan beton: } M_n = N_D \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (7.1)$$

$$\text{Kuat lentur pada gaya tarik tulangan beton: } M_n = N_T \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (7.2)$$

dimana N_D : resultan gaya tekan dalam
 N_T : resultan gaya tarik dalam
 d : tinggi efektif balok
 a : kedalaman blok tegangan

Nilai a dapat dihitung dengan rumus:
$$a = \frac{A_s}{\beta_1} \frac{f_y}{f_c} \frac{1}{b} \quad (7.3)$$

dimana A_s : luas tulangan tarik (mm²)
 f_y : tegangan leleh baja
 β_1 : konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton
 f'_c : kuat tekan beton
 b : lebar balok (mm)

Sesuai ketentuan SNI 03-2847-2002, faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan di atas 30 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Pembatasan tulangan tarik

Pada struktur beton dengan penulangan tarik saja, SNI 03-2847-2002 menetapkan jumlah tulangan baja tarik tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan.

$$A_s \leq 0,75 A_{sb}$$

Jika jumlah batas penulangan tersebut dapat dipenuhi akan memberikan jaminan bahwa kehancuran daktail (*ductile*) dapat berlangsung dengan diawali oleh meluluhnya tulangan baja tarik terlebih dahulu. Dengan demikian tidak akan terjadi kehancuran getas yang lebih bersifat mendadak.

Pembatasan penulangan ini juga berhubungan dengan rasio penulangan (ρ) yaitu perbandingan antara jumlah luas penampang tulangan tarik (A_s) terhadap luas efektif penampang (lebar b x tinggi efektif d).

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

dengan pembatasan penulangan maksimum 0,75 kali rasio penulangan keadaan seimbang (ρ_b), maka:

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b$$

Sedangkan batas minimum rasio penulangan ditentukan:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Batas minimum penulangan diperlukan untuk menjamin tidak terjadinya hancur struktur secara tiba-tiba seperti jika balok tanpa tulangan. Karena bagaimanapun balok beton dengan tulangan tarik yang paling sedikitpun harus mempunyai kuat momen yang lebih besar dari balok tanpa tulangan. Pada plat tipis dengan ketebalan tetap maka penulangan minimum harus

memperhitungkan kebutuhan untuk memenuhi persyaratan tulangan susut dan suhu.

Analisis balok terlentur

Secara ringkas langkah-langkah analisis untuk balok terlentur dengan penulangan tarik saja, dengan urutan sebagai berikut:

- 1) Buat daftar hal-hal yang diketahui sesuai kondisi atau permasalahan yang ada
- 2) Tentukan apa yang akan dicari pada pekerjaan analisis (Momen tahanan dalam M_R , Momen tahanan pada kuat lentur M_n)
- 3) Hitung rasio penulangan:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (7.4)$$

- 4) Bandingkan hasilnya dengan $0,75 \rho_b$ atau ρ_{maks} juga terhadap ρ_{inin} untuk menentukan apakah penampang memenuhi syarat.
- 5) Hitung kedalaman blok tegangan beton tekan:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{\beta_1 \cdot f_c \cdot b}$$

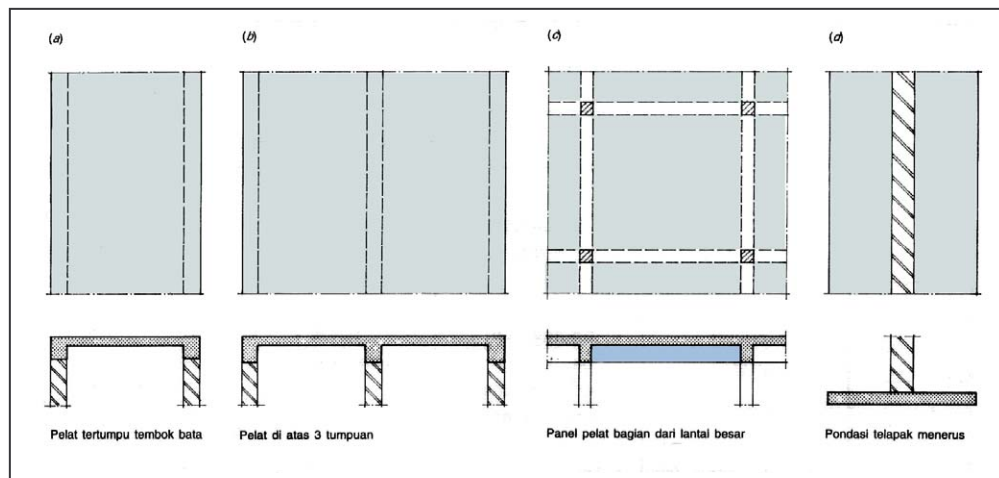
- 6) Hitung panjang lengan kopel momen dalam: $z = d - \frac{1}{2} a$
- 7) Hitung momen tahanan (dalam) ideal M_n

$$\begin{aligned} M_n &= N_T \cdot z = A_s \cdot f_y \cdot z, \text{ atau} \\ M_n &= N_D \cdot z = 0,85 A_s \cdot f_c' \cdot a \cdot z \\ M_R &= \phi M_n \end{aligned}$$

Analisis plat terlentur satu arah

Petak plat dibatasi oleh balok induk pada kedua sisi pendek dan balok anak pada kedua sisi panjang. Plat yang didukung sepanjang keempat sisi tersebut dinamakan sebagai plat dua arah, dimana lenturannya akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus. Jika perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendek lebih besar dari 2, maka plat dapat dianggap hanya bekerja sebagai plat satu arah dengan lentur utama pada arah yang lebih pendek. Contoh jenis plat beton seperti pada Gambar 7.20.

Plat satu arah adalah plat yang penyaluran beban normal di permukaan plat ke elemen pendukung utamanya pada satu arah utama. Pada panel plat yang didukung pada keempat sisinya, aksi satu arah terjadi jika rasio perbandingan antara bentang panjangnya dengan bentang pendeknya lebih dari 2. Dalam aksi satu arah, diagram momen pada dasarnya tetap konstan melintang searah lebar plat. Oleh karenanya, prosedur desain plat satu arah dapat dilakukan dengan pendekatan melalui pengamatan kesamaan balok penyusunnya pada lebar unitnya.

**Gambar 7.20. Jenis-jenis struktur plat beton**

Sumber: Dipohusodo, 1994

Balok ini dapat dirancang dengan langkah dan rumusan yang sama untuk balok segiempat biasa. Persyaratan penutup pada plat satu arah lebih kecil dari balok, umumnya $\frac{3}{4}$ ". Gaya-gaya internal umumnya lebih rendah, sehingga penggunaan ukuran tulangnya menjadi lebih kecil. Desain mungkin dapat dikendalikan dengan tulangan susut dan suhu yang minimum. Faktor geser jarang dikontrol, dan tulangan transversal sulit dipasang pada plat satu arah.

Karena beban yang bekerja semuanya dilimpahkan menurut arah sisi pendek, maka plat terlentur satu arah dapat dianggap memiliki perilaku seperti suatu balok persegi dengan tinggi setebal plat tersebut dan dengan lebarnya adalah satu satuan panjang (umumnya 1 meter). Apabila diberi beban merata plat akan melendut dengan kelengkungan satu arah, sehingga menimbulkan momen lentur pada arah tersebut. Beban merata umumnya menggunakan satuan kN/m^2 (kPa), karena diperhitungkan untuk setiap satuan lebar (1 meter) maka satuannya menjadi beban per satuan panjang (kN/m).

Penulangan plat dihitung untuk setiap satuan lebar tersebut dan merupakan jumlah rata-rata. Dalam SNI 03-2847-2002, plat struktural harus pula dipasang tulangan susut dan suhu dengan arah tegak lurus tulangan pokok. Tulangan ulir yang digunakan sebagai tulangan susut dan suhu harus memenuhi ketentuan berikut:

- Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut (Tabel 7.13), tetapi tidak kurang dari 0,001
- Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal plat, atau 450 mm.

Tabel 7.13. Rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton

Sumber: Sagel dkk, 1994

a) Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300	0,002 0
b) Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) mutu 400	0,001 8
c) Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35%	$0,001\ 8 \times 400/f_y$

Selanjutnya prosedur analisis dan perhitungan M_R pada plat tertentur satu arah menggunakan cara yang sama dengan balok persegi. Tambahan analisis adalah pada perhitungan nilai minimum A_s , yang diperlukan untuk tulangan susut dan suhu. Perlu dilakukan pemeriksaan nilai minimum dengan memeriksa A_{smin} . Contoh: untuk plat dengan tulangan ulir mutu 300 nilai A_{smin} adalah $0,0020bh$.

7.4.4. Perencanaan balok dan plat beton bertulang

A. Perencanaan balok tertentur bertulangan tarik saja

Dalam proses perencanaan balok tertentur untuk f_y dan f'_c tertentu, maka harus ditetapkan lebih lanjut dimensi lebar balok, tinggi balok dan luas penampang tulangan. Kombinasi tiga besaran perencanaan ini memunculkan banyak sekali kemungkinan kebutuhan kuat momen dari balok. Selanjutnya kombinasi ini menghasilkan nilai k yang disebut sebagai *koefisien tahan* dalam satuan Mpa, seperti pada tabel A-8 sampai A-37 dalam buku struktur beton bertulang (Dipohusodo, 1994).

Dengan menggunakan nilai k ini, maka rumus umum M_R menjadi:

$$M_R = \phi b d^2 k \quad (7.5)$$

Dengan rumusan ini maka pendekatan analisis menjadi lebih singkat. perencanaan balok persegi tertentur bertulangan tarik saja secara praktis dapat menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

Dalam kegiatan perencanaan diperlukan juga tahapan untuk memperkirakan dimensi penampang karena belum diketahui. Untuk perkiraan kasar umumnya digunakan hubungan empiris rasio antara lebar dan tinggi balok beton persegi yang dapat diterima dan cukup ekonomis adalah:

$$1,0 \leq d/b \leq 3,0$$

berdasarkan rentang nilai tersebut, rasio d/b umumnya dapat memenuhi syarat terletak pada nilai 1,5 – 2,2.

Perkiraan dimensi balok dapat juga ditentukan berdasarkan menggunakan persyaratan tebal minimum balok dan plat satu arah menurut SNI 03-2847-2002, seperti pada tabel 7.14.

Tabel 7.14. Tinggi balok minimum

Sumber: Sagel dkk, 1994

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Plat masif satu arah	$\ell/16$	$\ell/18.5$	$\ell/21$	$\ell/8$
Balok atau plat rusuk satu arah	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$

Catatan:

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($w_c = 2\,400\text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis di antara $1\,500\text{ kg/m}^3$ sampai $2\,000\text{ kg/m}^3$, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana w_c adalah berat jenis dalam kg/m^3 .
- Untuk f_y selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Jika penampang diketahui, dan akan menghitung A_s

- Ubah beban atau momen yang bekerja menjadi beban atau momen rencana (W_u dan M_u), termasuk berat sendiri.
- Berdasarkan h yang diketahui, perkirakan d dengan menggunakan hubungan $d = h - 80\text{ mm}$, kemudian hitung k yang diperlukan dengan rumus:

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

- Cari rasio penulangan (tabel A-8 sampai A-37 dalam Dipohusodo, 1994)
- Hitung A_s yang diperlukan, dimana $A_s \text{ perlu} = \rho b d$
- Tentukan batang tulangan yang akan dipasang, dengan memperhitungkan apakah tulangan dapat dipasang satu lapis pada balok. Periksa ulang tinggi efektif aktual balok dan bandingkan dengan tinggi efektif hasil perhitungan: jika lebih tinggi berarti hasil rancangan dalam keadaan aman, dan sebaliknya jika kurang dari tinggi berarti tidak aman dan harus dilakukan revisi perhitungan.
- Buat sketsa rancangan

Merencana dimensi penampang dan A_s

- Ubah beban dan momen menjadi beban dan momen rencana (W_u dan M_u), termasuk memperkirakan berat sendiri balok. Tinggi dan lebar balok harus memenuhi syarat dan berupa bilangan bulat. Jangan lupa menggunakan faktor beban dalam memperhitungkan beban mati tambahan.
- Pilih rasio penulangan (tabel A-4 dalam Dipohusodo, 1994).
- Cari nilai k (tabel A-8 sampai A-37 dalam Dipohusodo, 1994).

- 4) Perkirakan b dan hitung d yang diperlukan.

$$d_{\text{perlu}} = \sqrt{\frac{M_u}{\phi b k}}$$

jika d/b memenuhi syarat (1,5 – 2,2), dimensi dapat dipakai.

- 5) Perhitungkan h , kemudian hitung ulang berat balok dan bandingkan berat balok tersebut dengan berat balok yang sudah dimasukkan dalam perhitungan.
- 6) Lakukan revisi hitungan dengan momen rencana M_u , dengan menggunakan hasil hitungan berat sendiri balok yang terakhir.
- 7) Dengan nilai b , k , dan yang baru, hitung d_{perlu}
- 8) Hitung A_s yang diperlukan, dimana $A_s \text{ perlu} = \rho b d$
- 9) Pilih batang tulangan.
- 10) Tentukan h , bila perlu dengan pembulatan ke atas (dalam cm). Cek tinggi efektif aktual dibanding dengan rencana, jika lebih besar maka balok dalam keadaan aman.
- 11) Buat sketsa rancangan

B. Perencanaan plat terlentur satu arah

Seperti pada perencanaan balok terlentur, perencanaan plat terlentur juga memerlukan estimasi-estimasi untuk memperkirakan awal tebal plat terlentur untuk menentukan dimensi-dimensi d dan h . Perkiraan dimensi tersebut dapat juga menggunakan tabel 000. Daftar tersebut hanya diperuntukan untuk balok dan plat beton bertulangan satu arah, non-prategang, berat beton normal ($W_c=23 \text{ kN/m}^3$) dan baja tulangan BJTD mutu 40. Apabila digunakan mutu baja yang lain maka nilai pada daftar dikalikan dengan faktor:

$$\left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Untuk struktur beton ringan, harus dikalikan dengan faktor:

$$(1,65 - 0,005 W_c)$$

akan tetapi nilainya tidak boleh kurang 1,09, dan satuan W_c dalam kgf/m^3 .

Secara ringkas langkah-langkah perencanaan plat terlentur satu arah, dengan urutan sebagai berikut:

- 1) Hitung h *minimum* sesuai tabel, dengan pembulatan dalam centimeter.
- 2) Hitung beban mati berat sendiri plat, dan selanjutnya beban rencana total W_U
- 3) Hitung momen rencana M_U
- 4) Perkirakan dan hitung tinggi efektif d , dapat menggunakan tulangan baja D19 dan penutup beton 20 mm, dengan hubungan:

$$d = h - 29,5 \text{ mm}$$

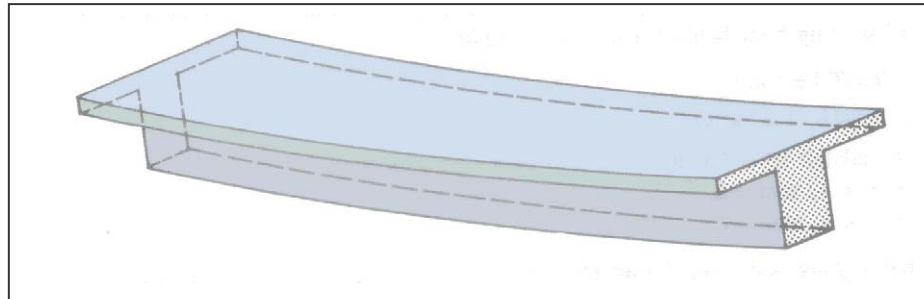
- 5) Hitung k perlu

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

- 6) Cari nilai k (tabel A-8 sampai A-37 dalam Dipohusodo, 1994), dan tidak melampaui ρ_{maks}
- 7) Hitung A_s yang dibutuhkan. A_s perlu = $\rho b d$
- 8) Tentukan tulangan pokok (tabel A-3 dalam Dipohusodo, 1994). Periksa jarak maksimum dari pusat ke pusat: $3h$ atau 500 mm. Dan periksa ulang anggapan awal pada langkah 4.
- 9) Periksa tulangan susut dan suhu, sebagai berikut:
 $A_s = 0,0020 bh$, untuk baja mutu 30
 $A_s = 0,0018 bh$, untuk baja mutu 40
 $A_s = 0,0018 bh \left(\frac{400}{f_y} \right)$ untuk mutu baja lebih tinggi dari 40.
dan tidak boleh kurang dari $A_s = 0,0014 bh$
- 10) Jumlah luas penampang tulangan baja pokok tidak boleh kurang dari jumlah luas penulangan susut dan suhu.
- 11) Buat sketsa rancangan.

C. Perencanaan balok T

Balok-T seperti pada gambar 7.21, merupakan elemen struktur beton dimana plat dan balok secara integral bekerja secara komposit menerima distribusi gaya-gaya yang terjadi. Desain balok-T berbeda dengan balok persegi empat hanya pada bagian momen positifnya, dimana bagian gaya tekan internal juga terjadi pada bagian plat (sayap).

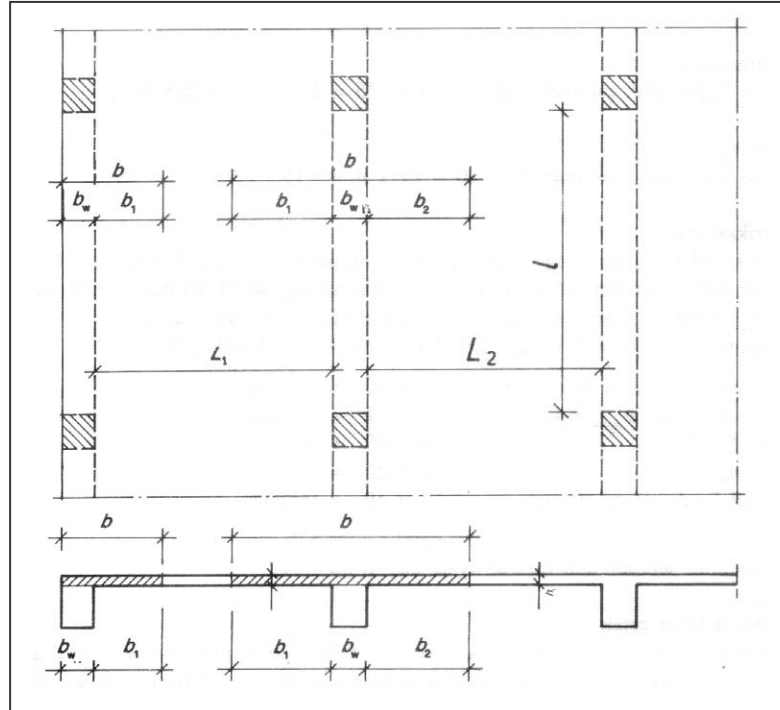


Gambar 7.21. Profil balok T

Sumber: Sagel dkk, 1994

Prosedur desain dan rumusan-rumusan balok-T sama dengan balok segi empat, kecuali pada nilai b (lebar balok) yang digantikan dengan nilai b efektif pada bagian momen positifnya. Nilai b efektif dipertimbangkan dengan adanya peran plat untuk menahan tekan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, ketentuan lebar efektif tidak boleh melebihi $\frac{1}{4}$ bentang balok, dan lebar sayap pada setiap sisi balok sebesar 8 kali tebal plat atau diperhitungkan sebesar setengah jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan, seperti pada gambar 7.22.



Gambar 7.22. Lebar efektif balok T

Sumber: Sagel dkk, 1994

Konstruksi balok-T

- Pada konstruksi balok-T, bagian sayap dan badan balok harus dibuat menyatu (monolit) atau harus dilekatkan secara efektif sehingga menjadi satu kesatuan.
- Lebar plat efektif sebagai bagian dari sayap balok-T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:
 - delapan kali tebal plat, dan
 - setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.
- Untuk balok yang mempunyai plat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap dari sisi badan tidak boleh lebih dari:
 - seperduabelas dari bentang balok,
 - enam kali tebal plat, dan
 - setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.
- Balok-T tunggal, dimana bentuk T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang

dari setengah lebar badan balok, dan lebar efektif sayap tidak lebih dari empat kali lebar badan balok.

- Bila tulangan lentur utama plat, yang merupakan bagian dari sayap balok-T (terkecuali untuk konstruksi plat rusuk), dipasang sejajar dengan balok, maka harus disediakan penulangan di sisi atas plat yang dipasang tegak lurus terhadap balok berdasarkan ketentuan berikut:
 - Tulangan transversal tersebut harus direncanakan untuk memikul beban terfaktor selebar efektif plat yang dianggap berperilaku sebagai kantilever. Untuk balok-T tunggal, seluruh lebar dari sayap yang membentang harus diperhitungkan. Untuk balok-T lainnya, hanya bagian plat selebar efektifnya saja yang perlu diperhitungkan.
 - Tulangan transversal harus dipasang dengan spasi tidak melebihi lima kali tebal plat dan juga tidak melebihi 500 mm.

Analisis penampang balok-T

Analisis penampang balok-T secara ringkas dapat menggunakan langkah-langkah:

- 1) Tentukan lebar sayap efektif sesuai ketentuan SNI 03-2847-2002, pasal 10.10 seperti uraian di atas.
- 2) Gunakan anggapan bahwa tulangan tarik telah meluluh, kemudian hitung gaya tarik total: $N_T = A_s f_y$
- 3) Hitung gaya tekan yang tersedia apabila hanya daerah sayap saja yang menyediakan daerah tekan, $N_T = 0,85 f'_c b h$
- 4) Bila $N_T > N_D$ balok berperilaku sebagai **balok-T murni** dan selisih gaya tekan akan ditampung di sebagian daerah badan balok di bawah sayap. Sedangkan bila $N_T < N_D$, berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b , atau disebut **balok T persegi**.

Jika dihitung sebagai **balok-T murni**, maka selanjutnya:

- 5) Tentukan letak batas tepi bawah blok tegangan tekan di daerah badan balok di bawah sayap

$$a = \frac{N_T - N_D}{(0,85 f'_c) b_w}$$

- 6) Periksa ρ_{inin}

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w d}$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{inin}

- 7) Tentukan letak titik pusat daerah tekan total dengan persamaan:

$$y = \frac{\sum (Ay)}{\sum A} \quad \text{kemudian, } z = d - y$$

- 8) Hitung momen tahanan, $M_R = \phi N_D(z)$ atau $\phi N_T(z)$
- 9) Pemeriksaan persyaratan daktilitas dengan melihat A_s (maks) harus lebih besar dari A_s aktual. A_s (maks) dapat dilihat pada tabel.

Jika dihitung sebagai **balok-T persegi**, maka selanjutnya:

- 5) Periksa ρ_{inin}

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w d}$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{inin}

- 6) Hitung rasio penulangan untuk kemudian menentukan nilai k

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

- 7) Cari nilai k berdasar nilai yang didapat dari langkah 6 (tabel A-8 sampai A-37 dalam Dipohusodo, 1994),
- 8) Hitung momen tahanan, $M_R = \phi b d^2 k$
- 9) Pemeriksaan persyaratan daktilitas dengan melihat A_s (maks) harus lebih besar dari A_s aktual. A_s (maks) dapat dilihat pada tabel000.

Apabila pemeriksaan batasan tulangan maksimum menghasilkan A_s lebih besar dari A_s (maks), maka momen tahan M_R dihitung dengan menggunakan A_s (maks) yang dalam hal ini disebut A_s efektif

Tabel 7.15. Daftar nilai A_s (maks) untuk balok-T

Sumber: Dipohusodo, 1994

f_c' (MPa)	f_y (MPa)	$A_s(\text{maks})$ (mm ²)	
17	240	$0,0452K_1$	di mana : $K_1 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,607 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	300	$0,0362K_2$	
	350	$0,0310K_3$	
	400	$0,0271K_4$	
20	240	$0,0532K_1$	$K_2 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,567 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	300	$0,0425K_2$	$K_3 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,537 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	350	$0,0365K_3$	$K_4 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,510 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	400	$0,0319K_4$	$K_5 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,579 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
25	240	$0,0665K_1$	$K_6 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,540 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	300	$0,0532K_2$	$K_7 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,512 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	350	$0,0456K_3$	$K_8 = h_f \left[b + b_w \left\{ \frac{0,486 d}{h_f} \right\} - b_w \right]$
	400	$0,0399K_4$	
30	240	$0,0798K_1$	
	300	$0,0638K_2$	
	350	$0,0547K_3$	
	400	$0,0479K_4$	
35	240	$0,0930K_5$	
	300	$0,0744K_6$	
	350	$0,0638K_7$	
	400	$0,0558K_8$	

Perencanaan penampang balok-T

Perencanaan penampang balok-T secara ringkas menggunakan langkah-langkah:

- 1) Hitung momen rencana M_U
- 2) Tetapkan tinggi efektif, $d = h - 70$ mm
- 3) Tentukan lebar sayap efektif sesuai ketentuan SNI 03-2847-2002
- 4) Menghitung momen tahanan dengan anggapan seluruh daerah sayap efektif untuk tekan,
 $M_R = \phi (0,85) b h_t (d - 1/2 h_t)$, dimana h_t adalah tebal plat.
- 5) Bila $M_R > M_U$ balok akan berperilaku sebagai **balok T persegi** dengan lebar b . Sedangkan bila $M_R < M_U$, balok berperilaku sebagai **balok-T murni**.

Jika dihitung sebagai **balok-T persegi**, maka selanjutnya:

- 6) Merencanakan balok-T persegi dengan nilai b dan d yang sudah diketahui dan selanjutnya menghitung k perlu:

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

- 7) Cari nilai k berdasar nilai yang didapat dari langkah 6 (tabel A-8 sampai A-37 dalam Dipohusodo, 1994),
- 8) Hitung A_s yang dibutuhkan. A_s perlu = $\rho b d$
- 9) Pilih batang tulangan baja dan periksa lebar balok. Periksa d aktual dibandingkan dengan d yang ditetapkan, jika melebihi maka rancangan disebut konservatif (posisi aman); dan jika kurang maka rancangan tidak aman dan perencanaan harus diulang.
- 10) Periksa ρ_{inin}

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w d}$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{inin}

- 11) Pemeriksaan persyaratan daktilitas dengan melihat A_s (maks) harus lebih besar dari A_s aktual. A_s (maks) dapat dilihat pada tabel 000
- 12) Buat sketsa rancangan

Jika dihitung sebagai **balok-T murni**, maka selanjutnya:

- 6) menentukan $z = d - 1/2 h_t$
- 7) Menghitung A_s yang diperlukan berdasarkan nilai z pada langkah 6

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y z}$$

- 8) Pilih batang tulangan baja dan periksa lebar balok

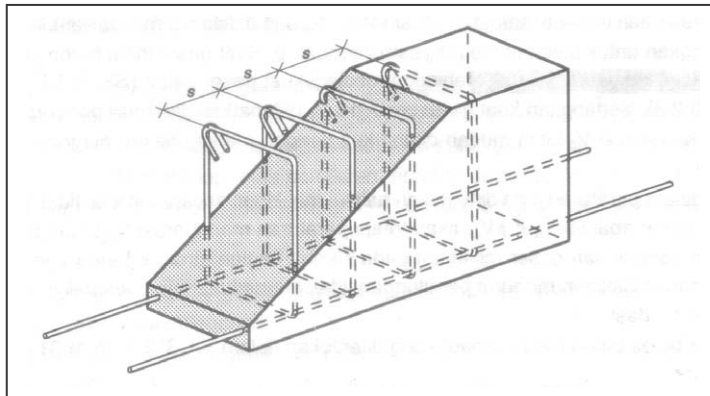
- 9) Menentukan tinggi efektif aktual (d aktual), dan lakukan analisis balok
- 10) Buat sketsa rancangan

Perencanaan penulangan geser

Perencanaan penulangan geser adalah usaha untuk menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal. Penulangan geser dapat dilakukan dalam beberapa cara, seperti:

- sengkang vertikal
- jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial
- sengkang miring atau diagonal
- batang tulangan miring diagonal yang dapat dilakukan dengan cara membengkokkan batang tulangan pokok balok di tempat-tempat yang diperlukan
- tulangan spiral

Perencanaan geser didasarkan pada anggapan dasar bahwa beton menahan sebagian gaya geser, sedangkan selebihnya di atas kemampuan beton dilimpahkan pada tulangan geser. Cara umum yang dipakai untuk penulangan geser adalah dengan menggunakan sengkang, karena pelaksanaannya lebih mudah serta dijamin ketepatan pemasangannya. Cara penulangan ini terbukti mampu memberikan sumbangan untuk meningkatkan kuat geser ultimit komponen struktur yang mengalami lenturan.



Gambar 7.23. Detail susunan penulangan sengkang

Sumber: Dipohusodo, 1994

Berdasarkan ketentuan SNI 03-2847-2002, kuat geser (V_c) untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku,

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (7.6)$$

Dalam persamaan ini satuan f_c' dalam Mpa, b_w dan d dalam mm, dan V_c dalam kN. Pada balok persegi b_w sama dengan d . Kuat geser ideal dikenakan faktor reduksi $\phi = 0,60$. Kuat geser rencana V_u didapatkan dari hasil penerapan faktor beban.

Berdasarkan peraturan, meskipun secara teoritis tidak diperlukan penulangan geser apabila $V_u \leq \phi V_c$, akan tetapi tetap diharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimum pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan. Ketentuan penulangan geser minimum tersebut terutama untuk menjaga agar tidak terjadi kegagalan geser bila terjadi beban yang tak terduga. Pada tempat di mana tidak diperlukan tulangan geser yang memiliki ketebalan cukup untuk menahan V_u , maka tulangan geser minimum tidak diperlukan. Sedangkan pada tempat yang memerlukan tulangan geser minimum, jumlah luasnya ditentukan dengan persamaan:

$$A = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y} \quad (7.7)$$

Pada persamaan ini, dan mengacu pada gambar 10.14, dijelaskan:

A_v = luas penampang tulangan geser total dengan jarak spasi antar tulangan s , untuk sengkang keliling tunggal $A_v = 2 A_s$, dimana

A_s adalah luas penampang batang tulangan sengkang (mm²)

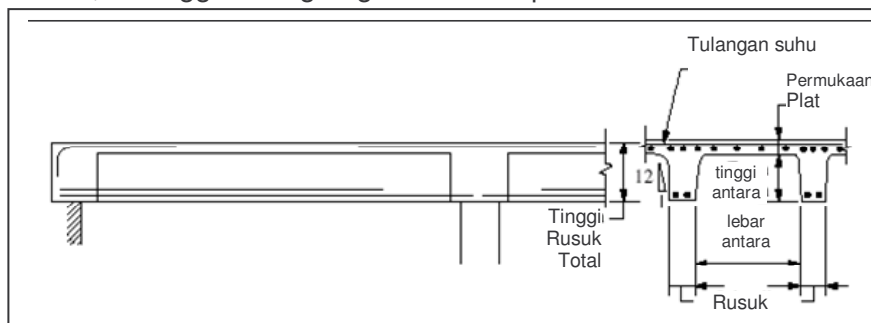
b_w = lebar balok, untuk balok persegi = b (mm)

s = jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm)

f_y = kuat luluh tulangan geser (Mpa)

D. Plat dengan rusuk satu arah

Sistem plat lantai dengan rusuk satu arah seperti pada gambar 7.24, terdiri dari rangkaian balok-T dengan jarak yang rapat. Rusuk-rusuk tidak boleh kurang dari 4" pada arah lebarnya dan ketebalan seharusnya tidak lebih dari 3,5 kali lebar minimum rusuknya. Tulangan lentur seperti pada penampang balok-T. Rusuk beton biasanya memiliki kapasitas geser yang cukup besar, sehingga tulangan geser tidak diperlukan.

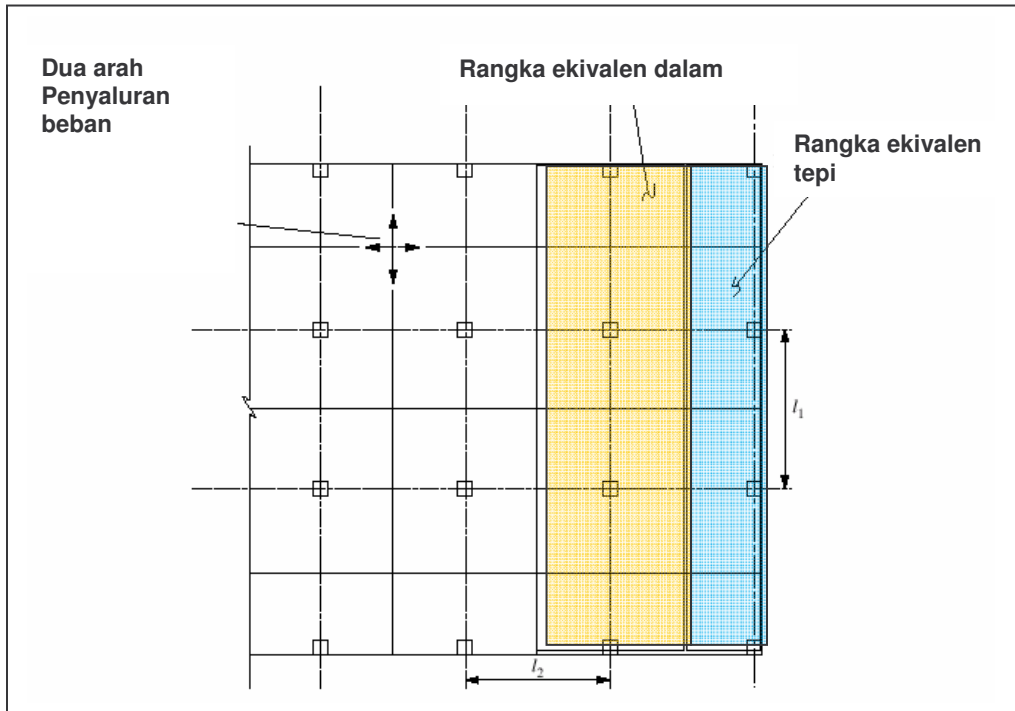


Gambar 7.24. Struktur plat dengan rusuk satu arah

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

E. Plat lantai dua arah

Asumsi desain aksi satu arah tidak dapat diaplikasikan pada banyak kasus, khususnya pada panel lantai yang memiliki aspek rasio panjang dan lebar yang kurang dari 2. Pada plat yang bebannya didistribusikan ke kedua arah sisinya disebut sebagai plat dua arah, seperti pada gambar 7.25.



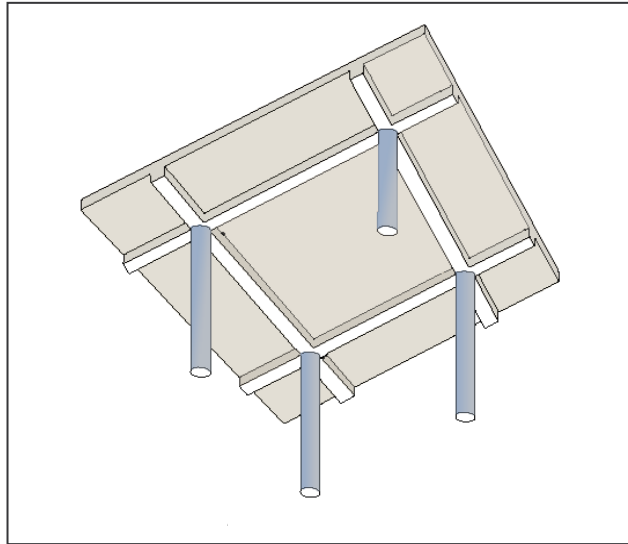
Gambar 7.25. Struktur plat lantai dua arah dan prinsip penyaluran beban

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

Cara penyaluran beban dari plat ke tumpuan berbeda antara plat dua arah dengan plat satu arah. Apabila syarat-syarat tumpuan sepanjang keempat tepinya sama yaitu tertumpu bebas atau terjepit maka pola penyaluran beban untuk plat persegi dinyatakan dengan bentuk 'amplop', dengan menggambarkan garis-garis pada setiap sudutnya dengan sudut 45° .

Plat dua arah dengan balok

Plat dua arah dengan balok terdiri dari sebuah panel plat yang dibatasi oleh balok-balok yang tertumpu pada kolom. Aspek rasio panjang dan lebar panel kurang dari 2, maka proporsi yang sesuai dari beban lantai akan di transfer pada arah panjangnya. Kekakuan terjadi pada kesatuan balok-balok tersebut (Gambar 7.26).

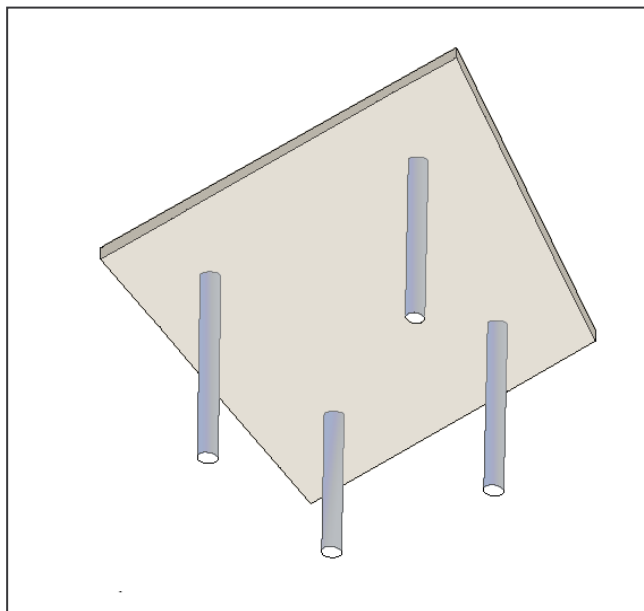


Gambar 7.26. Struktur plat dua arah dengan balok

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

F. Plat rata

Sistem lantai tanpa menggunakan balok-balok disebut sebagai plat rata (*flat*), seperti pada gambar 7.27. Sistem ini ekonomis dan fungsional karena dengan dihilangkannya balok maka tinggi bersih antar lantai dapat lebih maksimal. Tebal minimal plat rata ini seperti pada tabel 7.16.



Gambar 7.27. Struktur plat rata (*flat*)

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

Tabel 7.16. Tebal minimum plat tanpa balok

Sumber: Sagel dkk, 1994

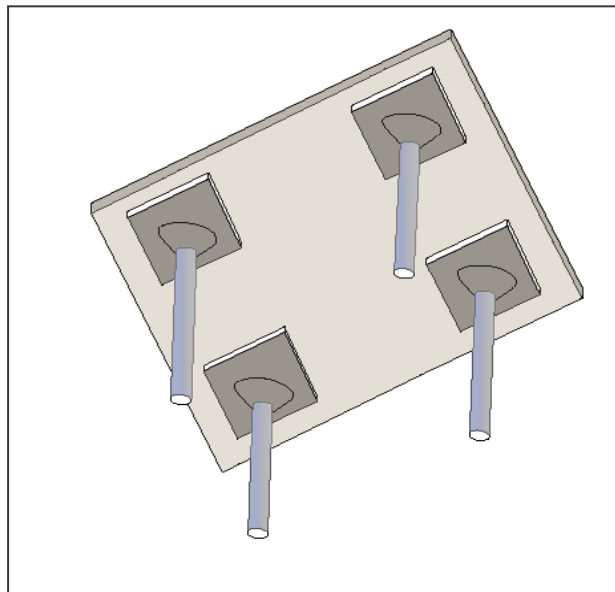
Tegangan leleh f_y^a MPa	Tanpa penebalan ^b			Dengan penebalan ^b		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^c		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^c	
300	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
400	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
500	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

Catatan:

- Untuk tulangan dengan tegangan leleh di antara 300 MPa dan 400 MPa atau di antara 400 MPa dan 500 MPa, gunakan interpolasi linear.
- Penebalan panel didefinisikan dalam 15.3(7(1)) dan 15.3(7(2)).
- Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi luar. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

G. Plat dengan panel drop

Kemampuan plat rata dapat meningkat dengan penambahan drop panel. Drop panel adalah penambahan ketebalan plat pada daerah momen negatif, dan akan meningkatkan perpindahan gaya pada hubungan antar plat dan kolom pendukungnya. Tebal minimum plat ini seperti pada tabel 7.16 dan tidak boleh kurang dari 4". Selain itu, kombinasi plat dengan panel drop dan kepala kolom akan semakin meningkatkan kekuatan strukturnya. (gambar 7.28)

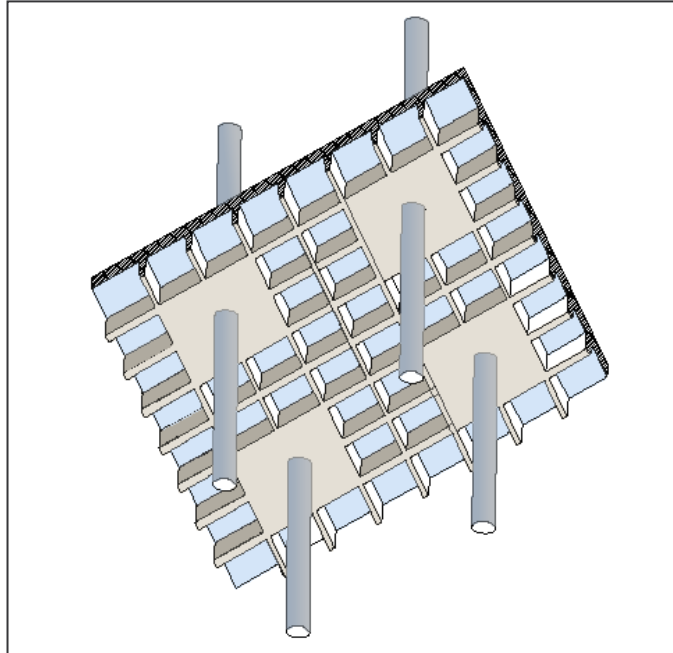

Gambar 7.28. Struktur plat-rata dengan panel drop

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

H. Plat wafel

Untuk beban lantai yang sangat berat atau untuk bentang yang panjang maka sistem plat wafel dimungkinkan untuk digunakan. Plat wafel dapat digambarkan sebagai plat datar yang sangat tebal, tetapi dengan grid kotak-kotak untuk mengurangi berat dan mendapatkan efisiensi. (gambar 7.29)

Desain penulangan lentur berdasarkan pada lajur-lajur penampang T sebagai pengganti lajur palat persegi. Pada sekeliling pendukung kolom, lubang-lubang grid dapat diisi untuk menahan kepala kolom.



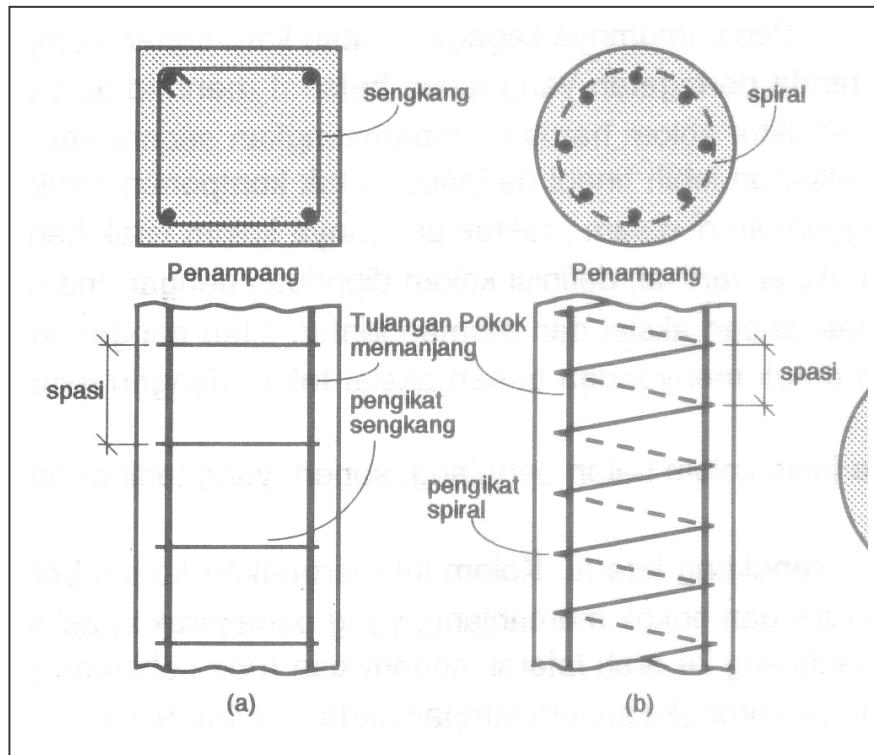
Gambar 7.29. Struktur plat wafel

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

7.4.5. Struktur Kolom Beton Bertulang

Tipikal kolom beton bertulang seperti pada Gambar 7.30. Tulangan pada kolom akan terdistribusi bersama dengan bagian tepi keliling penampang kolom dan menerus sepanjang tinggi kolom tersebut. Tulangan transversal kolom (begel) dapat berbentuk, empat persegi, ties atau spiral. Dinding yang tinggi dan elemen 'core' pada bangunan akan mempunyai perilaku yang sama dengan kolom, sehingga prosedur desain dapat mengikuti aplikasi dari kolom.

Kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.



Gambar 7.30. Tipikal kolom beton bertulang

Sumber: Dipohusodo, 1999

Pada konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentris karena sebab lainnya juga harus diperhitungkan.

Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu (monolit) dengan komponen struktur lainnya. Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai atau atap harus didistribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekangan pada ujung kolom.

Selanjutnya analisis kolom dan perencanaan kolom beton di sini ditekankan pada jenis kolom beton sederhana. Jenis kolom yang dimaksud adalah kolom pendek dengan eksentrisitas kecil.

Kekuatan Kolom eksentrisitas kecil

Hampir tidak pernah dijumpai kolom dengan beban aksial tekan secara konsentris. Meskipun demikian pembahasan kolom dengan eksentrisitas kecil sangat penting sebagai dasar pengertian perilaku kolom pada waktu menahan beban serta timbulnya momen pada kolom.

Jika beban tekan P berimpit dengan sumbu memanjang kolom berarti tanpa eksentrisitas, secara teoritis menghasilkan tegangan merata pada permukaan penampang lintangnya. Sedangkan jika gaya tekan bekerja pada satu tempat berjarak e terhadap sumbu memanjang, kolom akan melentur seiring dengan timbulnya momen $M=P(e)$. Jarak e disebut eksentrisitas gaya terhadap sumbu kolom.

Kekuatan beban aksial pada kondisi pembebanan tanpa eksentrisitas adalah:

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (7.8)$$

dimana:

A_g = luas kotor penampang lintang kolom (mm²)

A_{st} = luas total penampang penulangan memanjang (mm²)

P_o = kuat beban aksial tanpa eksentrisitas

P_n = kuat beban aksial dengan eksentrisitas tertentu

P_u = beban aksial terfaktor dengan eksentrisitas

rasio penulangan adalah: $\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g}$

Hubungan dasar antara beban dan kekuatan: $P_u \leq \phi P_n$,

Ketentuan dalam SNI 03-2847-2002 selanjutnya:

- reduksi kekuatan untuk kolom dengan penulangan sengkang adalah 20%
- reduksi kekuatan untuk kolom dengan penulangan spiral adalah 15%

Berdasarkan reduksi kekuatan tersebut maka rumus kuat beban aksial maksimum adalah:

Untuk kolom dengan penulangan spiral

$$\phi P_{n(maks)} = 0,85\phi \{0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\}$$

Untuk kolom dengan penulangan sengkang

$$\phi P_{n(maks)} = 0,80\phi \{0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\}$$

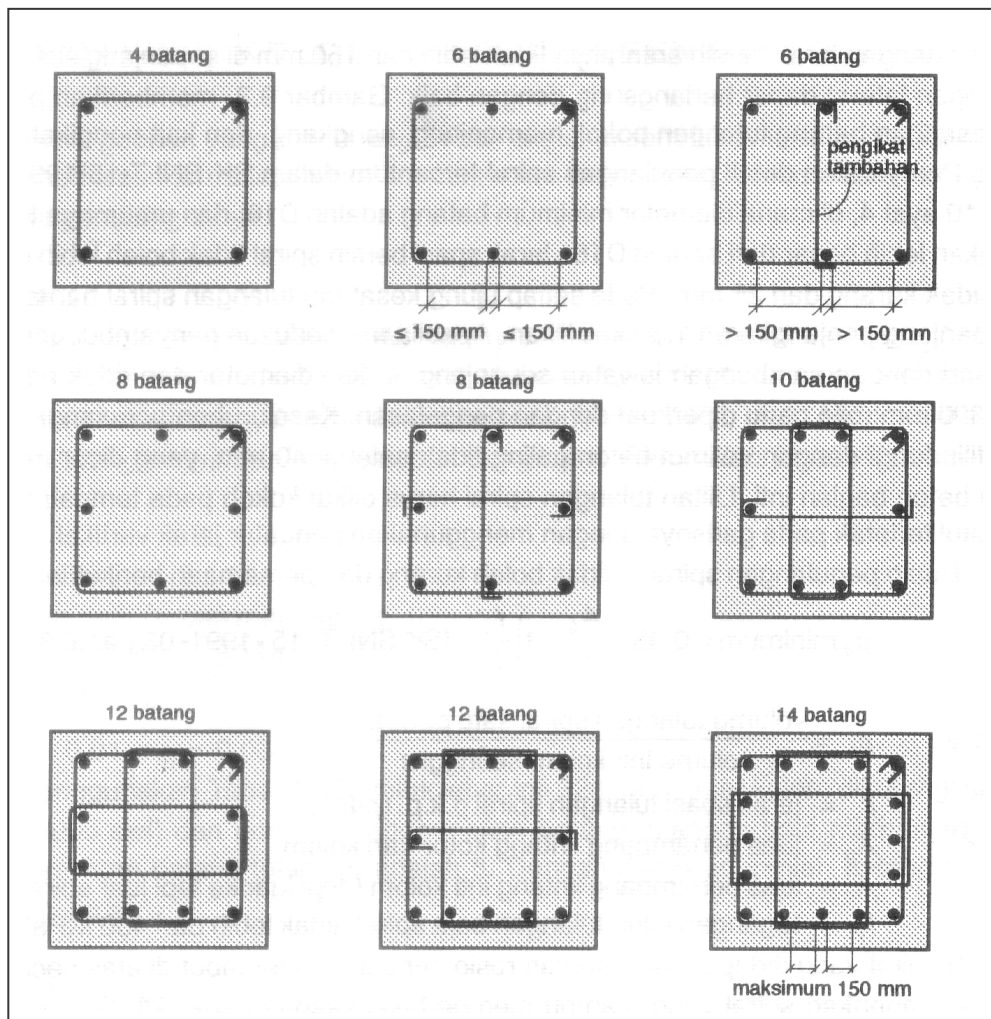
Faktor reduksi ditentukan:

$\phi = 0,70$ untuk penulangan spiral, dan

$\phi = 0,65$ untuk penulangan dengan sengkang.

Persyaratan detail penulangan kolom

Jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang dibatasi dengan rasio penulangan ρ_g antara 0,01 dan 0,08. Secara umum luas penulangan yang digunakan antara 1,5% sampai 3 % dari luas penampang, serta terkadang dapat mencapai 4% untuk struktur berlantai banyak, namun disarankan tidak melebihi 4%. Sesuai SNI 03-2847-2002, penulangan pokok pada kolom dengan pengikat spiral minimal 6 batang, sedangkan untuk sengkang segiempat adalah 4 batang, dan segitiga minimal adalah 3 batang. Beberapa susunan penulangan seperti pada gambar 7.31.



Gambar 7.31. Detail susunan penulangan tipikal

Sumber: Dipohusodo, 1999

Jarak bersih antar batang tulangan pokok tidak boleh kurang dari $1,5 d_b$ atau 40 mm. Syarat-syarat lain diantaranya:

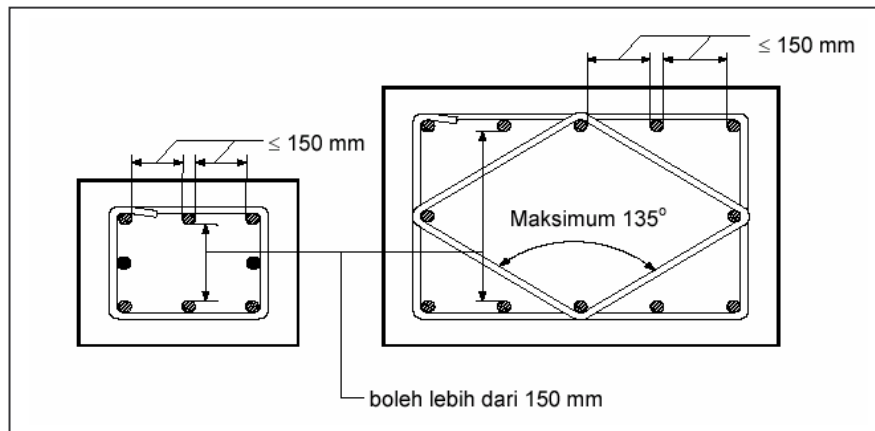
- tebal minimum penutup beton ditetapkan tidak boleh kurang dari 40 mm
- batang tulangan pokok harus dilingkupi sengkang dengan kait pengikat lateral paling sedikit dengan batang D10 untuk tulangan pokok D32 atau lebih kecil
- untuk tulangan pokok yang lebih besar menggunakan yang tidak kurang dari D12, tetapi tidak lebih besar dari D16.
- jarak spasi tulangan sengkang tidak lebih dari 16 kali diameter tulangan pokok, atau 48 kali diameter tulangan sengkang, dan dimensi lateral terkecil (lebar) kolom
- kait pengikat harus diatur sehingga sudut-sudutnya tidak dibengkokkan dengan sudut lebih besar dari 135° , seperti pada gambar 7.32.

- Rasio penulangan untuk pengikat spiral tidak boleh kurang dari:

$$\rho_{s(\text{minimum})} = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_y} \quad (7.9)$$

dimana:

- ρ_s = $\frac{\text{volume tulangan spiral satu putaran}}{\text{volume inti kolom setinggi } s}$
 s = jarak spasi tulangan spiral
 A_g = luas kotor penampang lintang kolom (mm²)
 A_c = luas penampang lintang inti kolom (tepi luar ke tepi luar spiral)
 f_c' = kuat tekan beton
 f_y = tegangan luluh baja spiral, tidak lebih dari 400 Mpa



Gambar 7.32. Spasi antara tulangan-tulangan longitudinal kolom

Sumber: Dipohusodo, 1999

Analisis dan perancangan kolom

Secara ringkas analisis dan perencanaan mengikuti langkah-langkah:

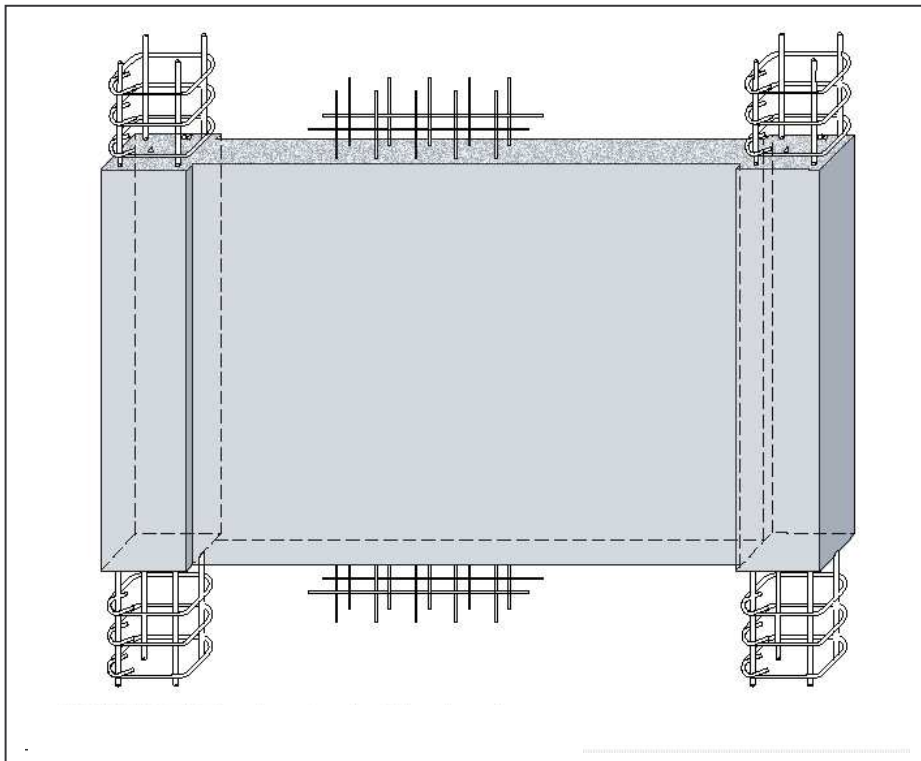
Untuk analisis

- 1) Pemeriksaan apakah ρ_g masih dalam batas yang memenuhi persyaratan
 $0,01 \leq \rho_g \leq 0,08$
- 2) Pemeriksaan jumlah tulangan pokok memanjang untuk memperoleh jarak bersih antara batang tulangan (dapat menggunakan tabel A-40 dalam Dipohusodo, 1994)
- 3) Menghitung kuat beban aksial maksimum
- 4) Pemeriksaan tulangan pengikat (lateral). Untuk sengkang, periksa dimensi tulangan, jarak spasi, dan susunan penampang. Untuk pengikat spiral, periksa dimensi batang tulangan, rasio penulangan, dan jarak spasi bersih antara tulangan.

Untuk analisis

- 1) Menentukan kekuatan bahan-bahan yang dipakai. Menentukan rasio ρ_g penulangan yang direncanakan (bila diinginkan)
- 2) Menentukan beban rencana terfaktor P_u
- 3) Menentukan luas kotor penampang kolom yang diperlukan A_g
- 4) Memilih bentuk dan ukuran penampang kolom, gunakan bilangan bulat
- 5) Menghitung beban yang dapat didukung oleh beton dan tulangan pokok memanjang. Tentukan luas penampang batang tulangan memanjang yang diperlukan, kemudian pilih batang tulangan yang akan dipakai.
- 6) Merancang tulangan pengikat, dapat berupa tulangan sengkang atau spiral.
- 7) Buat sketsa rancangannya.

7.4.6. Dinding



Gambar 7.33. Detail struktur dinding beton bertulang

Sumber: Chen & M. Lui, 2005

Pada dinding yang tinggi atau juga dinding geser serta gabungan dinding-dinding seperti pada dinding *core* yang paling menentukan adalah beban aksial dan lentur, seperti yang berlaku pada kolom. Oleh karena itu, prosedur desain dan perhitungan-perhitungan pada kolom juga secara umum juga dapat diaplikasikan. Detail penulangan untuk dinding berbeda

dari penulangan kolom. Elemen-elemen pembatas mungkin dapat diletakan pada akhir atau sudut bidang dinding untuk meningkatkan ketahanan momen-nya, seperti pada Gambar 7.33.

Struktur dinding beton berlaku untuk dinding yang menahan beban aksial, dengan atau tanpa lentur. Dinding harus direncanakan terhadap beban eksentris dan setiap beban lateral atau beban lain yang bekerja padanya. Panjang horizontal dinding yang dapat dianggap efektif untuk setiap beban terpusat tidak boleh melebihi jarak pusat ke pusat antar beban, ataupun melebihi lebar daerah pembebanan ditambah 4 kali tebal dinding. Dinding harus diangkurkan pada komponen-komponen struktur yang berpotongan dengannya misalnya lantai dan atap, atau pada kolom, pilaster, sirip penyangga, dan dinding lain yang bersilangan, dan pada fondasi telapak.

Rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton haruslah:

- 0,0012 untuk batang ulir yang tidak lebih besar daripada D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan tidak kurang daripada 400 MPa, atau
- 0,0015 untuk batang ulir lainnya, atau
- 0,0012 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang tidak lebih besar daripada P16 atau D16.

Rasio minimum untuk luas tulangan horizontal terhadap luas bruto beton haruslah:

- 0,0020 untuk batang ulir yang tidak lebih besar daripada D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan tidak kurang daripada 400 MPa, atau
- 0,0025 untuk batang ulir lainnya, atau
- 0,0020 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang tidak lebih besar daripada P16 atau D16.

Pada dinding dengan ketebalan lebih besar daripada 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah, harus dipasang dua lapis tulangan di masing-masing arah yang sejajar dengan bidang muka dinding dengan pengaturan sebagai berikut:

- Satu lapis tulangan, yang terdiri dari tidak kurang daripada setengah dan tidak lebih daripada dua pertiga jumlah total tulangan yang dibutuhkan pada masing-masing arah, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang daripada 50 mm dan tidak lebih daripada sepertiga ketebalan dinding dari permukaan luar dinding.
- Lapisan lainnya, yang terdiri dari sisa tulangan dalam arah tersebut di atas, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang dari 20 mm dan tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan dalam dinding.

Jarak antara tulangan-tulangan vertikal dan antara tulangan-tulangan horizontal tidak boleh lebih besar daripada tiga kali ketebalan dinding dan tidak pula lebih besar daripada 500 mm.

Tulangan vertikal tidak perlu diberi tulangan pengikat lateral bila luas tulangan vertikal tidak lebih besar daripada 0,01 kali luas bruto penampang beton, atau bila tulangan vertikal tidak dibutuhkan sebagai tulangan tekan.

Di samping adanya ketentuan mengenai tulangan minimum, di sekeliling semua bukaan jendela dan pintu harus dipasang minimal dua tulangan D16. Batang tulangan ini harus lebih panjang dari sisi-sisi bukaan. Terhadap sudut-sudut bukaan, batang tulangan harus diperpanjang sejauh jarak yang diperlukan untuk mengembangkan kemampuannya tetapi tidak kurang dari 600 mm.

Pertanyaan pemahaman:

10. Apakah kelebihan dan kekurangan bahan beton sebagai material struktur bangunan?
11. Sebutkan beberapa sifat dan karakteristik bahan beton?
12. Uraikan material penyusun beton bertulang?
13. Sebutkan dan jelaskan beberapa sistem konstruksi beton untuk struktur bangunan?
14. Sebutkan syarat-syarat untuk penampang balok atau plat beton bertulang?
15. Sebutkan syarat-syarat penulangan beton bertulang?
16. Sebutkan syarat-syarat kekuatan beton bertulang?
17. Jelaskan prosedur untuk menghitung struktur untuk konstruksi balok, plat, dan kolom beton?

Tugas pendalaman:

Cari sebuah contoh bangunan dengan struktur kolom dan balok beton dengan plat di atasnya. Buat rancangan sederhana sebuah satuan unit struktur dengan komponen kolom, balok dan plat berdasarkan kasus bangunan tersebut. Lakukan perhitungan pengecekan untuk balok, kolom dan plat beton tersebut.

8.

TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI KAYU

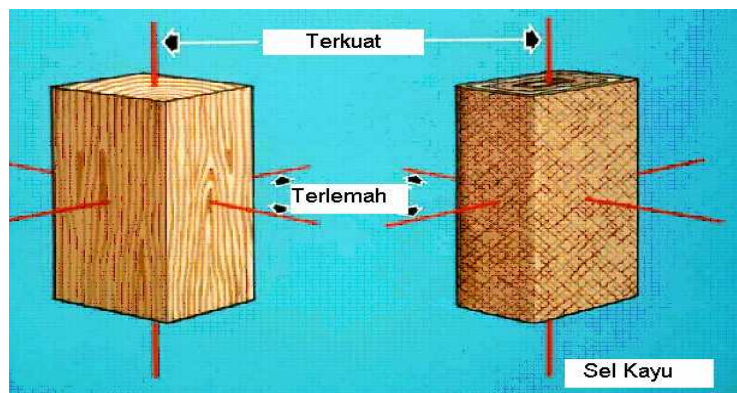
8.1. Sifat Kayu sebagai Material Konstruksi

Kayu merupakan bahan produk alam, hutan. Kayu merupakan bahan bangunan yang banyak disukai orang atas pertimbangan tampilan maupun kekuatan. Dari aspek kekuatan, kayu cukup kuat dan kaku walaupun bahan kayu tidak sepadat bahan baja atau beton. Kayu mudah dikerjakan – disambung dengan alat relatif sederhana. Bahan kayu merupakan bahan yang dapat didaur ulang. Karena dari bahan alami, kayu merupakan bahan bangunan ramah lingkungan.

Karena berasal dari alam kita tak dapat mengontrol kualitas bahan kayu. Sering kita jumpai cacat produk kayu gergajian baik yang disebabkan proses tumbuh maupun kesalahan akibat olah dari produk kayu. Dibanding dengan bahan beton dan baja, kayu memiliki kekurangan terkait dengan ketahanan-keawetan. Kayu dapat membusuk karena jamur dan kandungan air yang berlebihan, lapuk karena serangan hama dan kayu lebih mudah terbakar jika tersulut api.

Kayu merupakan bahan yang dapat menyerap air disekitarnya (*hygroscopic*), dan dapat mengembang dan menyusut sesuai kandungan air tersebut. Karenanya, kadar air kayu merupakan salah satu syarat kualitas produk kayu gergajian.

Jika dimaksudkan menerima beban, kayu memiliki karakter kekuatan yang berbeda dari bahan baja maupun beton terkait dengan arah beban dan pengaruh kimiawi. Karena struktur serat kayu memiliki nilai kekuatan yang berbeda saat menerima beban. Kayu memiliki kekuatan lebih besar saat menerima gaya sejajar dengan serat kayu dan lemah saat menerima beban tegak lurus arah serat kayu. Ilustrasi kekuatan serat kayu dalam menerima beban dapat ditunjukkan pada Gambar 8.1.

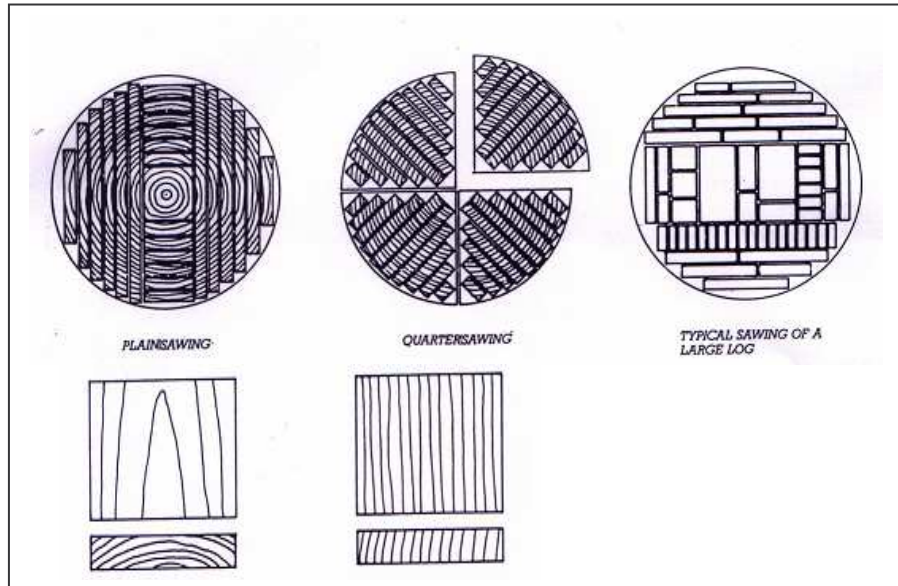


Gambar 8.1. Kekuatan serat kayu dalam menerima beban

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

8.1.1. Penebangan, Penggergajian dan Pengawetan

Produksi kayu gergajian (*lumber*), batang kayu segi empat panjang (balok) yang dipakai untuk konstruksi dimulai dari penebangan pohon di hutan alam dan hutan tanaman industri. Kayu gelondongan (*log*) hasil tebang diangkut ke pabrik penggergajian. Untuk menghasilkan produk kayu gergajian yang baik dan efisien terdapat teknologi penggergajian yang harus diketahui dalam kaitannya dengan penyusutan kayu saat pengeringan. Terdapat 3 metoda penggergajian, lurus (*plain sawing*), perempat bagian (*quarter sawing*) dan penggergajian tipikal (*typical sawing*).



Gambar 8.2. Metoda penggergajian kayu dan profil serat yang dihasilkan

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Sesuai proses pertumbuhan kayu, kayu bagian dalam merupakan kayu yang lebih dulu terbentuk dari kayu bagian luar. Karenanya kayu bagian dalam mengalami susut lebih kecil dari kayu luar. Tanpa memperhitungkan susut tersebut, hasil gergajian akan menghasilkan bentuk kurang berkualitas.

8.1.2. Pengeringan Kayu

Kayu baru tebang memiliki kadar air yang tinggi, 200%-300%. Setelah ditebang kandungan air tersebut berangsur berkurang karena menguap. Mulanya air bebas atau air di luar serat (*free water*) yang menguap. Penguapan ini masih menyisakan 25%-35% kandungan air. Selanjutnya penguapan air dalam serat (*bound water*). Kayu dapat di keringkan melalui udara alam bebas selama beberapa bulan atau dengan menggunakan dapur pengering (*kiln*)

Kayu dapat dikeringkan ke kadar sesuai permintaan. Kadar air kayu untuk kuda-kuda biasanya harus kurang dari atau sama dengan 19 persen. Kadang diminta kadar air kayu hingga 15% (MC 15). Namun karena kayu bersifat higroskopis, pengaruh kelembaban udara sekitar kayu akan mempengaruhi kadar air kayu yang akan mempengaruhi kembang susut kayu dan kekuatannya.



Gambar 8.3: Tampang melintang kayu dan arah penyusutan kayu

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999



Gambar 8.4. Penyusutan kayu saat proses pengeringan

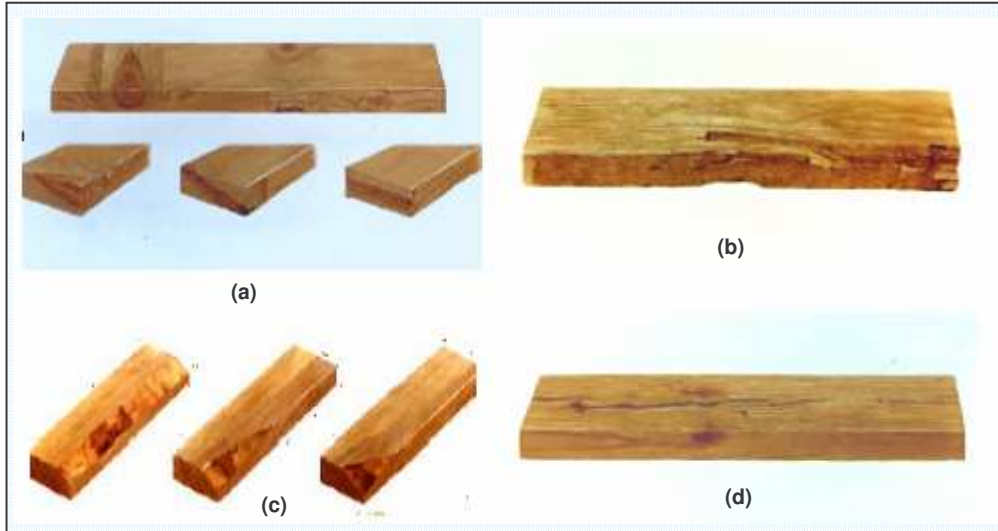
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

8.1.3. Pengawetan Kayu

Proses ideal olah produk kayu selanjutnya adalah pengawetan. Pengawetan dapat dilakukan dengan cara merendam atau mencuci dengan maksud membersihkan zat makanan dalam kayu agar tidak diserang hama. Sedangkan cara lain adalah dengan pemberian bahan kimia melalui perendaman dan cara coating atau pengecatan.

8.1.4. Cacat Kayu

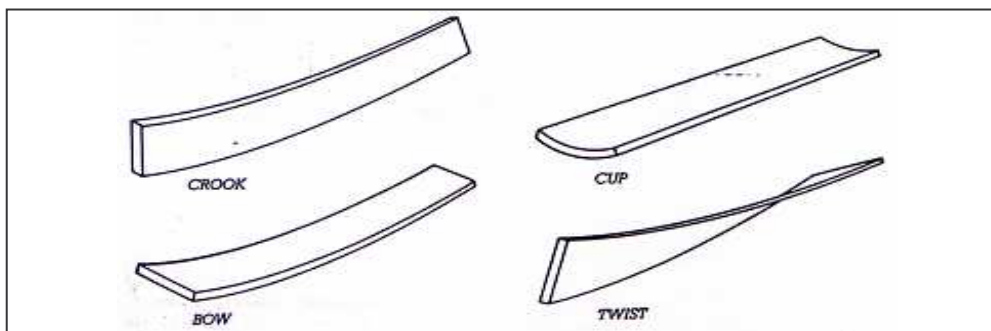
Pada sebuah batang kayu, terdapat ketidak teraturan struktur serat yang disebabkan karakter tumbuh kayu atau kesalahan proses produksi. Ketidak teraturan atau cacat yang umum adalah mata kayu, yang merupakan sambungan cabang pada batang utama kayu. Mata kayu ini kadang berbentuk lubang karena cabang tersambung busuk atau lapuk atau diserang hama atau serangga. Cacat ini sudah tentu mengurangi kekuatan kayu dalam menerima beban konstruksi.



Gambar 8.5. Cacat kayu: (a) mata kayu; (b) lapuk; (c) wane / tepian batang bulat; dan (d) retak

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Cacat akibat proses produksi umumnya disebabkan oleh kesalahan penggergajian dan proses pengeringan penyusutan. Cacat ini dapat berupa retak, *crooking*, *bowing*, *twisting* (baling), *cupping* dan *wane* (tepi batang bulat) karena penggergajian yang terlalu dekat dengan lingkaran luar kayu.



Gambar 8.6. Cacat produk kayu gergajian yang sering terjadi

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

8.2. Penggolongan Produk Kayu di Pasaran

Saat ini produk kayu sangat beragam. Produk kayu solid/asli umumnya berupa kayu gergajian baik berupa balok maupun papan. Sedangkan produk kayu buatan dapat berupa vinir (*veneer*), papan lapis, triplek/*plywood*/multiplek dan bahkan kayu laminasi (*glue laminated timber*).

8.2.1. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia

Secara singkat peraturan ini dimaksudkan untuk memberikan acuan baku terkait dengan aturan umum, aturan pemeriksaan dan mutu, aturan perhitungan, sambungan dan alat sambung konstruksi kayu hingga tahap pendirian bangunan dan persyaratannya. Pada buku tersebut juga telah dicantumkan jenis dan nama kayu Indonesia, indeks sifat kayu dan klasifikasinya, kekuatan dan keawetannya.

8.2.2. Klasifikasi Produk Kayu

Penggolongan kayu dapat ditinjau dari aspek fisik, mekanik dan keawetan. Secara fisik terdapat klasifikasi kayu lunak dan kayu keras. Kayu keras biasanya memiliki berat satuan (berat jenis) lebih tinggi dari kayu lunak. Klasifikasi fisik lain adalah terkait dengan kelurusan dan mutu muka kayu. Terdapat mutu kayu di perdagangan A, B dan C yang merupakan penggolongan kayu secara visual terkait dengan kualitas muka (cacat atau tidak) arah-pola serat dan kelurusan batang. Kadang klasifikasi ini menerangkan kadar air dari produk kayu.

Kayu mutu A

- Kering udara < 15 %
- Besar mata kayu maksimum 1/6 lebar kecil tampang / 3,5 cm
- Tak boleh mengandung kayu gubal lebih dari 1/10 tinggi balok
- Miring arah serat maksimum adalah 1/7
- Retak arah radial maksimum 1/3 tebal dan arah lingkaran tumbuh 1/4 tebal kayu

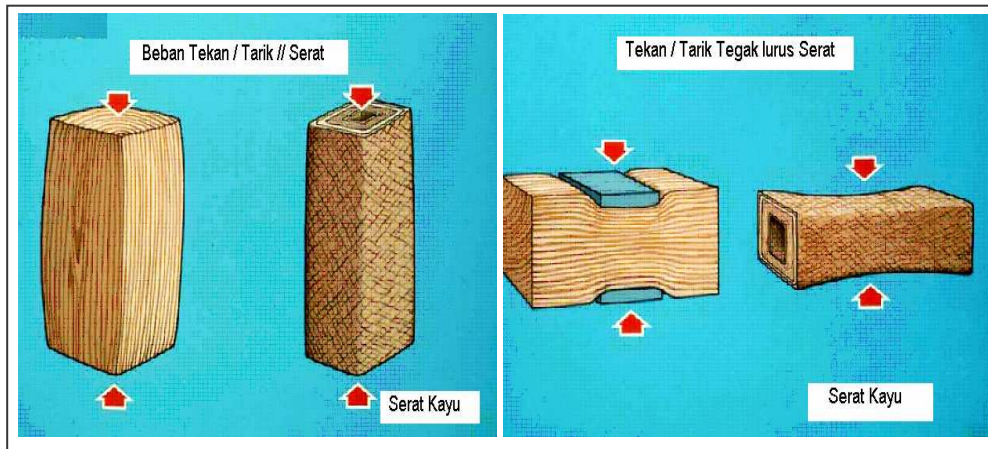
Kayu mutu B

- Kering udara 15%-30%
- Besar mata kayu maksimum 1/4 lebar kecil tampang / 5 cm
- Tak boleh mengandung kayu gubal lebih dari 1/10 tinggi balok
- Miring arah serat maksimum adalah 1/10
- Retak arah radial maksimum 1/4 tebal dan arah lingkaran tumbuh 1/5 tebal kayu

Konsekuensi dari kelas visual B harus memperhitungkan reduksi kekuatan dari mutu A dengan faktor pengali sebesar 0.75 (PKKI, 1961, pasal 5).

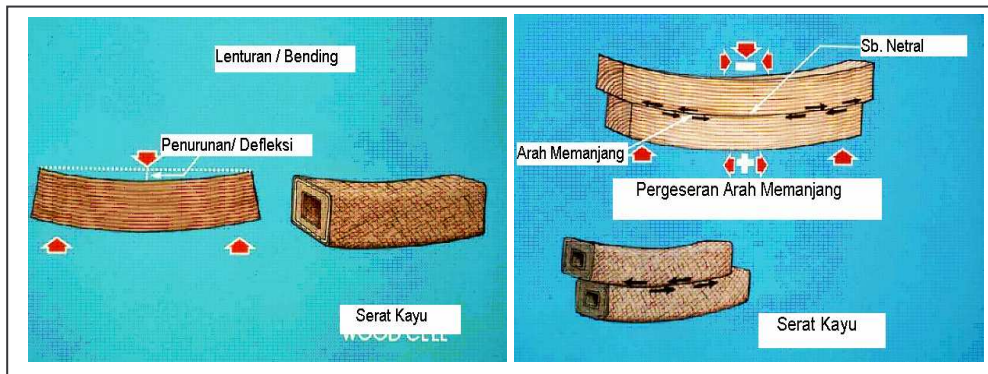
8.2.3. Kelas Kuat Kayu

Sebagaimana di kemukakan pada sifat umum kayu, kayu akan lebih kuat jika menerima beban sejajar dengan arah serat dari pada menerima beban tegak lurus serat. Ini karena struktur serat kayu yang berlubang. Semakin rapat serat, kayu umumnya memiliki kekuatan yang lebih dari kayu dengan serat tidak rapat. Kerapatan ini umumnya ditandai dengan berat kayu persatuan volume / berat jenis kayu. Ilustrasi arah kekuatan kayu dapat ditunjukkan pada Gambar 8.7. dan Gambar 8.8.



Gambar 8.7. Arah serat dan kekuatan kayu terhadap tekan dan tarik

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999



Gambar 8.8. Arah serat dan kekuatan kayu terhadap lentur dan geser

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Angka kekuatan kayu dinyatakan dapan besaran tegangan, gaya yang dapat diterima per satuan luas. Terhadap arah serat, terdapat kekuatan kayu sejajar (//) serat dan kekuatan kayu tegak lurus ($\perp$) serat yang masing- masing memiliki besaran yang berbeda. Terdapat pula dua macam besaran tegangan kayu, tegangan absolute / uji lab dan tegangan ijin untuk perancangan konstruksi. Tegangan ijin tersebut telah memperhitungkan angka keamanan sebesar 5-10. Dalam buku Peraturan

Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI-NI-5) tahun 1961, kayu di Indonesia diklasifikasikan ke dalam kelas kuat I (yang paling kuat), II, III, IV (paling lemah). Tabel 8.1, menunjukkan kelas berat jenis kayu dan besaran kuat kayu.

Tabel 8.1. Kelas Kuat Kayu

Sumber: PKKI, 1979

Kelas Kuat	Berat Jenis	Tekan-Tarik // Serat Kg/cm ²		Tarik ⊥ Serat Kg/cm ²		Kuat Lentur Kg/cm ²	
		Absolut	Ijin	Absolut	Ijin	Absolut	Ijin
I	≥ 0.900	> 650	130		20	> 1100	150
II	0.60-0.90	425-650	85		12	725-1100	100
III	0.40-0.60	300-425	60		8	500-725	75
IV	0.30-0.40	215-300	45		5	360-500	50
V	≤ 0.300	< 215	-		-	< 360	-

8.2.4. Kelas Awet

Berdasarkan pemakaian, kondisinya dan perlakuannya, kayu dibedakan atas kelas awet I (yang paling awet) – V (yang paling tidak awet). Kondisi kayu dimaksud adalah lingkungan/tempat kayu digunakan sebagai batang struktur. Sedangkan perlakuan meliputi pelapisan/tindakan lain agar kayu terhindar/terlindungi dari kadar air dan ancaman serangga. Tabel kelas awet dan kondisinya dapat dikemukakan dalam Tabel 8.2.

Tabel 8.2. Kelas Awet Kayu

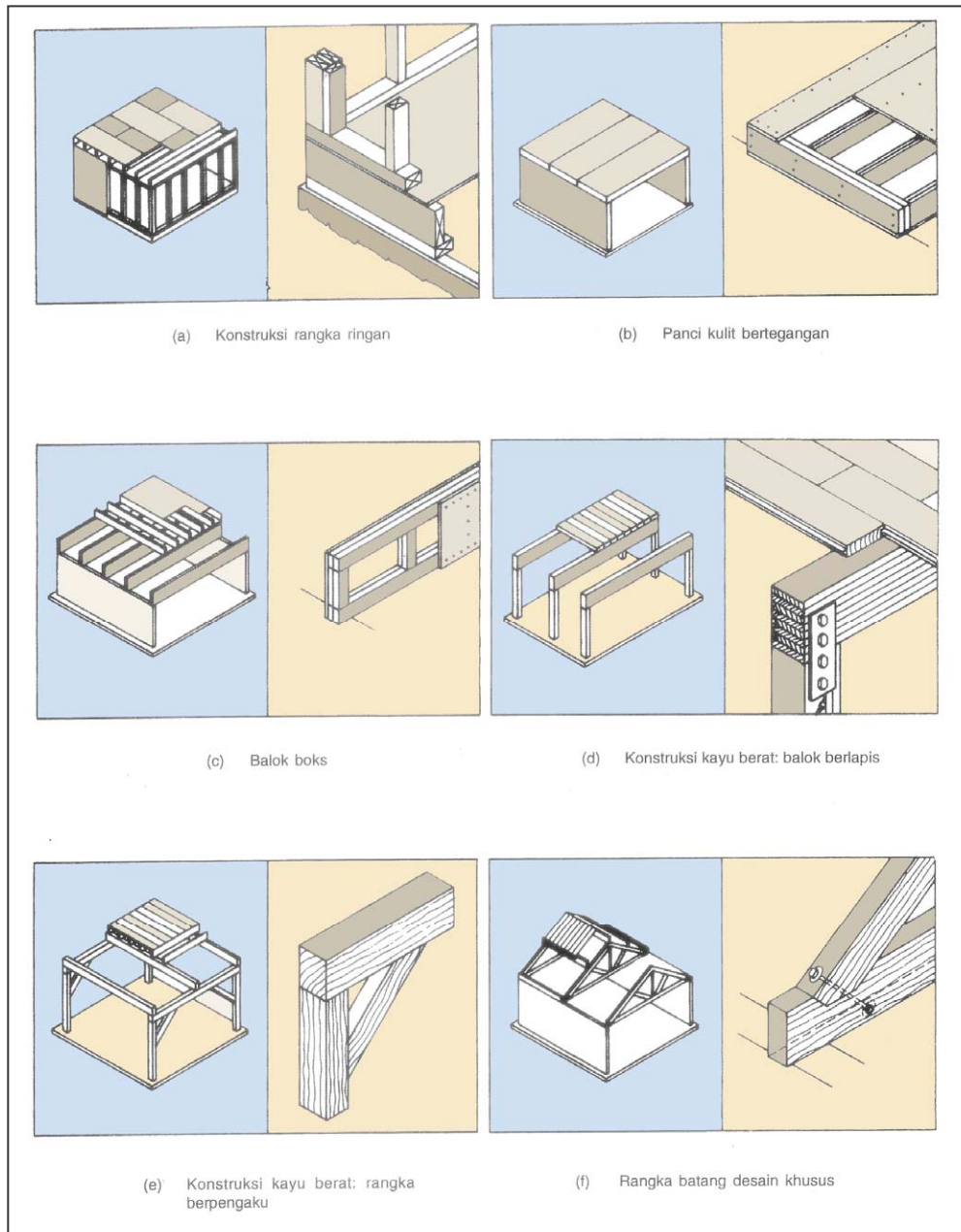
Sumber: PKKI, 1979

Kondisi konstruksi	Kelas Awet / Umur Konstruksi				
	I	II	III	IV	V
1. Berhubungan dengan tanah lembab	8	5	3	Pendek	Pendek
2. Terbuka namun terlindung dari matahari dan hujan	20	15	10	Pendek	Pendek
3. Terlindung dari udara bebas tapi tak di coating	Tak terbatas	Tak terbatas	Cukup lama	Pendek	Pendek
4. Terlindung dari udara bebas dan dipelihara/dicoating	Tak terbatas	Tak terbatas	Tak terbatas	20 tahun	20 tahun
5. Diserang hama/rayap	Tidak	Jarang	Agak Cepat	Cepat	Cepat

8.3. Sistem Struktur dan Sambungan dalam Konstruksi Kayu

Hampir semua sistem struktur yang menggunakan kayu sebagai material dasar dapat dikelompokkan ke dalam elemen linear yang membentang dua arah. Susunan hirarki sistem struktur ini adalah khusus.

Pada Gambar 8.9 diperlihatkan contoh berbagai jenis sistem konstruksi kayu yang umum digunakan.



