



JILID 2

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 2

**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 2

Untuk SMK

Penulis : Dian Ariestadi

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

ARI ARIESTADI, Dian  
t Teknik Struktur Bangunan Jilid 2 untuk SMK /oleh Dian  
Ariestadi ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah  
Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan  
Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.  
ix. 152 hlm  
Daftar Pustaka : A1-A3  
Glosarium : B1-B6  
ISBN : 978-979-060-147-5  
978-979-060-149-9

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

<b>1. LINGKUP PEKERJAAN DAN PERATURAN BANGUNAN</b>	<b>1</b>
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
<b>2. PENGGUNAAN PROGRAM KOMPUTER DALAM TEKNIK BANGUNAN</b>	<b>41</b>
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

<b>3. STATIKA BANGUNAN</b>	<b>115</b>
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
<b>4. ANALISIS SISTEM STRUKTUR BANGUNAN</b>	<b>181</b>
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

<b>5. DAYA DUKUNG TANAH DAN PONDASI</b>	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**

<b>6. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI BAJA</b>	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
<b>7. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI BETON</b>	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
<b>8. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN DENGAN KONSTRUKSI KAYU</b>	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
<b>9. TEKNIK STRUKTUR BANGUNAN JEMBATAN</b>	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

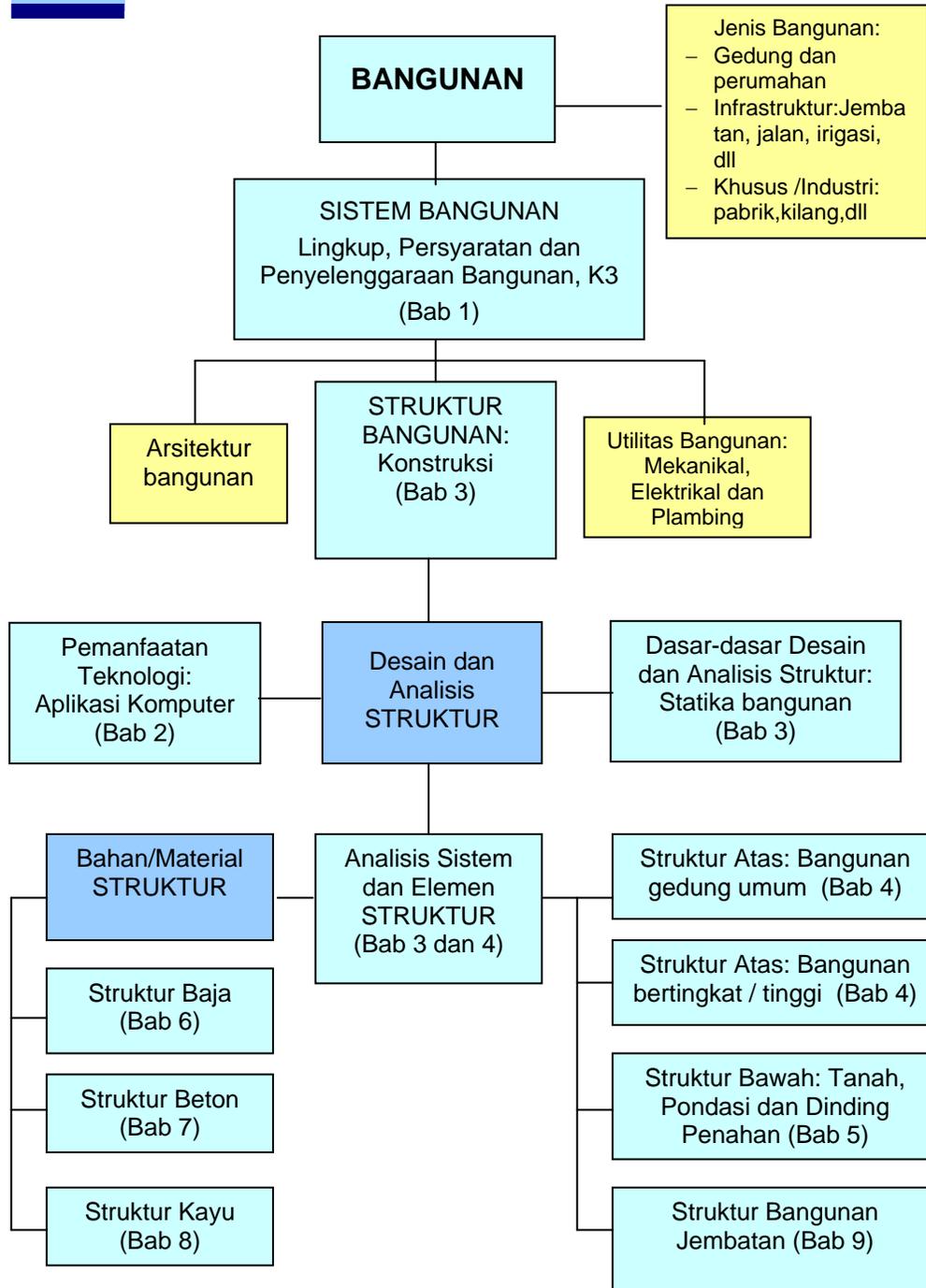
**DAFTAR PUSTAKA**

**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



## 3. STATIKA BANGUNAN

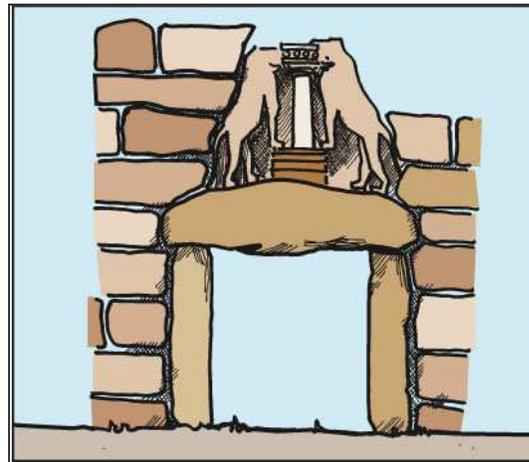
### 3.1. Elemen-elemen Sistem Struktur Bangunan

Struktur bangunan adalah bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah. Fungsi struktur dapat disimpulkan untuk memberi kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk mencegah sebuah bangunan mengalami keruntuhan. Struktur merupakan bagian bangunan yang menyalurkan beban-beban. Beban-beban tersebut menumpu pada elemen-elemen untuk selanjutnya disalurkan ke bagian bawah tanah bangunan, sehingga beban-beban tersebut akhirnya dapat di tahan.

#### 2.2.1. Sejarah Perkembangan Sistem Struktur

Secara singkat sejarah teknik struktur dapat dijelaskan melalui perubahan-perubahan sistem struktur dari penggunaan desain coba-coba yang digunakan oleh Mesir dan Yunani kuno hingga sistem struktur canggih yang digunakan saat ini. Perubahan bentuk struktur berhubungan erat dengan penggunaan material, teknologi konstruksi, pengetahuan perencana pada perilaku struktur atau analisis struktur, hingga keterampilan pekerja konstruksinya.