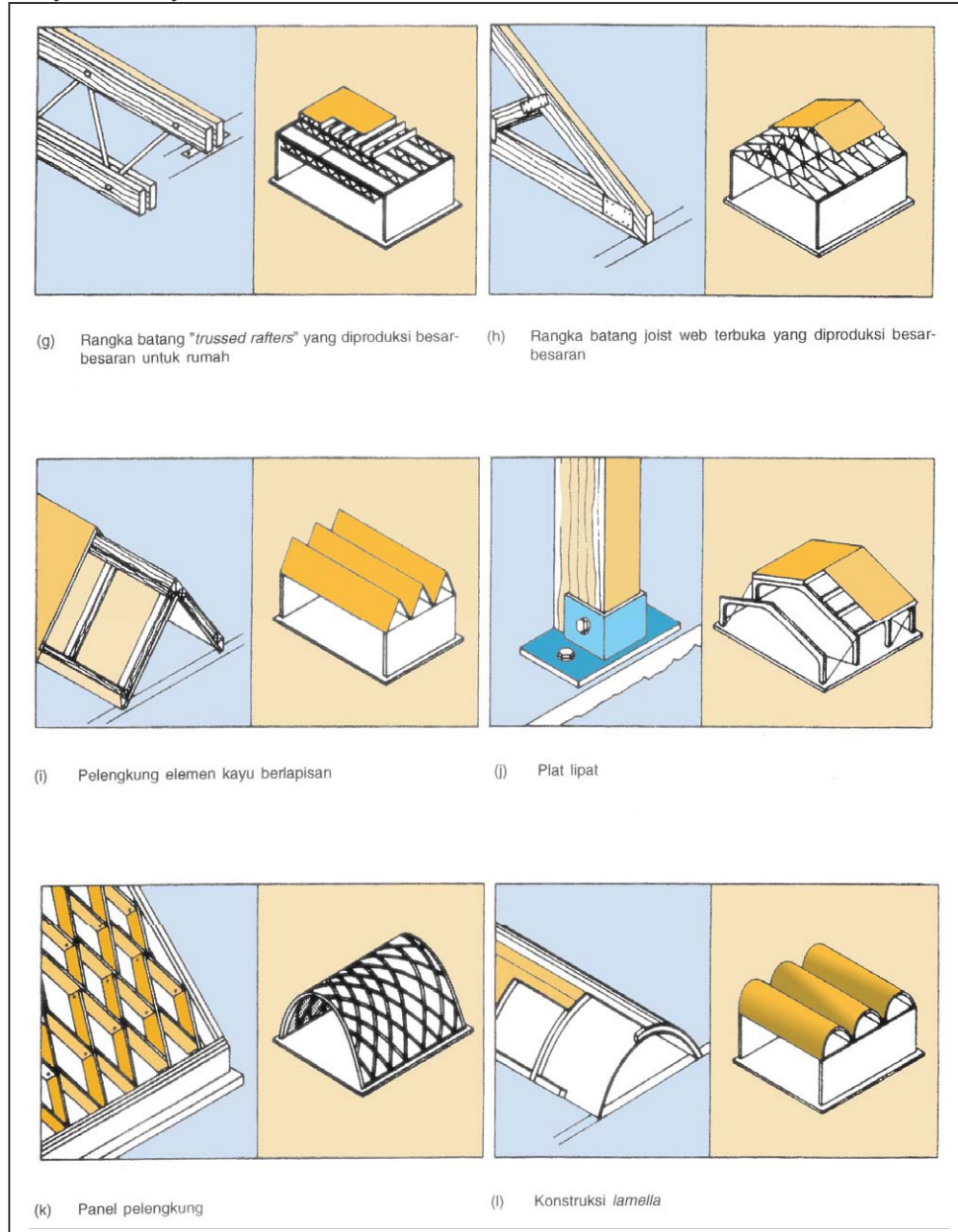
Gambar 8.9. Sistem konstruksi untuk struktur kayu

Sumber: Schodek, 1999

RANGKA RINGAN.

Sistem struktur joists ringan pada Gambar 8.9(a) adalah konstruksi kayu yang paling banyak digunakan pada saat ini. Sistem joists lantai

terutama sangat berguna untuk beban hidup ringan yang terdistribusi merata dan untuk bentang yang tidak besar. Kondisi demikian umumnya dijumpai pada konstruksi rumah. Joists pada umumnya menggunakan tumpuan sederhana karena untuk membuat tumpuan yang dapat menahan momen diperlukan konstruksi khusus. Pada umumnya, lantai dianggap tidak monolit dengan joists kecuali apabila digunakan konstruksi khusus yang menyatukannya.



Gambar 8.9. Sistem konstruksi untuk struktur kayu (lanjutan)

Sumber: Schodek, 1999

Sistem tumpuan vertikal yang umum digunakan adalah dinding pemikul beban yang dapat terbuat dari bata atau dari susunan elemen kayu (*plywood*). Dalam hal yang terakhir ini, tahanan lateral pada susunan struktur secara keseluruhan terhadap beban horizontal diperoleh dengan menyusun dinding berlapisan *plywood* yang berfungsi sebagai bidang-bidang geser. Struktur demikian pada umumnya dibatasi hanya sampai tiga atau empat lantai. Pembatasan ini tidak hanya karena alasan kapasitas pikul bebannya, tetapi juga karena persyaratan keamanan terhadap kebakaran yang umum diberikan pada peraturan-peraturan mengenai gedung.

Karena setiap elemen pada sistem struktur ini diletakkan di tempatnya secara individual, maka banyak fleksibilitas dalam penggunaan sistem tersebut, termasuk juga dalam merencanakan hubungan di antara elemen-elemennya.

ELEMEN KULIT BERTEGANGAN (*STRESSED SKIN ELEMENTS*).

Elemen kulit bertegangan tentu saja berkaitan dengan sistem joists standar [lihat Gambar 8.9(b)]. Pada elemen-elemen ini, kayu lapis disatukan dengan balok memanjang sehingga sistem ini dapat berlaku secara integral dalam molekul lentur. Dengan demikian, sistem yang diperoleh akan bersifat sebagai plat.

Kekakuan sistem ini juga meningkat karena adanya penyatuan tersebut. Dengan demikian, tinggi struktural akan lebih kecil dibandingkan dengan sistem joist standar. Elemen kulit bertegangan ini pada umumnya dibuat tidak di lokasi, dan dibawa ke lokasi sebagai modul-modul. Kegunaannya akan semakin meningkat apabila modul-modul ini dapat dipakai secara berulang. Elemen demikian dapat digunakan pada berbagai struktur, termasuk juga sistem plat lipat berbentuk besar.

BALOK BOKS.

Perilaku yang diberikan oleh kotak balok dari kayu lapis [lihat Gambar 8.9(c)] memungkinkan penggunaannya untuk berbagai ukuran bentang dan kondisi pembebanan. Sistem yang demikian sangat berguna pada situasi bentang besar atau apabila ada kondisi beban yang khusus. Balok boks dapat secara efisien mempunyai bentang lebih besar daripada balok homogen maupun balok berlapis.

KONSTRUKSI KAYU BERAT

Sebelum sistem joists ringan banyak digunakan, sistem balok kayu berat dengan papan transversal telah banyak digunakan [lihat Gambar 8.9(e)]. Balok kayu berlapisan sekarang banyak digunakan sebagai alternatif dari balok homogen. Sistem demikian dapat mempunyai kapasitas pikul beban dan bentang lebih besar daripada sistem joist. Sebagai contoh, dengan balok berlapisan, bentang yang relatif besar adalah mungkin karena tinggi elemen struktur dapat dengan mudah kita peroleh dengan menambah lapisan. Elemen demikian umumnya bertumpuan sederhana, tetapi kita

dapat juga memperoleh, tumpuan yang mampu memikul momen dengan menggunakan konstruksi khusus.

RANGKA BATANG

Rangka batang kayu merupakan sistem berbentang satu arah yang paling banyak digunakan karena dapat dengan mudah menggunakan banyak variasi dalam konfigurasi dan ukuran batang. Rangka batang dapat dibuat tidak secara besar-besaran, tetapi dapat dibuat secara khusus untuk kondisi beban dan bentang tertentu. Sekalipun demikian, kita juga. membuat rangka batang secara besar-besaran (*mass production*). Rangka batang demikian umumnya digunakan pada situasi bentang tidak besar dan beban ringan. Rangka batang trussed rafter pada Gambar 8.9(g) misalnya, banyak digunakan sebagai konstruksi atap pada bangunan rumah. Sistem yang terlihat pada Gambar 8.9(b) analog dengan balok baja web terbuka dan berguna untuk situasi bentang besar (khususnya untuk atap).

Sistem penumpu vertikal pada struktur ini umumnya berupa dinding batu atau kolom kayu. Tahanan terhadap beban lateral pada struktur ini umumnya diperoleh dengan menggunakan dinding tersebut sebagai bidang geser. Apabila bukan dinding, melainkan kolom yang digunakan, pengekang (*bracing*) dapat pula digunakan untuk meningkatkan kestabilan struktur terhadap beban lateral. Peningkatan kestabilan dengan menggunakan titik hubung kaku dapat saja digunakan untuk struktur rendah, tetapi hal ini jarang dilakukan.

PLAT LIPAT DAN PANEL PELENGKUNG

Banyak struktur plat lengkung atau plat datar yang umumnya berupa elemen berbentang satu, yang dapat dibuat dari kayu. Kebanyakan struktur tersebut menggunakan kayu lapis. Gambar 8.9(j) dan (k) mengilustrasikan dua contoh struktur itu.

PELENGKUNG

Bentuk pelengkung standar dapat dibuat dari kayu. Elemen berlapisan paling sering digunakan. Hampir semua bentuk pelengkung dapat dibuat dengan menggunakan kayu. Bentang yang relatif panjang dapat saja diperoleh. Struktur-struktur ini umumnya berguna sebagai atap saja. Kebanyakan bersendi dua atau tiga, dan tidak dijepit.

LAMELLA

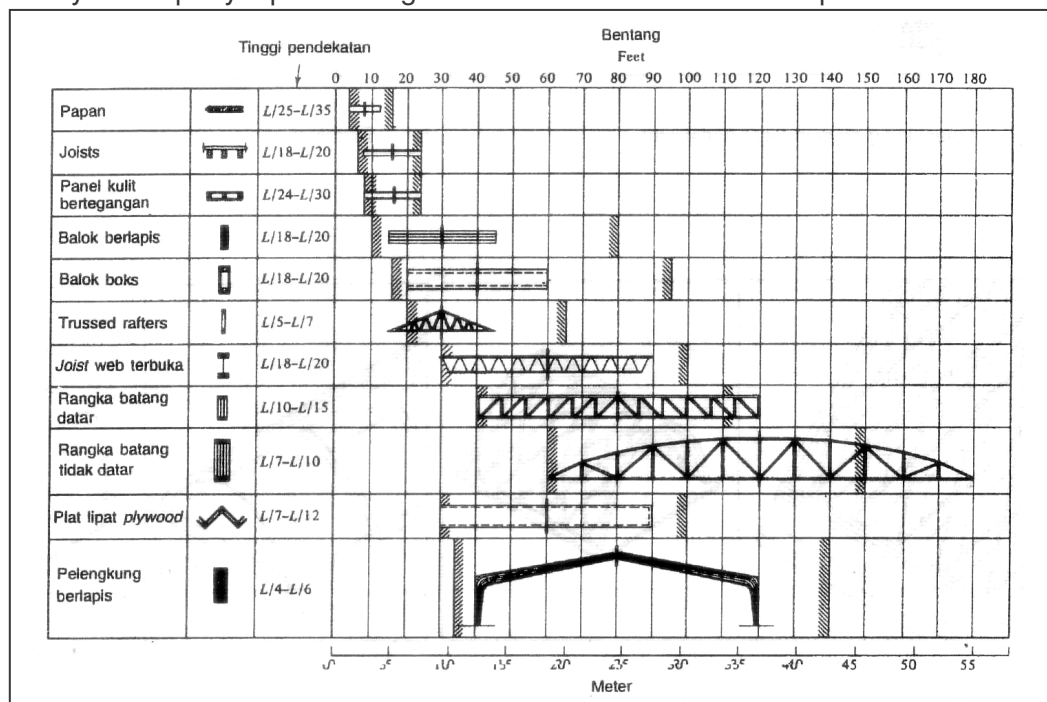
Konstruksi lamella merupakan suatu cara untuk membuat permukaan lengkung tunggal atau ganda dari potongan-potongan kecil kayu [lihat Gambar 8.9(l)]. Konstruksi yang menarik ini dapat digunakan untuk membuat permukaan silindris berbentang besar, juga untuk struktur kubah. Sistem ini sangat banyak digunakan, terutama pada struktur atap.

UKURAN ELEMEN

Gambar 8.10 mengilustrasikan kira-kira batas-batas bentang untuk berbagai jenis struktur kayu. Bentang "maksimum" yang diperlihatkan pada diagram ini bukanlah bentang maksimum yang mungkin, melainkan batas

bentang terbesar yang umum dijumpai. Batasan bentang minimum menunjukkan bentang terkecil yang masih ekonomis. Juga diperlihatkan kira-kira batas-batas tinggi untuk berbagai bentang setiap sistem. Angka yang kecil menunjukkan tinggi minimum yang umum untuk sistem yang bersangkutan dan angka lainnya menunjukkan tinggi maksimumnya. Tinggi sekitar $L/20$, misalnya, mengandung arti bahwa elemen struktur yang bentangnya 16 ft (4,9 m) harus mempunyai tinggi sekitar $16 \text{ ft}/20 = 0,8 \text{ ft}$ (0,24 m).

Kolom kayu pada umumnya mempunyai perbandingan tebal terhadap tinggi (t/h) bervariasi antara 1 : 25 untuk kolom yang dibebani tidak besar dan relatif pendek, atau sekitar 1 : 10 untuk kolom yang dibebani besar pada gedung bertingkat. Dinding yang dibuat dari elemen-elemen kayu mempunyai perbandingan t/h bervariasi dari 1 : 30 sampai 1 : 15.



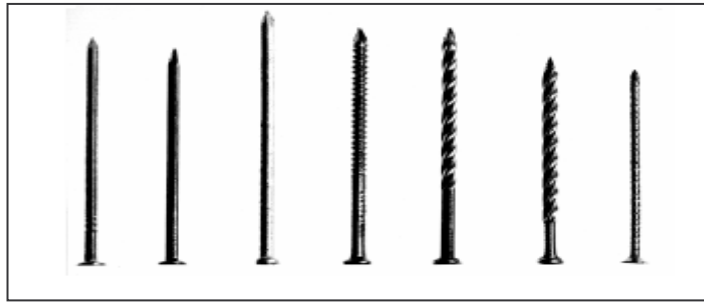
Gambar 8.10. Perkiraan batas bentang untuk berbagai sistem kayu

Sumber: Schodek, 1999

8.3.1. Produk Alat Sambung untuk Struktur Kayu

a) Alat Sambung Paku

Paku merupakan alat sambung yang umum dipakai dalam konstruksi maupun struktur kayu. Ini karena alat sambung ini cukup mudah pemasangannya. Paku tersedia dalam berbagai bentuk, dari paku polos hingga paku ulir. Spesifikasi produk paku dapat dikenali dari panjang paku dan diameter paku. Ilustrasi produk paku ditunjukkan pada Gambar 8.11.



Gambar 8.11: Beragam produk paku : paku polos, paku berlapis semen–seng, paku ulir, paku berulir biasa, paku berulir helical

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Paku yang di beri *coating* umum dimaksudkan untuk ketahanan terhadap karat dan noda. Dengan begitu tampilan paku dapat dipertahankan. Namun adanya *coating* tersebut menyebabkan kuat cabut paku berkurang karena kehalusan coating tersebut.

Tabel 8.3. Spesifikasi Ukuran Paku

Sumber: PKKI, 1979

Paku Polos			Paku Ulir		
Ukuran	Panjang mm (Inch)	Diameter Mm (Inch)	Ukuran	Panjang mm (Inch)	Diameter Mm (Inch)
6d	50.8 (2)	2.87 (0.113)	6d	50.8 (2)	3.05 (0.120)
8d	63.5 (2-1/2)	3.33 (0.131)	8d	63.5 (2-1/2)	3.05 (0.120)
10d	76.2 (3)	3.76 (0.148)	10d	76.2 (3)	3.43 (0.135)
12d	82.6 (3-1/4)	3.76 (0.148)	12d	82.6 (3-1/4)	3.43 (0.135)
16d	88.9 (3-1/2)	4.11 (0.162)	16d	88.9 (3-1/2)	3.76 (0.148)
20d	101.6 (4)	4.88 (0.192)	20d	101.6 (4)	4.50 (0.177)
30d	114.3 (4-1/2)	5.26 (0.207)	30d	114.3 (4-1/2)	4.50 (0.177)
40d	127.0 (5)	5.72 (0.225)	40d	127.0 (5)	4.50 (0.177)
50d	139.7 (5-1/2)	6.20 (0.244)	50d	139.7 (5-1/2)	4.50 (0.177)
60d	152.4 (6)	6.65 (0.262)	60d	152.4 (6)	4.50 (0.177)
			70d	177.8 (7)	5.26 (0.207)
			80d	203.2 (8)	5.26 (0.207)
			90d	228.6 (9)	5.26 (0.207)

Ujung Paku. Ujung paku dengan bagian runcing yang relatif panjang umumnya memiliki kuat cabut yang lebih besar. Namun ujung yang runcing bulat tersebut sering menyebabkan pecahnya kayu terpaku. Ujung yang tumpul dapat mengurangi pecah pada kayu, namun karena ujung tumpul tersebut merusak serat, maka kuat cabut paku pun akan berkurang pula.

Kepala paku. Kepala paku badap berbentuk datar bulat, oval maupun kepala benam (*counter sunk*) umumnya cukup kuat menahan tarikan langsung. Besar kepala paku ini umumnya sebanding dengan

diameter paku. Paku kepala benam dimaksudkan untuk dipasang masuk – terbenam dalam kayu.

Pembenaman Paku. Paku yang dibenam dengan arah tegak lurus serat akan memiliki kuat cabut yang lebih baik dari yang dibenam searah serat . Demikian halnya dengan pengaruh kelembaban. Setelah dibenam dan mengalami perubahan kelembaban, paku umumnya memiliki kuat cabut yang lebih besar dari pada dicabut langsung setelah pembenaman.

Jarak Pemasangan Paku. Jarak paku dengan ujung kayu, jarak antar kayu, dan jarak paku terhadap tepi kayu harus diselenggarakan untuk mencegah pecahnya kayu. Secara umum, paku tak diperkenankan dipasang kurang dari setengah tebal kayu terhadap tepi kayu, dan tak boleh kurang dari tebal kayu terhadap ujung. Namun untuk paku yang lebih kecil dapat dipasang kurang dari jarak tersebut.

Kuat cabut paku

Gaya cabut maksimum yang dapat ditahan oleh paku yang ditanam tegak lurus terhadap serat dapat dihitung dengan pendekatan rumus berikut.

$$\begin{aligned} P &= 54.12 \text{ G5/2 DL (Metric: kg)} \\ P &= 7.85 \text{ G5/2 DL (British: pound)} \end{aligned} \quad (8.1)$$

Dimana : P = Gaya cabut paku maksimum

L = kedalaman paku dalam kayu (mm, inc.)

G = Berat jenis kayu pada kadar air 12 %

D = Diameter paku (mm, inch.)

Kuat lateral paku

Pada batang struktur, pemasangan paku umumnya dimaksudkan untuk menerima beban tegak lurus/lateral terhadap panjang paku. Pemasangan alat sambung tersebut dapat dijumpai pada struktur kuda-kuda papan kayu. Kuat lateral paku yang dipasang tegak lurus serat dengan arah gaya lateral searah serat dapat didekati dengan rumus berikut

$$P = K D^2 \quad (8.2)$$

Dimana: P = Beban lateral per paku

D = Diameter paku

K = Koefisien yang tergantung dari karakteristik jenis kayu.

b) Alat sambung sekerup

Sekrup hampir memiliki fungsi sama dengan paku, tetapi karena memiliki ulir maka memiliki kuat cabut yang lebih baik dari paku. Terdapat tiga bentuk pokok sekerup yaitu sekerup kepala datar, sekerup kepala oval dan sekerup kepala bundar. Dari tiga bentuk tersebut, sekerup kepala datarlah yang paling banyak ada di pasaran. Sekrup kepala oval dan bundar dipasang untuk maksud tampilan–selera. Bagian utama sekerup terdiri dari kepala, bagian benam, bagian ulir dan inti ulir. Diameter inti ulir

biasanya adalah 2/3 dari diameter benam. Sekerup dapat dibuat dari baja, alloy, maupun kuningan diberi lapisan/coating nikel, krom atau cadmium. Ragam produk sekerup dapat ditunjukkan pada Gambar 8.12 berikut.

Tabel 8.4. Nilai K untuk Perhitungan Kuat Lateral Paku dan Sekerup

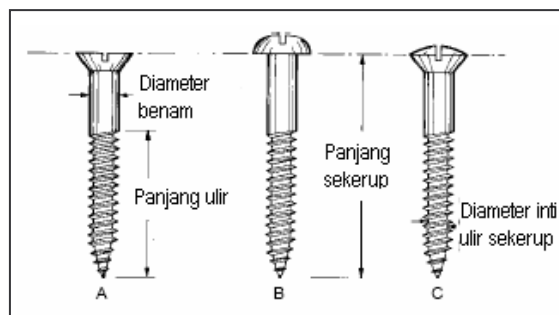
Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

Berat Jenis G Gr/cc	K Paku (met-inc)	K Sekerup (met-inc)	K Lag Screw (met-inc)
<i>Kayu lunak (Soft Wood)</i>			
0.29-0.42	50.04 - (1.44)	23.17 - (3.36)	23.30 - (3.38)
0.43-0.47	62.55 - (1.80)	29.79 - (4.32)	26.34 - (3.82)
0.48-0.52	76.45 - (2.20)	36.40 - (5.28)	29.51 - (4.28)
<i>Kayu Keras (Hard Wood)</i>			
0.33-0.47	50.04 - (1.44)	23.17 - (3.36)	26.34 - (3.82)
0.48-0.56	69.50 - (2,00)	29.79 - (4.32)	29.51 - (4.28)
0.57-0.74	94.72 - (2.72)	44.13 - (6.40)	34.13 - (4.95)

Tabel 8.5. Ukuran Sekerup

Sumber: Allen, 1999

Nomor Sekerup	Diameter mm(Inch)
4	2.84 (0.112)
5	3.18 (0.125)
6	3.51 (0.138)
7	3.84 (0.151)
8	4.17 (0.164)
9	4.50 (0.177)
10	4.83 (0.190)
11	5.16 (0.203)
12	5.49 (0.216)
14	6.15 (0.242)
16	6.81 (0.268)
18	7.47 (0.294)
20	8.13 (0.320)
24	9.45 (0.372)



Gambar 8.12: Tipe utama produk sekerup

Sumber: Allen, 1999

Kuat Cabut Sekerup

Kuat cabut sekerup yang dipasang tegak lurus terhadap arah serat (Gambar 8.13) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P &= 108.25 \text{ G2 DL} & (\text{Metric unit: Kg, cm}) \\
 P &= 15.70 \text{ G2 DL} & (\text{British unit: inch-pound}) \quad (8.3)
 \end{aligned}$$

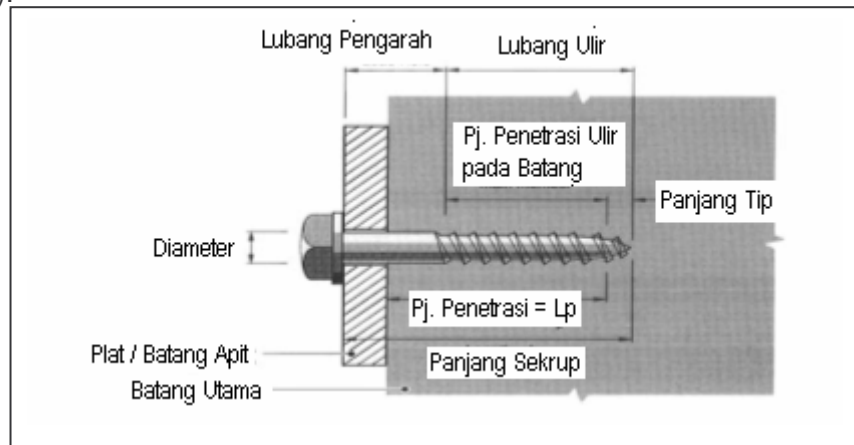
Dimana: P = Beban cabut sekerup (N, Lb)
G = Berat jenis kayu pada kondisi kadar air 12 % kering oven
D = Diameter sekerup terbenam / *shank diameter* (mm, in.),
L = Panjang tanam (mm,in.)

Kuat lateral sekerup

Kuat lateral sekerup yang dipasang tegak lurus serat dengan arah gaya lateral searah serat dapat didekati dengan rumus yang sama dengan kuat lateral paku (persamaan 8.2)

Sekerup Lag (Lag Screw)

Sekerup lag, seperti sekerup namun memiliki ukuran yang lebih besar dan berkepala segi delapan untuk engkol. Saat ini banyak dipakai karena kemudahan pemasangan pada batang struktur kayu dibanding dengan sambungan baut–mur. Umumnya sekerup lag ini berukuran diameter dari 5.1 – 25.4 mm (0.2 – 1.0 inch) dan panjang dari 25.4 – 406 mm (1.0 – 16 inch).



Gambar 8.13. Detail pemasangan sekerup

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Kuat Cabut Sekerup Lag.

Kuat cabut sekerup lag dapat dihitung dengan formula sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= 125.4 G^{3/2} D^{3/4} L \text{ (Metric unit: Kg, cm)} \\ P &= 8,100 G^{3/2} D^{3/4} L \text{ (British unit: inch–pound)} \end{aligned} \quad (8.4)$$

Dimana: P = Beban cabut sekerup (N, Lb)
G = Berat jenis kayu pada kondisi kadar air 12 % kering oven
D = Diameter sekerup terbenam / *shank diameter* (mm, in.)
L = Panjang tanam (mm,in.)

Kuat lateral sekerup lag dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P = c_1 c_2 K D^2 \quad (8.5)$$

Dimana: P= Beban lateral per sekerup

D= Diameter sekerup

K= Koefisien yang tergantung karakteristik jenis kayu
(lihat Tabel 8.4)

C₁= Faktor pengali akibat ketebalan batang apit tersambung

C₂= Faktor pengali akibat pembedaan sekerup lag
(lihat Tabel 8.6)

Tabel 8.6: Faktor Kekuatan Lateral Sekrup Lag

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Ratio tebal bt. apit thd diameter sekerup	Faktor C1	Diameter benam sekerup mm(Inch)	Faktor C2
2	0.62	4.8 (3/16)	1.00
2.5	0.77	6.4 (1/4)	0.97
3	0.93	7.9 (5/16)	0.85
3.5	1.00	9.5 (3/8)	0.76
4	1.07	11.1 (7/16)	0.70
4.5	1.13	12.7 (1/2)	0.65
5	1.18	15.9 (5/8)	0.60
5.5	1.21	19.0 (3/4)	0.55
6	1.22	22.2 (7/8)	0.52
6.5	1.22	25.4 (1)	0.50

8.3.2. Konstruksi Sambungan Gigi

Walaupun sambungan ini sebenarnya malah memperlemah kayu, namun karena kemudahannya, sambungan ini banyak diterapkan pada konstruksi kayu sederhana di Indonesia utamanya untuk rangka kuda-kuda atap. Kekuatan sambungan ini mengandalkan kekuatan geseran dan atau kuat tekan / tarik kayu pada penyenggaraan sambungan.

Kekuatan tarikan atau tekanan pada sambungan bibir lurus di atas ditentukan oleh geseran dan kuat desak tampang sambungan gigi. Dua kekuatan tersebut harus dipilih yang paling lemah untuk persyaratan kekuatan struktur.

$$P_{\text{geser}} = \tau_{\text{ijin}} a b \quad (8.6)$$

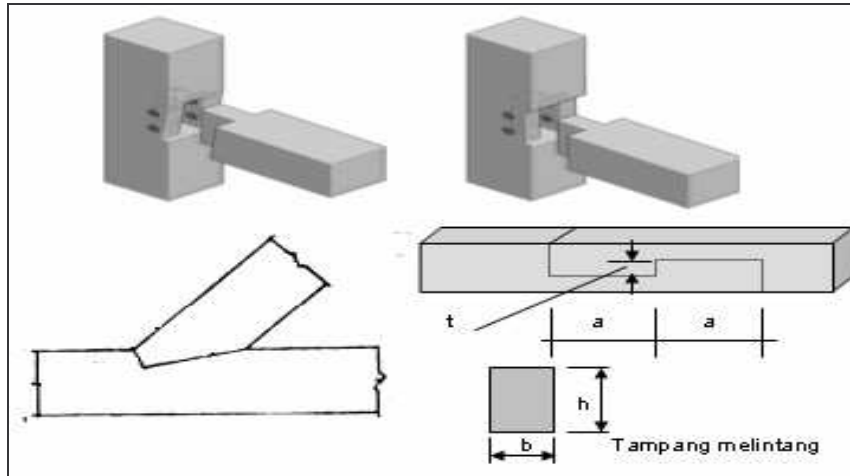
Dimana : τ_{ijin} = Kuat / tegangan geser ijin kayu tersambung

b = lebar kayu

a = panjang tampang tergeser

$$P \text{ desak} = \sigma \text{ ijin } b \ t \quad (8.7)$$

Dimana : σ ijin = Kuat / tegangan ijin desak kayu tersambung
b = lebar kayu
t = tebal tampang terdesak

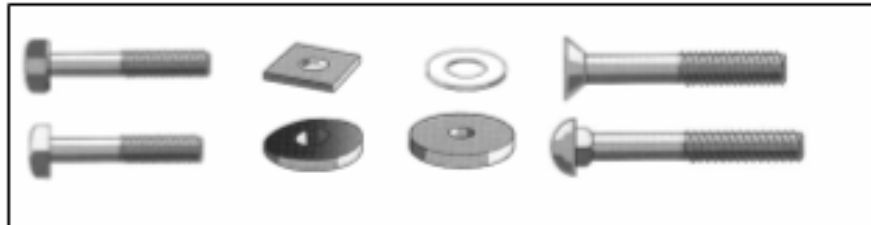


Gambar 8.14. Contoh Sambungan gigi

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

8.3.3. Konstruksi Sambungan Baut

Di pasaran terdapat berbagai macam baut dengan dimater dan panjang sesuai kebutuhan kayu. Untuk pemasangan harus menggunakan plat ring (*washer*) agar saat baut di kencangkan, tak merusak kayu.



Gambar 8.15. Model baut yang ada di pasaran

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Hampir sama dengan sambungan gigi, sambungan baut tergantung desak baut pada kayu, geser baut atau kayu. Desak baut sangat dipengaruhi oleh panjang kayu tersambung dan panjang baut. Dengan panjangnya, maka terjadi lenturan baut yang menyebabkan desakan batang baut pada kayu tidak merata. Berdasarkan NI-5 PKKI (1961) gaya per baut pada kelas kayu tersambung dapat dihitung rumus sebagai berikut :

Kayu kelas I:

Sambungan tumpang 1 untuk $\lambda b = b_{\min} / d = 4.8$

$$S = 50 d b_1 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 240 d^2 (1 - 0.35 \sin \alpha)$$

Sambungan tumpang 2 untuk $\lambda b = b_{\min} / d = 3.8$

$$S = 125 d b_3 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 250 d b_1 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 480 d^2 (1 - 0.35 \sin \alpha)$$

Kayu kelas II:

Sambungan tumpang 1 untuk $\lambda b = b_{\min} / d = 5.4$

$$S = 40 d b_1 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

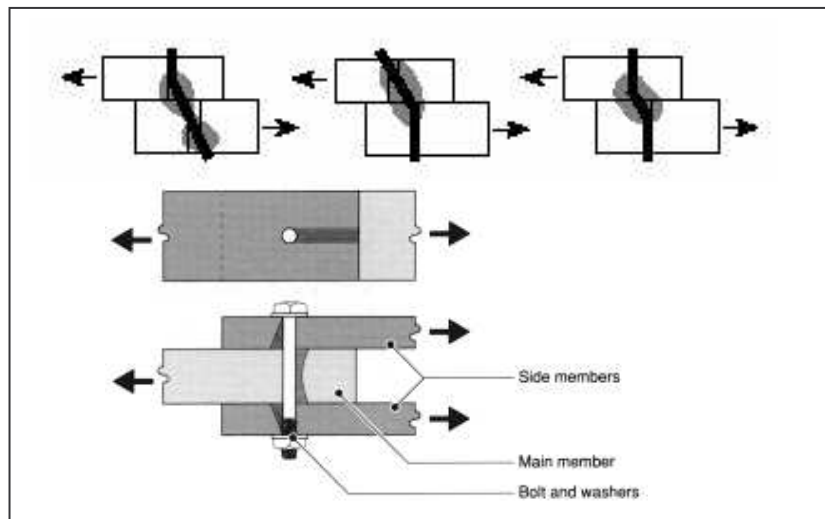
$$S = 215 d^2 (1 - 0.35 \sin \alpha)$$

Sambungan tumpang 2 untuk $\lambda b = b_{\min} / d = 4.3$

$$S = 100 d b_3 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 200 d b_1 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 430 d^2 (1 - 0.35 \sin \alpha)$$



Gambar 8.16. Perilaku gaya pada sambungan baut

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

Kayu kelas III:

Sambungan tumpang 1 untuk $\lambda b = b_{\min} / d = 6.8$

$$S = 25 d b_1 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 170 d^2 (1 - 0.35 \sin \alpha)$$

Sambungan tumpang 2 untuk $\lambda b = b_{\min} / d = 5.7$

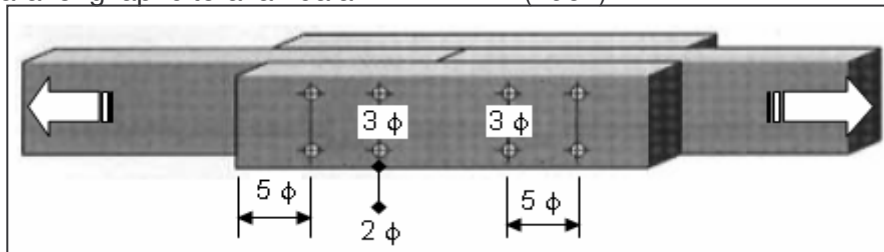
$$S = 60 d b_3 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 120 d b_1 (1 - 0.6 \sin \alpha)$$

$$S = 340 d^2 (1 - 0.35 \sin \alpha)$$

Dimana : S = Kekuatan per baut dalam kg
 α = Sudut arah gaya terhadap arah serat
b1 = Tebal kayu tepi (cm)
b3 = Tebal tengah (cm)
d = Diameter baut (cm)

Masing kelas kayu tersebut di ambil harga terkecil untuk mendapat jumlah baut dalam satu sambungan. Untuk pemasangan baut, disyaratkan pula jarak antar baut dalam satu sambungan. Dengan memperhatikan sketsa ilustrasi sambungan seperti Gambar 8.17, ketentuan jarak baut utama yang sering digunakan dapat dikemukakan sebagai berikut. Ilustrasi secara lengkap diterakan dalam PKKI – NI (1961)



Gambar 8.17. Syarat jarak minimum peletakan baut pada sambungan

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

- Jarak antar baut searah gaya dan serat = 5 ϕ baut
- Jarak antar baut tegak lurus gaya dan serat = 3 ϕ baut
- Jarak baut denga tepi kayu tegak lurus gaya dan serat = 2 ϕ baut
- Jarak baut dengan ujung kayu searah gaya dan serat = 5 ϕ baut
- Jarak antar baut searah gaya – tegak lurus serat = 3 ϕ baut

8.3.4. Sambungan dengan cincin belah (*Split Ring*) dan plat geser

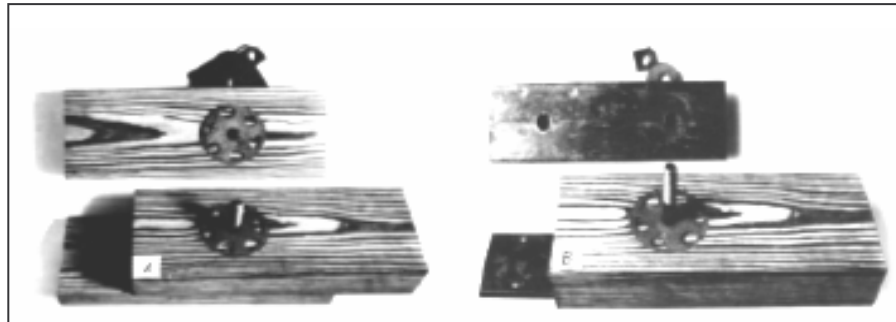
Produk alat sambung ini merupakan alat sambung yang memiliki perilaku lebih baik dibanding alat sambung baut. Namun karena pemasangannya agak rumit dan memerlukan peralatan mesin, alat sambung ini jarang diselenggarakan di Indonesia. Produk sambung ini terdiri dari cincin dan dirangkai dengan baut.

Dalam penyambungan, alat ini mengandalkan kuat desak kayu ke arah sejajar maupun arah tegak lurus serat. Seperti halnya alat sambung baut, jenis kayu yang disambung akan memberikan kekuatan yang berbeda.

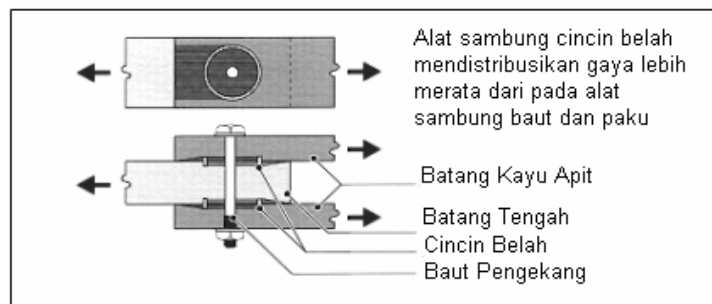
Produk alat sambung ini memiliki sifat lebih baik dari pada sambungan baut maupun paku. Ini karena alat sambung ini mendistribusikan gaya baik tekan maupun tarik menjadi gaya desak kayu yang lebih merata dibanding alat sambung baut dan alat sambung paku.



Gambar 8.18. Produk alat sambung cincin belah dan cara pemasangannya
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999



Gambar 8.19. Produk alat sambung cincin dan plat geser
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999



Gambar 8.20. Perilaku gaya pada sambungan cincin dan plat geser.
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Jumlah alat sambung yang dibutuhkan dalam satu sambungan dapat dihitung dengan membagi kekuatan satu alat sambung pada jenis kayu tertentu. Tabel 8.7 menampilkan besaran kekuatan per alat sambung terendah untuk pendekatan perhitungan.

8.3.5. Sambungan dengan Plat Logam (*Metal Plate Conector*)

Alat sambung ini sering disebut sebagai alat sambung rangka batang (*truss*). Alat sambung ini menjadi populer untuk maksud menyambung

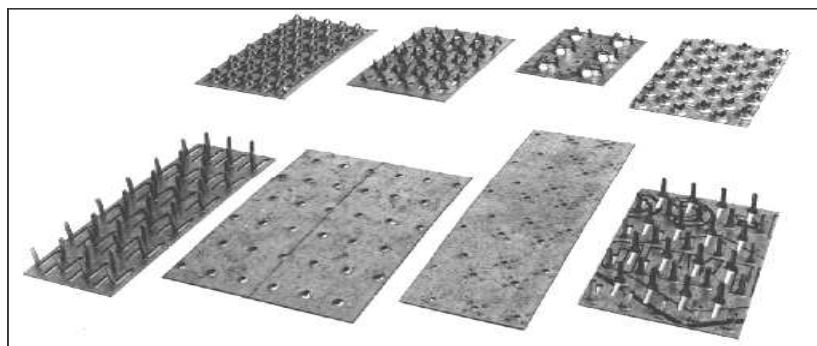
struktur batang pada rangka batang, rangka usuk (*rafter*) atau sambungan batang struktur berupa papan kayu. Plat sambung umumnya berupa plat baja ringan yang digalvanis untuk menahan karat, dengan lebar/luasan tertentu sehingga dapat menahan beban pada kayu tersambung.

Tabel 8.7. Kekuatan per alat untuk alat sambung Cincin dan plat Geser

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Tipe Alat Sambung	Samb. Plat Tunggal	Samb. Plat Ganda	Lebar minimum Kayu	Gaya Min. Per alat sambung	
				// serat	⊥ Serat
	Mm(Inch)	Mm(Inch)	Mm(Inch)	N(Lb)	N(Lb)
Split ring					
63.5-mm (2-1/2-in.) diameter, 19.0 mm (3/4 in.) wide, with 12.7-mm (1/2-in.) bolt	25 (1)	51 (2)	89 (3-1/2)	7,940 (1,785)	4,693 (1,055)
101.6-mm (4-in.) diameter, 25.4 mm (1 in.) wide, with 19.0-mm (3/4-in.) bolt	38 (1-1/2)	76 (3)	140 (5-1/2)	15,324 (3,445)	8,874 (1,995)
Shear plate					
66.7-mm (2-5/8-in.) diameter, 10.7 mm (0.42 in.) wide, with 19.0-mm (3/4-in.) bolt	38 (1-1/2)	67 (2-5/8)	89 (3-1/2)	8,407 (1,890)	4,871 (1,095)
101.6-mm (4-in.) diameter, 16.2 mm (0.64 in.) wide, with 19.0-mm or 22.2-mm (3/4- or 7/8-in.) bolt	44 (1-3/4)	92 (3-5/8)	140 (5-1/2)	12,677 (2,850)	7,362 (1,655)

Prinsip alat sambungan ini memindahkan beban melalui gerigi, tonjolan (*plug*) dan paku yang ada pada plat. Jenis produk ini ditunjukkan pada Gambar 8.21. Untuk pemasangan plat, menanam gerigi dalam kayu tersambung, memerlukan alat penekan hidrolis atau penekan lain yang menghasilkan gaya besar.



Gambar 8.21. Produk alat penyambung sambung plat logam

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

8.4. Aplikasi Struktur dengan Konstruksi Kayu

8.4.1. Perhitungan Kekuatan Kayu

Karena arah serat sangat mempengaruhi kekuatan kayu, keadaan serat yang miring terhadap arah memanjang pada suatu batang struktur akan mengalami reduksi kekuatan. Besaran kuat tekan atau tarik kayu pada serat miring (σ_α) dapat dihitung berdasarkan rumus berikut.

$$\sigma_\alpha = \sigma_{//} \sigma_{\perp} / \sigma_{//} \sin \alpha + \sigma_{\perp} \cos \alpha \quad (8.8)$$

Dimana : $\sigma_{//}$ = Tegangan tarik/tekan sejajar serat

$\sigma_{\perp}$ = Tegangan tekan / tarik tegak lurus serat

α = Sudut kemiringan serat terhadap arah memanjang serat

8.4.2. Analisis Struktur Kolom

Kolom merupakan batang struktur yang menerima beban tekan, termasuk batang tekan pada struktur kuda-kuda kayu. Batang kolom dapat berupa batang tunggal atau batang gabungan. Berdasarkan panjang, kolom dibagi menjadi tiga, kolom pendek, kolom sedang dan kolom panjang. Pada kolom pendek, kekuatan kuat tekan kayu. Sedangkan pada kolom sedang akan mendekati kolom panjang yang akan mengalami tekuk sebelum tegangan tekan dilampaui. Karenanya kolom harus diperhitungkan adanya tekuk.

Semakin langsing, kolom panjang dengan tampang melintang kecil, semakin mudah kolom tersebut tertekuk. Angka kelangsingan (λ) kolom dinyatakan sebagai berikut.

$$\lambda = L_k / i_{min} \quad (8.9)$$

$$i_{min} = (I_{min} / F)^{1/2}$$

I_{min} = Momen inersia tampang kolom minimal

F = luas tampang melintang kolom

Dari angka kelangsingan tersebut kemudian dicari faktor tekuk (ω) berdasarkan tabel 8.8:

Tegangan yang terjadi dihitung sebagai berikut.

$$\sigma = S \omega / F_{Bruto} < \sigma_{ijin \text{ tekuk}} \quad (8.10)$$

Dimana : σ = Tegangan yang terjadi

S = gaya batang

ω = Faktor tekuk

F_{Bruto} = luas tampang kolom

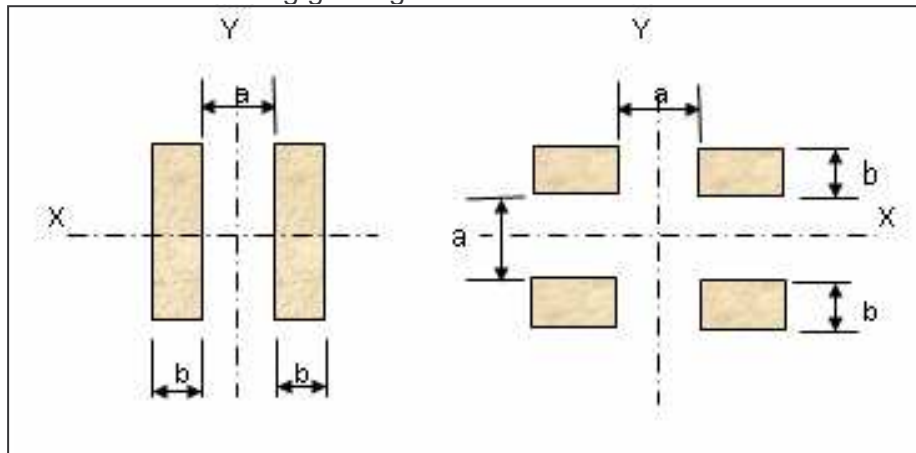
Tabel 8.8. Angka kelangsingan

Sumber: PKKI, 1979

λ Kolom	Koefisien Tekuk ω	Tegangan Ijin Tekuk Kolom Kayu PKKI - NI.05 1961			
		Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
0	1.000	130	85	60	45
10	1.070	121	79	56	42
30	1.250	104	68	48	36
50	1.500	86	57	40	30
70	1.870	70	45	32	24
90	2.500	52	34	24	18
110	3.730	35	23	16	12
130	5.480	24	16	11	8
150	7.650	17	11	8	6

8.4.3. Analisis Kolom gabungan

Untuk pertimbangan kekuatan dan penampilan, kadang kolom kayu dibuat lebih dari satu batang, umumnya berupa batang ganda yang dirangkai atau berupa atau berupa boks. Gambar 8.22. menunjukkan contoh kolom dari batang gabungan.


Gambar 8.22. Penampang kolom dari batang gabungan

Untuk menghitung kolom ganda, dianggap kolom tersebut memiliki lebar yang sama dengan jumlah lebar batang gabungan. Sehingga didapat besaran jari-jari *gyrasi* (i) dan momen inersia yang diperhitungkan (I) untuk batang kolom ganda sebagai berikut:

$$I_{ix} = 0,289 h, \text{ dimana } h = \text{tinggi tampang batang kolom.} \quad (8.11)$$

$$I = \frac{1}{4} (I_t + 3 I_g)$$

Dimana : I = Momen inersia yang diperhitungkan

I_t = Momen inersia teoritis

I_g = Momen inersia geser sehingga batang kolom gabungan berimpit

Syarat lain yang harus dipenuhi untuk perhitungan adalah bahwa jarak antar bagian (a) harus diambil dua kali jarak tebal bagian, $a = 2b$ dan besaran momen inersia tiap elemen/ bagian kolom (I_e) harus memenuhi persamaan berikut (PKKI, 1961).

$$I_e \geq 10 S Lk^2/n \quad (8.12)$$

Dimana : I_e = Momen inersia elemen batang tunggal

S = Gaya batang (ton)

Lk = Panjang tekuk (m)

n = Jumlah batang penyusun kolom gabungan

Selanjutnya perhitungan tegangan yang terjadi (σ) dihitung seperti persamaan tegangan pada kolom tunggal dengan memperhitungkan kelangsingan dan faktor tekuk.

8.4.4. Analisis Struktur Balok

Struktur balok kayu akan menerima beban tegak lurus yang mengakibatkan balok akan mengalami geser tegak batang balok, geser ke arah memanjang dan momen lenturan (*bending moment*). Geser arah tegak lurus serat dapat diabaikan, karena kayu memiliki geser tegak lurus yang cukup besar. Yang umumnya diperhitungkan adalah geseran arah memanjang dan lenturan.

Persyaratan kekuatan struktur balok terhadap lenturan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\sigma_{ltr} = M / W \leq \sigma_{ijin \text{ lentur}} \quad (8.13)$$

Dimana : M = Besar momen lentur kritis pada struktur

W = Momen tahanan tampang melintang batang struktur

= $1/6 b h^2$ untuk tampang persegi panjang

Sedang syarat kekuatan geseran balok dengan tampang persegi panjang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\tau = 3V / 2A < \tau_{ijin} \quad (8.14)$$

Dimana: V = Gaya geser / gaya lintang

A = Luas tampang melintang batang

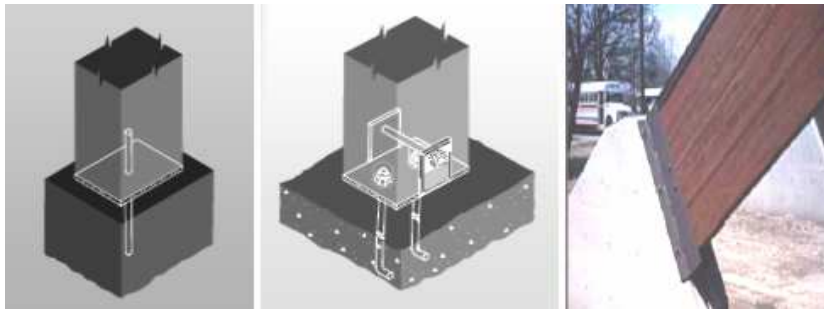
= $b.h$ untuk tampang persegi panjang

8.4.5. Konstruksi Pondasi, Kaki Kolom, dan Kolom

Bangunan kayu umumnya merupakan bangunan relatif ringan dibanding dengan baja maupun beton. Pondasi untuk bangunan kayu umumnya merupakan pondasi sederhana berbentuk umpak/pondasi

setempat atau pondasi dinding menerus dari bahan pasangan batu atau beton.

Pemasangan kolom kayu selain memerlukan jangkar (*anchor*) ke pondasi diperlukan penyekat resapan dari tanah, baik berupa beton kedap atau pelat baja agar kayu terhindar dari penyebab lapuk/busuk. Jika dipasang plat kaki keliling, harus terdapat lubang pengering, untuk menjaga adanya air tertangkap pada kaki kolom tersebut. Terlebih jika kolom tersebut berada diluar bangunan yang dapat terekspose dengan hujan dan/atau kelembaban yang berlebihan. Kaki kolom sederhana dengan penahan hanya di dua sisi seperti pada Gambar 8.23 sangat disarankan untuk memungkinkan adanya drainase pada kaki kolom.



Gambar 8.23: Kaki kolom kayu dengan plat dan jangkar

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Kolom kayu dapat berupa kolom tunggal, kolom gabungan dan kolom dari produk kayu laminasi seperti ditunjukkan pada Gambar 8.24. Kolom gabungan dapat disusun dari dua batang kayu atau berupa papan yang membentuk bangun persegi. Bentuk lain adalah berupa kolom dari kayu laminasi. Kayu Laminasi merupakan kayu buatan yang tersusun dan direkatkan dari kayu tipis.

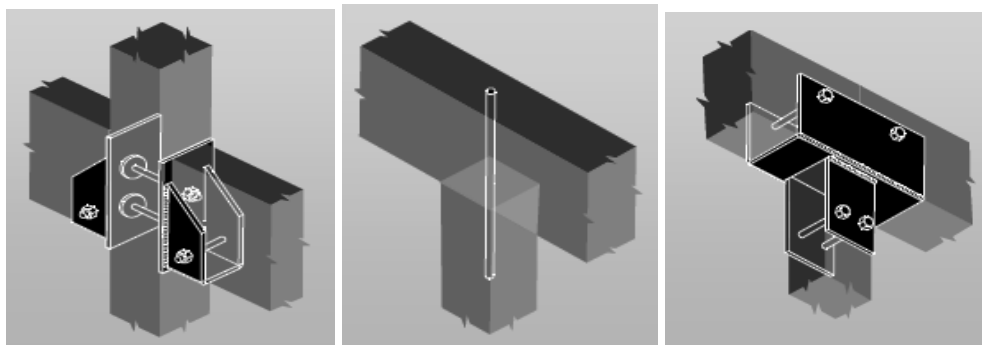


Gambar 8.24: Kolom tunggal, kolom ganda dan produk kolom laminasi

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Batang struktur kolom dapat menerima beban dari balok, balok loteng, maupun beban rangka atap. Untuk dapat menahan beban di atasnya dan terhindar dari tekuk sangat disarankan dan sebisa mungkin menghindari pengurangan tampang efektif kolom.

Sambungan gigi umumnya mengurangi tampang efektif kolom yang relatif besar sehingga tidak disarankan penggunaannya. Penggunaan klos sambung mungkin akan cukup baik, namun akan menjadi mahal karena menambah volume kayu yang tidak sedikit. Penyelenggaraan sambungan yang mendekati ideal dapat menggunakan pelat sambung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.25. Dengan penggunaan alat sambung kolom dengan balok tersebut, pengurangan tampang kolom yang terjadi hanya akibat lubang baut.

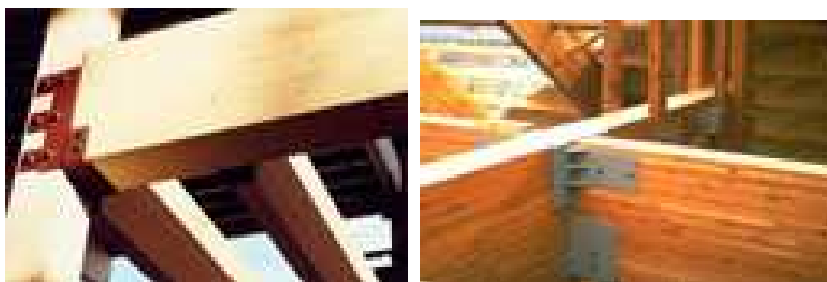


Gambar 8.25: Gambar sambungan kolom dengan balok

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

8.4.6. Konstruksi Balok

Pada bangunan gedung, struktur balok dapat berupa balok loteng balok atap, maupun gording. Struktur balok kayu dapat berupa kayu solid gergajian, kayu laminasi, atau bentuk kayu buatan lainnya. Untuk penyambungan, batang balok dengan balok perlu menghindari sambungan yang menerima momen yang relatif besar. Karenanya sambungan balok umumnya dilakukan tepat di atas struktur dukungan atau mendekati titik dukungan. Dengan begitu momen yang terjadi pada sambungan relatif kecil.



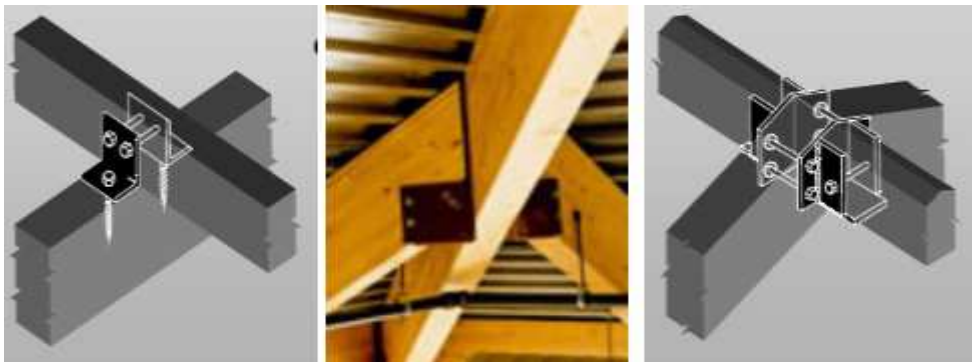
Gambar 8.26: Struktur balok dari kayu solid ditumpukan pada kolom dan struktur balok laminasi bertumpu pada balok

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999



Gambar 8.27: struktur balok I dari produk kayu buatan

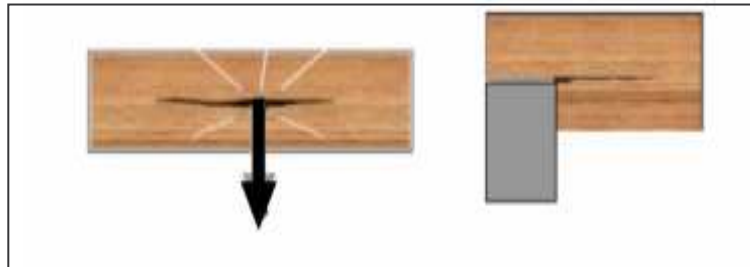
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999



Gambar 8.28: Gambar sambungan balok dengan balok

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Balok sering dibebani penggantung plafon atau komponen konstruksi lain di bawahnya. Agar pembebanan tersebut tidak merusak struktur, penggantung dipasang di atas separoh tinggi balok untuk menghindari sobek batang balok akibat pembebanan tersebut. Penyelenggaraan *beugel* untuk penggantung sangat disarankan untuk maksud tersebut.



Gambar 8.29: Pembebanan yang keliru pada struktur balok

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

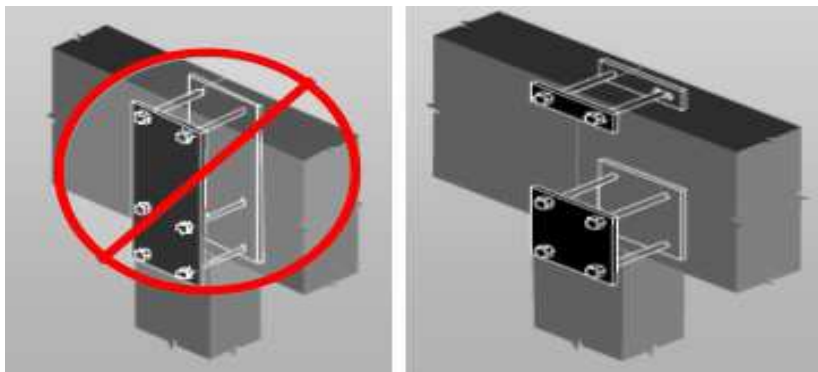
Pada kedudukan dan sambungan antar balok secara tegak lurus, hindarkan pengurangan tampang, sehingga bahaya sobek pada balok kayu tidak terjadi. Gambar 8.30 merupakan contoh sambungan antara balok, balok anak lantai disambungkan pada balok utama/induk dari kayu laminasi. Penyambung pada balok diletakkan di bagian atas untuk menghindari sobek



Gambar 8.30: Stuktur balok lantai bertumpu pada balok kayu induk

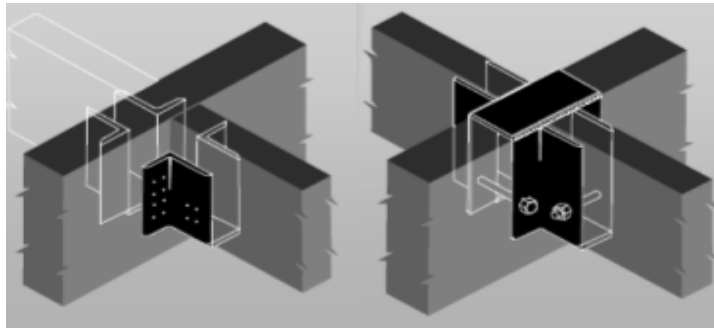
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

Kayu merupakan bahan yang higroskopis, mudah mengembang atau menyusut oleh kadar air. Pada pembuatan sambungan dengan bahan lain, misal plat baja, hindarkan sobek batang struktur akibat sifat kembang dan susut kayu. Hal ini karena angka muai baja dan kayu saling berkebalikan. Salah satu cara menghindari sobek akibat kembang dan susut kayu adalah dengan cara memisah/memecah plat baja seperti yang ditunjukkan Gambar 8.31. Cara lain adalah dengan membiarkan tampang bagian atas tidak terkekang, yakni dengan menggunakan plat sadel seperti Gambar 8.32.



Gambar 8.31: Contoh sambungan keliru dan sambungan benar pada balok karena sifat kembang susut kayu

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999



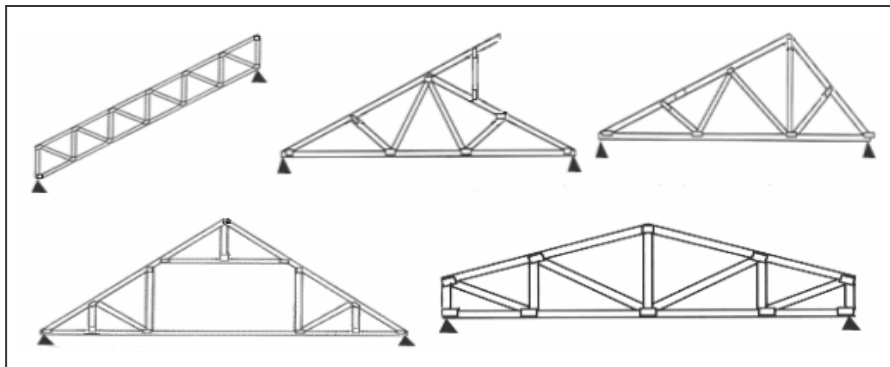
Gambar 8.32: Contoh lain sambungan balok terkait dengan sifat kembang dan susut kayu

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

8.4.7. Konstruksi rangka batang kayu

Struktur rangka batang kayu umum digunakan pada bangunan rumah tinggal, perkantoran, bangunan pertokoan, hingga jembatan. Rangka batang merupakan struktur rangka yang disusun batang membentuk bangun segitiga dengan simpul / titik sambung, dapat menerima beban struktur. Dengan susunan tersebut diperoleh struktur yang relatif ringan dan kuat pada bentangan yang lebih panjang.

Pemakaian rangka batang untuk struktur kayu memungkinkan terbentuknya ruang terbuka yang luas dan partisi/penyekat ruang dapat dirubah tanpa harus mempertimbangkan integritas struktural dari bangunan. Alasan penyelenggaraan rangka batang antara lain: (1) Sangat bervariasi bentuknya, (2) Dapat menampilkan keindahan khusus, (3) dapat melayani bentang relatif panjang, (3) memungkinkan kemudahan penyelenggaraan sistem instalasi layanan bangunan, misal listrik, plumbing, maupun langit-langit, (4) kompatibel terhadap elemen struktur lain, misal beton, pasangan maupun baja.



Gambar 8.33: Berbagai bentuk struktur rangka batang kayu

Sumber: Allen , 1999



Gambar 8.34: Contoh penggunaan struktur rangka batang kayu

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

8.4.8. Produk penyambung struktur rangka batang

Disamping digunakan penyambung tradisional, sambungan gigi, paku maupun baut, penyambung plat fabrikasi telah banyak pula digunakan, lebih-lebih untuk rangka batang fabrikasi. Produk alat sambung terakhir merupakan alat sambung yang dapat memberikan konsistensi hasil sambungan baik kekuatan dan kemudahan penyelenggaraan secara masal. Penyambung plat ini mengandalkan gigi dan tonjolan pada plat untuk memindahkan gaya dari dan ke batang kayu yang disambung. Gambar 8.35 merupakan contoh penggunaan plat sambung pada struktur rangka batang kayu.



Gambar 8.35: Contoh struktur rangka batang kayu dengan plat sambung

Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

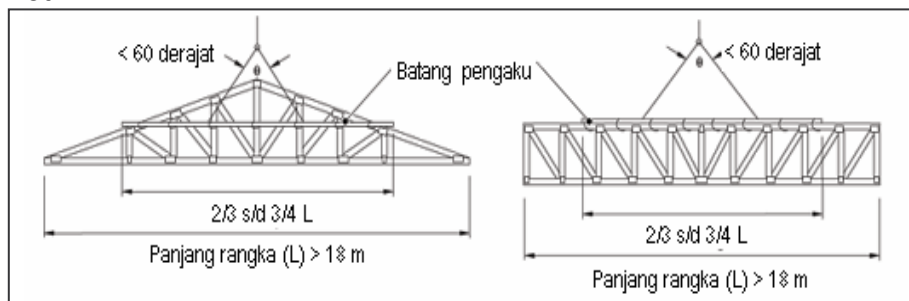
Rangka batang kayu lemah secara lateral, sehingga sangat mungkin mengalami deformasi secara lateral yang merusak sambungan pada saat mobilisasi dan atau saat ereksi konstruksi. Karenanya tata cara penyimpanan, mobilisasi hingga ereksi sangat memegang peranan penting agar plat sambung tersebut berfungsi baik sebagai elemen penyambung struktur rangka batang kayu. Untuk penyimpanan maupun penempatan, rangka batang kayu seharusnya diletakkan secara rata dengan ganjal atau dengan cara berdiri dan dilengkapi dengan penyokong (Gambar 8.36).



Gambar 8.36: Cara penyimpanan struktur rangka fabrikasi

Sumber: Allen , 1999

Di negara maju, rangka batang kayu yang dibuat di pabrik telah dilengkapi dengan fasilitas penggantung dilengkapi dengan petunjuk untuk mengangkat baik saat mobilisasi maupun saat ereksi konstruksi. Terdapat beberapa cara, antara lain: sudut tali pengangkat < 60 derajat, gunakan batang pembentang, pengaku rangka untuk panjang rangka lebih dari 18 meter. Cara pengangkatan struktur rangka ditunjukkan pada Gambar 8.37 berikut:



Gambar 8.37: Syarat dan cara mengangkat struktur rangka

Sumber: Allen , 1999

8.4.9. Konstruksi Struktur jembatan kayu

Sebelum abad 20, kayu menjadi bahan bangunan utama bahkan sebagai bahan struktur jalan kereta dan jembatan. Jembatan terdiri dari struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah terdiri dari abutment, tiang

dan struktur lain untuk menyangga struktur atas yang terdiri dari balok jembatan dan lantai jembatan.

Bentuk penyusun struktur dapat berupa kayu gelondong/log, kayu gergajian, hingga kayu laminasi atau kayu buatan lainnya. Hingga produk glulam tersebar, ketersediaan ukuran kayu menjadi kendala penyelenggaraan kayu untuk jembatan. Kalaupun ada, jembatan kayu merupakan jembatan sementara dengan umur pakai dibawah 10 tahun.



Gambar 8.38. Struktur jembatan kayu
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999



Gambar 8.39. Struktur jembatan dengan kayu laminasi
Sumber: Forest Products Laboratory USDA, 1999

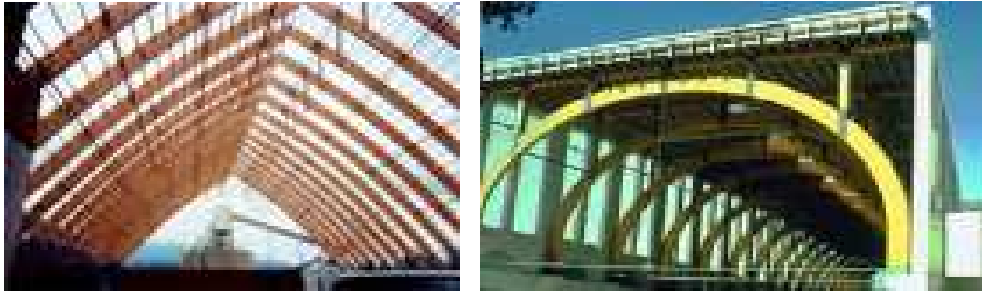
Struktur kayu laminasi telah membantu kapabilitas bentangan struktur yang diperlukan untuk jembatan. Gelegar laminasi ukuran 0.60 m x 1.80 m mampu mendukung suatu sistem deck laminasi hingga bentangan 12 m – 30 m bahkan lebih. Balok laminasi dapat membentuk suatu deck/ lantai jembatan yang solid dan jika dirangkai dengan batang tarik pengekan dapat membentuk suatu deck laminasi bertegangan tarik. Kayu laminasi lengkung dapat dipakai untuk memproduksi beragam jembatan yang indah.

8.4.10. Struktur pelengkung kayu

Struktur pelengkung kayu telah banyak diselenggarakan untuk mendapatkan ruang cukup lapang pada bangunan tempat ibadah, bangunan

rekreasi hingga hanggar terlebih saat teknologi kayu laminasi/glulam ditemukan.

Struktur ini disusun dari struktur tarikan di bagian bawah dan struktur tekan di bagian pelengkung atas. Struktur bagian bawah bisa berbentuk lengkung atau lurus. Jika lurus maka atap bangunan akan membentuk seperti payung. Sedangkan jika bagian bawah lengkung simetris dan berpusat pada satu pusat, maka atap dome akan menyerupai bola.



Gambar 8.40. Struktur pelengkung kayu

Sumber: Forest Products Laboratory USDA , 1999

Pertanyaan:

18. Apakah kelebihan dan kekurangan sifat kayu sebagai material struktur bangunan?
19. Sebutkan jenis cacat-cacat pada kayu?
20. Apa yang dimaksud dengan kelas kuat dan kelas awet kayu?
21. Sebutkan klasifikasi produk kayu di pasaran?
22. Sebutkan jenis-jenis alat sambung untuk konstruksi kayu? Jelaskan pula spesifikasinya?
23. Sebutkan komponen struktur apa saja pada bangunan yang dapat menggunakan konstruksi kayu?
24. Jelaskan beberapa contoh aplikasi jenis struktur dengan konstruksi kayu?

Tugas:

Cari kasus sebuah bangunan dengan struktur kayu. Gambarkan konstruksi kolom, balok, maupun sambungan-sambungannya. Sebutkan dan jelaskan jenis alat-alat sambung yang digunakan. Tinjau persyaratan kekuatan komponen-komponen kolom dan balok berdasarkan rumusan-rumusan yang ada.

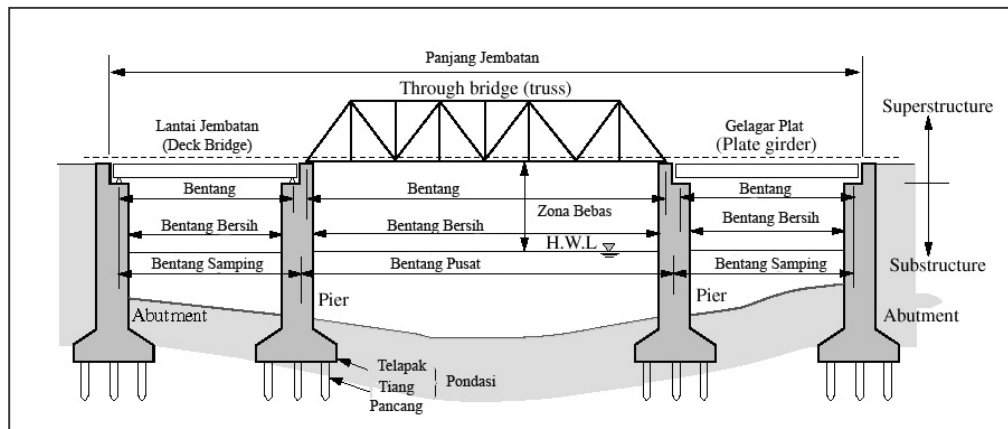
9.

TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN JEMBATAN

Jembatan merupakan struktur yang melintasi sungai, teluk, atau kondisi-kondisi lain berupa rintangan yang berada lebih rendah, sehingga memungkinkan kendaraan, kereta api maupun pejalan kaki melintas dengan lancar dan aman. Jika jembatan berada di atas jalan lalu lintas biasa maka biasanya dinamakan *viaduct*.

Jembatan dapat dikatakan mempunyai fungsi keseimbangan (*balancing*) sistem transportasi, karena jembatan akan menjadi pengontrol volume dan berat lalu lintas yang dapat dilayani oleh sistem transportasi. Bila lebar jembatan kurang menampung jumlah jalur yang diperlukan oleh lalu lintas, jembatan akan menghambat laju lalu lintas.

Struktur jembatan dapat dibedakan menjadi bagian atas (*super struktur*) yang terdiri dari *deck* atau geladak, sistem lantai, dan rangka utama berupa gelagar atau girder, serta bagian bawah (*sub struktur*) yang terdiri dari *pier* atau pendukung bagian tengah, kolom, kaki pondasi (*footing*), tiang pondasi dan abutmen. Super struktur mendukung jarak horisontal di atas permukaan tanah. Tipikal jembatan dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1. Tipikal Jembatan

Sumber: Chen & Duan, 2000

9.1. Klasifikasi dan Bentuk Jembatan

Untuk memahami berbagai bentuk struktur jembatan, terlebih dahulu perlu ditinjau tentang klasifikasi jembatan. Klasifikasi jembatan dapat dibagi berdasarkan material super strukturnya, penggunaannya, sistem struktur yang digunakan, dan kondisi pendukung. Selain itu juga perlu dipahami desain konseptual jembatan agar dapat menentukan jenis jembatan yang sesuai.

9.1.1. Klasifikasi Jembatan

a) Klasifikasi material superstruktur

Menurut material superstrukturnya jembatan diklasifikasikan atas:

- Jembatan baja
Jembatan yang menggunakan berbagai macam komponen dan sistem struktur baja: *deck*, girder, rangka batang, pelengkung, penahan dan penggantung kabel.
- Jembatan beton
Jembatan yang beton bertulang dan beton prategang
- Jembatan kayu
Jembatan dengan bahan kayu untuk bentang yang relatif pendek
- Jembatan *Metal alloy*
Jembatan yang menggunakan bahan *metal alloy* seperti aluminium *alloy* dan *stainless steel*
- Jembatan komposit
Jembatan dengan bahan komposit komposit fiber dan plastik
- Jembatan batu
Jembatan yang terbuat dari bahan batu; di masa lampau batu merupakan bahan yang umum digunakan untuk jembatan pelengkung.

b) Klasifikasi berdasarkan penggunaannya

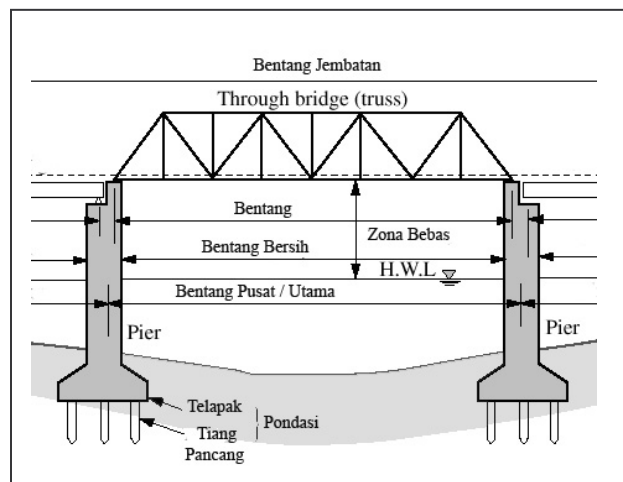
- Jembatan jalan
Jembatan untuk lalu lintas kendaraan bermotor
- Jembatan kereta api
Jembatan untuk lintasan kereta api
- Jembatan kombinasi
Jembatan yang digunakan sebagai lintasan kendaraan bermotor dan kereta api
- Jembatan pejalan kaki
Jembatan yang digunakan untuk lalu lintas pejalan kaki
- Jembatan *aqueduct*
Jembatan untuk menyangga jaringan perpipaan saluran air

c) Klasifikasi berdasarkan sistem struktur yang digunakan

- jembatan ***I-Girder***.
Gelagar utama terdiri dari plat girder atau *rolled-I*. Penampang I efektif menahan beban tekuk dan geser.
- Jembatan gelagar kotak (***box girder***)
Gelagar utama terdiri dari satu atau beberapa balok kotak baja fabrikasi dan dibangun dari beton, sehingga mampu menahan lendutan, geser dan torsi secara efektif.
- Jembatan Balok T (***T-Beam***)

Sejumlah Balok T dari beton bertulang diletakkan bersebelahan untuk mendukung beban hidup

- Jembatan **Gelagar Komposit**
Plat lantai beton dihubungkan dengan girder atau gelagar baja yang bekerja sama mendukung beban sebagai satu kesatuan balok. Gelagar baja terutama menahan tarik sedangkan plat beton menahan momen lendutan.
- Jembatan gelagar *grillage* (**grillage girder**)
Gelagar utama dihubungkan secara melintang dengan balok lantai membentuk pola grid dan akan menyalurkan beban bersama-sama
- Jembatan Dek Othotropic
Dek terdiri dari plat dek baja dan rusuk/rib pengaku
- Jembatan Rangka Batang (**Truss**)
Elemen-elemen berbentuk batang disusun dengan pola dasar menerus dalam struktur segitiga kaki. Elemen-elemen tersebut dihubungkan dengan sambungan pada ujungnya. Setiap bagian menahan beban axial juga tekan dan tarik. Gambar 9.2. menunjukkan Jembatan truss Warren dengan elemen vertikal yang disebut "through bridge", plat dek diletakkan melintasi bagian bawah jembatan



Gambar 9.2. Jembatan Truss Warren

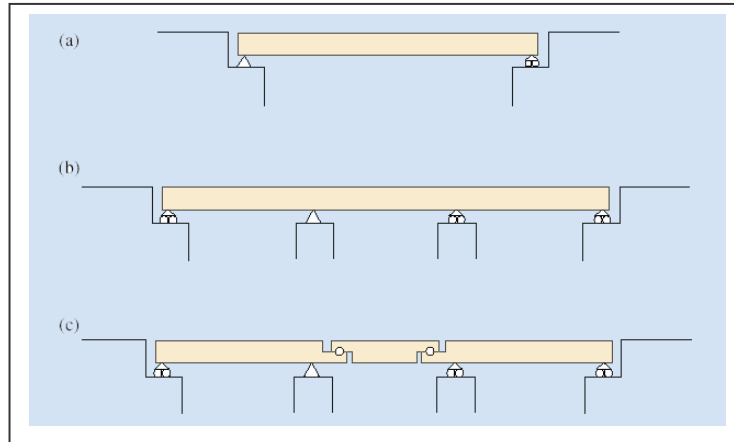
Sumber: Chen & Duan, 2000

- Jembatan Pelengkung (**arch**)
Pelengkung merupakan struktur busur vertikal yang mampu menahan beban tegangan axial
- Jembatan Kabel Tarik (**Cable stayed**)
Gelagar digantung oleh kabel berkekuatan tinggi dari satu atau lebih menara. Desain ini lebih sesuai untuk jembatan jarak panjang
- Jembatan Gantung

Gelagar digantung oleh penggantung vertikal atau mendekati vertikal yang kemudian digantungkan pada kabel penggantung utama yang melewati menara dari tumpuan satu ke tumpuan lainnya. Beban diteruskan melalui gaya tarik kabel. Desain ini sesuai dengan jembatan dengan bentang yang terpanjang.

d) Klasifikasi berdasarkan kondisi pendukung

Gambar 9.3. menunjukkan tiga perbedaan kondisi pendukung untuk gelagar dan gelagar rangka



Gambar 9.3. Pendukung gelagar jembatan:

(a) gelagar sederhana; (b) gelagar menerus; (c) gelagar gerber
Sumber: Chen & Duan, 2000

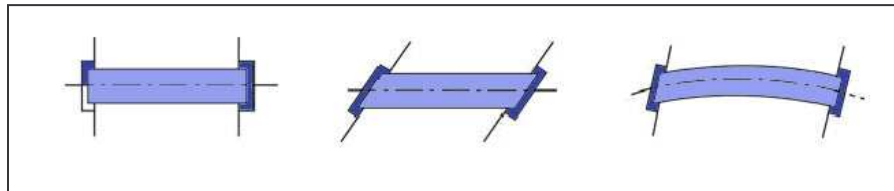
- Jembatan dengan pendukung sederhana
Gelagar utama atau rangka batang ditopang oleh roll di satu sisi dan sendi di sisi yang lainnya.
- Jembatan dengan pendukung menerus
Gelagar atau rangka batang didukung menerus oleh lebih dari tiga sendi sehingga menjadi sistem struktur yang tidak tetap. Kecenderungan itu lebih ekonomis karena jumlah sambungan sedikit serta tidak memerlukan perawatan. Penurunan pada pendukung sebaiknya dihindari.
- Jembatan gerber (jembatan kantilever)
Jembatan menerus yang dibuat dengan penempatan sendi di antara pendukung.
- Jembatan rangka kaku
Gelagar terhubung secara kaku pada sub struktur

9.1.2. Desain Konseptual

Desain jembatan merupakan sebuah kombinasi kreasi seni, ilmu alam, dan teknologi. Desain konseptual merupakan langkah awal yang harus di ambil perancang untuk mewujudkan dan menggambarkan

jembatan untuk menentukan fungsi dasar dan tampilan, sebelum dianalisa secara teoritis dan membuat detail-detail desain. Proses desain termasuk pertimbangan faktor-faktor penting seperti pemilihan sistem jembatan, material, proporsi, dimensi, pondasi, estetika dan lingkungan sekitarnya.

Perencanaan jembatan secara prinsip dimaksudkan untuk mendapatkan fungsi tertentu yang optimal. Proyek jembatan diawali dengan perencanaan kondisi yang mendasar. Untuk mendapatkan tujuan yang spesifik, jembatan memiliki beberapa arah yang berbeda-beda; lurus, miring atau tidak simetris, dan melengkung horisontal seperti terlihat pada Gambar 9.4. Jembatan lurus mudah di rencanakan dan dibangun tetapi memerlukan bentang yang panjang. Jembatan miring atau jembatan lengkung umumnya diperlukan untuk jalan raya jalur cepat (*expressway*) atau jalan kereta api yang memerlukan garis jalan harus tetap lurus atau melengkung ke atas, sering memerlukan desain yang lebih sulit. Lebar jembatan tergantung pada keperluan lalu lintasnya. Untuk jembatan layang, lebarnya ditentukan oleh lebar jalur lalu lintas dan lebar jalur pejalan kaki, dan seringkali disamakan dengan lebar jalannya.



Gambar 9.4. Arah Jembatan

Sumber: Chen & Duan, 2000

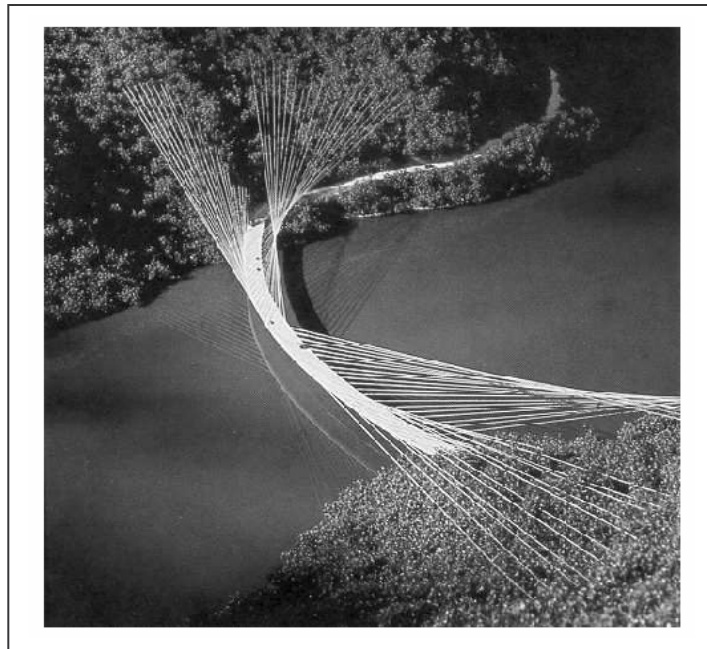
Estetika – selaras dengan lingkungan

Jembatan harus berfungsi tidak saja sebagai jalan, tetapi struktur dan bentuknya juga harus selaras dan meningkatkan nilai lingkungan sekitarnya. Meskipun terdapat perbedaan pandangan estetika dalam teknik jembatan, Svensson (1998) menyarankan:

- Pilih sistem struktur yang bersih dan sederhana seperti balok, rangka, pelengkung atau struktur gantung; jembatan harus terlihat terpercaya dan stabil;
- Terapkan proporsi tiga dimensional yang indah, antar elemen struktural atau panjang dan ukuran pintu masuk jembatan
- Satukan semua garis pinggir struktur, yang menentukan tampilannya. Kekurangan salah satu bagian tersebut akan dapat menyebabkan kekacauan, ketidakimbangan dan perasaan ragu-ragu. Transisi dari bentuk garis lurus ke garis lengkung akan membentuk parabola.
- Perpaduan yang sesuai antara struktur dan lingkungannya akan menjadi lansekap kota. Sangat perlu skala struktur dibandingkan skala lingkungan sekitarnya.

- Pemilihan material akan sangat berpengaruh pada estetika
- Kesederhanaan dan pembatasan pada bentuk struktural asli sangat penting
- Tampilan yang menyenangkan dapat lebih ditingkatkan dengan pemakaian warna
- Ruang di atas jembatan sebaiknya dibentuk menjadi semacam jalan yang dapat berkesan dan membuat pengendara merasa nyaman.
- Strukturnya harus direncanakan sedemikian rupa sehingga aliran gaya dapat diamati dengan jelas
- Pencahayaan yang cukup akan dapat meningkatkan tampilan jembatan pada malam hari.

Gambar 9.5. berikut menunjukkan konsep rancangan jembatan Ruck-a-Chucky melintasi sungai Amerika sekitar 17 km dari bendungan Auburn di California. Anker kabel untuk Lengkung horisontal kabel penahan jembatan sepanjang 396 m direncanakan di sisi bukit. Meskipun jembatan ini tidak pernah dibangun, desain ini sesuai dengan topografi lingkungan sekitarnya, dan merupakan sebuah desain yang sangat memahami lingkungan.



Gambar 9.5. Konsep desain jembatan Ruck-a-Chucky
Sumber: Chen & Duan, 2000

e) Pemilihan Jenis Jembatan

Pemilihan jenis-jenis jembatan merupakan tugas yang kompleks untuk memenuhi keinginan pemilik. Tabel 9.1. menunjukkan format matriks

evaluasi yang dapat digunakan untuk memilih jenis-jenis jembatan. Untuk poin yang ada pada tabel tersebut untuk faktor prioritas diberikan penilaian 1 – 5 (1 = rendah; 2 = standar; 3 = tinggi; 4 = tinggi sekali; 5 = sangat tinggi). Tingkat kualitas diberikan dalam skala 1 – 5 (1 = kurang; 2 = cukup; 3 = bagus; 4 = sangat bagus; 5 = sempurna). Bobot penilaian berisi perkalian faktor prioritas dengan faktor tingkat kualitas dan dihitung untuk setiap alternatif jenis jembatan. Jembatan dengan jenis yang memiliki total nilai tertinggi akan menjadi alternatif terbaik.

Tabel 9.1. Format matriks evaluasi untuk memilih jenis jembatan

Tipe jembatan			
Poin (1)	Prioritas (2)	Kualitas (3)	Bobot penilaian (2) x (3)
Struktural			
Trafik			
Kemudahan konstruksi			
Pemeliharaan dan pemeriksaan			
Dampak jadwal konstruksi			
Estetika			
Lingkungan			
Pengembangan selanjutnya			
Biaya			
Total penilaian			

Tipe jembatan umumnya ditentukan oleh berbagai faktor seperti beban yang direncanakan, kondisi geografi sekitar, jalur lintasan dan lebarnya, panjang dan bentang jembatan, estetika, persyaratan ruang di bawah jembatan, transportasi material konstruksi, prosedur pendirian, biaya dan masa pembangunan. Tabel 9.2. berikut menunjukkan aplikasi panjang bentang beberapa tipe jembatan.

Tabel 9.2. Tipe jembatan dan aplikasi panjang jembatan

Tipe jembatan	Panjang bentang (m)	Contoh jembatan dan panjangnya
Gelagar beton prestress	10 - 300	Stolmasundet, Norwegia, 301 m
Gelagar baja I / kotak	15 - 376	Jembatan Sfalassa, Itali, 376 m
Rangka baja	40 - 550	Quebec, Canada, 549 m
Baja lengkung	50 - 550	Shanghai Lupu, China, 550 m
Beton lengkung	40 - 425	Wanxian, China, 425 m (tabung baja berisi beton)
Kabel tarik	110 - 1100	Sutong, China, 1088 m
Gantung	150 - 2000	Akaski-Kaikyo, Jepang, 1991 m

9.1.3. Bentuk Struktur Jembatan

Kemajuan pengetahuan dan teknologi di bidang jembatan sejalan dengan kemajuan peradaban manusia. Bentuk jembatan juga berkembang dari jembatan sederhana hingga jembatan kabel, yang penggunaannya akan disesuaikan dengan keperluan atau kebutuhan.

A. Jembatan Sederhana

Pengertian jembatan sederhana adalah ditinjau dari segi konstruksi yang mudah dan sederhana, atau dapat diterjemahkan struktur terbuat dari bahan kayu yang sifatnya darurat atau tetap, dan dapat dikerjakan/dibangun tanpa peralatan modern canggih. Sederhana apapun struktur dalam perencanaan atau pembuatannya perlu memperhatikan dan mempertimbangkan ilmu gaya (mekanika), beban yang bekerja, kelas jembatan, peraturan teknis dan syarat-syarat kualitas (*checking*)

Di masa lampau untuk menghubungkan sungai cukup dengan menggunakan bambu, atau kayu gelondongan. Bila dibanding dengan bahan lain seperti baja, beton atau lainnya, bahan kayu merupakan bahan yang potensial dan telah cukup lama dikenal oleh manusia. Pada saat bahan baja dan beton digunakan untuk bahan jembatan, bahan kayu masih memegang fungsi sebagai rantai kendaraan.