Keberhasilan terbesar para ahli teknik Mesir adalah digunakannya batu-batu yang berasal dari sepanjang sungai Nil untuk membangun kuil dan piramid. Karena kemampuan daya dukung batu yang rendah dan kualitas yang sangat tidak menentu, yang disebabkan adanya retak-retak dalam dan rongga-rongga, maka bentang balok-balok tersebut harus sependek mungkin untuk mempertahankan kerusakan akibat lentur (Gambar 3.1). Oleh karenanya sistem *post-and-lintel* yaitu balok batu masif bertumpu pada kolom batu yang relatif



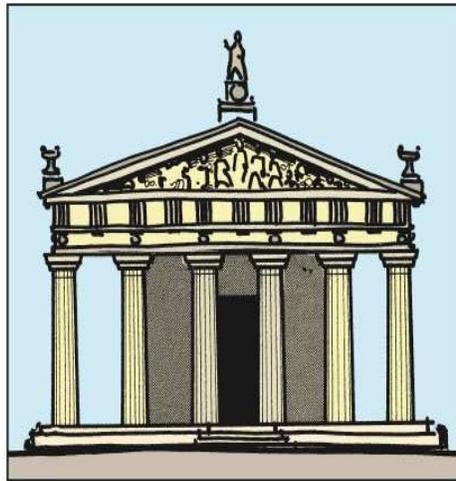
**Gambar 3.1. Struktur post and lintel Bangunan batu di Mesir**

Sumber: Bautechnik Fachunde, 2007

tebal, memiliki kapasitas terbatas untuk menahan beban-beban horisontal atau beban eksentris vertikal, bangunan-bangunan menjadi relatif rendah.

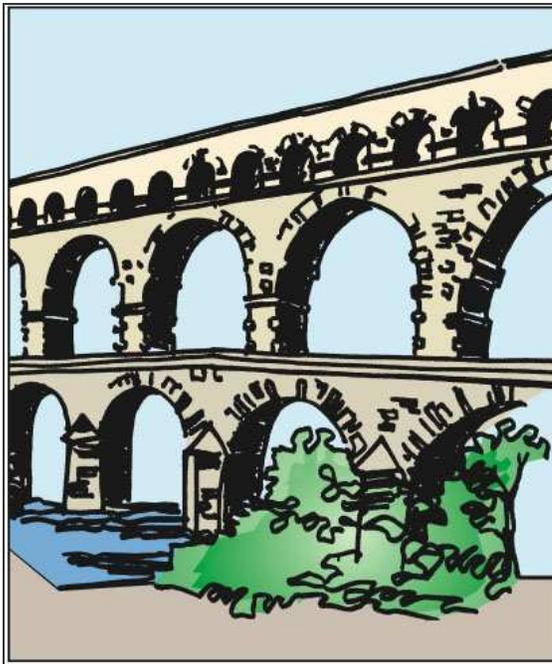
Untuk stabilitas kolom harus dibuat tebal, dengan pertimbangan bahwa kolom ramping akan lebih mudah roboh dibandingkan dengan kolom tebal.

Yunani, lebih tertarik dengan kolom batu dengan penampilan yang lebih halus (Gambar 3.2), menggunakan tipe yang sama dengan post-and-lintel sistem pada bangunan Parthenon. Hingga awal abad 20-an, lama setelah konstruksi *post-and-lintel* digantikan oleh baja dan rangka beton, para arsitek melanjutkan dengan menutup fasad kuil Yunani klasik pada bagian penerima bangunan-bangunan. Tradisi klasik jaman Yunani kuno sangat mempengaruhi masa-masa setelah pemerintahan mundur.



**Gambar 3.2 Struktur post and lintel Bangunan Parthenon**

Sumber: Bautechnik Fachunde, 2007



**Gambar 3.3. Struktur lengkung pada Bangunan di Roma**

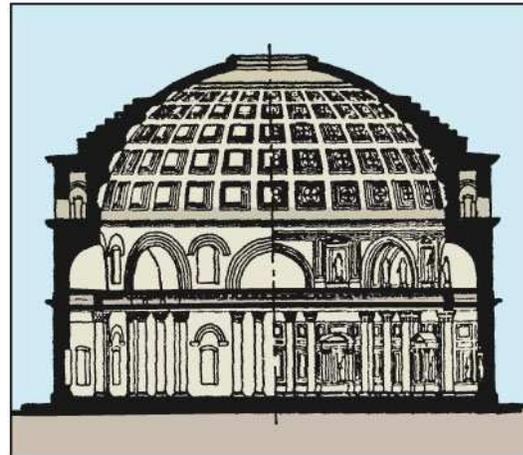
Sumber: Bautechnik Fachunde, 2007

Sebagai pembangun berbakat, para teknisi Roma menggunakan struktur lengkung secara luas, seperti yang sering ditemui dalam deret-deret bentuk bertingkat pada stadion (*coliseum*), terowongan air, dan jembatan (Gambar 3.3).

Bentuk lengkung dari busur memungkinkan bentang bersih yang lebih panjang dari yang bisa diterapkan pada bangunan dengan konstruksi pasangan batu *post-and-lintel*. Stabilitas bangunan lengkung mensyaratkan: 1) seluruh penampang bekerja menahan gaya tekan akibat kombinasi beban-beban keseluruhan, 2) abutmen atau dinding akhir mempunyai kemampuan yang cukup untuk menyerap gaya diagonal yang besar pada dasar lengkungan.

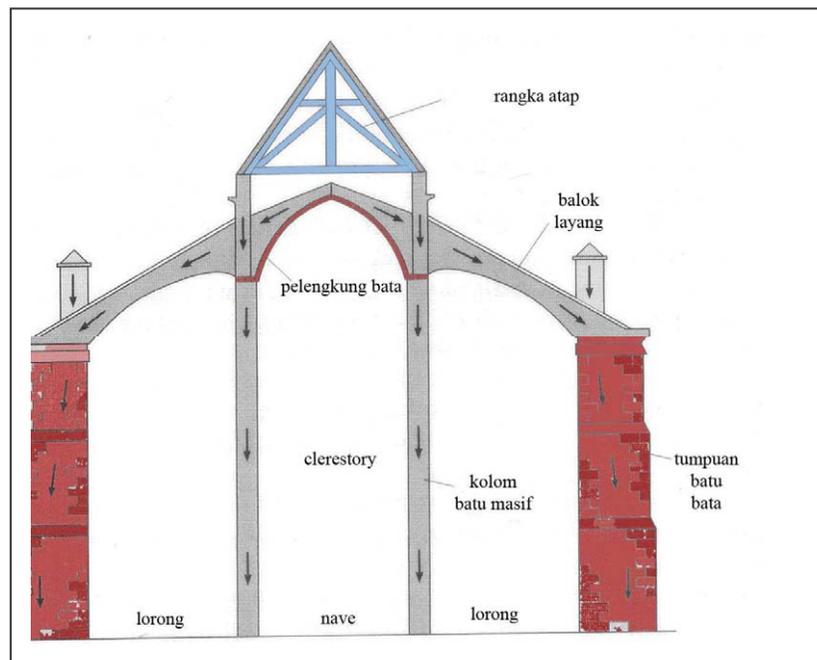
Orang-orang Roma mengembangkan metode pembentukan pelingkup ruang interior dengan kubah batu, seperti terlihat pada Pantheon yang ada di Roma.

Selama periode Gothic banyak bangunan-bangunan katedral megah seperti Chartres dan Notre Dame, bentuk lengkung diperhalus dengan hiasan-hiasan yang banyak dan berlebihan, bentuk-bentuk yang ada menjadi semakin lebar (Gambar 3.4). Ruang-ruang atap dengan lengkungan tiga dimensional juga ditunjukkan pada konstruksi atap-atap katedral. Elemen-elemen batu yang melengkung atau disebut *flying buttresses*, yang digunakan bersama dengan tiang-tiang penyangga dari kolom batu yang tebal atau dinding yang menyalurkan gaya dari kubah atap ke tanah (Gambar 3.5). Bidang teknik pada periode ini menghasilkan pengalaman yang tinggi berdasar pada apa yang dipelajari ahli bangunan dan mengajarkan pada murid-muridnya, selanjutnya ketrampilan ini diturunkan pada generasi-generasi selanjutnya.



**Gambar 3.4 Struktur lengkung kubah Bangunan**

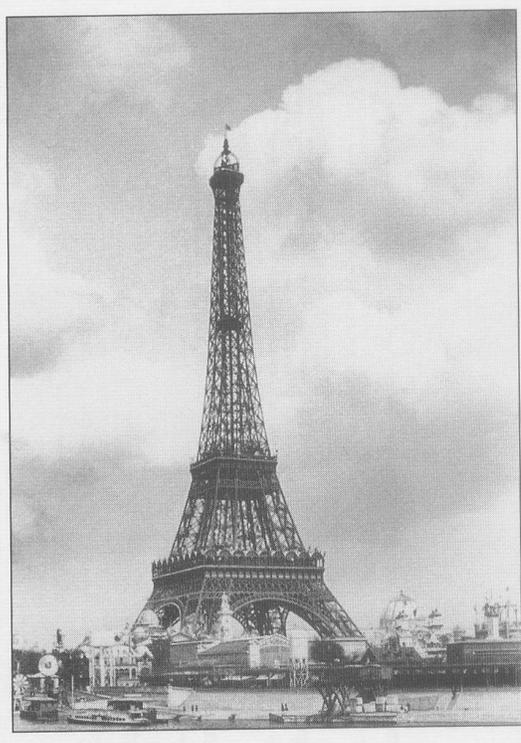
Sumber: Bautechnik Fachunde, 2007



**Gambar 3.5. Penampang sistem struktur pada bangunan katedral**

Sumber: Leet, 2002

Meskipun katedral dan istana-istana megah didirikan selama beberapa abad di Eropa tetapi tidak ada perubahan yang signifikan pada teknologi konstruksi, hingga diproduksi besi tuang sebagai bahan komersial pada pertengahan abad ke-18. Bahan ini memungkinkan ahli teknik untuk mendesain bangunan dengan sederhana tetapi dengan balok-balok yang kuat, kolom-kolom dengan penampang yang lebih solid. Hal ini memungkinkan desain struktur yang ringan dengan bentang yang lebih panjang dan bukaan-bukaan yang lebih lebar. Dinding penahan yang masif digunakan untuk konstruksi batu yang tidak memerlukan bentang panjang. Pada akhirnya, baja dengan kemampuan menahan gaya tarik yang tinggi dan tekan yang besar memungkinkan konstruksi dari struktur-struktur yang tinggi hingga saat ini untuk gedung pencakar langit (*skyscraper*).



**Gambar 3.6. Struktur rangka baja  
Menara Eifel, Paris**

Sumber: Leet, 2002

Pada akhir abad ke-19, Eifel, seorang ahli teknik perancis yang banyak membangun jembatan baja bentang panjang mengembangkan inovasi-nya untuk Menara Eifel, yang dikenal sebagai simbol kota Paris (Gambar 3.6). Dengan adanya pengembangan kabel baja tegangan tinggi, para ahli teknik memungkinkan membangun jembatan gantung dengan bentang panjang.

Penambahan tulangan baja pada beton memungkinkan para ahli untuk mengganti beton tanpa tulangan menjadi lebih kuat, dan menjadikan elemen struktur lebih liat (*ductile*). Beton bertulang memerlukan cetakan sesuai dengan variasi bentuk yang diinginkan. Sejak beton bertu-

lang menjadi lebih monolit yang berarti bahwa aksi beton dan baja menjadi satu kesatuan unit, maka beton bertulang memiliki kemampuan yang lebih tidak terbatas.

Pengembangan metode analisis memungkinkan perencana memprediksikan gaya-gaya dalam pada konstruksi beton bertulang, desain

merupakan semi empiris dimana perhitungan didasarkan pada penelitian pada pengamatan perilaku dan pengujian-pengujian, serta dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika. Pada awal tahun 1920-an dengan menggunakan momen distribusi oleh Hardy Cross, para ahli menerapkan teknik yang relatif sederhana untuk menganalisis struktur. Perencana menjadi lebih terbiasa menggunakan momen distribusi untuk menganalisis rangka struktur yang tidak terbatas, dan menggunakan beton bertulang sebagai material bangunan yang berkembang pesat.

Dikenalnya teknik las pada akhir abad ke-19 memungkinkan penyambungan elemen baja dan menyederhanakan konstruksi rangka kaku baja. Selanjutnya, pengelasan menggantikan plat-plat sambung berat dan sudut-sudut yang menggunakan paku keling.

Saat ini perkembangan komputer dan penelitian-penelitian dalam ilmu bahan menghasilkan perubahan besar dari ahli-ahli teknik struktur dalam mengembangkan pendukung khusus struktur. Pengenalan komputer dan pengembangan metode matriks untuk balok, pelat dan elemen bidang permukaan memungkinkan perencana menganalisis struktur yang kompleks dengan cepat dan akurat.

### 2.2.2. Klasifikasi Struktur

Untuk dapat memahami suatu bidang ilmu termasuk struktur bangunan, maka pengetahuan tentang bagaimana kelompok-kelompok dalam struktur dibedakan, diurutkan, dan dinamakan secara sistematis sangat diperlukan. Pengetahuan tentang kriteria dan kemungkinan hubungan dari bentuk-bentuk menjadi dasar untuk mengklasifikasikan struktur bangunan. Metode umum yang sering digunakan adalah mengklasifikasikan elemen struktur dan sistemnya menurut bentuk dan sifat fisik dasar dari suatu konstruksi, seperti pada Gambar 3.7.

Klasifikasi struktur berdasarkan geometri atau bentuk dasarnya:

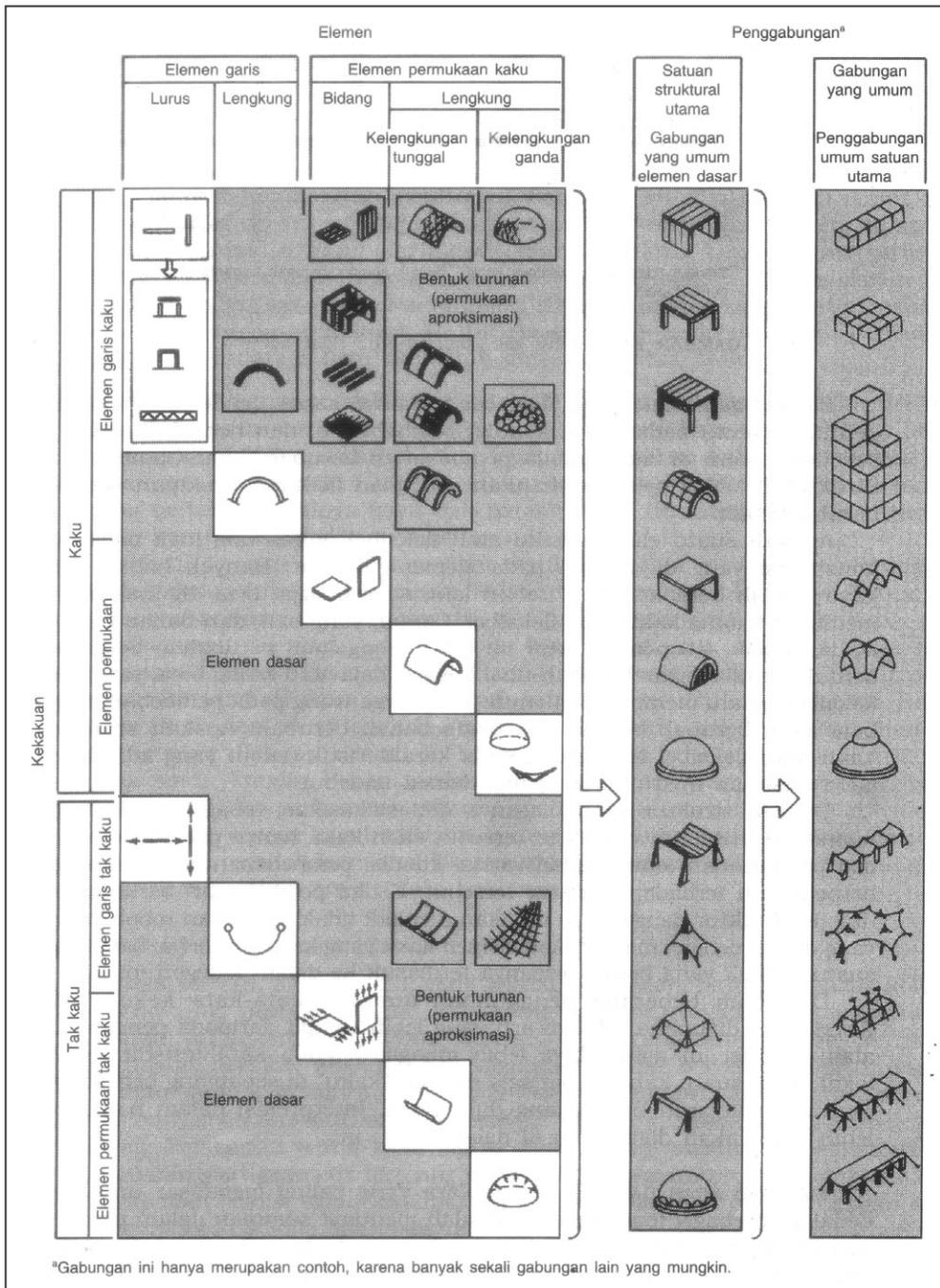
- Elemen garis atau elemen yang disusun dari elemen-elemen garis, adalah klasifikasi elemen yang panjang dan langsing dengan potongan melintangnya lebih kecil dibandingkan ukuran panjangnya. Elemen garis dapat dibedakan atas garis lurus dan garis lengkung.
- Elemen permukaan adalah klasifikasi elemen yang ketebalannya lebih kecil dibandingkan ukuran panjangnya. Elemen permukaan, dapat berupa datar atau lengkung. Elemen permukaan lengkung bisa berupa lengkung tunggal ataupun lengkung ganda

Klasifikasi struktur berdasarkan karakteristik kekakuannya elemennya:

- Elemen kaku, biasanya sebagai batang yang tidak mengalami perubahan bentuk yang cukup besar apabila mengalami gaya akibat beban-beban.
- Elemen tidak kaku atau fleksibel, misalnya kabel yang cenderung berubah menjadi bentuk tertentu pada suatu kondisi pembebanan. Bentuk struktur ini dapat berubah drastis sesuai perubahan

1. lingkup pekerjaan dan peraturan bangunan

pembebanannya. Struktur fleksibel akan mempertahankan keutuhan fisiknya meskipun bentuknya berubah-ubah.

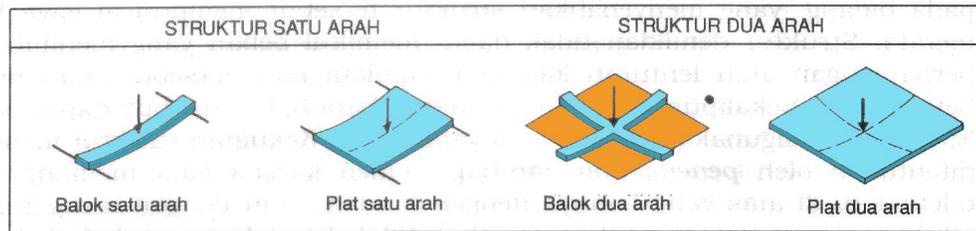


Gambar 3.7. Klasifikasi elemen struktur

Sumber: Schodek, 1999

Berdasarkan susunan elemen, dibedakan menjadi 2 sistem seperti diilustrasikan pada Gambar 3.8:

- Sistem satu arah, dengan mekanisme transfer beban dari struktur untuk menyalurkan ke tanah merupakan aksi satu arah saja. Sebuah balok yang terbentang pada dua titik tumpuan adalah contoh sistem satu arah.
- Sistem dua arah, dengan dua elemen bersilangan yang terletak di atas dua titik tumpuan dan tidak terletak di atas garis yang sama. Suatu pelat bujur sangkar datar yang kaku dan terletak di atas tumpuan pada tepi-tepinya



**Gambar 3.8. Klasifikasi struktur menurut mekanisme transfer beban**

Sumber: Schodek, 1999

Berdasarkan material pembentuknya, dibedakan:

- Struktur kayu
- Struktur baja
- Struktur beton, dll

### 2.2.3. Elemen-elemen Utama Struktur

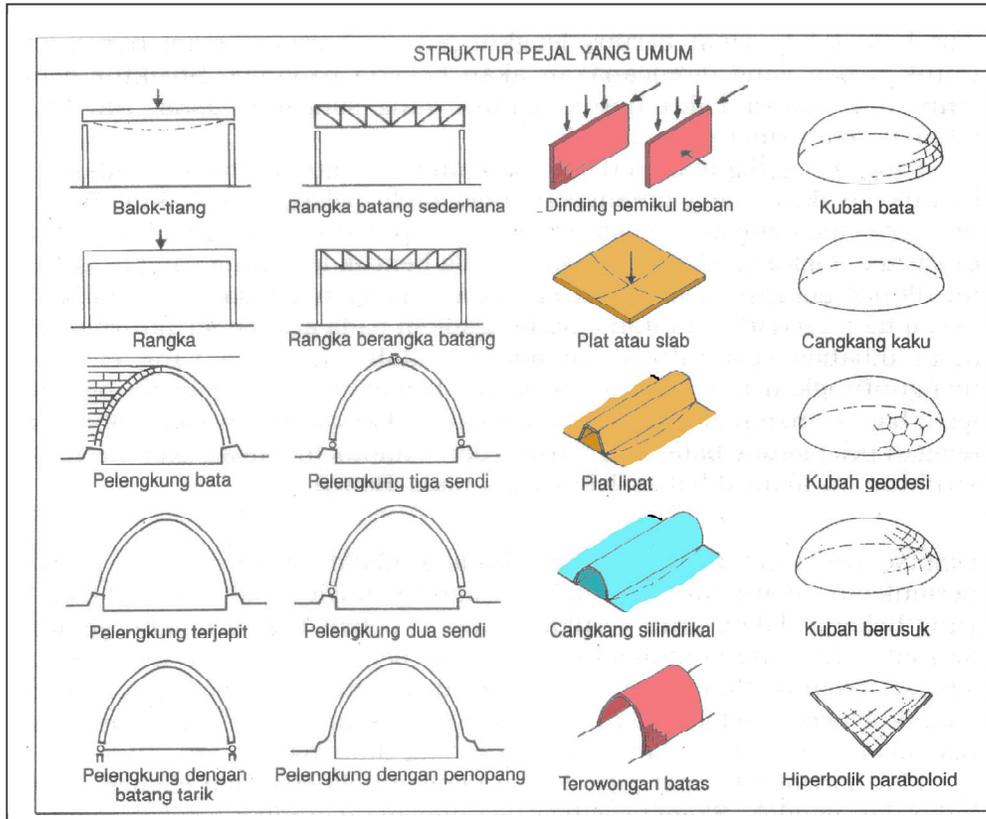
Elemen-elemen struktur utama seperti pada Gambar 3.9, dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu:

- Elemen kaku yang umum digunakan: balok, kolom, pelengkung, pelat datar, pelat berkelengkungan tunggal dan cangkang.
- Elemen tidak kaku atau fleksibel: kabel, membran atau bidang berpelengkung tunggal maupun ganda.
- Elemen-elemen yang merupakan rangkaian dari elemen-elemen tunggal: rangka, rangka batang, kubah, dan jaring.