Sifat-sifat Jembatan Kayu

Jembatan kayu merupakan jembatan dengan material yang dapat diperbaharui (*renewable*). Kayu adalah sumber daya alam yang pemanfaatannya akhir-akhir ini lebih banyak pada bidang industri kayu lapis, furnitur, dan dapat dikatakan sangat sedikit pemakaiannya dalam bidang jembatan secara langsung sebagai konstruksi utama.

Pemakaian kayu sebagai bahan jembatan mempunyai beberapa keuntungan antara lain:

- Kayu relatif ringan, biaya transportasi dan konstruksi relatif murah, dan dapat dikerjakan dengan alat yang sederhana
- Pekerjaan-pekerjaan detail dapat dikerjakan tanpa memerlukan peralatan khusus dan tenaga ahli yang tinggi
- Jembatan kayu lebih suka menggunakan dek dari kayu sehingga menguntungkan untuk lokasi yang terpencil dan jauh dari lokasi pembuatan beton siap pakai (*ready mix concrete*). Dek kayu dapat dipasang tanpa bekisting dan tulangan sehingga menghemat biaya
- Kayu tidak mudah korosi seperti baja atau beton
- Kayu merupakan bahan yang sangat estetik bila didesain dengan benar dan dipadukan dengan lingkungan sekitar

Dari penjelasan diatas, dapat dikatakan bahwa jembatan kayu untuk konstruksi jembatan berat dengan bentang sangat panjang sudah tidak ekonomis lagi. Jadi jembatan kayu lebih sesuai untuk konstruksi sederhana dengan bentang pendek.

B. Jembatan Gelagar Baja

Baja mempunyai kekuatan, daktilitas, dan kekerasan yang lebih tinggi dibanding bahan lain seperti beton atau kayu, sehingga menjadikannya bahan yang penting untuk struktur jembatan. Pada baja konvensional,

terdapat beberapa tipe kualitas baja (*high-performance steel*/HPS) yang dikembangkan untuk diaplikasikan pada jembatan. HPS mempunyai keseimbangan yang optimal seperti kekuatan, kemampuan di las, kekerasan, daktilitas, ketahanan korosi dan ketahanan bentuk, untuk tampilan maksimum struktur jembatan dengan mempertahankan biaya yang efektif. Perbedaan utama dengan baja konvensional terletak pada peningkatan kemampuan di las dan kekerasan. Aspek yang lain seperti ketahanan korosi dan daktilitas, sama.

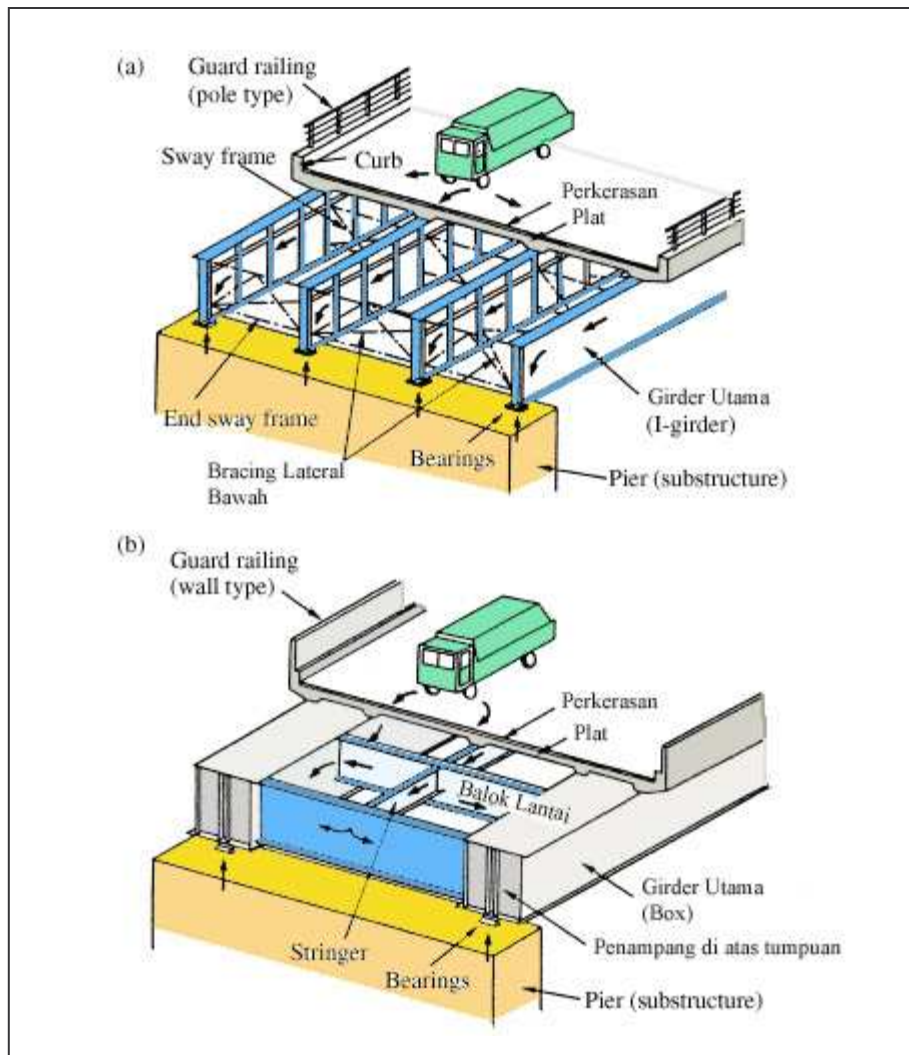
Jembatan gelagar merupakan struktur yang sederhana dan umum digunakan. Terdiri dari slab lantai (floor slab), gelagar (girder), dan penahan (bearing), yang akan mendukung dan menyalurkan beban gravitasi ke sub struktur. Gelagar menahan momen lendut dan gaya geser dengan menggunakan jarak bentang yang pendek. Gelagar baja dibedakan menjadi plat dan gelagar kotak. Gambar 9.6. menunjukkan komposisi struktur plat dan gelagar jembatan serta bagian penyaluran beban. Pada jembatan gelagar plat, beban hidup didukung oleh langsung oleh slab dan kemudian oleh gelagar utama. Pada jembatan gelagar kotak, pertama kali beban diterima oleh slab, kemudian didukung oleh balok melintang (*stringer*) dan balok lantai yang terangkai dengan gelagar kotak utama, dan akhirnya diteruskan ke substruktur dan pondasi melalui penahan.

Gelagar dibedakan menjadi non komposit dan komposit dilihat dari apakah gelagar baja bekerja sama dengan slab beton (menggunakan sambungan geser) atau tidak. Pilihan penggunaan perlengkapan yang terbuat dari baja dan beton pada gelagar komposit sering merupakan suatu keputusan yang rasional dan ekonomis. Bentuk I non komposit jarang digunakan untuk jembatan bentang pendek non komposit.

Gelagar Datar (*Plate*) Non Komposit

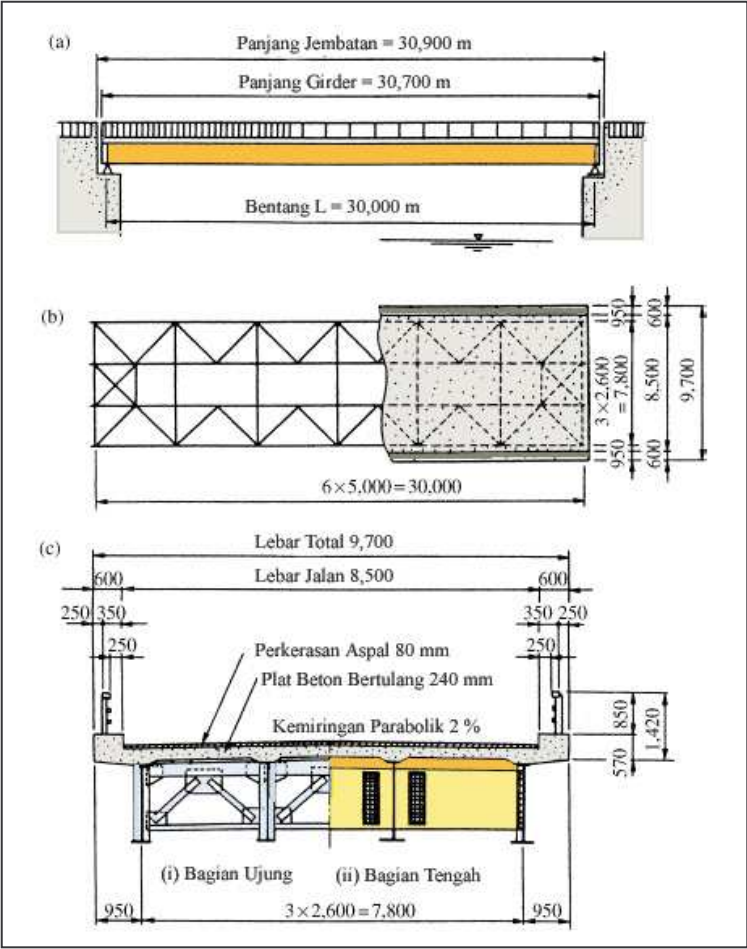
Gelagar datar adalah bentuk yang paling ekonomis untuk menahan lentur dan gaya geser serta memiliki momen inersia terbesar untuk berat yang relatif rendah setiap unit panjangnya. Gambar 9.7. menunjukkan sebuah jembatan gelagar datar sepanjang 30 m dan lebar 8,5 m dengan 4 gelagar utama.

Beban gravitasi didukung oleh beberapa gelagar datar utama yang terbuat dari hasil pengelasan 3 bagian: sayap atas dan bawah dan penghubung-nya (*web*). Gambar 9.8. menunjukkan sebuah gelagar datar dan proses pembentukannya. Penghubung dan sayap-sayapnya dibentuk dari potongan plat baja dan dilas. Potongan-potongan dirangkai di pabrik dan kemudian dibawa ke lokasi pembangunan untuk didirikan.



Gambar 9.6. Jembatan gelagar baja:

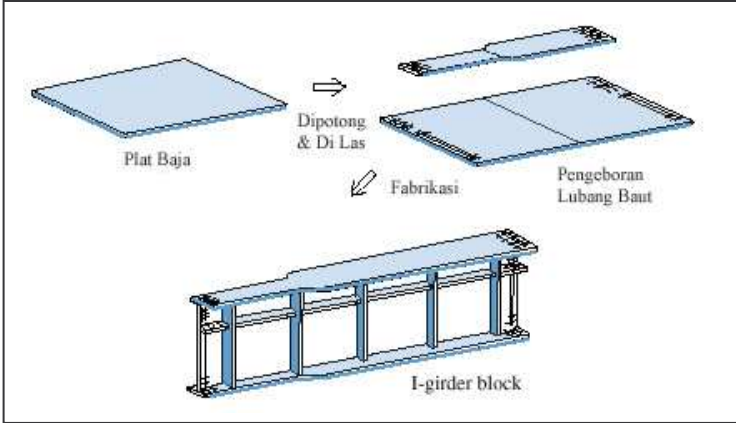
(a) jembatan gelagar plat, dan (b) jembatan gelagar kotak
Sumber: Chen & Duan, 2000



Gambar 9.7. Jembatan gelagar datar:

(a) tampak samping, (b) denah, dan (c) potongan

Sumber: Chen & Duan, 2000)



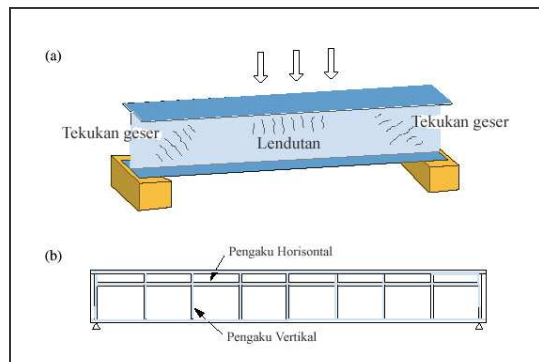
Gambar 9.8. Perakitan potongan gelagar datar

Sumber: Chen & Duan, 2000

Beberapa faktor penting dalam perencanaan jembatan gelagar:

Pengaku web

Pengaku vertikal dan horisontal (Gambar 9.9) biasanya diperlukan apabila *web* relatif tipis. Momen lendut menghasilkan gaya tekan dan gaya tarik pada *web*, dipisahkan oleh aksis netral. Pengaku membujur/horisontal mencegah tekukan *web* akibat lendutan dengan memberi tekanan pada bagian atas *web* (setengah bagian ke atas pada gelagar penopang sederhana). Karena momen lendut terbesar berada di dekat pertengahan panjang gelagar pendukung sederhana, pengaku horisontal akan ditempatkan pada bagian ini. Pengaku horisontal tidak disarankan hingga mencapai batas ketahanannya. Pengaku vertikal mencegah tekukan-geser dan memberikan kemampuan tekukan-geser lebih elastis dengan tegangan lapangan. Pengaku horisontal ditempatkan lebih dekat dengan pendukung karena gaya geser terbesar ada pada bagian tersebut. Penahan pengaku juga diperlukan untuk menahan reaksi gaya yang besar, yang akan didesain tersendiri apabila terdapat gaya tegangan yang lain. Apabila *web* tidak terlalu dalam dan ketebalannya tidak terlalu tipis tidak diperlukan adanya pengaku sehingga biaya produksi bisa dikurangi.



Gambar 9.9. Pengaku web: (a) tekukan *web* dan (b) pengaku *web*.

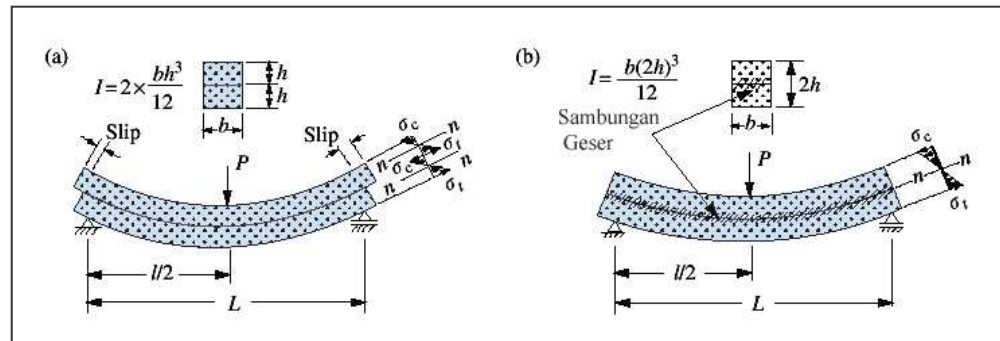
Sumber: Chen & Duan, 2000

C. Jembatan Gelagar Komposit

Apabila dua buah balok bersusun secara sederhana (*tiered beam*) seperti yang terlihat pada Gambar 9.10.a, mereka bekerja secara terpisah dan beban geser tergantung pada kekakuan lenturnya. Pada kasus tersebut, gelincir terjadi di sepanjang batas balok. Tetapi jika kedua balok dihubungkan dan gelincir ditahan seperti pada Gambar 9.10.b, mereka bekerja sebagai satu kesatuan gelagar komposit. Untuk jembatan gelagar datar komposit, gelagar baja dan slab beton dihubungkan dengan sambungan geser. Dengan cara ini, slab beton akan menyatu dengan gelagar dan menjadi komponen tekan dari momen lendutan pada saat

gelagar datar baja mendapat gaya tarik. Gelagar komposit lebih efektif dibandingkan dengan gelagar bertingkat sederhana.

Gambar 9.11. menunjukkan perbedaan antara balok tier dan balok komposit. Penampang keduanya sama dan mendapat pembebanan terpusat pada tengahnya. Momen inersia balok komposit 4 kali lebih besar daripada balok tier, sehingga defleksi yang terjadi hanya $\frac{1}{4}$ nya. Tekanan lendut maksimum di permukaan (atas atau bawah) hanya $\frac{1}{2}$ dari konfigurasi balok tier.

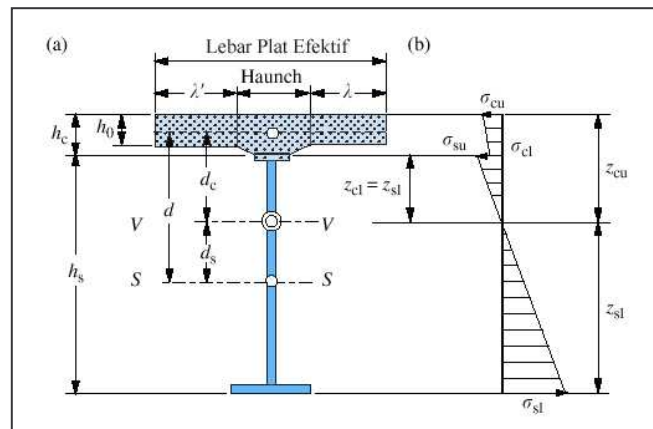


Gambar 9.10. Prinsip balok tiered dan balok komposit:

(a) balok tiered, dan (b) balok komposit

Sumber: Chen & Duan, 2000

Distribusi tekanan yang sesuai ditunjukkan pada gambar berikut. Poin 'S' dan 'V' merupakan pusat profil baja dan penampang komposit. Menurut teori, distribusi tegangan adalah linier tetapi distribusi tekanan berubah pada batas antara baja dan beton.



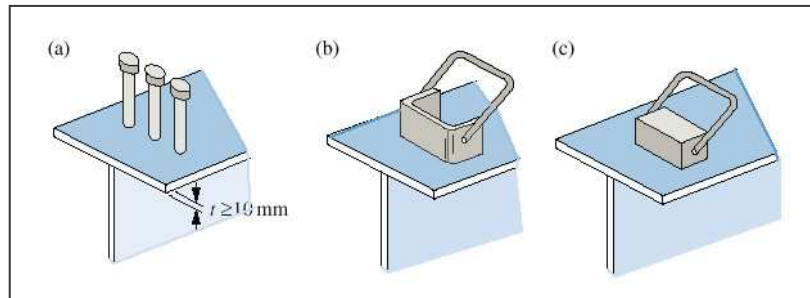
Gambar 9.11. Potongan gelagar komposit:

(a) potongan gelagar komposit, dan (b) distribusi tekanan

Sumber: Chen & Duan, 2000

Tiga tipe sambungan geser, *studs*, *horse shoes* dan blok baja ditunjukkan pada Gambar 9.12. Studs lebih umum digunakan karena lebih mudah dilas ke sayap tegangan dengan menggunakan pengelasan elektrik, tetapi sulit dalam pemeriksaannya. Jika pengelasan pada stud kurang, stud dapat bergeser dan menyebabkan kerusakan. Tipe yang lain menjadi pertimbangan karena lebih mudah pemeliharannya.

Sambungan geser diletakkan mendekati akhir bentang dimana terjadi gaya geser terbesar.



Gambar 9.12. Tipe sambungan geser:

(a) *stud*, (b) *horse shoe*, (c) blok baja

Sumber: Chen & Duan, 2000

Gelagar Kisi-Kisi (*grillage girder*)

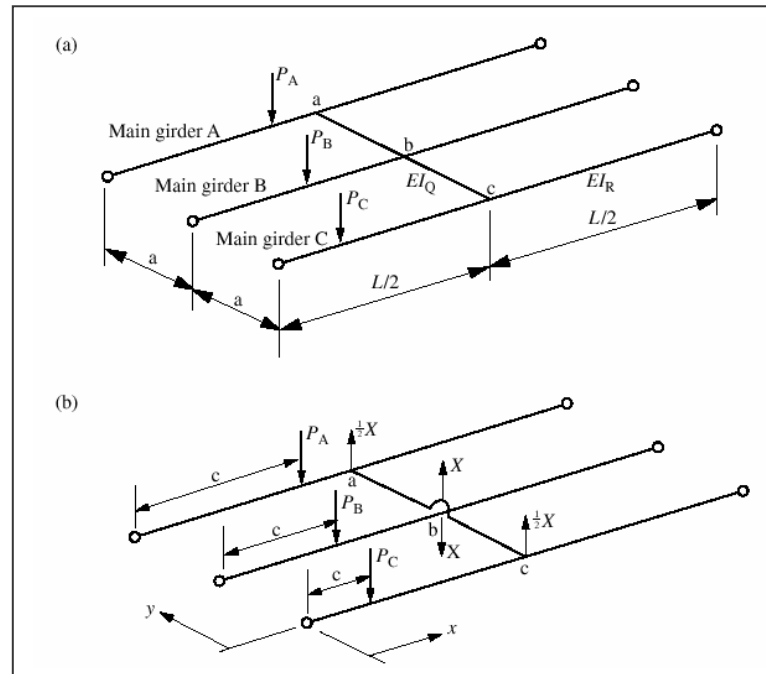
Jika gelagar diletakkan berbaris dan dihubungkan melintang dengan balok lantai, beban truk didistribusikan oleh balok lantai ke gelagar. Sistem ini disebut gelagar kisi-kisi (*grillage girder*). Jika gelagar utama berupa gelagar datar, harus dipertimbangkan tidak adanya kekakuan dalam puntir. Di sisi lain, gelagar kotak dan gelagar beton dapat dianalisa dengan asumsi terdapat kekakuan untuk menahan puntir. Balok lantai meningkatkan kemampuan menahan puntir di seluruh sistem struktur jembatan.

Gambar 9.13. menunjukkan distribusi beban dalam sistem kisi-kisi. Kisi-kisi mempunyai tiga gelagar dengan satu balok lantai di pertengahan bentangnya. Dalam hal ini, terdapat 3 nodal/titik pada perpotongan gelagar dan balok lantai tetapi hanya ada 2 persamaan ($V = 0$ dan $M = 0$). Jika perpotongan antara gelagar utama B dan balok lantai diputuskan, dan diterapkan sepasang kekuatan tak tentu 'X' di titik 'b' seperti pada gambar, X dapat diperoleh dengan menggunakan kondisi yang sesuai di titik 'b'. Bila kekuatan 'X' didapatkan, kekuatan setiap bagian gelagar dapat dihitung. Sistem struktur tersebut dapat diaplikasikan pada desain praktis jembatan gelagar datar.

Gelagar Plat dengan Jarak Luas (*Widely Spaced Plate Girder*)

Sebuah konsep desain jembatan baja dikembangkan dengan meminimalkan jumlah gelagar dan bagian-bagian fabrikasi, sehingga dapat mengurangi nilai konstruksinya. Jarak antar gelagar dibuat lebar dan

pengaku lateral diabaikan. Contoh Gambar 9.14. berikut menunjukkan jembatan yang hanya mempunyai dua gelagar dengan jarak 5.7 m dan ketebalan geladak slab beton pratekan 320 mm.



Gambar 9.13. Gelagar grillage:

(a) sistem one-degree indeterminate, dan (b) sistem statika determinan
Sumber: Chen & Duan, 2000



Gambar 9.14. Jembatan Chidorinosawagawa

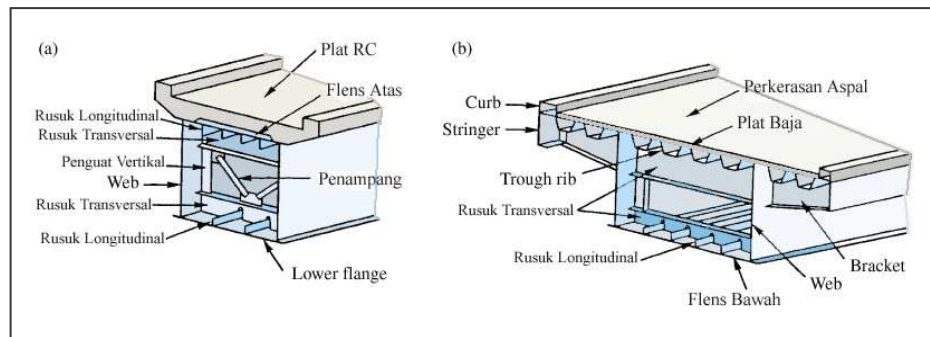
Sumber: Chen & Duan, 2000

Gelagar Kotak (box girder)

Jembatan gelagar kotak tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (hollow) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan bentang panjang. Bentang sederhana sepanjang 40 ft (± 12 m) menggunakan tipe ini, tetapi bentang gelagar kotak beton bertulang lebih ekonomis pada bentang antara 60 – 100 ft ($\pm 18 - 30$ m) dan biasanya didesain sebagai struktur menerus di atas pilar. Gelagar kotak beton prategang dalam desain biasanya lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang ± 300 ft (± 100 m). Keutamaan gelagar kotak adalah pada tahanan terhadap beban torsi.

Pada kondisi lapangan dimana tinggi struktur tidak terlalu dibatasi, penggunaan gelagar kotak dan balok T kurang lebih mempunyai nilai yang sama pada bentang 80 ft (± 25 m). Untuk bentang yang lebih pendek, tipe balok T biasanya lebih murah, dan untuk bentang yang lebih panjang, lebih sesuai menggunakan gelagar kotak.

Bentuk struktur gelagar kotak diperlihatkan pada Gambar 9.15. Gelagar kotak merupakan bagian tertutup sehingga mempunyai ketahanan puntir yang tinggi tanpa kehilangan kekuatan menahan lendut dan geser. Selain itu, gelagar datar merupakan bagian terbuka yang secara efektif menahan lendut dan geser. Ortotropik dek, plat baja dengan pengaku membujur dan melintang sering digunakan untuk geladak pada gelagar kotak atau struktur dinding tipis pada slab beton untuk jembatan bentang panjang.



Gambar 9.15. Gelagar kotak;

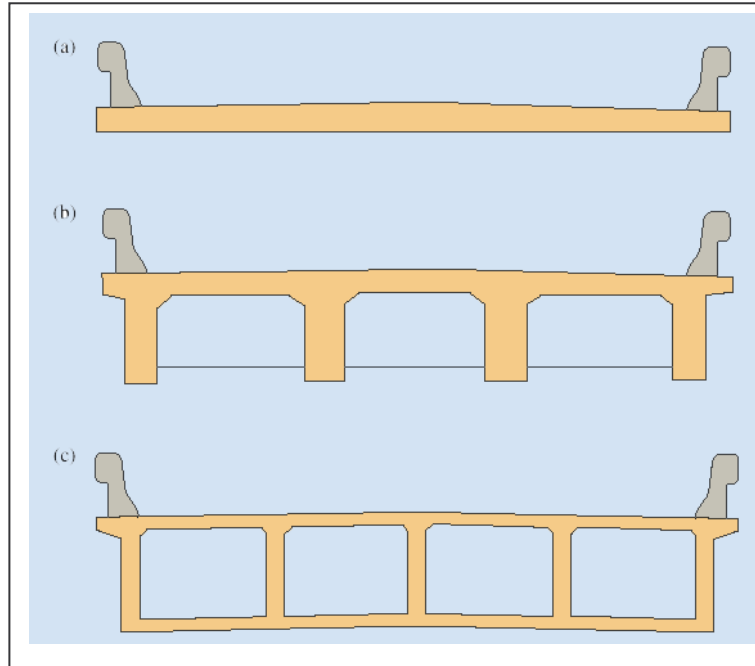
(a) dengan gelagar beton bertulang, dan (b) dengan steel deck
Sumber: Chen & Duan, 2000

Puntiran ditahan dalam dua bagian, yaitu puntir murni dan puntir tersembunyi. Ketahanan puntir murni untuk gelagar profil I bisa diabaikan. Untuk bagian tertutup seperti gelagar kotak, puntir murni harus dipertimbangkan, sesuai untuk jembatan lengkung atau jembatan bentang panjang. Di sisi lain, puntir tersembunyi untuk bagian kotak bisa diabaikan.

Gelagar profil I mempunyai ketahanan tersembunyi tetapi tidak sebesar puntir murni pada bagian tertutup.

D. Jembatan beton bertulang

Gambar 9.16. menunjukkan jenis bagian beton bertulang yang biasa digunakan pada superstruktur jembatan jalan raya.



Gambar 9.16. Tipikal potongan superstruktur jembatan beton bertulang;

(a) solid slab, (b) balok T, dan (c) gelagar kotak

Sumber: Chen & Duan, 2000

Slab

Slab beton bertulang merupakan superstruktur jembatan yang paling ekonomis untuk bentang sekitar 40 ft / 12.2 m. Slab mempunyai detail yang sederhana, formwork standar, rapi, sederhana, dan tampilan menarik. Umumnya bentang berkisar antara 16 -44 ft (4.9 – 13.4 m) dengan perbandingan ketebalan dan bentang struktur 0.06 untuk bentang sederhana dan 0.045 untuk bentang menerus.

Balok T (gelagar dek)

Balok T seperti yang terlihat pada Gambar 9.16.b, ekonomis untuk bentang 40 – 60 ft (12.2 – 18.3 m) tetapi untuk jembatan miring memerlukan formwork yang rumit. Perbandingan tebal dan bentang struktur adalah 0.07 untuk bentang sederhana dan 0.065 untuk bentang menerus. Jarak antar gelagar pada jembatan balok-T tergantung pada lebar jembatan secara

keseluruhan, ketebalan slab, dan biaya formwork sekitar 1.5 kali ketebalan struktur. Jarak yang umum digunakan antara 6 – 10 ft (1.8 – 3.1 m).

Gelagar kotak *cast-in-place*

Gelagar kotak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.16.c. sering digunakan untuk bentang 50 – 120 ft (15.2 – 36.6 m). *Formwork* untuk struktur miring lebih sederhana daripada untuk balok-T. Terkait dengan pembelokan akibat beban mati, penggunaan gelagar sederhana beton bertulang melebihi bentang 100 ft (30.5 m) atau lebih menjadi tidak ekonomis. Perbandingan tebal dan bentang struktur umumnya 0.06 untuk bentang sederhana dan 0.55 untuk bentang menerus dengan ruang gelagar 1.5 kali ketebalan struktur. Ketahanan puntir gelagar kotak yang besar membuat gelagar tersebut dapat digunakan untuk bentuk lengkung seperti lereng pada jalan. Garis lengkung yang lembut menjadi hal yang menarik pada kota metropolitan.

E. Jembatan Beton Prestress / pratekan

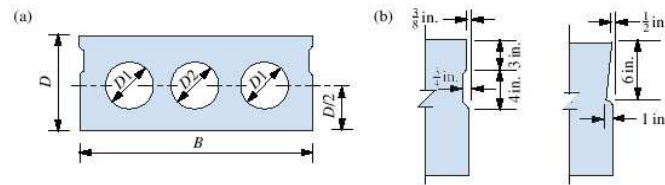
Beton pratekan dengan bahan berkekuatan tinggi merupakan alternatif menarik untuk jembatan bentang panjang. Bahan ini dipergunakan secara luas pada struktur jembatan sejak tahun 1950-an.

Slab

Gambar 9.17. menunjukkan standar tipe-tipe slab precast beton pratekan. Jika slab *cast-in-place* pratekan lebih mahal dari pada slab beton bertulang, slab precast beton pratekan lebih ekonomis apabila digunakan untuk beberapa bentang. Umumnya bentangan berkisar antara 20 – 50 ft (6.1 – 15.2 m). Perbandingan tebal dan bentangnya 0.03 baik untuk bentang sederhana maupun menerus.

Gelagar I - precast

Gambar-gambar 9.18; 9.19; dan 9.20. menunjukkan standar tipe-tipe balok-I, gelagar-I, dan Gelagar Bulb-Tee. Bersaing dengan gelagar baja, umumnya lebih mahal dibanding beton bertulang dengan perbandingan tebal dan bentang yang sama. Formwork lebih rumit, terutama untuk struktur miring. Bagian ini dapat diaplikasikan untuk bentang 30-120 ft (9.1 – 36.6 m). Perbandingan tebal dan bentang struktur adalah 0.055 untuk bentang sederhana dan 0.05 untuk bentang menerus.

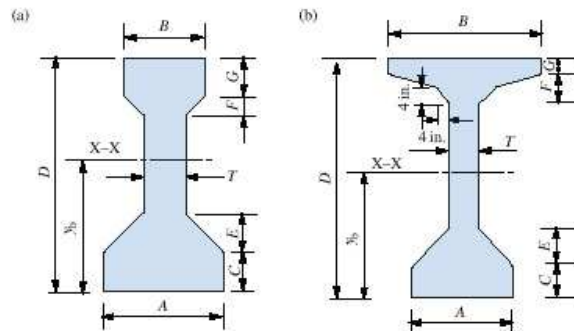


Jarak bentang, ft (m)	Dimensi penampang				Properti penampang		
	Lebar B, in. (mm)	Tinggi D, in. (mm)	D1, in. (mm)	D2, in. (mm)	A, in. ² (mm ² 10 ⁶)	I _x , in. ⁴ (mm ⁴ 10 ⁸)	S _x , in. ³ (mm ³ 10 ⁶)
25 (7.6)	48 (1,219)	12 (305)	0 (0)	0 (0)	576 (0.372)	6,912 (2.877)	1,152 (18.878)
30-35 (9.1-10.7)	48 (1,219)	15 (381)	8 (203)	8 (203)	569 (0.362)	12,897 (5.368)	1,720 (28.185)
40-45 (12.2-13.7)	48 (1,219)	18 (457)	10 (254)	10 (254)	628 (0.405)	21,855 (9.097)	2,428 (39.788)
50 (15.2)	48 (1,219)	21 (533)	12 (305)	10 (254)	703 (0.454)	34,517 (1.437)	3,287 (53.864)

Gambar 9.17. Potongan FHWA precast prestressed voided;

(a) tipikal potongan, dan (b) alternatif kunci geser

Sumber: Chen & Duan, 2000



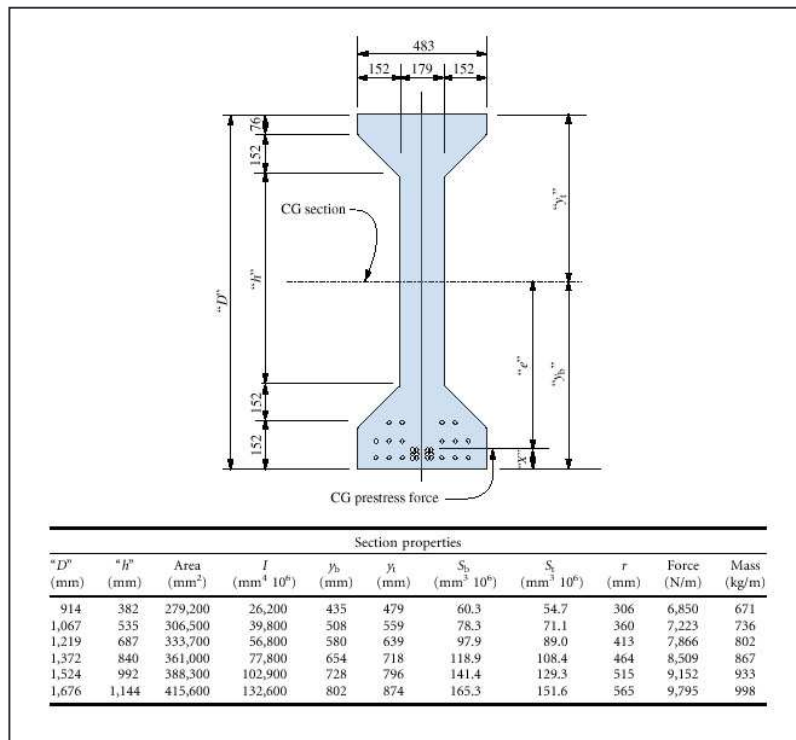
AASHTO beam type	Section dimensions in (mm)							
	Depth D	Bot width A	Web width T	Top width B	C	E	F	G
II	36 (914)	18 (457)	6 (152)	12 (305)	6 (152)	6 (152)	3 (76)	6 (152)
III	45 (1,143)	22 (559)	7 (178)	16 (406)	7 (178)	7.5 (191)	4.5 (114)	7 (178)
IV	54 (1,372)	26 (660)	8 (203)	20 (508)	8 (203)	9 (229)	6 (152)	8 (203)
V	65 (1,651)	28 (711)	8 (203)	42 (1,067)	8 (203)	10 (254)	3 (76)	5 (127)
VI	72 (1,829)	28 (711)	8 (203)	42 (1,067)	8 (203)	10 (254)	3 (76)	5 (127)

AASHTO beam type	Section properties					
	A, in. ² (mm ² 10 ⁶)	Y _x , in. (mm)	I _x , in. ⁴ (mm ⁴ 10 ⁸)	S _x , in. ³ (mm ³ 10 ⁶)	S _y , in. ³ (mm ³ 10 ⁶)	Span ranges, ft (m)
II	369 (0.2381)	15.83 (402.1)	50,980 (21.22)	3,220 (52.77)	2,528 (41.43)	40-45 (12.2-13.7)
III	560 (0.3613)	20.27 (514.9)	125,390 (52.19)	6,186 (101.38)	5,070 (83.08)	50-65 (15.2-19.8)
IV	789 (0.5090)	24.73 (628.1)	260,730 (108.52)	10,543 (172.77)	8,908 (145.98)	70-80 (21.4-24.4)
V	1013 (0.6535)	31.96 (811.8)	521,180 (216.93)	16,307 (267.22)	16,791 (275.16)	90-100 (27.4-30.5)
VI	1085 (0.7000)	36.38 (924.1)	733,340 (305.24)	20,158 (330.33)	20,588 (337.38)	110-120 (33.5-36.6)

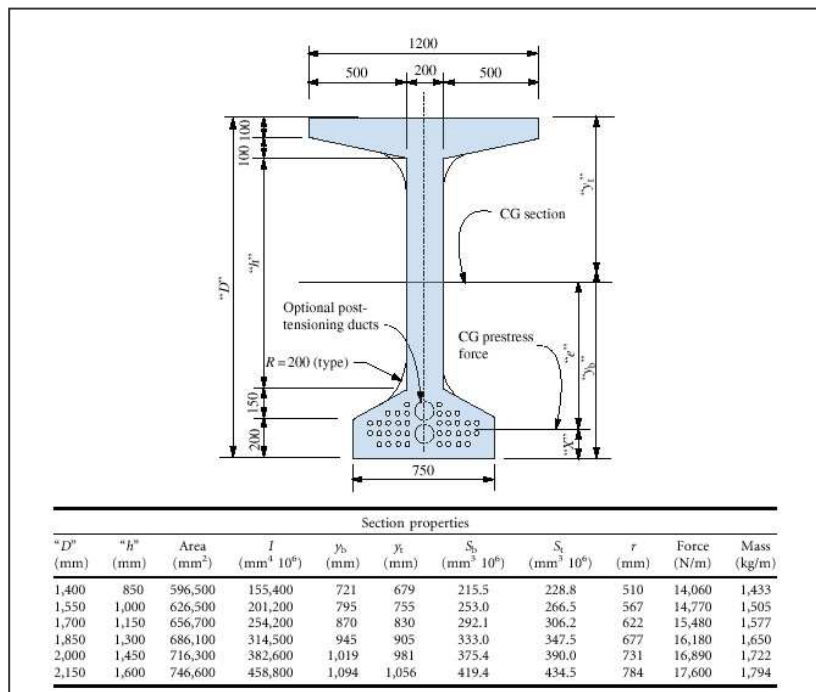
Gambar 9.18. Potongan AASHTO balok I;

(a) balok tipe II, III dan IV, dan (b) balok tipe V dan VI

Sumber: Chen & Duan, 2000



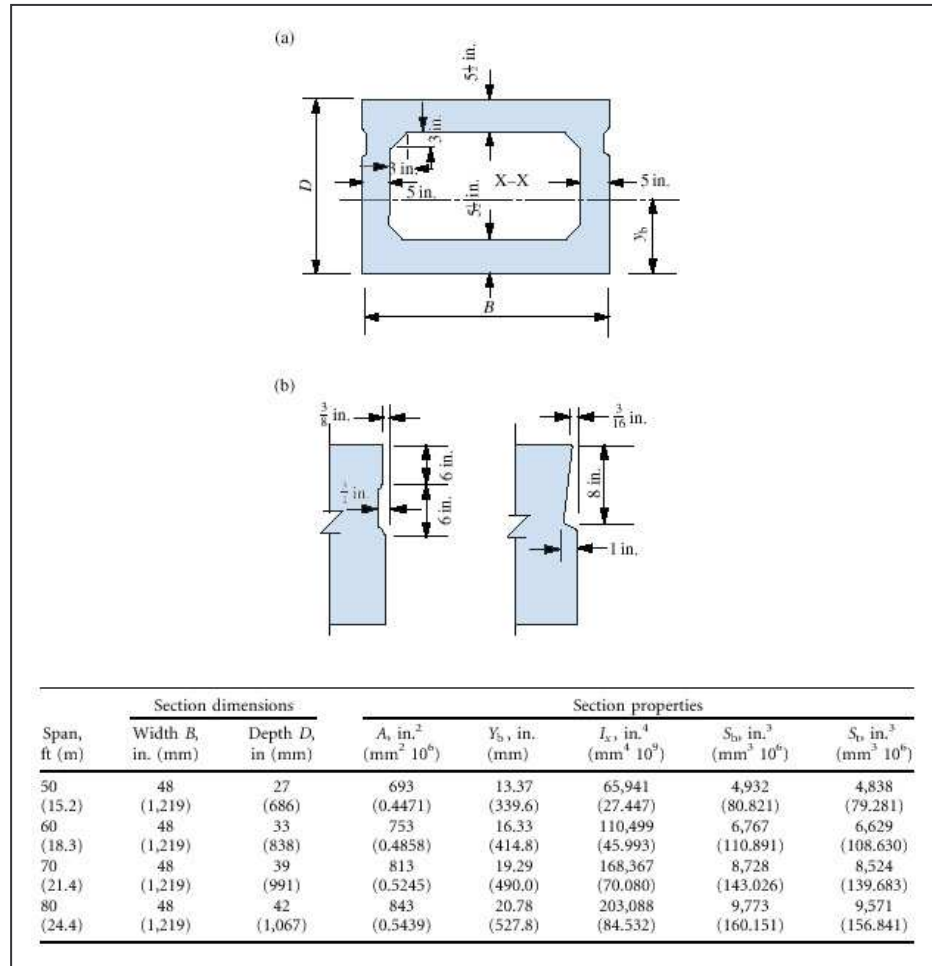
Gambar 9.19. Caltrans precast standard "I"-girder
Sumber: Chen & Duan, 2000



Gambar 9.20. Caltrans precast standard "Bulb-Tee" girder
Sumber: Chen & Duan, 2000

Gelagar Kotak

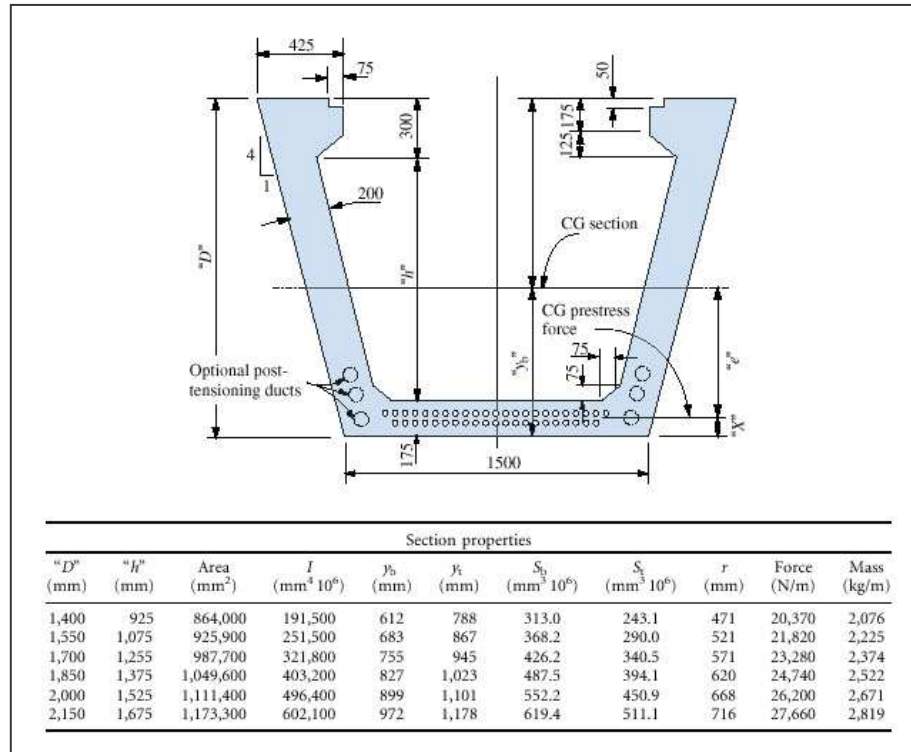
Gambar 9.21. menunjukkan standar tipe kotak precast dan Gambar 9.22. menunjukkan standar *precast* gelagar 'bathtub'. Dalam bentuk *cast-in-place* gelagar kotak beton pratekan serupa dengan gelagar kotak beton bertulang konvensional. Untuk bentang struktur 100 – 600 ft (30.5 – 182.9 m) jarak antar gelagar umumnya menggunakan dua kali lipat dari tebal struktur. Perbandingan tebal dan bentang struktur 0.045 untuk bentang sederhana dan 0.04 untuk bentang menerus. Bagian ini sering digunakan untuk bentang sederhana lebih dari 100 ft (30.5 m) dan sesuai untuk memperlebar kontrol defleksi. Sekitar 70 – 80 % sistem jembatan jalan raya di California terdiri dari jembatan gelagar kotak beton pratekan.