#### a) Balok dan Kolom

Struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal di atas elemen kaku vertikal. Elemen horisontal (balok) memikul beban yang bekerja secara transversal dari panjangnya dan menyalurkan beban tersebut ke elemen vertikal (kolom) yang menumpunya. Kolom dibebani secara aksial oleh balok, dan akan menyalurkan beban tersebut ke tanah. Balok akan melentur sebagai akibat dari beban yang bekerja secara transversal, sehingga balok sering disebut memikul beban secara melentur. Kolom tidak melentur ataupun melendut karena pada umumnya mengalami

gaya aksial saja. Pada suatu bangunan struktur balok dapat merupakan balok tunggal di atas tumpuan sederhana ataupun balok menerus. Pada umumnya balok menerus merupakan struktur yang lebih menguntungkan dibanding balok bentangan tunggal di atas dua tumpuan sederhana.



**Gambar 3.9. Jenis-jenis elemen struktur**

Sumber: Schodek, 1999

**b) Rangka**

Struktur rangka secara sederhana sama dengan jenis balok-tiang (*post-and-beam*), tetapi dengan aksi struktural yang berbeda karena adanya titik hubung kaku antar elemen vertikal dan elemen horisontalnya. Kekakuan titik hubung ini memberi kestabilan terhadap gaya lateral. Pada sistem rangka ini, balok maupun kolom akan melentur sebagai akibat adanya aksi beban pada struktur. Pada struktur rangka panjang setiap elemen terbatas, sehingga biasanya akan dibuat dengan pola berulang.

**c) Rangka Batang**

Rangka batang (*trusses*) adalah struktur yang dibuat dengan menyusun elemen linier berbentuk batang-batang yang relatif pendek dan lurus menjadi pola-pola segitiga. Rangka batang yang terdiri atas elemen-elemen diskrit akan melendut secara keseluruhan apabila mengalami pembebanan seperti halnya balok yang terbebani transversal. Setiap

elemen batangnya tidak melentur tetapi hanya akan mengalami gaya tarik atau tekan saja.

**d) Pelengkung**

Pelengkung adalah struktur yang dibentuk oleh elemen garis yang melengkung dan membentang antara dua titik. Struktur ini umumnya terdiri atas potongan-potongan kecil yang mempertahankan posisinya akibat adanya pembebanan. Bentuk lengkung dan perilaku beban merupakan hal pokok yang menentukan apakah struktur tersebut stabil atau tidak. Kekuatan struktur tergantung dari bahan penyusunnya serta beban yang akan bekerja padanya. Contoh struktur pelengkung adalah pelengkung yang dibentuk dari susunan bata. Bentuk struktur pelengkung yang banyak digunakan pada bangunan modern adalah pelengkung kaku (*rigid arch*). Struktur ini hampir sama dengan pelengkung bata tetapi terbuat dari material kaku. Struktur pelengkung kaku dapat menahan beban aksial lebih baik tanpa terjadi lendutan atau bengkokan pada elemen strukturnya, jika dibandingkan dengan pelengkung bata.

**e) Dinding dan Plat**

Pelat datar dan dinding adalah struktur kaku pembentuk permukaan. Suatu **dinding pemikul beban** dapat memikul beban baik beban yang bekerja dalam arah vertikal maupun beban lateral seperti beban angin maupun gempa. Jika struktur dinding terbuat dari susunan material kecil seperti bata, maka kekuatan terhadap beban dalam arah tegak lurus menjadi sangat terbatas.

Struktur **pelat datar** digunakan secara horisontal dan memikul beban sebagai lentur dan meneruskannya ke tumpuan. Struktur pelat dapat terbuat dari beton bertulang ataupun baja. Pelat horisontal dapat dibuat dengan pola susunan elemen garis yang kaku dan pendek, dan bentuk segitiga tiga dimensi digunakan untuk memperoleh kekakuan yang lebih baik. Struktur pelat dapat berupa pelat lipat (*folded plate*) yang merupakan pelat kaku, sempit, panjang, yang digabungkan di sepanjang sisi panjangnya dan digunakan dengan bentang horisontal.

**f) Cangkang silindrikal dan terowongan**

Cangkang silindrikal dan terowongan merupakan jenis struktur pelat-satu-kelengkungan. Struktur cangkang memiliki bentang longitudinal dan kelengkungannya tegak lurus terhadap diameter bentang. Struktur cangkang yang cukup panjang akan berperilaku sebagai balok dengan penampang melintang adalah kelengkungannya. Bentuk struktur cangkang ini harus terbuat dari material kaku seperti beton bertulang atau baja.

Terowongan adalah struktur berpelengkung tunggal yang membentang pada arah transversal. Terowongan dapat dipandang sebagai pelengkung menerus.

**g) Kubah dan Cangkang Bola**

Kubah dan cangkang bola merupakan bentuk struktur berkelengkungan ganda. Bentuk kubah dan cangkang dapat dipandang

sebagai bentuk lengkungan yang diputar. Umumnya dibentuk dari material kaku seperti beton bertulang, tetapi dapat pula dibuat dari tumpukan bata. Kubah dan cangkang bola adalah struktur yang sangat efisien yang digunakan pada bentang besar, dengan penggunaan material yang relatif sedikit. Struktur bantuk kubah dapat juga dibuat dari elemen-elemen garis, kaku, pendek dengan pola yang berulang, contohnya adalah kubah geodesik.

#### h) Kabel

Kabel adalah elemen struktur fleksibel. Bentuk struktur kabel tergantung dari besar dan perilaku beban yang bekerja padanya. Struktur kabel yang ditarik pada kedua ujungnya, berbentuk lurus saja disebut *tie-rod*. Jika pada bentangan kabel terdapat beban titik eksternal maka bentuk kabel akan berupa segmen-segmen garis. Jika beban yang dipikul adalah beban terbagi merata, maka kabel akan berbentuk lengkungan, sedangkan berat sendiri struktur kabel akan menyebabkan bentuk lengkung yang disebut *catenary-curve*.

#### i) Membran, Tenda dan Jaring

**Membran** adalah lembaran tipis dan fleksibel. **Tenda** biasanya dibentuk dari permukaan membran. Bentuk strukturnya dapat berbentuk sederhana maupun kompleks dengan menggunakan membran-membran. Untuk permukaan dengan kelengkungan ganda seperti permukaan bola, permukaan aktual harus tersusun dari segmen-segmen yang jauh lebih kecil karena umumnya membran hanya tersedia dalam bentuk lembaran-lembaran datar. Membran fleksibel yang dipakai pada permukaan dengan menggantungkan pada sisi cembung berarah ke bawah, atau jika berarah keatas harus ditambahkan mekanisme tertentu agar bentuknya dapat tetap. Mekanisme lain adalah dengan menarik membran agar mempunyai bentuk tertentu. **Jaring** adalah permukaan tiga dimensi yang terbuat dari sekumpulan kabel lengkung yang melintang.

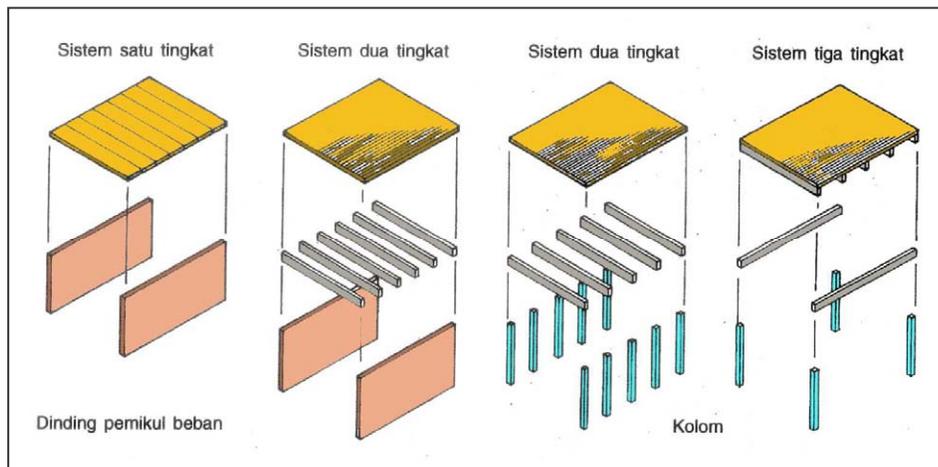
### 2.2.4. Satuan Struktur Utama dan Penggabungannya

Dalam bidang teknik sipil aplikasi struktur terutama dibedakan pada jenis struktur gedung dan struktur untuk bangunan lain. Pada struktur gedung kombinasi struktur selalu berperilaku untuk membentuk volume (ruang) tertentu. Sedangkan bangunan lain (contohnya jembatan), struktur bangunan berfungsi untuk memikul permukaan linear.

**Satuan struktural utama** adalah struktur minimum yang digunakan pada konteks bangunan gedung yang dapat dipergunakan baik secara individual maupun secara berulang. Sebagai contoh, empat kolom beserta permukaan bidang kaku yang ditumpunya membentuk volume ruang tertentu merupakan satuan struktural utama. Satuan ini dengan susunan bersebelahan maupun bertumpuk akan membentuk volume ruang yang lebih besar. Jika diletakkan bersebelahan maka kolom-kolom dapat dipergunakan bersama oleh masing-masing satuan.

Satuan struktural utama dapat terdiri atas kombinasi elemen-elemen linier/garis, bidang/permukaan, vertikal maupun horisontal, baik tunggal maupun rangkaian rangka. Satuan struktural yang biasa dijumpai dapat dibedakan menjadi:

- Sistem yang membentang secara horisontal
- Sistem yang membentang secara vertikal
- Sistem tumpuan lateral.

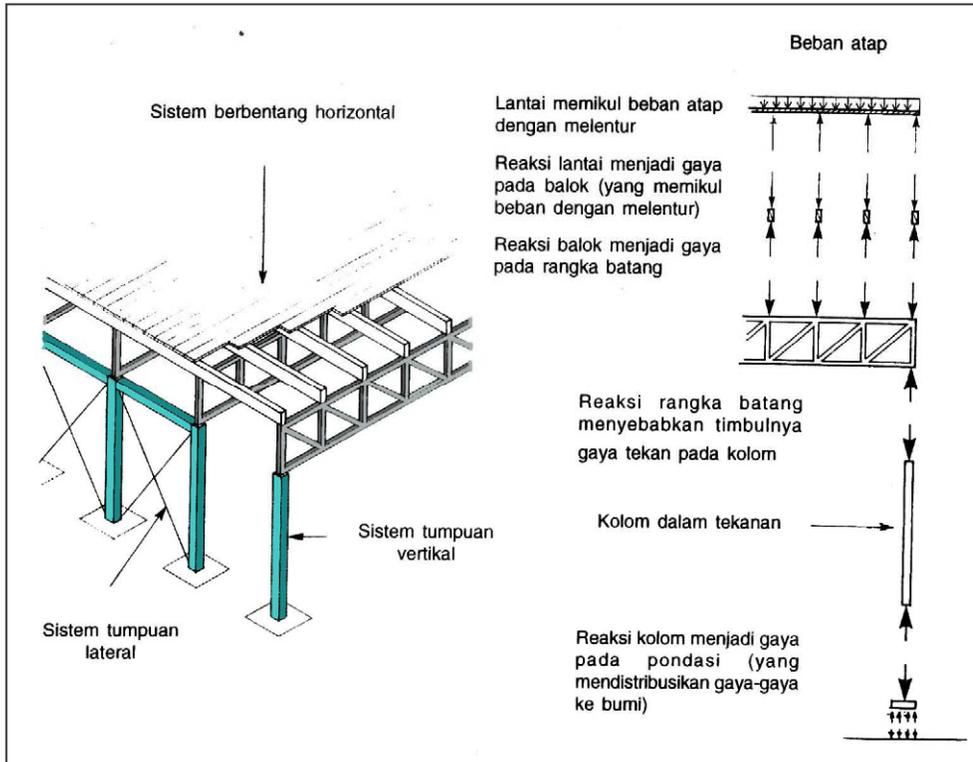


**Gambar 3.10. Susunan sistem struktur penahan bentang horisontal untuk bentang pendek**

Sumber: Schodek, 1999

Pada permukaan datar, sistem yang membentang secara horisontal dapat terdiri atas satu atau dua elemen yang membentang. Untuk sistem yang terdiri atas elemen-elemen pembentang secara vertikal dapat berupa hirarki: bidang pembentuk permukaan yang terbentang pendek akan ditumpu oleh balok-balok sekunder (balok anak) yang berjarak dekat antara satu dengan lainnya, balok-balok sekunder selanjutnya akan dipikul oleh balok-balok lain (utama/induk) yang lebih besar dengan jarak yang lebih lebar, balok-balok utama ini yang akan menyalurkan beban ke elemen pemikul vertikal. Hirarki elemen-elemen struktur dapat terdiri atas dua lapis, tiga lapis atau lebih, tetapi hirarki tiga lapis adalah hirarki yang paling sering digunakan. (Gambar 3.10). Pada situasi dengan bentang-bentang pendek sistem lantai dan balok-balok sering digunakan, sedangkan untuk bentang struktur yang panjang rangka batang atau struktur kabel merupakan sistem yang banyak digunakan (Gambar 3.11).

Pada tumpuan vertikal, umumnya terdiri atas dinding pemikul beban dan sistem kolom. Dinding pemikul beban dapat digunakan untuk menerima beban pada seluruh bagian panjangnya, misalnya dari bidang horisontal. Pada sistem kolom akan menerima gaya-gaya terpusat saja, umumnya dari ujung-ujung balok.



**Gambar 3.11. Susunan sistem struktur penahan bentang horizontal untuk bentang lebar atau panjang**

Sumber: Schodek, 1999

Beban-beban yang bekerja pada arah horisontal seperti angin atau gempa dapat menyebabkan struktur runtuh secara lateral. Struktur dinding dapat memikul beban-beban tersebut, sebaliknya sistem balok dan kolom membutuhkan elemen-elemen pemikul lain misalnya elemen linier diagonal.