Gambar 9.21. Potongan FHWA precast pretensioned box:

(a) tipikal potongan dan (b) alternatif shear key

Sumber: Chen & Duan, 2000

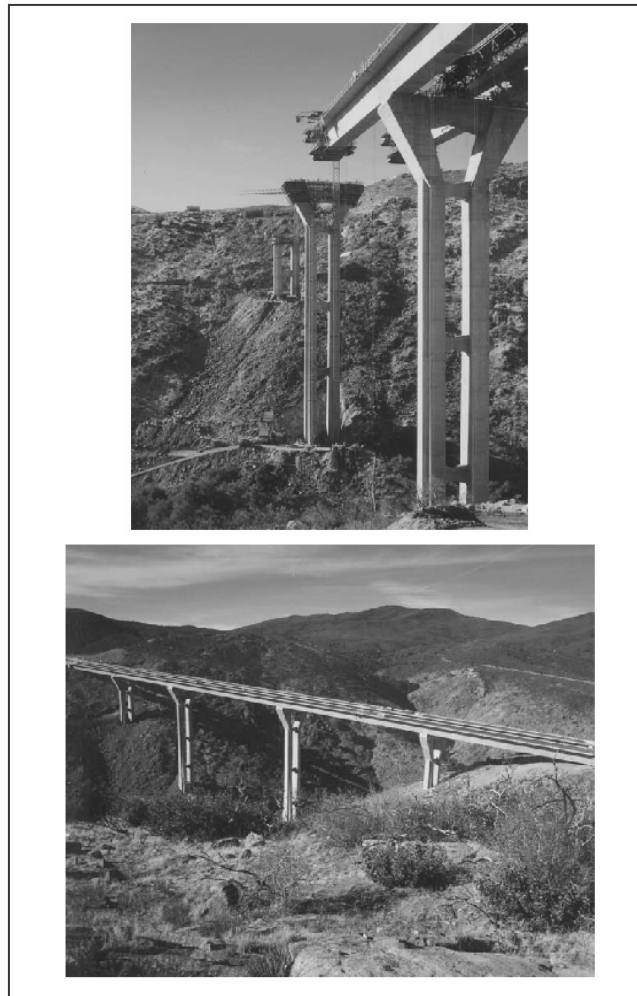


Gambar 9.22. Caltrans precast standard "bathtub" girder

Sumber: Chen & Duan, 2000

Segmental Jembatan Beton

Pembangunan jembatan beton yang terbagi menjadi beberapa segmen sukses dikembangkan dengan konsep kombinasi pratekan, gelagar kotak, dan konstruksi kantilever. Jembatan gelagar kotak dengan segmen pratekan telah dibangun pertama kali di Eropa Barat pada 1950. Jembatan California's Pine Valley seperti yang ditunjukkan gambar 9.23. terdiri 3 bentangan 340 ft (103.6 m), 450 ft (137.2 m), dan 380 ft (115.8 m) dengan pier setinggi 340 ft (103.6), merupakan jembatan cast-in-place segmental pertama yang dibangun di Amerika Serikat tahun 1974. Jembatan pratekan segmental dengan segmen pratekan atau cast-in-place dapat diklasifikasikan menurut metode konstruksi menjadi: (1) kantilever penyeimbang, (2) bentang per bentang, (3) pengadaan *incremental*, dan (4) pentahapan. Pemilihan antara segmen *cast-in-place*, pratekan atau berbagai metode konstruksi yang lain tergantung pada jenis proyek, kondisi lapangan, batasan lingkungan dan publik, waktu pelaksanaan konstruksi, dan ketersediaan alat.



Gambar 9.23. Jembatan California's Pine Valley

Sumber: Chen & Duan, 2000

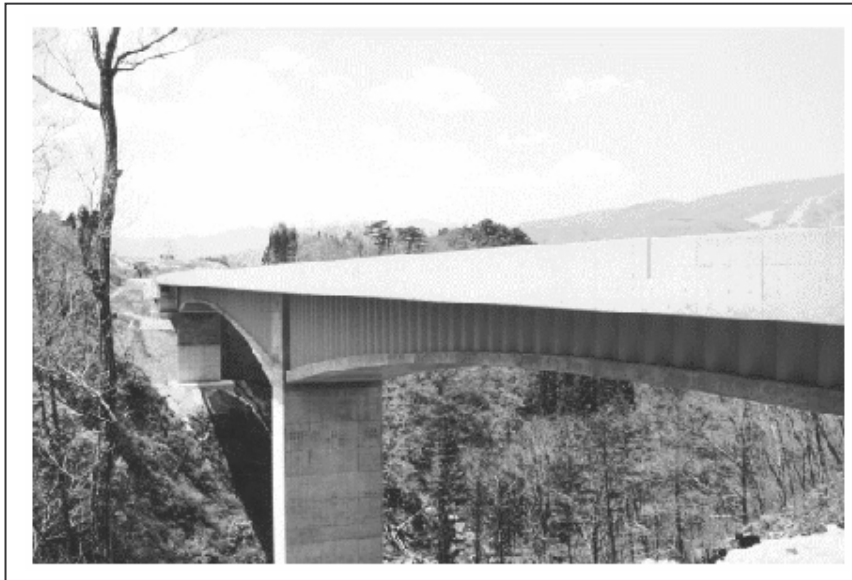
Tabel 9.3. menunjukkan daftar aplikasi segmen jembatan berdasarkan panjang bentangnya.

Tabel 9.3. Aplikasi tipe jembatan berdasar panjang bentangnya

Bentang, ft (m)	Tipe jembatan
0-150 (0- 45.7)	Gelagar tipe I pretension
100-300 (30.5-91.4)	Gelagar kotak cast-in-place posttension
100-300 (30.5-91.4)	Kantilever precast-balanced segmental, dengan ketebalan konstan
200-600 (61.0-182.9)	Kantilever precast-balanced segmental, dengan ketebalan bervariasi
200-1000 (61.0-304.8)	Kantilever cast-in-place segmental
800-1500 (243.8-457.2)	Kabel-stay dengan kantilever balanced segmental

F. Jembatan jaringan baja bergelombang / *corrugated steel web bridge*

Jembatan jaringan baja bergelombang digunakan dalam beton pratekan untuk mengurangi berat dan meningkatkan panjang bentang. Jaringan bergelombang mempunyai kelebihan tidak mengurangi kekuatan axial dengan efek akordion, sehingga kekuatan pratekan di dalam beton menjadi lebih efektif. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 9.24.



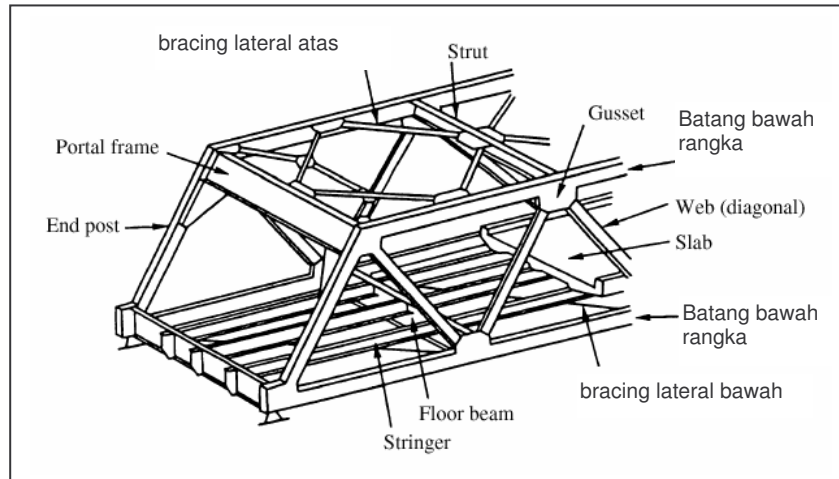
Gambar 9.24. Detail jembatan California's Pine Valley
Sumber: Chen & Duan, 2000

G. Jembatan Rangka Batang (*Truss Bridge*)

Struktur jembatan rangka batang ditunjukkan pada Gambar 9.25. yang menunjukkan jembatan dengan geladak yang berada pada level terendah dari penghubung antar bagiannya. Slab menahan beban hidup didukung oleh sistem balok lantai dan balok silang. Beban disalurkan ke rangka batang utama pada titik sambungan pada setiap sisi jembatan, hingga pada sistem lantai dan akhirnya pada penahan. Penguat lateral, yang juga berbentuk rangka batang, mengkaitkan bagian atas dan bawah penghubung untuk menahan kekuatan horisontal seperti angin dan beban gempa seperti momen torsi/puntir. Rangka portal pada pintu masuk merupakan transisi kekuatan horisontal dari bagian atas ke bagian substruktur.

Jembatan rangka batang dapat mengambil bentuk geladak jembatan yang melintasi jembatan. Pada contoh ini, slab beton menjulang ke atas, dan pengikat/penahan goyangan diletakkan di antara elemen vertikal dari dua rangka utama untuk menahan stabilitas lateral.

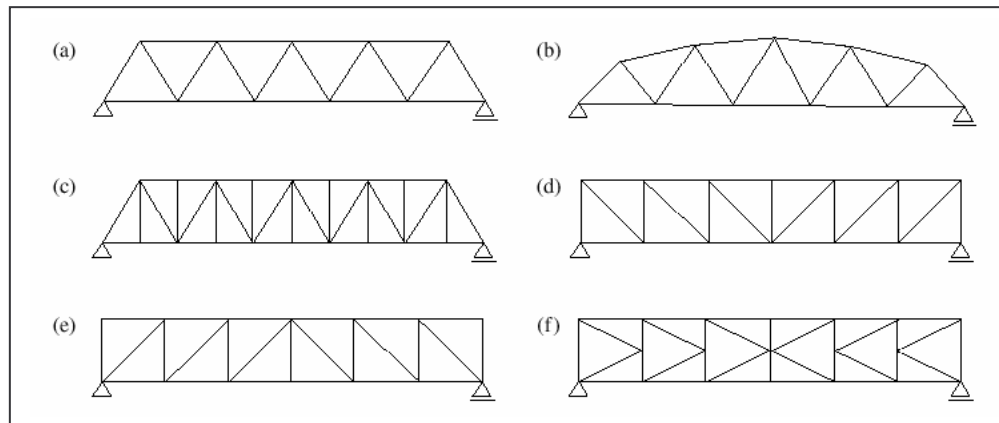
Rangka baja terdiri atas bagian atas dan bagian rendah yang dihubungkan oleh elemen diagonal dan vertikal (elemen web). Rangka tersebut akan bertindak sesuai dengan gaya balok di atas dan bawah rangkaian seperti sayap dan pengikat diagonal akan bertindak yang sama sebagai plat web. Rangkaian terutama akan menahan momen tekuk sedangkan elemen web akan menahan gaya geser. Rangka batang merupakan rangkaian batang-batang, juga bukan merupakan plat atau lembaran, sehingga merupakan alternatif termudah untuk didirikan di lokasi dan sering digunakan untuk jembatan yang panjang



Gambar 9.25. Jembatan rangka batang (truss)

Sumber: Chen & Duan, 2000

Jenis Rangka Batang



Gambar 9.26. Berbagai tipe rangka batang/truss:

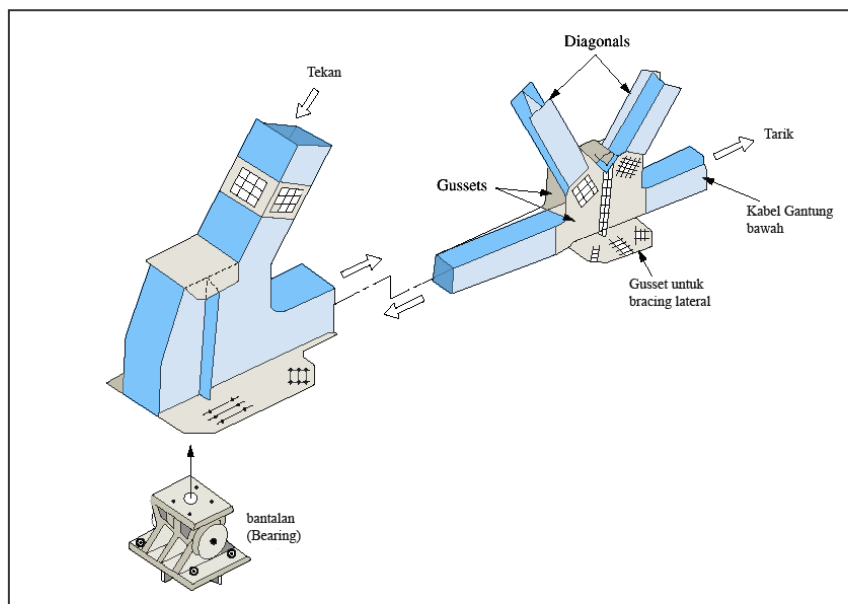
(a) Warren truss (dengan batang atas rangka lurus); (b) Warren truss (dengan batang atas rangka lengkung); (c) Warren truss dengan batang vertikal; (d) Pratt truss; (e) Howe truss; and (f) K-truss

Sumber: Chen & Duan, 2000

Pada gambar 9.26. ditunjukkan beberapa tipe rangka batang. Warren truss merupakan tipe yang paling umum dan rangka tersebut terbentuk dari segitiga samakaki yang dapat menahan gaya tekan dan gaya tarik. Elemen web Pratt truss berupa elemen vertikal dan diagonal. Elemen diagonal mengarah ke pusat dan hanya untuk menahan gaya tarik. Pratt truss sesuai untuk jembatan baja karena kemampuan menahan gaya tariknya sangat efektif. Elemen vertikal Pratt truss mendapat gaya tekan. Howe truss hampir sama dengan Pratt hanya elemen diagonalnya mengarah ke bagian akhir, menahan gaya tekan axial, dan elemen vertikal menahan gaya tarik. Jembatan kayu sering menggunakan Howe truss karena pada sambungan diagonal kayu lebih banyak mendapat gaya tekan. Dinamakan K-truss karena elemen web yang berbentuk "K" paling ekonomis pada jembatan besar karena panjang elemen yang pendek akan mengurangi resiko tekuk.

Analisa struktural dan tekanan sekunder

Truss adalah sebuah bentuk struktur batang, secara teoritis dihubungkan dengan engsel membentuk segitiga yang stabil. Rangka batang terbentuk dari unit berbentuk segitiga agar stabil. Elemen-elemen diasumsikan hanya untuk menahan regangan atau gaya tekan axial. Secara statika rangka batang dapat dianalisa hanya dengan menggunakan persamaan keseimbangan. Jika kurang dari stabilitas yang disyaratkan, maka tidak dapat ditentukan hanya dengan persamaan keseimbangan saja. Ketidakesesuaian penempatan harus diperhatikan. Ketidaktetapan internal maupun eksternal rangka batang sebaiknya diselesaikan dengan menggunakan perangkat lunak/program komputer.



Gambar 9.27. Titik sambung rangka batang

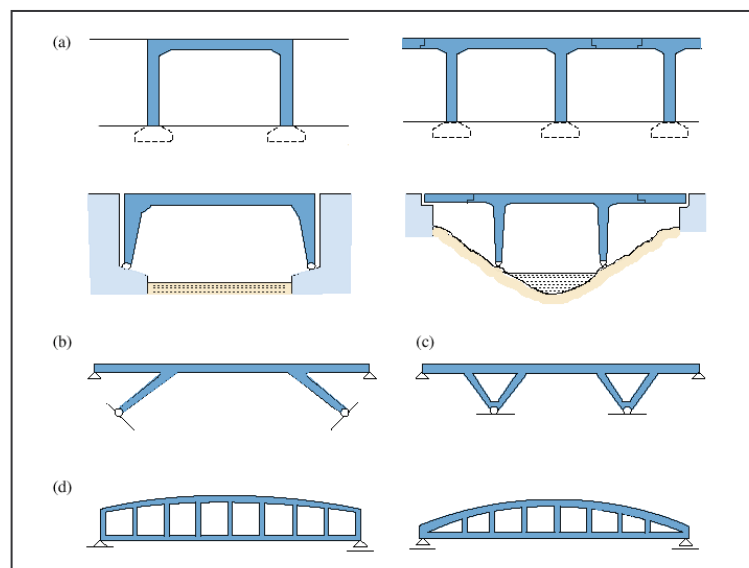
Sumber: Chen & Duan, 2000

Dalam prakteknya, elemen-elemen truss dihubungkan ke plat sambung dengan menggunakan baut berkemampuan tinggi (lihat gambar 9.27), bukan engsel rotation-free, sederhana karena lebih mudah di rangkai. Kondisi 'jepit' seperti teori tidak terlihat pada bidang tersebut. Ketidaksesuaian tersebut menyebabkan tegangan sekunder (tegangan tekung) pada elemen-elemen tersebut. Tegangan sekunder didapatkan dengan analisa struktural rangka kaku dan biasanya kurang dari 20% tegangan utama axial. Jika elemen rangka batang sudah direncanakan dengan baik, angka kelangsingan batang cukup besar dan tidak ada tekuk, maka tegangan sekunder dapat diabaikan.

H. Jembatan Rangka Kaku (Rigid Frame) / Jembatan Rahmen

Elemen-elemen dihubungkan secara kaku dalam struktur 'rahmen' atau rangka kaku. Tidak seperti truss dan jembatan lengkung yang akan dibicarakan pada bagian lain, seluruh elemen akan menerima baik gaya axial maupun momen tekuk. Gambar 9.28. berikut ini menunjukkan berbagai tipe jembatan rahmen.

Elemen jembatan rangka kaku lebih besar dari pada sebuah tipe bangunan. Konsekuensinya pemusatan tekanan terjadi di sambungan balok dan kolom sehingga harus direncanakan dengan tepat. Pendukung jembatan rahmen, engsel atau jepit, menjadikannya struktur yang tak tentu, sehingga tidak sesuai pada kondisi pondasi yang terbenam. Reaksi pendukung berupa kemampuan horisontal dan vertikal pada engsel dan dengan penambahan momen tekuk pada tumpuan jepit.



Gambar 9.28. Tipe jembatan rahmen:

(a) rangka portal; (b) I - Rahmen; (c) V-leg Rahmen; dan (d) Viennese Rahmen

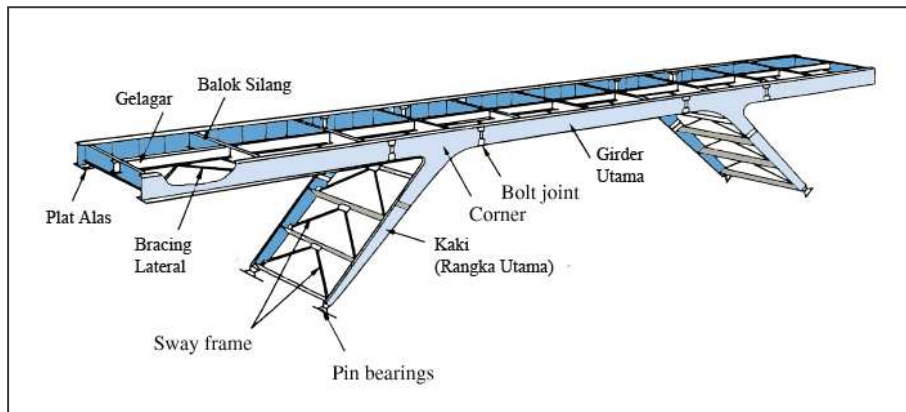
Sumber: Chen & Duan, 2000

Rangka Portal

Rangka portal adalah desain sederhana dan bisa dipergunakan secara luas untuk *pier* atau pendukung jembatan jalan raya yang diangkat karena ruang di bawahnya dapat digunakan secara efektif untuk jalan yang lain atau area parkir. Pendukung ini, telah dibuktikan penggunaannya pada gempa bumi Kobe di Jepang tahun 1995, lebih ulet sehingga akan lebih kuat dan mampu menyerap energi lebih banyak dari pada *pier* kolom tunggal.

π - Rahmen

Desain π - Rahmen biasanya digunakan untuk jembatan di daerah pegunungan dengan struktur pondasinya yang kuat dan kokoh sehingga dapat melintasi lembah dengan bentang yang relatif panjang. Selain itu dapat juga untuk jembatan yang melintasi jalan raya jalur cepat. Seperti yang ditunjukkan pada model struktur π - Rahmen gambar 9.29. Adanya dua lengan pendukung gelagar utama menyebabkan tegangan axial pada pusat panjang gelagar. Beban hidup pada geladak disalurkan pada gelagar utama melalui sistem lantai. Engsel tengah mungkin dimasukkan pada gelagar untuk membentuk gelagar gerber. Jembatan model A-V leg rahmen sama dengan jembatan π - Rahmen tetapi memungkinkan bentang yang lebih panjang tanpa gaya axial di pusat bentang gelagar.



Gambar 9.29. Jembatan π - Rahmen

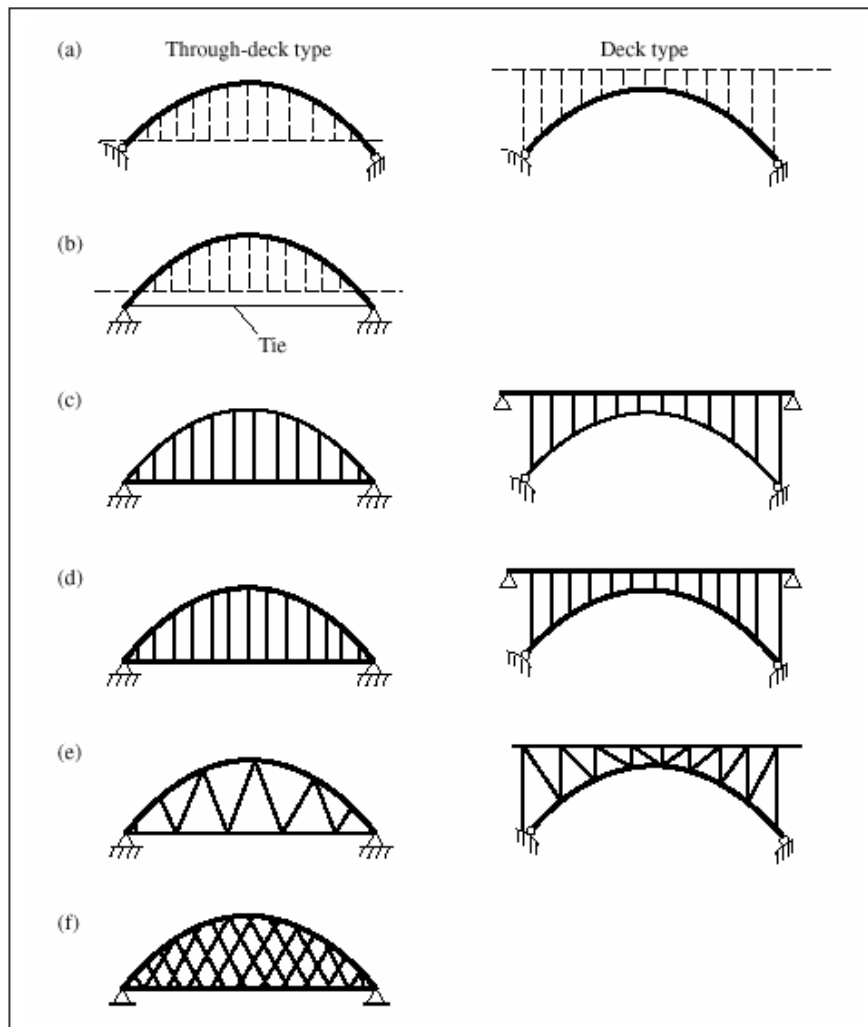
Sumber: Chen & Duan, 2000

Jembatan Vierendeel

Jembatan vierendeel merupakan rangka kaku dimana bagian atas dan bawah rangkaian dihubungkan secara kaku ke elemen vertikal. Seluruh elemen diarahkan ke arah axial dan gaya geser seperti momen lentur. Kondisi ini merupakan sistem internal yang sangat tidak tentu. Analisa rangka vierendeel harus mempertimbangkan tegangan sekunder. Bentuk jembatan ini lebih kaku daripada jembatan lengkung Langer atau Lohse yang hanya mempunyai elemen penahan gaya axial.

I. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Bingkai atau rusuk pelengkung seperti balok lingkaran yang tidak hanya vertikal tetapi juga horisontal pada kedua ujungnya, dan akan mendukung reaksi vertikal dan horisontal. Gaya horisontal akan menyebabkan tegangan axial yang akan menambah momen tekuk pada rusuk lengkung. Momen tekuk akan menyebabkan keseimbangan gaya horisontal dengan beban gravitasi. Dibandingkan dengan gaya axial, akibat momen tekuk biasanya kecil. Hal itulah yang menyebabkan mengapa lengkung sering dibuat dari bahan yang mampu menahan gaya tekan tinggi seperti beton, batu, atau batu bata.



Gambar 9.30. Berbagai tipe jembatan pelengkung

Sumber: Chen & Duan, 2000

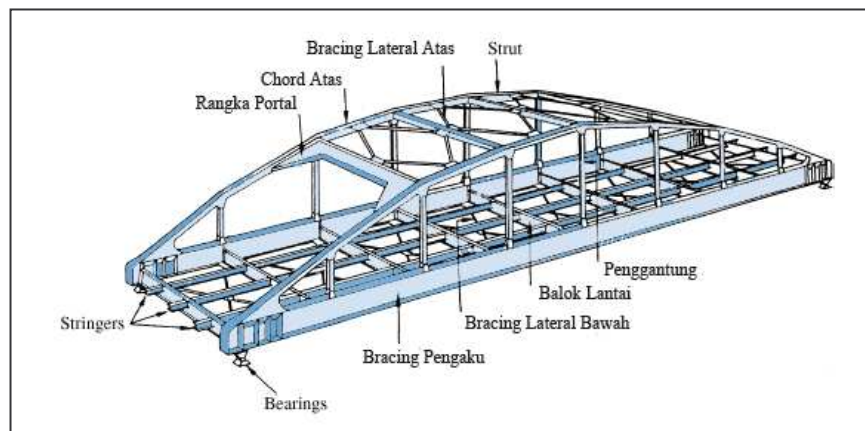
Tipe Pelengkung

Jembatan lengkung meliputi geladak jalan dan lengkung pendukung. Berbagai tipe pelengkung diperlihatkan pada Gambar 9.30. Garis tebal menunjukkan elemen penahan momen tekuk, geser dan gaya axial. Sedangkan garis tipis menunjukkan elemen yang hanya menerima gaya axial. Jembatan pelengkung dikelompokkan ke dalam geladak, dan tipe geladak tergantung lokasi permukaan jalan. Geladak pada semua tipe jembatan digantung oleh kolom vertikal maupun pelengkung penggantung, secara struktural sama dengan gaya axial, baik gaya tekan maupun gaya tarik pada elemen-elemennya. Perbedaananya terletak pada elemen vertikal geladak jembatan menahan gaya tekan dan penggantung menahan gaya tarik. Beban hidup hanya membebani pelengkung secara tidak langsung.

Tipe struktur dasar pelengkung adalah pelengkung 2 sendi/engsel. Pelengkung 2 sendi mempunyai satu derajat ketidakpastian eksternal karena terdapat 4 reaksi akhir. Jika satu sendi ditambahkan pada mahkota pelengkung, membentuk pelengkung 3 sendi, hal ini akan menjadikan lebih pasti/kokoh. Jika akhirnya diklem, menjadi pelengkung jepit/kaku, maka akan menjadi ketidakpastian tingkat ketiga. Pelengkung dibentuk oleh dua sendi dengan pengikat dan pendukung sederhana. Pelengkung yang diikat, secara eksternal dalam kondisi mantap, tetapi secara internal dalam kondisi satu derajat tingkat ketidakpastian. Struktur lantai tergantung pada pelengkung dan terpisah dari pengikat.

Jembatan Langer

Pelengkung Langer dianalisa dengan asumsi bahwa rusuk pelengkung hanya menahan gaya tekan axial. Rusuk pelengkung tipis, tetapi gelagar tebal dan mampu menahan momen dan geser sebaik gaya tarik axial. Gelagar jembatan langer dianggap sebagai rusuk pelengkung yang diperkuat. Gambar 9.31, menunjukkan komponen struktural jembatan Langer.



Gambar 9.31. Jembatan pelengkung Langer

Sumber: Chen & Duan, 2000

Jika diagonal digunakan pada web, disebut Langer *truss*. Perbedaan Langer *truss* dengan *truss* standar bahwa pada rangkaian bawah berupa gelagar sebagai pengganti batang. Jembatan Langer mantap sebagai eksternal dan tidak pasti secara internal. Jembatan Langer tipe geladak sering disebut "*reversed*" / kebalikan Langer.

Jembatan Lohse

Jembatan Lohse hampir sama dengan jembatan Langer, hanya saja jembatan Lohse lebih mampu menahan lentur di rusuk pelengkung seperti halnya gelagar. Dengan asumsi tersebut, jembatan Lohse lebih kaku daripada jembatan Langer. Distribusi momen lentur pada rusuk pelengkung dan gelagar tergantung pada rasio kekakuan dua elemen yang ditetapkan perancang. Jembatan pelengkung Lohse dapat dianggap sebagai balok terikat yang dihubungkan dengan elemen vertikal. Elemen vertikal diasumsikan hanya menahan gaya axial. Secara estetika Lohse lebih mengagumkan dibanding Langer dan lebih sesuai untuk daerah perkotaan sedangkan Langer untuk daerah pegunungan.

Jembatan Pelengkung *Truss* dan Pelengkung Nielsen

Umumnya elemen diagonal tidak digunakan pada jembatan pelengkung karena akan mempersulit analisa struktural. Bagaimanapun, kemajuan teknologi komputer mengubah pandangan tersebut. Tipe baru jembatan pelengkung, seperti pelengkung *truss* yang menggunakan batang diagonal *truss* pada elemen vertikal atau desain Nielsen Lohse yang menggunakan batang tarik sebagai diagonal. Elemen web diagonal meningkatkan kekakuan pada jembatan melebihi elemen vertikal.

Seluruh elemen jembatan *truss* hanya menahan gaya axial. Di lain pihak, jembatan *truss* pelengkung menahan lentur dengan rusuk lengkung, gelagar, atau keduanya. Karena diagonal jembatan Nielsen Lohse hanya menahan gaya tarik axial, mereka mendapat tekanan sebelumnya oleh beban mati untuk mengimbangi gaya tekan oleh beban hidup.

J. Bentuk Struktur Jembatan yang Lain

Bentuk struktur jembatan lain yang dikenal adalah jembatan kabel. Jembatan kabel pendukung atau jembatan kabel penggantung digambarkan sebagai jembatan dengan geladak yang didukung oleh kabel fleksibel. Pada prinsipnya jembatan tersebut diklasifikasikan menjadi tipe gantung dimana geladak jembatan didukung menerus oleh kabel *catenary* yang direntangkan, tipe *cable-stayed* (tarik) dimana geladak terpisah dan digantung langsung dengan kabel penarik (*stay*), dan tipe kombinasi keduanya. Struktur gantung dan tarik dapat diaplikasikan untuk atap dan bangunan.

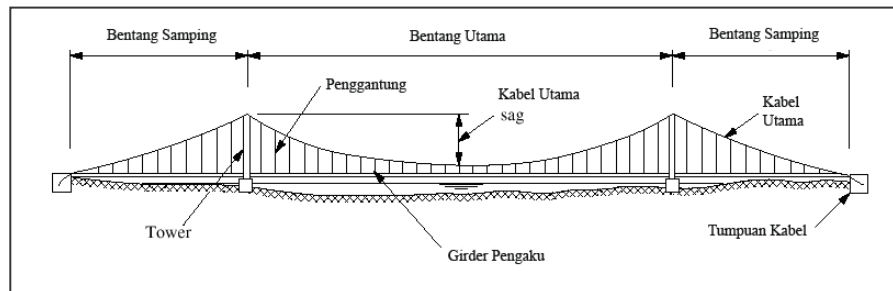
Meskipun beban mekanisme penahan berbeda, jembatan gantung dan jembatan *cable-stay* (tarik) secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:

- Terdiri dari kabel, geladak jembatan dengan gelagar *solid-web* atau rangka batang, dan menara.
- Menguntungkan untuk bentang panjang karena kabel terpusat hanya untuk tarik. Kawat (*wire*) baja terdiri dari kabel berkekuatan tarik yang sangat tinggi, meskipun lebih ekonomis untuk penggunaan pada jembatan pejalan kaki dengan bentang pendek hingga medium.
- Keseluruhan struktur lebih fleksibel dibandingkan dengan struktur lain pada bentang yang sepadan.
- Struktur yang lengkap dapat didirikan tanpa penyangga lanjutan dari tanah.
- Struktur utamanya rapi dan menunjukkan fungsinya dengan tampilan transparan.

Jembatan Gantung

Komponen jembatan gantung (Gambar 9.32) berupa

- Kabel utama yang menggantung gelagar jembatan
- Menara utama mendukung kabel utama. Kadang-kadang subtower yang lebih rendah diletakkan di antara menara utama dan kabel pengangker untuk mengarahkan kabel menuju pengangkeran.
- Gelagar pengaku, baik gelagar *solid-web* maupun *truss*, akan disatukan dengan geladak jembatan
- Penggantung (*hanger* atau *suspender*) akan menghubungkan geladak jembatan dengan kabel utama
- Pengangkeran, merupakan angker kabel utama. Biasanya berupa blok beton masif tempat bingkai angker ditanam.



Gambar 9.32. Jembatan Gantung

Sumber: Chen & Duan, 2000

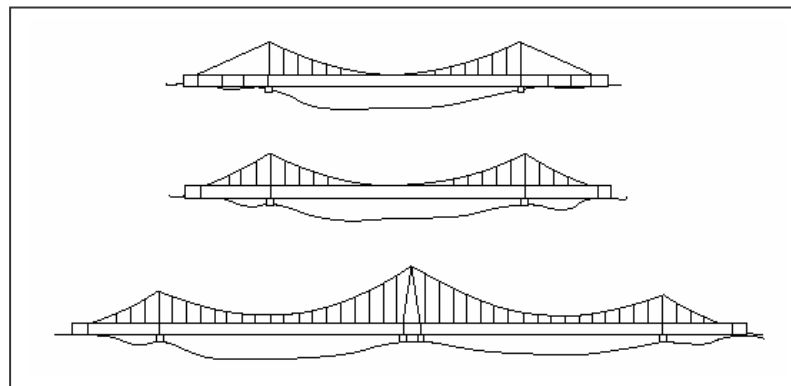
Sistem struktur jembatan gantung dapat diklasifikasikan berdasarkan faktor:

- Jumlah bentang
Jembatan gantung mungkin berupa bentang tunggal, bentang dua, bentang tiga, atau bentang banyak (Gambar 9.33). Jumlah menara

utama satu untuk bentang dua, dua untuk bentang tunggal dan bentang tiga, dan lebih dari dua untuk bentang banyak. Jembatan gantung bentang dua jarang digunakan karena kurang efisien. Jembatan gantung bentang tunggal mempunyai backstays lurus. Jembatan gantung bentang tiga yang paling umum dipakai terutama untuk jembatan bentang panjang dengan perbandingan bentang samping – bentang utama 0.2 – 0.5. Meskipun jembatan gantung bentang banyak jarang digunakan karena fleksibilitasnya besar, dapat diterapkan untuk dipelajari melintasi selat di masa mendatang. Perhatian utama untuk jembatan gantung bentang banyak adalah perencanaan menara antara dan kabel pendiriannya.

- Urutan pengakuan gelagar.

Pengakuan gelagar secara sederhana didukung pada setiap bentang atau menerus melewati dua atau lebih bentang. Bentuk itu disebut dua sendi dan umumnya digunakan untuk jembatan jalan. Meskipun gelagar menerus dengan pendukung antara tidak ekonomis, hal itu menguntungkan untuk jembatan rel untuk meningkatkan kelancaran kereta api.



Gambar 9.33. Jembatan gantung bentang satu, tiga , dan banyak

Sumber: Chen & Duan, 2000

- Pengaturan gantungan
Gantungan ada yang vertikal maupun horisontal. Bahkan kini stuktur gantung dibuat seperti rangka batang yang disatukan dengan kabel utama dan geladak jembatan.
- Metode pengangkeran kabel
Kabel utama jembatan gantung diangkerkan kepada blok angker atau diangkerkan sendiri ke gelagar pengaku.

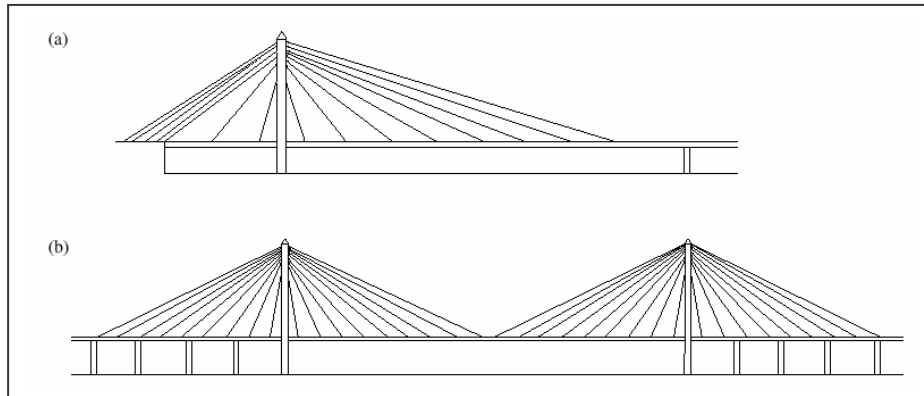
Jembatan Kabel Tarik (*Cable-Stayed Bridge*)

Kemungkinan desain jembatan kabel tarik (Gambar 9.34) sangat banyak karena banyaknya variasi alternatif untuk konfigurasi, sistem struktur, dan kekakuan relatif dari setiap elemen. Hal itulah yang menyebabkan mengapa jembatan kabel tarik dapat diaplikasikan bukan

hanya untuk jembatan yang sangat panjang tetapi juga bisa untuk jembatan pejalan kaki berbentang pendek. Berlawanan dengan jembatan gantung, jembatan kabel tarik merupakan sistem struktur tertutup, dengan kata lain lebih ke arah sistem *self-anchored*. Karena jembatan kabel tarik dapat dibangun tanpa blok angker yang besar dan penyangga temporer, akan sangat menguntungkan diterapkan pada daerah di mana kondisi lahan tidak terlalu baik.

Jika dibandingkan dengan jembatan gantung, jembatan kabel tarik lebih kaku karena kabel lurus hingga mendekati batas panjang bentang yang mungkin lebih panjang dari sebelumnya.

Meskipun struktur bentang tiga paling umum digunakan, tetapi struktur dengan bentang dua bisa diterapkan dalam jembatan kabel tarik. Apabila sisi bentang sangat pendek, semua atau beberapa kabel tarik diangkerkan ke tanah. Angker tanah jembatan kabel menyebabkan seluruh struktur menjadi kaku dan lebih menguntungkan perencanaan jembatan kabel tarik yang sangat panjang.



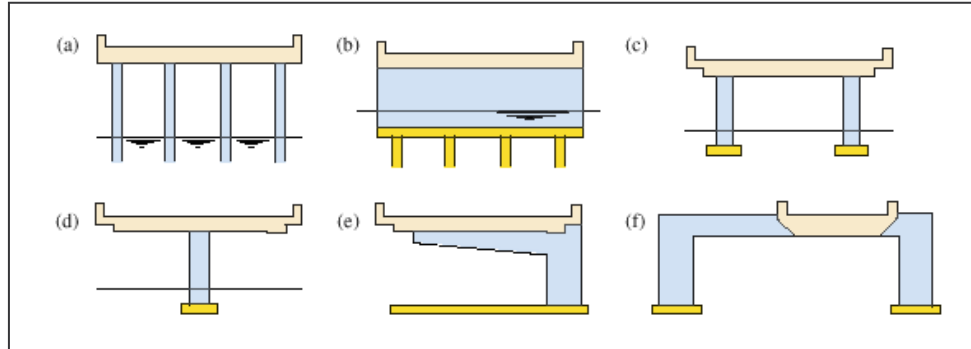
Gambar 9.34. Jenis jembatan kabel tarik: (a) jembatan bentang dua dengan angker tanah dan (b) jembatan bentang tiga dengan pendukung antara di sisi bentang
Sumber: Chen & Duan, 2000

9.2. Elemen Struktur Jembatan

Elemen struktur jembatan secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu elemen sub struktur (bagian bawah) dan super struktur (bagian atas). Substruktur jembatan menyalurkan beban dari super struktur ke telapak dan pondasi. Elemen sub struktur ini termasuk elemen struktur pendukung vertikal bagian tengah (*pier* atau *bent*) dan pendukung pada bagian akhir (*abutmen*)

9.2.1. *Bent* Tiang

Perluasan tiang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.35.a. digunakan untuk slab dan jembatan balok-T. Biasanya digunakan untuk melintasi sungai bila keberadaannya tidak menjadi masalah.



Gambar 9.35. Substruktur jembatan, pier dan bent:

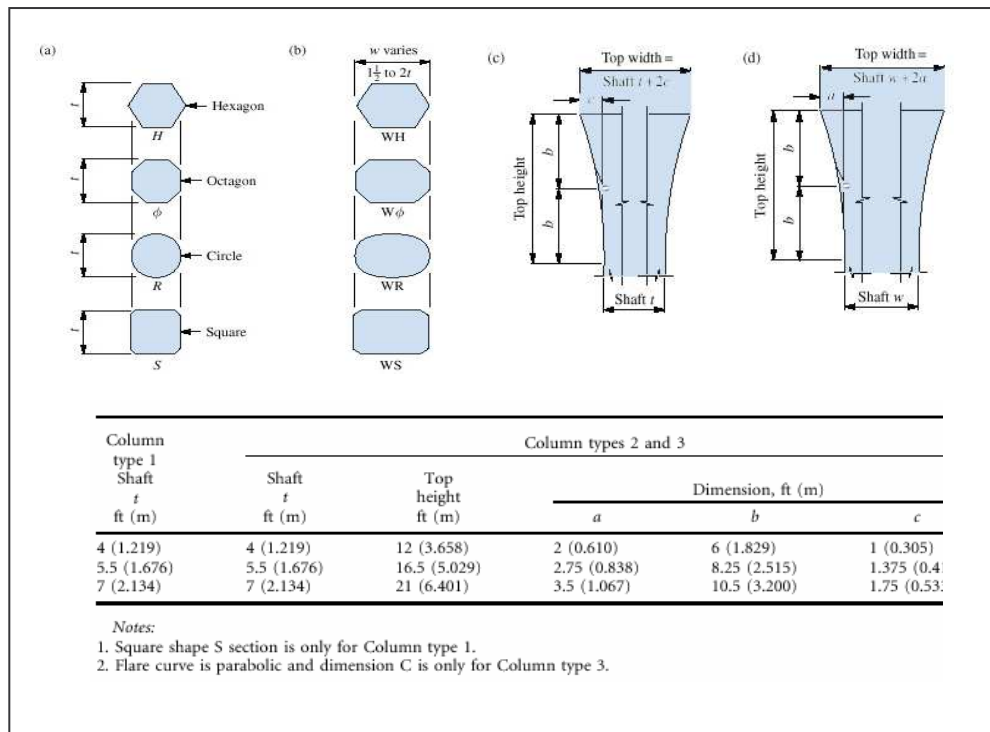
(a) *bent* tiang, (b) *pier solid*, (c) *bent* kolom, (d) *bent* "T", (e) *bent* "C" dan (f) *bent* outrigger
Sumber: Chen & Duan, 2000

9.2.2. *Pier solid*

Gambar 9.35.b. menunjukkan sebuah bentuk *pier solid* yang digunakan pada kondisi sungai berarus deras. Biasanya digunakan untuk bentang panjang dan dapat didukung oleh pondasi telapak yang lebar atau pondasi tiang.

9.2.3. *Bent* Kolom

Bent kolom [Gambar 9.35.(c)] biasanya digunakan untuk struktur tanah kering dan didukung oleh pondasi telapak atau pondasi tiang. *Bent* berkolom banyak diperlukan untuk jembatan yang terletak pada zona gempa. *Bent* berkolom tunggal, seperti *bent-T* [Gambar 9.35.(d)], modifikasi *bent-T*, *bent-C* [Gambar 9.35.(e)], atau *outrigger bent* [Gambar 9.35.(f)] dapat digunakan pada kondisi perletakan kolom terbatas dan tidak mungkin diubah. Untuk memperoleh tampilan menarik dengan bentuk kolom standar yang murah, Caltrans mengembangkan 'Standar Kolom Arsitektural' (Gambar 9.36). Bentuk prisma pada kolom tipe 1 dan 1W, mengembang 1 arah pada kolom tipe 2 dan 2W, dan mengembang dua arah untuk kolom tipe 3 dan 3W. Pengembangan model-model ini dapat digunakan untuk berbagai variasi jembatan jalan raya.



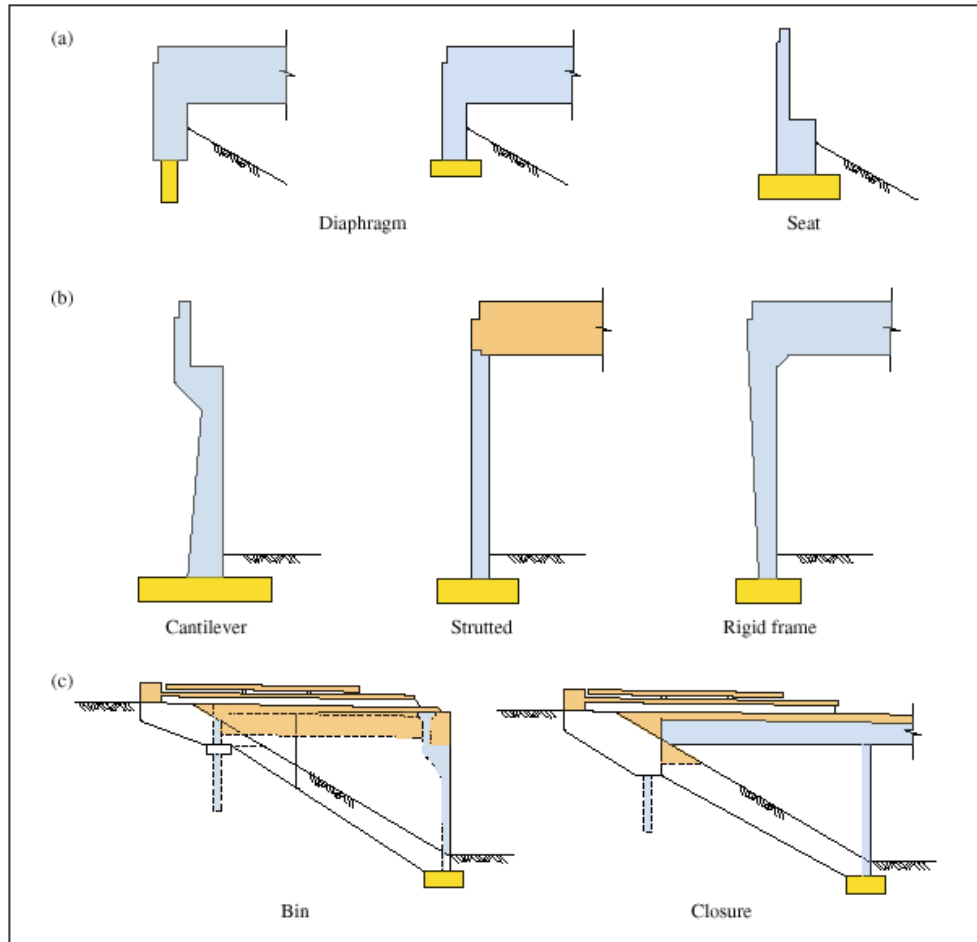
Gambar 9.36. Standar kolom arsitektural Caltrans:

(a) kolom tipe 1,2,3; (b) kolom tipe 1W, 2W, 3W; (c) tampak samping, dan (d) tampak depan

Sumber: Chen & Duan, 2000

9.2.4. Abutmen

Abutmen merupakan pendukung akhir sebuah jembatan. Gambar 9.37 menunjukkan tipikal abutmen yang digunakan untuk jembatan jalan raya. Tujuh tipe abutmen dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori yaitu akhiran terbuka dan tertutup. Pemilihan tipe abutmen tergantung pada kebutuhan pendukung struktural, pergerakan, drainase, kedekatan jalan dan gempa bumi.



Gambar 9.37. Jenis-jenis abutmen:

(a) *open end*, (b) *close end – backfilled*, dan (c) *close end - cellular*
 Sumber: Chen & Duan, 2000

Abutmen dengan akhiran terbuka (*open end*)

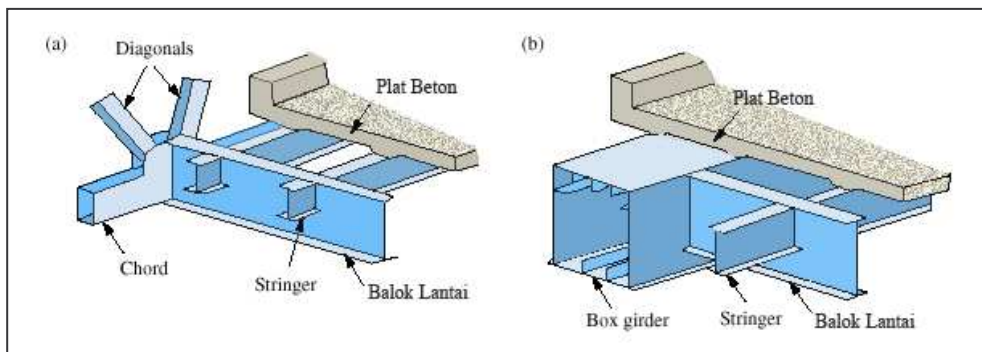
Abutmen akhiran terbuka meliputi sekat dan dudukan abutmen. Paling sering digunakan dengan harga lebih ekonomis, mudah disesuaikan, dan bentuk yang menarik. Perbedaan struktural mendasar antara kedua tipe tersebut adalah dudukan abutmen memungkinkan superstruktur bergerak sendiri dari abutmen sedangkan sekatnya tidak. Jika dinding abutmen rendah, maka perlu penyelesaian yang lebih sedikit pada bagian yang mendekati jalan daripada kondisi yang lebih tinggi pada abutmen tertutup. Pelebaran pada abutmen terbuka juga lebih murah daripada abutmen tertutup.

Abutmen dengan akhiran tertutup (*close end*)

Abutmen akhiran tertutup meliputi kantilever, penopang, rangka kaku, bin dan penutup abutmen. Meskipun secara umum tipe ini jarang dipergunakan, tetapi sering digunakan untuk memperlebar jembatan, tapak yang tidak biasa, atau pada area penempatan yang terbatas. Abutmen rangka kaku biasa digunakan dengan tipe tunnel penghubung bentang tunggal dan struktur yang melebihi batas untuk melewati jalan tersebut. Struktur pendukung bersebelahan dengan jalur lalu lintas yang memerlukan biaya awal yang tinggi dan tampak lebih tertutup pada daerah yang mendekati jalan raya.

9.2.5. Sistem Lantai

Sistem lantai jembatan biasanya terdiri dari geladak yang ditopang oleh gelagar. Geladak akan menerima langsung beban hidup. Rangkaian balok lantai (*beam* dan *stringer*) seperti yang terlihat pada Gambar 9.38. membentuk kisi-kisi dan meneruskan beban dari geladak ke gelagar utama. Rangkaian balok digunakan untuk membentuk jembatan seperti pada *truss*, *Rahmen*, dan jembatan pelengkung, dimana jarak gelagar utama dan *truss* diatur besar. Di bagian atas geladak tipe jembatan gelagar datar, geladak didukung langsung oleh gelagar utama dan jarang terdapat sistem lantai karena gelagar utama tersusun paralel dan saling menutupi. Sistem lantai jembatan dibedakan untuk jalan raya atau jalan kereta api. Material yang digunakan dibedakan atas beton, baja, atau kayu.



Gambar 9.38. Sistem lantai:

(a) jembatan *truss*, dan (b) jembatan gelagar kotak
Sumber: Chen & Duan, 2000

Balok *Stringer*

Balok *stringer* mendukung langsung geladak dan menyalurkan beban ke balok lantai seperti yang terlihat pada gambar sistem lantai (Gambar 9.39) Balok ditempatkan ke arah membujur seperti gelagar utama pada jembatan gelagar datar dan memberikan dukungan yang sama.

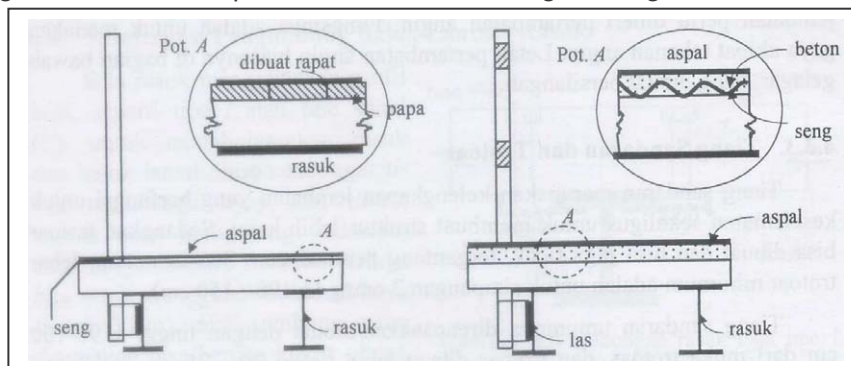
Balok *stringer* harus cukup kaku untuk menahan lentur untuk mencegah retakan pada geladak atau permukaan jalan. Desain jembatan umumnya memberikan batas ketinggian sesuai dengan berat kendaraan.

Balok Lantai

Balok lantai ditempatkan ke arah melintang dan dihubungkan oleh baut berkekuatan tinggi ke rangka *truss* atau pelengkung seperti pada gambar sistem lantai (Gambar 9.38). Balok lantai mendukung balok *stringer* dan menyalurkan beban ke gelagar utama, rangka batang, atau pelengkung. Di sisi lain, rangka utama atau pelengkung menerima pembebanan secara tidak langsung melalui balok lantai. Balok lantai juga membuat kaku jembatan dan meningkatkan kemampuan menahan puntir.

Lantai jembatan berfungsi sebagai lantai untuk lalu lintas, merupakan balok yang disusun sedemikian rupa sehingga mampu mendukung beban. Biasanya dipasang dalam arah melintang jembatan, di atas gelagar (rasuk)

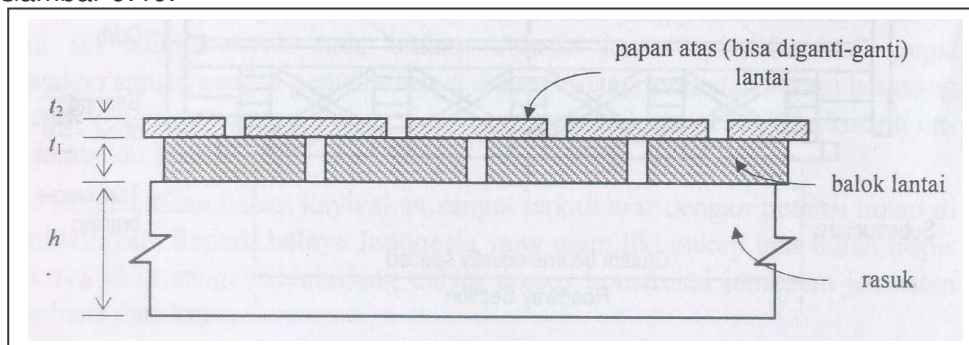
Agar balok lantai jembatan lebih baik, dapat diberi lapisan aus permukaan berupa aspal atau beton (Gambar 9.39). Bila diberi aspal maka balok lantai jembatan harus disusun rapat tanpa spasi, sedang bila menggunakan beton dapat dikombinasikan dengan seng.



Gambar 9.39. Penggunaan lapis aus untuk lantai jembatan

Sumber: Supriyadi & Muntohar, 2007

Bila bahan aspal dan beton sulit didapat atau tidak tersedia, dapat menggunakan papan (kayu) yang disusun di atas balok lantai seperti pada Gambar 9.40.

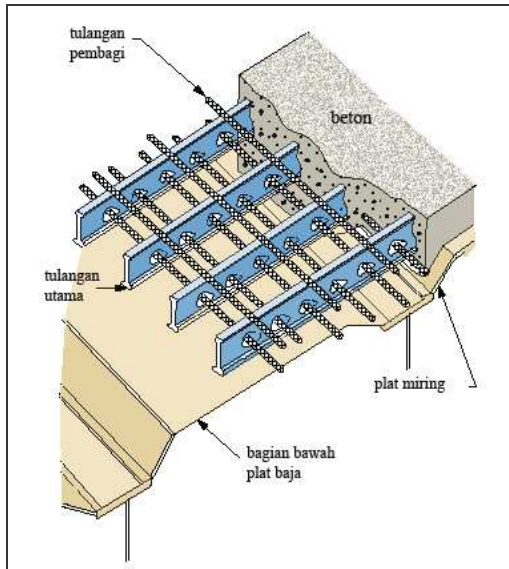


Gambar 9.40. Lantai dengan menggunakan kayu

Sumber: Supriyadi & Muntohar, 2007

9.2.6. Geladak

Geladak beton



Gambar 9.41. Geladak komposit

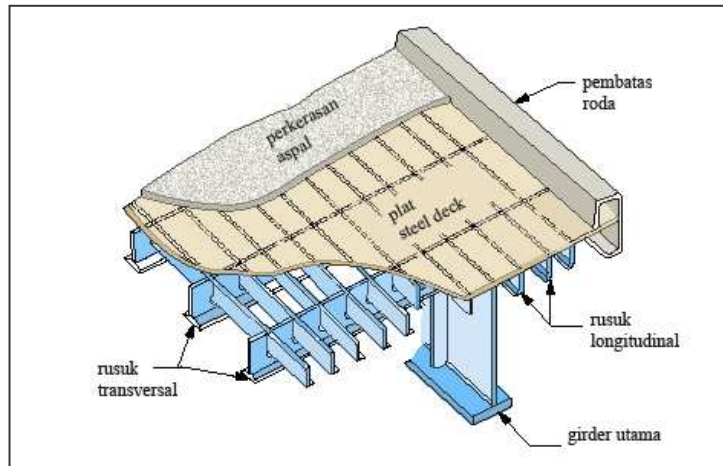
Sumber: Chen & Duan, 2000

Slab geladak beton bertulang umumnya digunakan pada jembatan jalan raya. Geladak paling rawan terhadap kerusakan akibat arus lalu lintas, yang berlangsung terus menerus. Jalan raya perkotaan mendapat beban lalu lintas yang berat dan memerlukan lebih sering perbaikan.

Slab geladak komposit (Gambar 9.41) dikembangkan menjadi lebih kuat, lebih daktail, dan lebih awet tanpa meningkatkan beratnya atau jangka waktu pelaksanaan maupun pembiayaannya. Pada slab komposit plat dasar baja menjadi bagian dari slab sekaligus bekesting beton.

Geladak Orthotropic

Untuk bentang panjang, geladak orthotropic digunakan untuk meminimalkan berat geladak. Geladak orthotropic merupakan plat geladak



Gambar 9.42. Geladak Orthotropic

Sumber: Chen & Duan, 2000

baja yang diberi pengaku rusuk membujur dan melintang seperti yang terlihat pada gambar 9.42. Geladak baja juga bekerja sebagai sayap atas

untuk menopang gelagar. Jalan (*pavement*) pada geladak baja harus diselesaikan dengan hati-hati untuk mencegah penetrasi air melalui jalan yang dapat menyebabkan geladak baja berkarat.

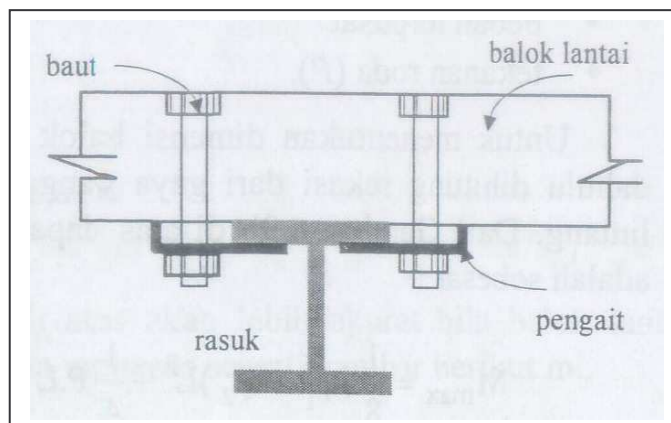
9.2.7. Gelagar

Gelagar jembatan akan mendukung semua beban yang bekerja pada jembatan. Bahan gelagar berupa bahan kayu dan atau profil baja berupa kanal, profil H atau I. Penggunaan bahan baja akan memberikan kekuatan struktur yang lebih baik dibandingkan bahan kayu. Akan tetapi, bila kondisi tidak memungkinkan dapat digunakan bahan kayu, yang berupa balok tunggal atau balok susun tergantung perencanaannya.

Untuk kontrol, lendutan ijin jembatan tidak boleh dilampaui. Untuk mengurangi atau memperkecil lendutan dapat dilakukan dengan menambahkan balok melintang sebagai perkuatan sekaligus untuk meratakan beban. Pada bentang jembatan lebih dari 8 m, perlu ditambahkan pertambahan angin untuk menahan gaya akibat tekanan angin guna memperkaku konstruksinya. Letak pertambahan angin biasanya di bagian bawah gelagar dan dibuat bersilangan.

9.2.8. Konstruksi penghubung balok lantai - gelagar

Bila rasuk menggunakan profil baja (tipe I atau kanal), maka untuk menghubungkan rasuk dan balok lantai diusahakan agar tidak melubangi sayap rasuk, karena akan mengurangi kekuatan struktur jembatan (lihat Gambar 9.43). Berbeda dengan bila rasuk menggunakan bahan kayu (balok kayu), alat sambung yang digunakan bisa berupa kokot-baut, baut, atau kokot-paku.



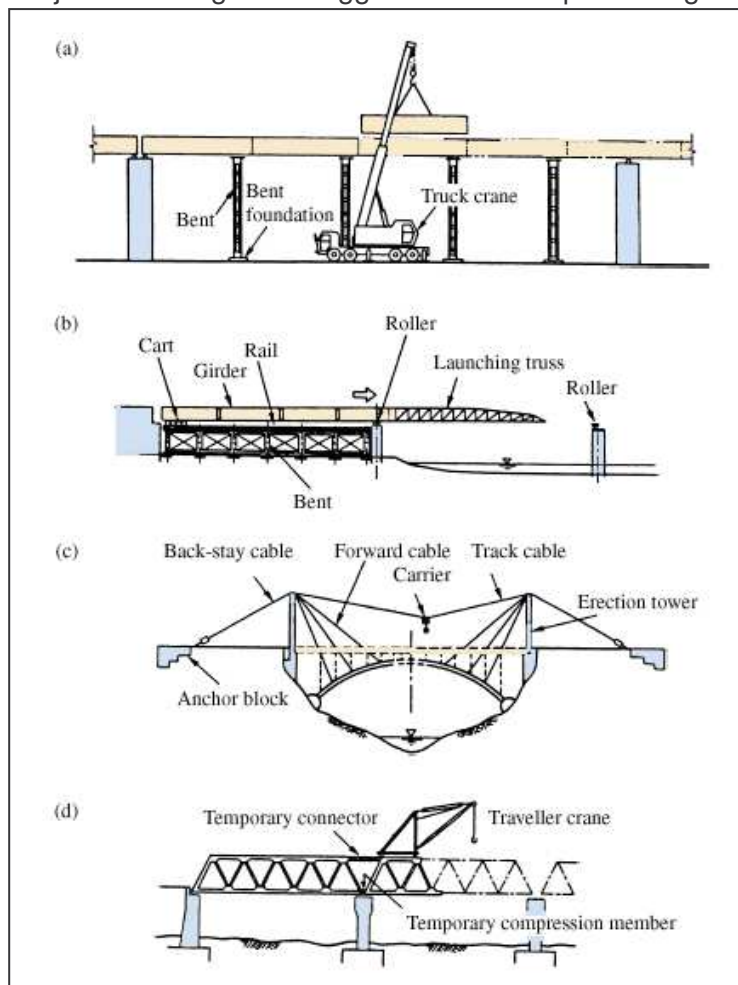
Gambar 9.43. Hubungan rasuk baja tipe I dan balok lantai

Sumber: Supriyadi & Muntohar, 2007

9.3. Pendirian Jembatan

Pada waktu perencanaan harus diperhatikan bahwa pemasangan harus dapat dikerjakan semudah-mudahnya. Setiap jembatan yang akan dibuat mempunyai rencana pemasangan tersendiri (Gambar 9.44) tergantung keadaan setempatnya seperti ketersediaan jalan untuk memasukkan bagian-bagian jembatan tersebut, ruang kerja pada tempat tersebut, tempat perletakan bahan-bahannya, serta apakah pelaksanaan pembangunan tersebut akan mengganggu lalu lintas dan sebagainya.

Biaya pemasangan atau pelaksanaan merupakan bagian penting dari biaya pembangunan secara keseluruhan. Kondisi ini terkadang membuat konstruksi yang lebih mahal menjadi pilihan dengan pertimbangan konstruksi menjadi lebih ringan sehingga lebih mudah pemasangannya.



Gambar 9.44. Metode pendirian;

(a) truck crane dan bent erection, (b) launching erection (c) cable erection; dan (d) cantilever erection

Sumber: Chen & Duan, 2000

Perancang harus mempertimbangkan pembebanan yang terjadi selama pembangunan, yang biasanya berbeda dengan persiapan. Komponen jembatan baja cenderung mengalami tekuk selama pembangunan. Rencana pendirian harus dibuat sebelum desain utama dan harus diperiksa kekuatan dan stabilitas setiap beban yang mungkin timbul pada saat pendirian. Truk crane dan bent erection/staging erection, awal pendirian, kabel pendirian, pendirian kantilever, dan pendirian blok besar (atau pendirian crane apung) memerlukan beberapa teknik tertentu.

9.3.1. Pendirian Jembatan Baja Dikeling atau Dibaut

Pendirian struktur jembatan baja dikeling atau dibaut ini bisa dilaksanakan melalui dua cara, yaitu:

- a. Jembatan yang dirangkai di tempat pembangunannya, dengan bantuan penyangga serta beberapa titik tumpu sementara. Setiap bagian diberi nomer sehingga tidak ada kesalahan pada waktu perangkaian. Jika jembatan telah selesai dirangkai/distel dengan benar, maka dimulailah proses mengeliling
- b. Jembatan diangkut ke tempat pembangunannya setelah selesai dirangkai di tempat pembuatannya (bengkel). Di lokasi pembangunan rangkaian tersebut ditempatkan pada tumpuan-tumpuan yang sudah dipersiapkan sebelumnya.

9.3.2. Pendirian Jembatan Baja yang Dilas

Untuk konstruksi jembatan yang kecil, jembatan dirangkai dan dilas di bengkel untuk kemudian tinggal di pasang di lokasi pembangunannya. Sedangkan untuk konstruksi yang lebih besar, sebagian disusun di dalam bengkel, kemudian di bawa ke lokasi pembangunan untuk dirangkai dan dilas di lokasi tersebut.

9.3.3. Pengecatan

Baja harus dicat untuk melindungi dari karat. Ada berbagai variasi cat dan usia struktur baja dipengaruhi oleh mutunya. Untuk daerah yang berdekatan dengan laut, udara yang mengandung garam berbahaya untuk baja ekspose. Harga pengecatan tinggi tetapi sangat penting untuk mempertahankan kondisi baja. Warna cat juga penting sesuai keinginan masyarakat serta kualitas estetika.

9.4. Pendukung Struktur Jembatan

Selain komponen utama seperti gelagar atau struktur lantai, bagian-bagian lain seperti penahan (*bearings/shoes*), sambungan ekspansi, pagar terali pengarah, saluran drainase, dan dinding kedap suara juga memperindah struktur jembatan. Tiap bagian berperan sedikit tetapi memberikan fungsi penting. Saluran pembuangan menyalurkan air hujan dan menghilangkan debu. Pagar pengarah dan lampu menambah kualitas

estetika rancangan jembatan agar sebaik fungsi utamanya. Dinding kedap suara dapat mengurangi keindahan strukturnya tetapi mungkin diperlukan di area perkotaan untuk mengisolasi suara lalu lintas dari sekitar permukiman.

9.4.1. Penahan

Penahan (*bearing/shoes*) mendukung superstruktur (gelagar utama, rangka batang, atau pelengkung) dan menyalurkan beban ke substruktur (abutmen atau pendukung bagian tengah). Penahan menghubungkan bagian atas dan bawah struktur dan membawa seluruh berat superstruktur. Penahan didesain untuk menahan gaya reaksi yang mendukung kondisi jepit atau sendi. Penahan sendi dapat bergerak atau tidak, gerak horisontal dapat dikendalikan atau tidak (ada reaksi horisontal atau tidak). Jumlah pergerakan horisontal ditentukan dengan menghitung perpanjangan yang terjadi terkait dengan perubahan suhu.

Sepanjang gempa bumi Kobe tahun 1995 di Jepang, banyak ditemukan penahan untuk menahan kerusakan akibat pemusatan tekanan, yang merupakan titik lemah di sepanjang jembatan. Penahan berperan sebagai pengaman dalam mempertahankan dari kerusakan yang terjadi pada bagian penting jembatan, dengan resiko superstruktur bergerak naik turun. Sambungan gelagar ke gelagar atau gelagar ke abutmen mencegah gelagar roboh selama gempa bumi yang kuat.

Beberapa tipe penahan dapat dilihat pada Gambar 9.45. dengan penjelasan sebagai berikut:

Penahan garis

Garis penghubung antara plat atas dan permukaan alas putaran yang memberikan kemampuan putaran seperti dorongan. Ini digunakan pada jembatan kecil.

Penahan plat

Plat penahan mempunyai permukaan rata di bagian atas yang mengijinkan dorongan dan permukaan berbentuk bola di bagian bawah yang mengijinkan perputaran. Plat diletakkan antara sepatu atas dan bawah.

Penahan jepit dengan paku

Sebuah paku dimasukkan di antara sepatu atas dan bawah yang mengijinkan perputaran tetapi tidak pergerakan ke arah membujur.

Penahan roll

Pergerakan lateral tidak dikendalikan dengan penggunaan satu atau beberapa roll untuk penahan sendi atau penahan berbentuk bola (*spherical bearings*).

Penahan *spherical* (Penahan *Pivot*)

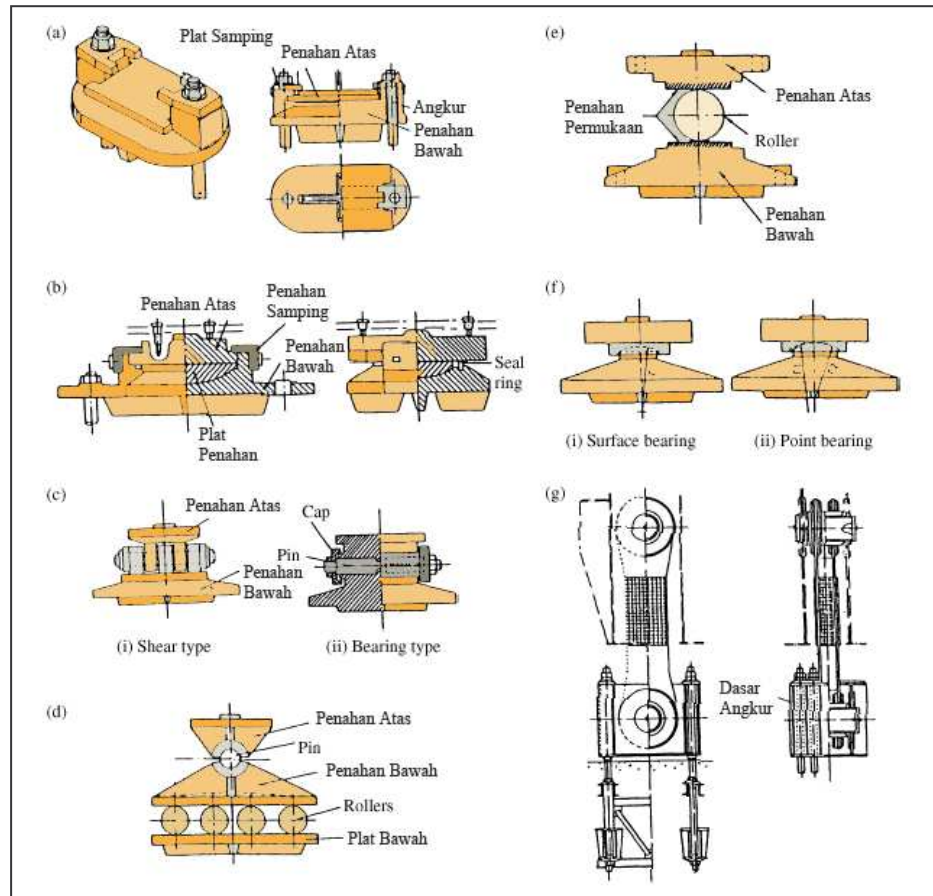
Permukaan berbentuk bola cembung dan cekung mengijinkan perputaran ke segala arah dan tanpa pergerakan lateral. Ada dua macam, yaitu: sebuah titik penghubung untuk perbedaan besar untuk setiap lapisan dan sebuah bidang penghubung untuk perbedaan kecil.

Penahan pendel

Sambungan titik (*eye bar*) menghubungkan superstruktur dan substruktur dengan pin/paku di setiap akhiran. Gerakan membujur dimungkinkan dengan memiringkan sambungan titik, jarak pin di bagian akhir harus ditentukan dengan baik. Hal ini dimaksudkan untuk menyediakan reaksi negatif jembatan Cable-stayed. Tidak ada ketahanan ke arah melintang.

Penahan angin

Penahan tipe ini menyiapkan ketahanan terhadap angin ke arah melintang dan sering digunakan pada penahan Pendel.



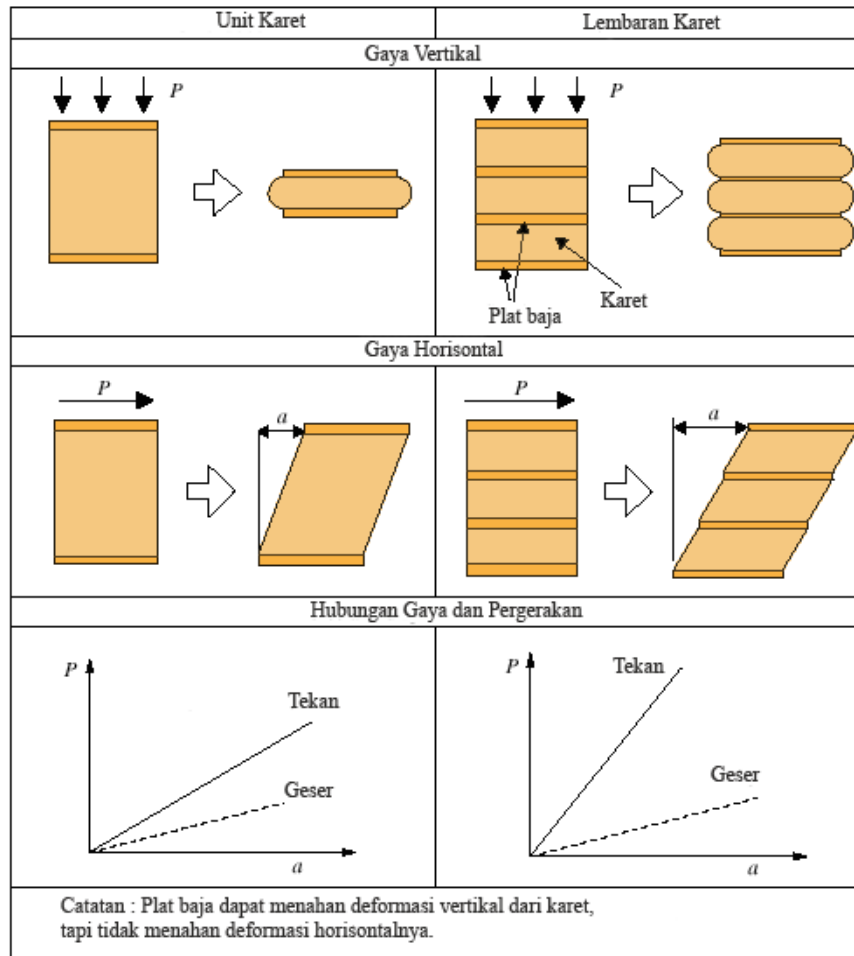
Gambar 9.45. Jenis-jenis Penahan (*bearing*)

Sumber: Chen & Duan, 2000

Penahan elastomeric

Fleksibilitas elastomeric atau penahan karet memungkinkan pergerakan rotasi atau putaran dan horisontal. Gambar 9.46. akan menjelaskan prinsip penahan lembaran karet dan membandingkannya dengan sebuah unit karet. Lembaran karet kaku, tidak seperti unit karet, untuk menahan gaya tekan vertikal karena plat baja diletakkan diantara

pengendali deformasi karet secara vertikal, tetapi fleksibel untuk gaya geser horisontal seperti unit karet. Fleksibilitas menyerap energi seismic horisontal dan sangat sesuai untuk menahan aksi gempa bumi. Setelah bencana gempa bumi Kobe di Jepang tahun 1995 penahan karet elastomeric menjadi semakin populer, tetapi belum ada jaminan apakah dapat efektif menahan gaya vertikal tanpa menyebabkan kerusakan.



Gambar 9.46. Penahan Elastomeric

Sumber: Chen & Duan, 2000

Penahan isolasi seismic

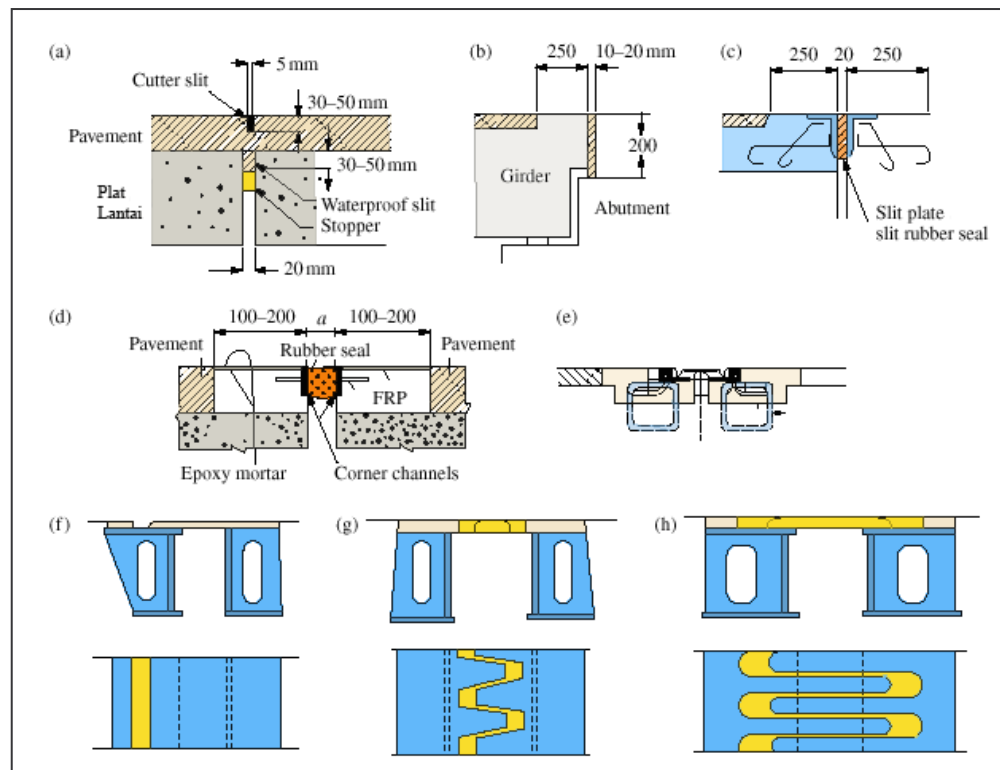
Banyak jenis penahan isolasi seismic yang tersedia, seperti isolator elastomeric dan isolator sliding. Apabila diterapkan pada pendukung tengah jembatan dan abutmen, penahan isolasi melayani baik penahan vertikal untuk beban gravitasi dan isolasi lateral untuk beban seismic. Tujuan dasar penggunaan isolasi adalah untuk mengganti mode dasar getaran sedemikian rupa sehingga struktur diperlakukan untuk menurunkan

kekuatan gempa bumi. Bagaimanapun pengurangan kekuatan mungkin diikuti peningkatan pada kebutuhan jarak yang akan diakomodasi dalam sistem isolasi dan struktur lain yang berdekatan.

Pemilihan dari berbagai tipe penahan dibuat menurut ukuran jembatan dan prediksi kekuatan reaksi menaik atau menurun.

9.4.2. Sambungan Ekspansi

Sambungan ekspansi seperti pada gambar 9.4, dibuat untuk memungkinkan sebuah jembatan melakukan penyesuaian panjangnya akibat perubahan suhu atau deformasi karena beban luar. Mereka dirancang sesuai perkembangan panjang dan material seperti klasifikasi yang ditunjukkan pada gambar berikut. Sambungan ekspansi baja paling umum digunakan. Kerusakan sering ditemukan pada batas antara baja dan slab beton, yang menyebabkan gangguan sentakan pada pengemudi pada saat melintasi sambungan tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut, sambungan karet dipergunakan pada permukaan jalan untuk menjadikan perpindahan yang halus pada konstruksi jembatan modern. Gelagar menerus lebih sering menggunakannya dibandingkan gelagar sederhana.



Gambar 9.47. Tipe sambungan ekspansi:

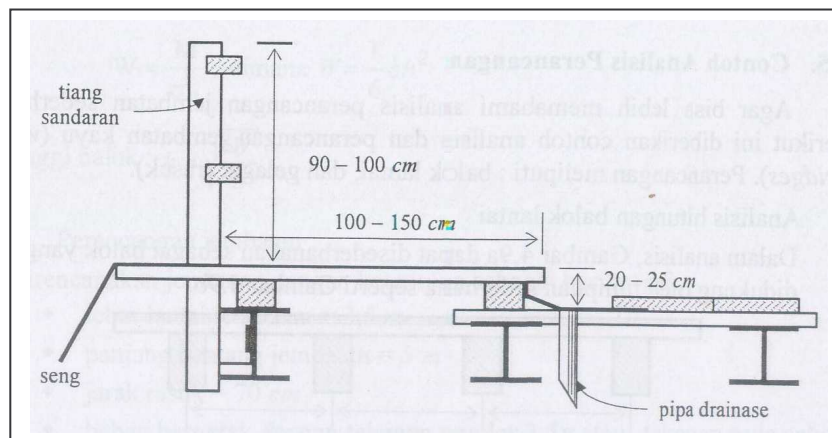
(a) blind slit type; (b) slit plate type; (c) angle joint type; (d) postfitting butt type; (e) rubber joint type; (f) steel covered type; (g) steel finger type (cantilevered); dan (h) steel finger type (supported)

Sumber: Chen & Duan, 2000

9.4.3. Pagar Terali dan Trotoar

Pagar terali pengarah disajikan untuk memastikan kendaraan dan pejalan kaki tidak jatuh dari jembatan. Mungkin mereka juga akan berfungsi sebagai tempat pegangan tangan bagi pejalan kaki, pengarah yang kuat untuk kendaraan, atau pagar untuk keduanya. Pagar dapat dibuat dari bahan seperti beton, baja, atau aluminium. Pagar pengarah diletakkan secara menyolok agar mudah terlihat. Penting untuk diketahui bahwa pagar tidak saja menjaga lalu lintas didalam batas tersebut tetapi juga untuk menambah nilai keindahan jembatan tersebut.

Tiang sandaran merupakan kelengkapan jembatan yang berfungsi untuk keselamatan sekaligus membuat struktur lebih kaku. Sedangkan trotoar bisa dibuat atau pun tidak, tergantung perencanaan. Secara umum lebar trotoar minimum adalah untuk simpangan 2 orang ($\pm 100 - 150$ cm). Tiang sandaran umumnya setinggi $+ 90 - 100$ cm dari muka trotoar, dan trotoar dibuat lebih tinggi $20 - 25$ cm dari lantai jembatan (Gambar 9.48).



Gambar 9.48. Susunan tiang sandaran dan trotoar

Sumber: Supriyadi & Muntohar, 2007

9.4.4. Jalan (*pavement*)

Jalan pada geladak menyediakan permukaan yang halus untuk mengemudi dan mencegah rembesan air hujan ke batang beton dan dan geladak baja di bawahnya. Lapisan kedap air harus diletakkan di antara jalan dan geladak. Aspal merupakan bahan yang sering dipergunakan untuk pelapis jembatan jalan raya, dengan ketebalan sekitar 5 – 10 cm pada jalan raya dan 2 – 3 cm pada bagian pedestrian atau pejalan kaki.

Satu hal yang perlu diperhatikan adalah saluran atau pipa drainase pada jembatan untuk mengalirkan genangan yang ada pada jembatan, terutama bila lantai diberi lapis aus.

Pertanyaan:

25. Apakah fungsi dari bangunan jembatan?
26. Bagaimanakah klasifikasi bangunan jembatan?
27. Sebutkan bentuk-bentuk struktur bangunan jembatan?
28. Jelaskan elemen-elemen yang ada dari sebuah struktur jembatan?
29. Bagaimanakah proses mendirikan jembatan dengan panjang bentang yang cukup lebar?
30. Jelaskan fungsi dari beberapa komponen pendukung sebuah jembatan?

Tugas:

Cari kasus sebuah jembatan dengan bentang yang cukup lebar (lebih dari 10 meter). Jelaskan klasifikasi jembatan tersebut, bentuk strukturnya, serta uraikan elemen-elemen yang terdapat pada jembatan tersebut. Lengkapi dengan gambar-gambar yang memperjelas, baik keseluruhan maupun masing-masing elemennya.



DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Edward (1999). *Fundamental of Building Construction: Materials and Methods*. John Wiley and Sons Inc.
- Amon, Rene; Knobloch, Bruce; Mazumder, Atanu (1996). *Perencanaan Konstruksi Baja untuk Insinyur dan Arsitek*, jilid 1 dan 2. Jakarta. Pradya Paramita
- Anonim (2005). *Standard Handbook for Civil Engineering*. McGraw-Hill Companies.
- Anonim (1979). *Peraturan Kontruksi Kayu Indonesia NI-5 I 1961*. Bandung. Yayasan LPMB Dep. PUTL
- Anonim (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung. Yayasan LPBM
- Anonim. *Undang-undang no. 18 tahun 1999*, tentang *Jasa Konstruksi*.
- Anonim (2002). *SNI 03-1729-2002. Tata cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.
- Anonim (2002). *SNI 03-2847-2002. Tata cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*
- Anonim. *Undang-undang no. 28 tahun 2002*, tentang *Bangunan Gedung*.
- Anonim. *Undang-undang no. 38 tahun 2004*, tentang *Jalan*.
- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003*, tentang *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*.
- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 61 tahun 2004*, tentang *Perubahan atas Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003*, tentang *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*.
- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 32 tahun 2005*, tentang *Perubahan Kedua atas Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003*, tentang *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*.
- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 70 tahun 2005*, tentang *Perubahan Ketiga atas Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003*, tentang *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*.
- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 8 tahun 2006*, tentang *Perubahan Keempat atas Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003*, tentang *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*.
- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 79 tahun 2006*, tentang *Perubahan Kelima atas Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003*, tentang *Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*.

- Anonim. *Keputusan Presiden nomor 85 tahun 2006, tentang Perubahan Keenam atas Keputusan Presiden nomor 80 tahun 2003, tentang Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah.*
- Bowles, Joseph E. (1997) *Foundation Analysis & Design*, fifth edition. McGraw-Hill Companies.
- Brockenbrough, Roger. L. dan Boedecker, Kenneth J. (2003). *Highway Engineering Handbook*. McGraw-Hill.
- CEB-FIP (2004). *Planning and Design Handbook on Precast Building Structures*. BFT Betonwerk.
- Chen, Wai-Fah & Duan, Lian (2000). *Bridge Engineering Handbook*. CRC Press LLC.
- Chen, Wai-Fah & M. Lui, Eric (2005). *Handbook of Structural Engineering*. CRC Press LLC.
- Ching, Francis DK & Cassandra, Adams (2001). *Building Construction Illustrated*, third edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Dipohusodo, Istimawan (1994). *Struktur Beton Bertulang, berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama.
- Dipohusodo, Istimawan (1996). *Manajemen Proyek dan Konstruksi*. Yogyakarta. Kanisius.
- Engel, Heinrich (1981). *Structure Systems*. Van Nostrand Reinhold Company.
- Ervianto, Wulfram I. (2005). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta. Andi Offset.
- Gaylord Jr, Edwin H; Gaylord, Charles N.; dan Stallmeyer, James E. (1997) *Structural Engineering Handbook*, 4th. McGraw-Hill.
- Gere dan Timoshenko (1994). *Mechanics of Materials Third Edition*. Massachusetts. Chapman&Hall.
- Gurki, J. Thambah Sembiring (2007). *Beton Bertulang*. Bandung. Rekayasa Sains.
- Hibbeler, Russell C (2002). *Structural Analysis*, fifth edition. Prentice Hall.
- Hodgkinson, Allan (1977). *AJ Handbook of Building Structure*. London. The Architecture Press.
- Leet, Kenneth M. & Uang, Chia-Ming (2002). *Fundamentals of Structural Analysis*. McGraw-Hill.
- Macdonald, Angus J. (2002). *Struktur dan Arsitektur*, edisi kedua. Jakarta. Erlangga
- Merritt FS & Roger L Brocken Brough (1999). *Structural Steel Designer's Handbook*. McGraw-Hill.
- Millais, Malcolm (1999). *Building Structures, A conceptual approach*. London. E&FN Spon.
- Moore, Fuller (1999). *Understanding Structures*. McGraw-Hill Companies.
- Mulyono, Tri (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Andi Offset.

- Nilson, Arthur H., Darwin, David, Dole, Charles W. (2004). *Design of Concrete Structures*, thirteenth edition. McGraw-Hill Companies.
- Oentoeng (1999). *Konstruksi Baja*. Yogyakarta. Andi Offset.
- Patterson, Terry L. (2003). *Illustrated 2003 Building Code Handbook*. McGraw-Hill.
- R. Sagel; P. Kole; Kusuma, Gideon H. (1994). *Pedoman Pengerjaan Beton; Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03*. Jakarta. Erlangga.
- R. Sutrisno (1984). *Bentuk Struktur Bangunan dalam Arsitektur Modern*. Jakarta. Gramedia.
- Salmon, Charles G., Johnson, John E. & Wira M (penterjemah) (1991). *Struktur Baja, Disain dan Perilaku*, jilid 1 dan 2, Edisi kedua. Jakarta. Erlangga.
- Salvadori, Mario & Levy, Matthys (1986). *Disain Struktur dalam Arsitektur*. Jakarta. Erlangga.
- Schodek, Daniel L. (1999). *Struktur* (Alih Bahasa) edisi kedua. Jakarta. Erlangga.
- Schuler, Wolfgang (1983). *Horizontal-Span Building Structures*. John Wiley & Sons, Inc.
- Schuler, Wolfgang (1989). *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung. Eresco.
- Soegihardjo & Soedibjo (1977). *Ilmu Bangunan Gedung*. Depdikbud. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- Sumarni, Sri (2007). *Struktur Kayu*. Surakarta. UNS Press.
- Supriyadi, Bambang & Muntohar, Agus Setyo (2007). *Jembatan*. Yogyakarta. Beta Offset.
- TY Lin & SD Stotesbury (1981). *Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers*. New York. John Wiley & Sons, Inc
- WC Vis & Kusuma, Gideon (1993). *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta. Erlangga
- NSPM Kimpraswil (2002). *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara, bagian 8: Bendung, Bendungan, Sungai, Irigasi, Pantai*. Jakarta. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Forest Products Laboratory USDA (1999). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Forest Service Madison Wisconsin
- Pembangunan Perumahan (2003). *Buku Referensi untuk Kontraktor Bangunan Gedung dan Sipil*, Jakarta. PT. Gramedia Pustaka Utama

DAFTAR ISTILAH

Abutment – bagian bawah tumpuan struktur jembatan

Agregat campuran – bahan batu-batuan yang netral (tidak bereaksi) dan merupakan bentuk sebagian besar beton (misalnya: pasir, kerikil, batu-pecah, basalt)

AISC – singkatan dari *American Institute of Steel Construction*

AISC – Spesifikasi-spesifikasi yang dikembangkan oleh AISC, atau singkatan dari *American Institute of Steel Construction Specification*

ASTM – singkatan dari *American Society of Testing and Materials*

Balok – elemen struktur linier horisontal yang akan melendut akibat beban transversal

Balok spandrel – balok yang mendukung dinding luar bangunan yang dalam beberapa hal dapat juga menahan sebagian beban lantai

Batas Atterberg – besaran kadar air (%) untuk menandai kondisi konsistensi tanah yakni terdiri dari batas cair (*Liquid Limit / LL*), batas plastis (*Plastic Limit / PL*) maupun batas susut (*shrinkage Limit*).

Batas Cair – besaran kadar air tanah uji (%) dimana dilakukan ketukan sebanyak 25 kali menyebabkan alur tanah pada cawan Cassagrade berimpit 1.25 cm (1/2 inch).

Batas Plastis – besaran kadar air tanah sehingga saat dilakukan pilinan pada contoh tanah hingga $\varnothing$ 3 mm mulai terjadi retakan dan tidak putus

Beban – suatu gaya yang bekerja dari luar

Beban hidup – semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap

Beban mati – berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut

Beton – suatu material komposit yang terdiri dari campuran beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan-ikat, yaitu dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen (semen + air) sebagai bahan pengikat.

Beton Bertulang – beton yang diperkuat dengan tulangan, didesain sebagai dua material berbeda yang dapat bekerja bersama untuk menahan gaya yang bekerja padanya.

Beton Cast-in-place – beton yang dicor langsung pada posisi dimana dia ditempatkan. Disebut juga beton *cast- in situ*.

Beton Precast – beton yang dicor di tempat yang berbeda dengan site, biasanya di tempat yang berdekatan dengan lokasi site

Beton Prestressed – beton yang mempunyai tambahan tegangan tekan longitudinal melalui gaya tarik pada serat yang diberi pra-tegang di sepanjang elemen strukturnya.

Beton struktural – beton yang digunakan untuk menahan beban atau untuk membentuk suatu bagian integral dari suatu struktur. Fungsinya berlawanan dengan beton insulasi (*insulating concrete*).

Bracing – konfigurasi batang-batang kaku yang berfungsi untuk menstabilkan struktur terhadap beban lateral

Cincin tarik (*cincin containment*) – cincin yang berada di bagian bawah struktur cangkang, berfungsi sebagai pengaku

Daktilitas – adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya;

Defleksi – lendutan balok akibat beban

Dinding geser (*shear wall, structural wall*) – dinding beton dengan tulangan atau pra-tegang yang mampu menahan beban dan tegangan, khususnya tegangan horisontal akibat beban gempa.

Faktor reduksi – suatu faktor yang dipakai untuk mengalikan kuat nominal untuk mendapatkan kuat rencana;

Gaya tarik – gaya yang mempunyai kecenderungan untuk menarik elemen hingga putus.

Gaya tekan – gaya yang cenderung untuk menyebabkan hancur atau tekuk pada elemen. Fenomena ketidakstabilan yang menyebabkan elemen tidak dapat menahan beban tambahan sedikitpun bisa terjadi tanpa kelebihan pada material disebut tekuk (*buckling*).

Geser – keadaan gaya yang berkaitan dengan aksi gaya-gaya berlawanan arah yang menyebabkan satu bagian struktur tergelincir terhadap bagian di dekatnya. Tegangan geser umumnya terjadi pada balok.

Girder – susunan gelagar-gelagar yang biasanya terdiri dari kombinasi balok besar (induk) dan balok yang lebih kecil (anak balok)

Goyangan (*Sideways*) – fenomena yang terjadi pada rangka yang memikul beban vertikal. Bila suatu rangka tidak berbentuk simetris, atau tidak dibebani simetris, struktur akan mengalami goyangan (translasi horisontal) ke salah satu sisi.

HPS – singkatan dari *high-performance steel*, merupakan suatu tipe kualitas baja

HVAC – singkatan dari *Heating, Ventilating, Air Conditioning*, yaitu hal yang berhubungan dengan sistem pemanasan, tata udara dan pengkondisian udara dalam bangunan

Joist – susunan gelagar-gelagar dengan jarak yang cukup dekat antara satu dan yang lainnya, dan biasanya berfungsi untuk menahan lantai atau atap bangunan. Biasanya dikenal sebagai balok anak atau balok sekunder.

Kolom – elemen struktur linier vertikal yang berfungsi untuk menahan beban tekan aksial

Komposit – tipe konstruksi yang menggunakan elemen-elemen yang berbeda, misalnya beton dan baja, atau menggunakan kombinasi beton cast-in situ dan pre-cast, dimana komponen yang dikombinasikan tersebut bekerja bersama sebagai satu elemen struktural.

Kuat nominal – kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai

Kuat perlu – kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti yang ditetapkan dalam tata cara ini

Kuat rencana – kuat nominal dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ

Kuat tarik leleh – kuat tarik leleh minimum yang disyaratkan atau titik leleh dari tulangan dalam MPa

Kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') – kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dalam satuan MPa.

Las tumpul penetrasi penuh – suatu las tumpul, yang fusinya terjadi diantara material las dan metal induk, meliputi seluruh ketebalan sambungan las

Las tumpul penetrasi sebagian – suatu las tumpul yang kedalamannya penetrasinya kurang dari seluruh ketebalan sambungan;

Lentur – keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen (biasanya balok) sebagai akibat adanya beban transversal. Aksi lentur menyebabkan serat-serat pada sisi elemen memanjang, mengalami tarik dan pada sisi lainnya akan mengalami tekan, keduanya terjadi pada penampang yang sama.

Lintel – balok yang membujur pada tembok yang biasanya berfungsi untuk menahan beban yang ada di atas bukaan-bukaan dinding seperti pintu atau jendela

LRFD – singkatan dari *load and resistance factor design*.

Modulus elastisitas – rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut.

Momen – gaya memutar yang bekerja pada suatu batang yang dikenai gaya tegak lurus akan menghasilkan gaya putar (rotasi) terhadap titik yang berjarak tertentu di sepanjang batang.

Momen puntir – momen yang bekerja sejajar dengan tampang melintang batang.

Momen kopel – momen pada suatu titik pada gelegar

Mortar – campuran antara semen, agregat halus dan air yang telah mengeras

Plat Komposit – plat yang dalam aksi menahan bebannya dilakukan oleh aksi komposit dari beton dan plat baja / steel deck sebagai tulangannya.

Pondasi – bagian dari konstruksi bangunan bagian bawah (*sub-structure*) yang menyalurkan beban struktur dengan aman ke dalam tanah.

Rangka batang ruang – struktur rangka batang yang berbentuk tiga dimensional, membentuk ruang

Rangka kaku – suatu rangka struktur yang gaya-gaya lateralnya dipikul oleh sistem struktur dengan sambungan-sambungannya direncanakan secara kaku dan komponen strukturnya direncanakan untuk memikul efek gaya aksial, gaya geser, lentur, dan torsi;

Rangka tanpa Bracing (*Unbraced frame*) — sistem rangka dimana defleksi lateral yang terjadi padanya tidak ditahan oleh pengaku atau dinding geser (*shear wall*)

Sag – simpangan yang terjadi pada struktur kabel, yang merupakan tinggi lengkungan struktur tersebut

senggang – tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur,

SNI – singkatan dari Standar Nasional Indonesia

Spesi-beton – campuran antara semen, agregat campuran (halus dan kasar) dan air yang belum mengeras

Spesi-mortar – campuran antara semen, agregat halus dan air yang belum mengeras

Struktur bangunan – bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah.

Struktur Balok dan Kolom (*post and beam*) – sistem struktur yang terdiri dari elemen struktur horisontal (balok) diletakkan sederhana di atas dua elemen struktur vertikal (kolom) yang merupakan konstruksi dasar

Struktur Cangkang – bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan lengkung.

Struktur Grid – salah satu analogi struktur plat yang merupakan struktur bidang, secara khas terdiri dari elemen-elemen linier kaku panjang seperti

balok atau rangka batang, dimana batang-batang tepi atas dan bawah terletak sejajar dengan titik hubung bersifat kaku.

Struktur Funicular – sistem struktur yang berbentuk seperti tali, kurva atau kumpulan segmen elemen-elemen garis lurus yang membentuk lengkung

Struktur Membran – konfigurasi struktur yang terbentuk dari lembaran tipis dan fleksibel.

Struktur Plat – struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit yang tingginya relatif kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya.

Struktur Rangka Batang – susunan elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk bila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya.

Struktur Rangka Kaku (*rigid frame*) – struktur yang terdiri atas elemen-elemen linier, umumnya balok dan kolom, yang saling dihubungkan pada ujung-ujungnya oleh *joints* (titik hubung) yang dapat mencegah rotasi relatif di antara elemen struktur yang dihubungkannya.

Struktur Tenda – bentuk lain dari konfigurasi struktur membran, dapat berbentuk sederhana maupun kompleks dengan menggunakan membran-membran.

Struktur *Vierendeel* – struktur rangka kaku yang digunakan secara horisontal. Struktur ini tampak seperti rangka batang yang batang diagonalnya dihilangkan. Perlu diingat bahwa struktur ini adalah rangka, bukan rangka batang. Jadi titik hubungnya kaku.

Sub-structure – struktur bagian bawah. Pada struktur jembatan merupakan bagian yang mendukung bentang horisontal

Super-structure – struktur bagian atas. Pada struktur jembatan, merupakan bagian struktur yang terdiri dari bentang horisontal.

Sway Frame – suatu rangka yang mempunyai respon terhadap gaya horisontal dalam bidang tidak cukup kaku untuk menghindari terjadinya tambahan gaya internal dan momen dari pergeseran horisontal, sehingga memungkinkan terjadinya goyangan (*sway*)

Tegangan – intensitas gaya per satuan luas

Tegangan tumpu (*bearing stress*) – tegangan yang timbul pada bidang kontak antara dua elemen struktur, apabila gaya-gaya disalurkan dari satu elemen ke elemen yang lain. Tegangan-tegangan yang terjadi mempunyai arah tegak lurus permukaan elemen.

Tegangan utama (*principle stresses*) – interaksi antara tegangan lentur dan tegangan geser dapat merupakan tegangan normal tekan atau tarik, yang disebut sebagai tegangan utama.

Tinggi efektif penampang (*d*) – jarak yang diukur dari serat tekan terluar hingga titik berat tulangan tarik

Titik hubung (*joint*) – titik pertemuan batang-batang elemen struktur, dimana titik ini merupakan pertemuan gaya-gaya yang terjadi pada elemen struktur tersebut

Tendon – elemen baja misalnya kawat baja, kabel batang, kawat untai atau suatu bundel dari elemen-elemen tersebut, yang digunakan untuk memberi gaya prategang pada beton

Torsi – puntiran yang timbul pada elemen struktur apabila padanya diberikan momen puntir langsung atau secara tak langsung. Tegangan tarik maupun tekan akan terjadi pada elemen yang mengalami torsi.

Triangulasi – konfigurasi struktur segitiga yang bersifat stabil, tidak bisa berubah bentuk atau runtuh

Tulangan – batang, kawat atau elemen lain yang ditambahkan pada beton untuk memperkuat beton menahan gaya.

tulangan polos – batang baja yang permukaan sisi luarnya rata, tidak bersipir dan tidak berukir

tulangan ulir – batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersipir atau berukir

tulangan spiral – tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris

Un-sway Frame – suatu rangka yang mempunyai respon terhadap gaya horizontal dalam bidang cukup kaku untuk menghindari terjadinya tambahan gaya internal dan momen dari pergeseran horizontal tersebut.

Umur bangunan – periode/waktu selama suatu struktur dipersyaratkan untuk tetap berfungsi seperti yang direncanakan;

DAFTAR TABEL

1.1.	Daftar SNI struktur bangunan	8
1.2.	Contoh safety plan resiko kecelakaan dan pencegahannya	11
1.3.	Contoh <i>safety plan</i> tata cara pengoperasian alat	13
1.4.	Contoh <i>safety plan</i> tata cara pengoperasian alat	13
2.1.	Tampilan layar MS Word	50
3.1.	Berat sendiri bahan bangunan dan komponen bangunan	130
3.2.	Beban hidup pada lantai bangunan	131
3.3.	Koefisien angin menurut peraturan pembebanan Indonesia	133
3.4.	Parameter daktilitas dan reduksi untuk struktur gedung	137
3.5.	Konversi Satuan Amerika Serikat (US) terhadap Satuan Baku Internasional (SI Units)	149
4.1.	Desain Momen	203
5.1.	Klasifikasi Tanah menurut USCS	240
5.2.	Nomor Pengenal, Ukuran Lubang Ayakan (Sieve Size) untuk Uji Tanah	243
5.3.	Contoh analisa saringan menurut SNI 1968-1990-F	243
5.4.	Hasil Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>)	245
5.5.	Besaran berat isi maksimum tanah dan kadar air optimum	247
5.6.	Jumlah pukulan hasil Uji SPT dan tingkat kepadatan tanah	249
5.7.	Kekerasan tanah kohesif dari hasil uji kuat tekan bebas dan SPT	251
5.8.	Kekerasan dan besaran sudut geser dalam dari jenis tanah granuler	252
5.9.	Kekerasan dan besaran sudut geser dalam dari jenis tanah lanau	253
5.10.	Besaran faktor bentuk pondasi dangkal	258
5.11.	Koefisien tekanan lateral tanah aktif untuk Gambar 5.23	260
5.12.	Properti tanah untuk perhitungan tekanan tanah aktif Rankine	263
5.13.	Faktor gesek untuk perhitungan dinding penahan	263
6.1.	Sifat mekanis baja struktural	269
6.2.	Beban tarikan minimum baut	283
7.1.	Karakteristik baja tulangan	344
7.2.	Penyimpangan yang diijinkan untuk panjang bentang	345
7.3.	Penyimpangan yang diijinkan untuk massa teoritis	345
7.4.	Penyimpangan yang diijinkan untuk berat teoritis	345

7.5.	Penyimpangan yang diijinkan dari diameter nominal	345
7.6.	Tebal minimum penutup beton	354
7.7.	Diameter bengkokan minimum	358
7.8.	Toleransi untuk tulangan dan selimut beton	358
7.9.	Kuat tekan beton	363
7.10.	Tegangan leleh baja	364
7.11.	Faktor reduksi kekuatan	364
7.12.	Lendutan ijin maksimum	365
7.13.	Rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang	373
7.14.	Tinggi balok minimum	374
7.15.	Daftar nilai A_s untuk balok T	379
7.16.	Tebal minimum plat tanpa balok	385
8.1.	Kelas kuat kayu	401
8.2.	Kelas awet kayu	401
8.3.	Spesifikasi ukuran paku	407
8.4.	Nilai K untuk perhitungan kuat lateral paku dan sekerup	409
8.5.	Ukuran sekerup	409
8.6.	Faktor kekuatan lateral sekerup lag	411
8.7.	Kekuatan per alat sambung untuk cincin dan plat geser	416
8.8.	Angka kelangsingan	418
9.1.	Format matriks evaluasi untuk memilih jenis jembatan	435
9.2.	Tipe jembatan dan aplikasi panjang jembatan	435
9.3.	Aplikasi tipe jembatan berdasar panjang bentangnya	451

DAFTAR GAMBAR

1.1.	Proyek konstruksi	1
1.2.	Konstruksi gedung	1
1.3.	Jalan raya	2
1.4.	Macam pekerjaan konstruksi teknik sipil	4
1.5.	Keselamatan kerja konstruksi	10
1.6.	Papan promosi K3	10
1.7.	Peralatan pelindung mata	16
1.8.	Jenis peralatan pelindung wajah	16
1.9.	Macam-macam pelindung pendengaran	17
1.10.	Jenis helm pelindung kepala	17
1.11.	Jenis sepatu dan boots pelindung kaki	18
1.12.	Jenis sarung tangan pelindung	19
1.13.	Jenis peralatan pelindung jatuh	20
1.14.	Contoh rambu-rambu peringatan K3	21
1.15.	Proses penyelenggaraan konstruksi	22
1.16.	Prosedur ijin mendirikan bangunan	23
1.17.	Skema struktur organisasi utama	29
1.18.	Skema struktur organisasi lengkap pelaksana proyek konstruksi	31
1.19.	Urutan kegiatan pelaksanaan pelelangan	36
2.1.	Toolbar aplikasi program MS Office	43
2.2.	Tampilan layar MS Word	44
2.3.	Pengetikan dokumen dengan MS Word	45
2.4.	Kotak dialog <i>font</i>	46
2.5.	Kotak dialog <i>format paragraf</i>	46
2.6.	Menu <i>file</i>	47
2.7.	Kotak dialog <i>print</i>	48
2.8.	Tampilan layar MS Excel	49
2.9.	Chart wizard dialog	54
2.10.	Tampilan layar MS PowerPoint	56
2.11.	Tampilan layar dengan pilihan bentuk slide	57
2.12.	Tampilan format placeholder	58
2.13.	Tampilan wordart gallery	59
2.14.	Tampilan layar MS Project	63
2.15.	Tampilan layar MS Project untuk template	64
2.16.	Tampilan Project information	65
2.17.	Tampilan tabel resource sheet	71
2.18.	Tampilan hasil MS Project	72
2.19.	Tampilan tabel tracking	73

2.20.	Arah sumbu lokal	75
2.21.	Arah sumbu lokal dan sumbu global	76
2.22.	Arah sumbu lokal dan perjanjian tanda	76
2.23.	Tampilan awal STAAD/Pro	77
2.24.	Kotak dialog <i>new file</i>	78
2.25.	Kotak dialog pemilihan model struktur	78
2.26.	Kotak dialog pemilihan unit satuan	79
2.27.	Tampilan program aplikasi STAAD/Pro	79
2.28.	Penggambaran geometry bentuk struktur	80
2.29(a)	Penentuan properti penampang struktur	81
2.29(b)	Penentuan konstanta bahan struktur	82
2.30.	Penentuan perletakan struktur	83
2.31.	Penentuan definisi beban-beban struktur	82
2.32.	Penentuan model analisis struktur	85
2.33.	Tampilan menu edit pada text editor	86
2.34.	Tampilan menu edit command file	86
2.35.	Tampilan awal AutoCad	89
2.36.	Kotak dialog pilihan template	90
2.37.	Kotak dialog untuk pilihan file yang akan dibuka	91
2.38.	Kotak dialog untuk menyimpan file	91
2.39.	Toolbar format teks dan area penulisan	92
2.40.	Teknik menggambar lingkaran	93
2.41.	Kotak dialog untuk menentukan jenis multiline	94
2.42.	Kotak dialog untuk menentukan jenis arsiran	96
2.43.	Kotak dialog penentuan dimensi obyek	97
2.44.	Kotak dialog untuk pilihan jenis tampilan dimensi	97
2.45.	Kotak dialog untuk menentukan atribut obyek	98
2.46.	Teknik menggandakan obyek	99
2.47.	Teknik memindahkan obyek	100
2.48.	Teknik menggandakan obyek dengan offset	100
2.49.	Teknik melakukan array	101
2.50.	Teknik mencerminkan obyek dengan mirror	102
2.51.	Teknik memotong obyek dengan trim	103
2.52.	Teknik memperpanjang obyek dengan extend	103
2.53.	Teknik mempertemukan obyek dengan fillet	104
2.54.	Teknik mempertemukan obyek dengan chamfer	105
2.55.	Teknik memperpanjang obyek dengan stretch	105
2.56.	Kotak dialog untuk menentukan obyek sebagai block	107
2.57.	Kotak dialog untuk memanggil obyek.block dengan insert	108
2.58.	Kotak dialog untuk obyek snap	108
2.59.	Contoh gambar obyek meshes	109
2.60.	Teknik menggambar dengan rulesurf	110
2.61.	Teknik menggambar dengan tabsurf	110
2.62.	Teknik menggambar dengan edgesurf	111
2.63.	Teknik menggambar dengan revsurf	111
2.64.	Toolbar menu surface	112

2.65.	Toolbar menu solids	112
2.66.	Contoh obyek 3D solid primitif	113
2.67.	Teknik melakukan extrude obyek	111
3.1.	Struktur post and lintel bangunan batu di Mesir	115
3.2.	Struktur post and lintel bangunan batu di Parthenon	116
3.3.	Struktur lengkung pada bangunan Roma	116
3.4.	Struktur lengkung kubah bangunan	117
3.5.	Penampang sistem struktur pada bangunan katedral	117
3.6.	Struktur rangka baja Menara Eiffel, Paris	118
3.7.	Klasifikasi elemen struktur	120
3.8.	Klasifikasi struktur menurut mekanisme transfer beban	121
3.9.	Jenis-jenis elemen struktur	122
3.10.	Susunan sistem struktur penahan bentang horisontal untuk bentang pendek	125
3.11.	Susunan sistem struktur penahan bentang horisontal untuk bentang lebar atau panjang	126
3.12.	Skema pembebanan struktur	128
3.13.	Aliran angin di sekitar bangunan	132
3.14.	Aksi gaya-gaya pada tinjauan struktur	140
3.15.	Keruntuhan struktur dan respon struktur mencegah runtuh	141
3.16.	Analisa kestabilan struktur	142
3.17.	Contoh komponen struktur untuk bangunan yang umum	143
3.18.	Pemisahan elemen struktural	144
3.19.	Berbagai jenis hubungan dan pemodelannya	146
3.20.	Pendekatan pemodelan pembebanan pada struktur plat	147
3.21.	Arah gaya pada suatu bidang	150
3.22.	Gaya normal dan gaya lintang	150
3.23.	Momen	151
3.24.	Bentuk momen	152
3.25.	Penguraian gaya	152
3.26.	Cara menggabungkan gaya	153
3.27.	Cara menggabungkan gaya dengan lukisan kutub	154
3.28.	Komponen reaksi contoh soal	155
3.29.	Komponen reaksi tekan pada suatu struktur	156
3.30.	Bentuk struktur utama	157
3.31.	Bentuk dudukan	158
3.32.	Konsol dengan beban terpusat	159
3.33.	Balok konsol dengan beban terbagi merata	160
3.34.	Muatan terbagi segitiga pada struktur konsol	161
3.35.	Balok di atas dua tumpuan	161
3.36.	Struktur balok dua dudukan dengan beban miring	163
3.37.	Balok dua dudukan dengan beban terbagi rata	165
3.38.	Contoh soal balok dua dudukan dengan beban segitiga	167
3.39.	Balok dua dudukan dengan beban trapesium	168
3.40.	Balok dua dudukan dengan beban gabungan	169

3.41.	Tipikal struktur rangka batang	169
3.42.	Tipikal bentuk struktur rangka batang sederhana	170
3.43.	Sketsa contoh soal struktur rangka batang	171
3.44.	Pemotongan untuk mencari S_1 dan S_6	174
3.45.	Pemotongan untuk mencari gaya batang S_5 , S_6 dan S_7	175
3.46.	Pemotongan untuk mencari gaya S_9	175
3.47.	Tegangan normal tarik pada batang prismatic	176
3.48.	Tegangan normal tekan pada batang prismatic	176
3.49.	Geser pada sambungan baut	177
3.50.	Batang yang mengalami puntiran (<i>torsion</i>)	177
3.51.	Torsi tampang lingkaran solid dan lingkaran berlubang	178
3.52.	Struktur balok yang mengalami lentur dan geser	178
3.53.	Balok yang mengalami geseran arah memanjang	179
4.1.	Rangka Batang dan Prinsip-prinsip Dasar Triangulasi	182
4.2.	Mekanisme Gaya-gaya pada Rangka Batang	183
4.3.	Kestabilan Internal pada Rangka Batang	184
4.4.	Penggunaan batang kaku	185
4.5.	Diagram gaya batang	185
4.6.	Jenis-jenis umum rangka batang	190
4.7.	Tekuk batang: hubungan dengan pola segitiga	192
4.8.	Tekuk lateral pada rangka	192
4.9.	Rangka batang ruang tiga dimensi	193
4.10.	Balok pada gedung	195
4.11.	Jenis dan perilaku balok	196
4.12.	Pengekang lateral untuk balok kayu	198
4.13.	Torsi yang terjadi pada balok	199
4.14.	Penampang balok dan ketahanan terhadap torsi	199
4.15.	Pusat geser (<i>shear center</i>) pada balok	200
4.16.	Garis tegangan utama	201
4.17.	Beban eksentris pada kolom	207
4.18.	Bentuk-bentuk penampang kolom	210
4.19.	Gedung dengan struktur rangka beton	211
4.20.	Tipikal struktur gedung berlantai banyak	212
4.21.	Contoh sistem rangka ruang	212
4.22.	Elemen dasar pembentuk sistem rangka ruang	213
4.23.	Macam-macam sistem rangka ruang	214
4.24.	Struktur bangunan modern dengan permukaan bidang dan kabel	215
4.25.	Perbandingan perilaku struktur ' <i>post and beam</i> ' dan rangka kaku	216
4.26.	Efek variasi kekakuan relatif balok dan kolom	219
4.27.	Efek turunnya tumpuan pada struktur rangka kaku	220
4.28.	Rangka kaku bertingkat banyak	221
4.29.	Rangka khusus: struktur <i>Vierendeel</i>	221
4.30.	Jenis-jenis struktur berdasarkan momen lentur	222

4.31.	Penentuan ukuran dan bentuk penampang pada rangka	224
4.32.	Struktur rangka ruang, plat dan grid	225
4.33.	Struktur plat satu arah	226
4.34.	Plat berusuk satu arah	227
4.35.	Sistem balok dan plat dua arah	227
4.36.	Struktur grid dua arah sederhana	228
4.37.	Sistem slab & balok dua arah dan sistem wafel	229
4.38.	Penggunaan <i>drop panel</i> dan <i>column capitals</i>	230
4.39.	Gaya-gaya pada struktur rangka ruang	231
4.40.	Jenis-jenis struktur rangka ruang dengan modul berulang	231
4.41.	Struktur plat lipat	232
4.42.	Pengelompokan sistem bangunan tinggi	233
4.43.	Rangka sederhana dengan bracing	235
4.44.	Sistem bracing umum	236
5.1.	Ayakan untuk uji ukuran butir dan gradasi tanah	242
5.2.	Alat uji hidrometer	242
5.3.	Alat uji batas cair dan batas plastis	244
5.4.	Grafik uji geser langsung	246
5.5.	Alat uji geser langsung	246
5.6.	Alat uji tekan bebas	246
5.7.	Alat boring tanah dan alat pengambil sampel	248
5.8.	Tipikal split sampler pada ujung alat SPT	249
5.9.	Alat sondir	249
5.10.	Konus tunggal dan konus ganda pada alat sondir	250
5.11.	Ilustrasi besaran tegangan efektif tanah	250
5.12.	Ilustrasi tegangan pada tanah	251
5.13.	Ilustrasi perhitungan tinggi pemotongan tanah	252
5.14.	Macam-macam pondasi	253
5.15.	Pondasi dinding, telapak kolom, dan telapak dinding	254
5.16.	Bentuk pondasi untuk tanah miring	254
5.17.	Tampang dan bahan pondasi tiang	255
5.18.	Tipikal pondasi tiang dalam menyalurkan beban	255
5.19.	Plat kaki kolom di atas pondasi tiang	256
5.20.	Peralatan boring pondasi tiang sumuran	256
5.21.	Tahapan pembuatan sistem pondasi Frankie	257
5.22.	Ilustrasi perhitungan daya dukung pondasi	257
5.23.	Macam-macam bentuk struktur dinding penahan tanah	259
5.24.	Ilustrasi perhitungan tekanan lateral tanah	260
5.25.	Keruntuhan dinding penahan	261
5.26.	Bagian struktur dinding penahan tanah	262
5.27.	Kestabilan dinding penahan gravity dan semi gravity	262
5.28.	Pemakaian geotekstil dan gabion	264
5.29.	Perilaku perkuatan dinding dengan paku	265
5.30.	Tahapan konstruksi dinding dengan paku atau jangkar	265

6.1.	Struktur bangunan baja	267
6.2.	Bentuk baja profil canai panas	270
6.3.	Bentuk baja profil cold forming	270
6.4.	Standar tipe penampang profil baja canai panas	272
6.5.	Beberapa profil elemen struktur rangka individu	273
6.6.	Beberapa profil lembaran panel dan dek	273
6.7.	Sistem konstruksi untuk konstruksi baja	275
6.8.	Perkiraan batas bentang untuk berbagai sistem baja	278
6.9.	Bentang yang dapat dicapai untuk beberapa sistem struktur	279
6.10.	Baut dan spesifikasinya	281
6.11.	Jenis sambungan-sambungan baut	284
6.12.	Jenis keruntuhan sambungan	285
6.13.	Pengelasan SMAW	288
6.14.	Pengelasan SAW	289
6.15.	Pengelasan GMAW	289
6.16.	Pengelasan busur nyala	291
6.17.	Contoh sambungan lewatan	293
6.18.	Jenis las	294
6.19.	Jenis las tumpul	295
6.20.	Macam-macam pemakaian las sudut	296
6.21.	Kombinasi las baji dan pasak dengan las sudut	297
6.22.	Posisi pengelasan	298
6.23.	Persiapan tepi untuk las tumpul	299
6.24.	Cacat-cacat las yang mungkin terjadi	300
6.25.	Contoh aplikasi batang tarik	304
6.26.	Beberapa tipe penampang batang tarik	305
6.27.	Pemakaian batang tarik bulat	306
6.28.	Jarak antar plat yang dibutuhkan batang tarik	307
6.29.	Beberapa tipe penampang batang tekan	308
6.30.	Faktor panjang efektif pada kondisi ideal	309
6.31.	Ikatan lateral sistem rangka lantai	310
6.32.	Deformasi lentur dan sebuah gelagar	311
6.33.	Lenturan pada gelagar	312
6.34.	Contoh lubang pada sayap gelagar	312
6.35.	Lubang pada gelagar	313
6.36.	Keruntuhan badan gelagar	313
6.37.	Contoh aplikasi struktur gelagar plat	315
6.38.	Komponen umum gelagar yang dikeliling	316
6.39.	Komponen umum gelagar yang dilas	316
6.40.	Jenis gelagar plat yang dilas	317
6.41.	Sambungan balok sederhana	319
6.42.	Sambungan balok dengan dudukan tanpa perkuatan	310
6.43.	Penampang kritis untuk lentur pada dudukan	310
6.44.	Sambungan dudukan dengan perkuatan	321
6.45.	Sambungan dengan plat konsol segitiga	322
6.46.	Sambungan menerus balok yang dilas ke sayap kolom	323

6.47.	Sambungan menerus balok dengan baut ke sayap kolom	324
6.48.	Sambungan menerus balok yang dilas ke badan kolom	325
6.49.	Sambungan menerus balok ke balok tidak secara kaku	325
6.50.	Sambungan menerus balok ke balok secara kaku	326
6.51.	Sambungan sudut portal kaku	326
6.52.	Sistem dan dimensi plat alas kolom	327
6.53.	Sambungan alas kolom yang menahan momen	327
6.54.	Struktur baja komposit	328
6.55.	Berbagai macam struktur komposit	329
6.56.	Perbandingan lendutan balok dengan/tanpa aksi komposit	330
6.57.	Alat penyambung geser komposit yang umum	331
7.1.	Bangunan struktur beton	333
7.2.	Struktur beton bertulang	334
7.3.	Bagan alir aktivitas pengerjaan beton	335
7.4.	Jenis baja tulangan	344
7.5.	Diagram tegangan - regangan	346
7.6.	Sistem konstruksi untuk konstruksi beton	347
7.7.	Perkiraan batas bentang untuk berbagai sistem beton	352
7.8.	Detail penampang beton bertulang	353
7.9.	Detail penampang balok dan plat	354
7.10.	Syarat-syarat untuk penulangan plat	355
7.11.	Syarat penulangan balok yang harus dipenuhi	356
7.12.	Detail kaitan untuk penyaluran kait standar	360
7.13.	Kait-kait pada batang-batang penulangan	360
7.14.	Kait-kait pada sengkang	361
7.15.	Pembengkokan	361
7.16.	Jenis tumpuan pada plat beton	367
7.17.	Perilaku lentur pada beban kecil	368
7.18.	Perilaku lentur pada beban sedang	368
7.19.	Perilaku lentur pada bidang ultimit	369
7.20.	Jenis-jenis struktur plat beton	372
7.21.	Profil balok T	376
7.22.	Lebar efektif balok T	377
7.23.	Detail susunan penulangan sengkang	381
7.24.	Struktur plat rusuk satu arah	382
7.25.	Struktur plat dua arah dan prinsip penyaluran beban	383
7.26.	Struktur plat dua arah dengan balok	384
7.27.	Struktur plat rata	384
7.28.	Struktur plat rata dengan panel drop	385
7.29.	Struktur plat wafel	386
7.30.	Tipikal kolom beton bertulang	387
7.31.	Detail susunan penulangan tipikal	389
7.32.	Spasi antara tulangan-tulangan longitudinal kolom	390
7.33.	Detail struktur dinding beton bertulang	391

8.1.	Kekuatan serat kayu dalam menerima beban	395
8.2.	Metode penggergajian kayu	396
8.3.	Tampang melintang kayu dan arah penyusutan	397
8.4.	Penyusunan kayu saat proses pengeringan	397
8.5.	Cacat kayu	398
8.6.	Cacat produk kayu gergajian	398
8.7.	Arah serat dan kekuatan kayu terhadap tekan dan tarik	400
8.8.	Arah serat dan kekuatan kayu terhadap lentur dan geser	400
8.9.	Sistem konstruksi untuk struktur kayu	402
8.10.	Perkiraan batas bentang untuk berbagai sistem kayu	406
8.11.	Beragam produk paku	407
8.12.	Tipe utama produk sekerup	409
8.13.	Detail pemasangan sekerup	410
8.14.	Contoh sambungan gigi	412
8.15.	Model baut di pasaran	412
8.16.	Perilaku gaya pada sambungan baut	413
8.17.	Syarat jarak minimum perletakan baut	414
8.18.	Produk alat sambung cincin belah dan pemasangannya	415
8.19.	Produk alat sambung cincin dan plat geser	415
8.20.	Perilaku gaya pada sambungan cincin dan plat geser	415
8.21.	Produk alat penyambung plat logam	416
8.22.	Penampang kolom batang gabungan	418
8.23.	Kaki kolom kayu dengan plat dan jangkar	420
8.24.	Kolom tunggal, kolom ganda, dan kolom laminasi	420
8.25.	Sambungan kolom dengan balok	421
8.26.	Struktur balok dan kayu solid	421
8.27.	Struktur balok I dari produk kayu buatan	422
8.28.	Sambungan balok dengan balok	422
8.29.	Kesalahan pembebanan pada balok	422
8.30.	Struktur balok lantai bertumpu pada balok kayu induk	423
8.31.	Sambungan yang salah dan benar pada balok	423
8.32.	Contoh lain sambungan balok	424
8.33.	Berbagai bentuk struktur rangka batang kayu	424
8.34.	Penggunaan struktur rangka batang kayu	425
8.35.	Struktur rangka batang kayu dengan plat sambung	425
8.36.	Penyimpanan struktur rangka fabrikasi	426
8.37.	Syarat dan cara mengangkat struktur rangka	426
8.38.	Struktur jembatan kayu	427
8.39.	Struktur jembatan dengan kayu laminasi	427
8.40.	Struktur pelengkung kayu	428
9.1.	Tipikal jembatan	429
9.2.	Jembatan truss Warren	431
9.3.	Pendukung gelagar jembatan	432
9.4.	Arah jembatan	433
9.5.	Konsep desain jembatan Ruck-a-Chucky	434

9.6.	Jembatan gelagar baja	438
9.7.	Jembatan gelagar datar	439
9.8.	Perakitan potongan gelagar datar	439
9.9.	Pengaku web	440
9.10.	Prinsip balok tiered dan balok komposit	441
9.11.	Potongan gelagar komposit	441
9.12.	Tipe sambungan geser	442
9.13.	Gelagar grillage	443
9.14.	Jembatan Chidorinosawagawa	443
9.15.	Gelagar kotak	444
9.16.	Tipikal potongan superstruktur jembatan beton bertulang	445
9.17.	Potongan FHWA precast prestressed voided	447
9.18.	Potongan AASHTO balok I	447
9.19.	Caltrans precast standard "I" girder	448
9.20.	Caltrans precast standard "Bulb-Tee" girder	448
9.21.	Potongan FHWA precast pretensioned box	449
9.22.	Caltrans precast standard "bathtub" girder	450
9.23.	Jembatan California's Pine Valley	451
9.24.	Detail jembatan California's Pine Valley	452
9.25.	Jembatan rangka batang (truss)	453
9.26.	Berbagai tipe rangka batang (truss)	453
9.27.	Titik sambung rangka batang	454
9.28.	Jembatan Rahmen	455
9.29.	Jembatan π - Rahmen	456
9.30.	Berbagai tipe jembatan pelengkung	457
9.31.	Jembatan pelengkung Langer	458
9.32.	Jembatan gantung	460
9.33.	Jembatan gantung bentang satu, tiga, dan banyak	461
9.34.	Jenis jembatan kabel tarik	462
9.35.	Sub struktur jembatan pier dan bent	463
9.36.	Standar kolom arsitektural Caltrans	464
9.37.	Jenis-jenis abutmen	465
9.38.	Sistem lantai	466
9.39.	Penggunaan lapis aus untuk lantai jembatan	467
9.40.	Lantai dengan menggunakan kayu	467
9.41.	Geladak komposit	468
9.42.	Geladak orthotropic	468
9.43.	Hubungan rasuk baja tipe I dan balok lantai	469
9.44.	Metode pendirian	470
9.45.	Jenis-jenis penahan (bearing)	473
9.46.	Penahan Elastomeric	477
9.47.	Tipe sambungan ekspansi	475
9.48.	Pagar Terali	476

ISBN 978-979-060-147-5
ISBN 978-979-060-150-5

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 27.038,00