### 3.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi struktur

#### 3.2.1. Kriteria desain struktur

Untuk melakukan desain dan analisis struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan bahwa struktur sesuai dengan manfaat penggunaannya. Beberapa kriteria desain struktur:

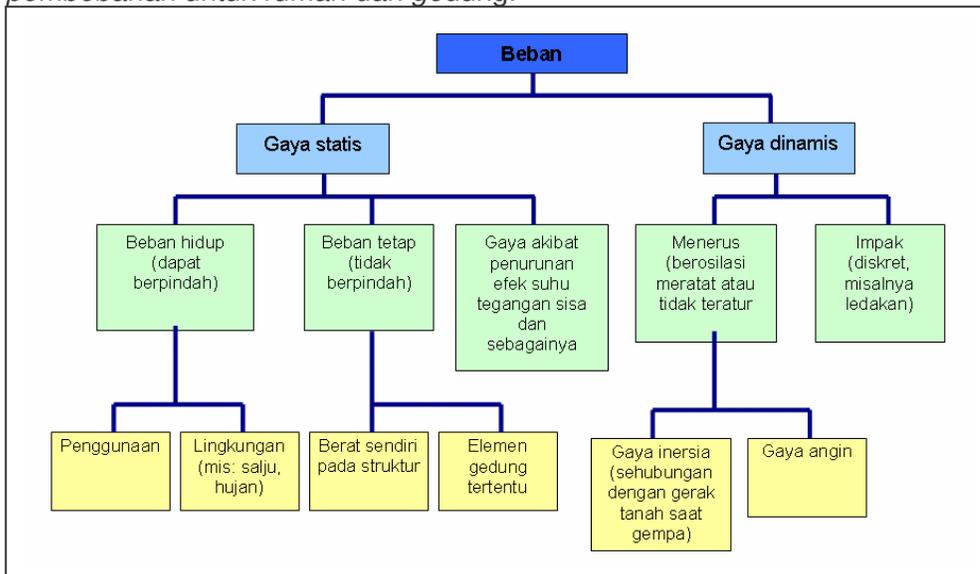
- **Kemampuan layan (*serviceability*)**  
Struktur harus mampu memikul beban rancangan secara aman, tanpa kelebihan tegangan pada material dan mempunyai batas deformasi dalam batas yang diizinkan. Kemampuan layan meliputi:
  - **Kriteria kekuatan** yaitu pemilihan dimensi serta bentuk elemen struktur pada taraf yang dianggap aman sehingga kelebihan tegangan pada material (misalnya ditunjukkan adanya keretakan) tidak terjadi.

- variasi **kekakuan struktur** yang berfungsi untuk mengontrol deformasi yang diakibatkan oleh beban. Deformasi merupakan perubahan bentuk bagian struktur yang akan tampak jelas oleh pandangan mata, sehingga sering tidak diinginkan terjadi. Kekakuan sangat tergantung pada jenis, besar, dan distribusi bahan pada sistem struktur. Untuk mencapai kekakuan struktur seringkali diperlukan elemen struktur yang cukup banyak bila dibandingkan untuk memenuhi syarat kekuatan struktur.
- **gerakan pada struktur** yang juga berkaitan dengan deformasi. Kecepatan dan percepatan aktual struktur yang memikul beban dinamis dapat dirasakan oleh pemakai bangunan, dan dapat menimbulkan rasa tidak nyaman. Pada struktur bangunan tinggi terdapat gerakan struktur akibat beban angin. Untuk itu diperlukan kriteria mengenai batas kecepatan dan percepatan yang diizinkan. Kontrol akan tercapai melalui manipulasi kekakuan struktur dan karakteristik redaman.
- **Efisiensi**  
Kriteria efisiensi mencakup tujuan untuk mendesain struktur yang relatif lebih ekonomis. Indikator yang sering digunakan pada kriteria ini adalah jumlah material yang diperlukan untuk memikul beban. Setiap sistem struktur dapat memerlukan material yang berbeda untuk memberikan kemampuan layan struktur yang sama. Penggunaan volume yang minimum sebagai kriteria merupakan konsep yang penting bagi arsitek maupun perencana struktur.
- **Konstruksi**  
Tinjauan konstruksi juga akan mempengaruhi pilihan struktural. Konstruksi merupakan kegiatan perakitan elemen-elemen atau material-material struktur. Konstruksi akan efisien apabila materialnya mudah dibuat dan dirakit. Kriteria konstruksi sangat luas mencakup tinjauan tentang cara atau metode untuk melaksanakan struktur bangunan, serta jenis dan alat yang diperlukan dan waktu penyelesaian. Pada umumnya perakitan dengan bagian-bagian yang bentuk dan ukurannya mudah dikerjakan dengan peralatan konstruksi yang ada merupakan hal yang dikehendaki.
- **Ekonomis**  
Harga merupakan faktor yang menentukan pemilihan struktur. Konsep harga berkaitan dengan efisiensi bahan dan kemudahan pelaksanaannya. Harga total suatu struktur sangat bergantung pada banyak dan harga material yang digunakan, serta biaya tenaga kerja pelaksana konstruksi, serta biaya peralatan yang diperlukan selama pelaksanaan.
- **Lain-lain**  
Selain faktor yang dapat diukur seperti kriteria sebelumnya, kriteria relatif yang lebih subyektif juga akan menentukan pemilihan struktur.

Peran struktur untuk menunjang tampilan dan estetika oleh perancang atau arsitek bangunan termasuk faktor yang juga sangat penting dalam pertimbangan struktur.

### 3.2.2. Pembebanan pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Gambar 3.12, menunjukkan diagram beban-beban yang harus diperhatikan dan cara untuk menentukan karakteristiknya. Perencanaan pembebanan di Indonesia diatur melalui SNI 03-1727-1989-F, *Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung*.



Gambar 3.12. Skema pembebanan struktur

Sumber: Schodek, 1999

Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis.

- **Gaya statis** adalah gaya yang bekerja secara terus-menerus pada struktur. Deformasi ini akan mencapai puncaknya apabila gaya statis maksimum.
- **Gaya dinamis** adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba dan/atau kadang-kadang pada struktur. Pada umumnya mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur hingga deformasi puncak tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya gaya terbesar

### a) Gaya-gaya Statis

Gaya-gaya statis pada umumnya dapat dibagi lagi menjadi beban mati, beban hidup, dan beban akibat penurunan atau efek termal.

**Beban Mati** adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, partisi yang dapat dipindahkan, adalah beban mati. Berat eksak elemen-elemen ini pada umumnya diketahui atau dapat dengan mudah ditentukan dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Semua metode untuk menghitung beban mati suatu elemen adalah didasarkan atas peninjauan berat satuan material yang terlihat dan berdasarkan volume elemen tersebut. Berat satuan (*unit weight*) material secara empiris telah ditentukan dan telah banyak dicantumkan tabelnya pada sejumlah sumber untuk memudahkan perhitungan beban mati (Tabel 3.1).

**Beban hidup** adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya (Tabel 3.2).

Dalam peraturan pembebanan Indonesia, beban hidup meliputi:

- Beban hidup pada lantai gedung
  - o Beban sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan ruang yang bersangkutan, serta dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih  $100 \text{ kg/m}^2$ . Beban untuk perlengkapan ruang yang berat harus ditentukan tersendiri.
  - o Beban tidak perlu dikalikan koefisien kejut
  - o Beban lantai untuk bangunan multi guna harus menggunakan beban terberat yang mungkin terjadi
- Beban hidup pada atap bangunan
  - o Untuk bagian atap yang dapat dicapai orang harus digunakan minimum sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$  bidang datar
  - o Untuk beban akibat air hujan sebesar  $(40 - 0.8 \alpha) \text{ kg/m}^2$ , dengan  $\alpha$  adalah sudut kemiringan atap bila kurang dari  $50^\circ$ .
  - o Beban terpusat untuk pekerja dan peralatan pemadam kebakaran sebesar minimum 100 kg.
  - o Bagian tepi atap yang terkantilever sebesar minimum 200 kg.
  - o Pada bangunan tinggi yang menggunakan landasan helikopter diambil sebesar  $200 \text{ kg/m}^2$ .

**Tabel 3.1. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen bangunan**

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia, 1983

<b>Bahan dan Komponen</b>	<b>Berat</b>
<b>BAHAN BANGUNAN</b>	<b>Dalam Kg/m<sup>3</sup></b>
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (tumpuk)	1500
Batu karang	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Kayu	1000
Kerikil, koral	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450
Pasir	1600
Pasir jenuh air	1800
Pasir kerikil, koral	1850
Tanah, lempung kering	1700
Tanah, lempung basah	2000
Timah hitam	11400
<b>KOMPONEN GEDUNG</b>	<b>Dalam Kg/m<sup>2</sup></b>
Adukan, per cm tebal	21
Aspal, termasuk bahan penambah	14
Dinding satu bata	450
Dinding setengah bata	250
Dinding batako berlubang	
Tebal 20 cm	200
Tebal 10 cm	120
Dinding batako tanpa lubang	
Tebal 15 cm	300
Tebal 10 cm	200
Langit-langit asbes termasuk rangka	11
Lantai kayu untuk bentang 5 m dan beban hidup 200 kg/m <sup>2</sup>	40
Rangka plafon kayu	7
Atap gentang dengan reng dan usuk	50
Atap sirap dengan reng dan usuk	40
Atap seng gelombang	10
Penutup lantai per cm tebal	24

**Tabel 3.2 Beban hidup pada lantai bangunan**

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia, 1983

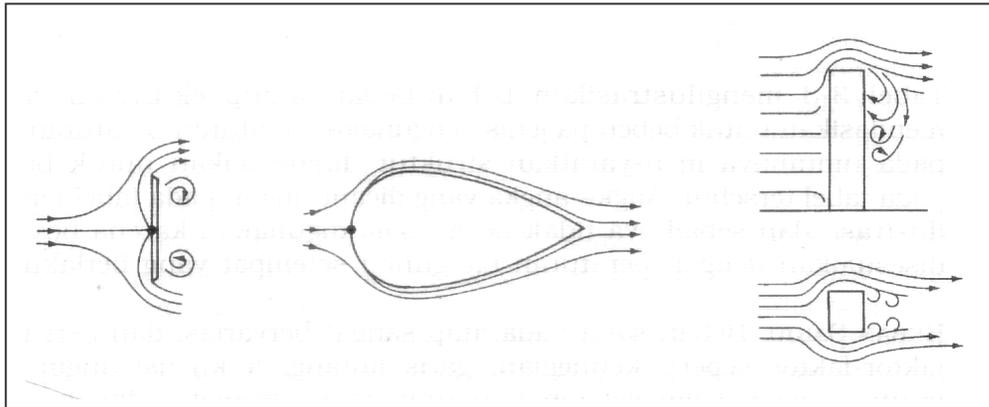
Komponen beban pada lantai		Beban (kg/m <sup>2</sup> )
<b>a</b>	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	<b>200</b>
<b>b</b>	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	<b>125</b>
<b>c</b>	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	<b>250</b>
<b>d</b>	Lantai ruang olah raga	<b>400</b>
<b>e</b>	Lantai ruang dansa	<b>500</b>
<b>f</b>	lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	<b>400</b>
<b>g</b>	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	<b>500</b>
<b>h</b>	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	<b>300</b>
<b>i</b>	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	<b>500</b>
<b>j</b>	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	<b>250</b>
<b>k</b>	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	<b>400</b>
<b>l</b>	Lantai gedung parkir bertingkat. untuk lantai bawah	<b>800</b>
	untuk lantai tingkat lainnya	<b>400</b>
<b>m</b>	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	<b>300</b>

**b) Beban Angin**

Struktur yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik angin akan ber-ubah bentuk menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada struktur. Besar tekanan atau isapan yang diakibatkan oleh angin pada suatu titik akan bergantung pada kecepatan angin, rapat massa udara,

lokasi yang ditinjau pada struktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris, dimensi dan orientasi struktur.

Apabila suatu fluida seperti udara mengalir di sekitar suatu benda, akan terlahi pola arus kompleks di sekitar benda tersebut. Perilaku dan kerumitan pola aliran itu bergantung pada bentuk benda. Aliran dapat berupa aliran laminer, dapat pula turbulen. Gaya yang bekerja pada benda sebagai hasil dari gangguan pada aliran tersebut dapat berupa tekanan atau isapan. Semakin langsing suatu benda, akan semakin kecil gaya reaksi yang diberikannya dalam arah berlawanan dengan arah angin bergerak, seperti pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13. Aliran angin di sekitar bangunan**

Sumber: Schodek, 1999

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif atau hisapan yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang.

- Tekanan tiup
  - o Pada kondisi umum diambil rata-rata  $25 \text{ kg/m}^2$
  - o Di laut dan tepi laut sampai sejauh 5 km minimum  $40 \text{ kg/m}^2$
  - o Pada daerah dengan kecepatan angin besar digunakan perhitungan tekanan sebesar:  $V^2 / 16 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ , dengan  $v$  adalah kecepatan yang ditentukan oleh instansi yang berwenang
  - o Pada bentuk cerobong ditentukan:  $(42,5 + 0,6 h) \text{ kg/m}^2$ , dengan  $h$  adalah tinggi cerobong
  - o Apabila bangunan terlindung dari angin dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.
- Koefisien angin, berdasarkan posisi dan kondisi bangunan seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Koefisien angin menurut peraturan pembebanan Indonesia

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia, 1983

AYAT	JENIS GEDUNG	BAGAN BEBAN ANGIN ANGKA-ANGKA/RUMUS-RUMUS MENJURKAN KOEFISIEN ANGIN
(1)	GEDUNG TERTUTUP	<p>Diagram 1: <math>\alpha \leq 65^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: <math>-0.02\alpha - 0.4</math>, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 2: <math>65^\circ &lt; \alpha \leq 90^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 3: <math>\beta \leq 22^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.6, -0.1, -0.5, -0.2, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 4: <math>\beta &gt; 22^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.6, -0.4, -0.5, -0.2, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 5: <math>\alpha \leq 65^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, -0.4, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 6: <math>65^\circ &lt; \alpha \leq 90^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, -0.4, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 7: <math>\alpha \leq 65^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, -0.4, -0.4, leeward wall: -0.4</p> <p>Diagram 8: <math>65^\circ &lt; \alpha \leq 90^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, -0.4, -0.4, leeward wall: -0.4</p>
(2)	GEDUNG TERBUKA SEBELAH	<p>Diagram 1: <math>\alpha \leq 55^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: <math>(-0.02\alpha - 0.4) - 0.6</math>, leeward wall: -0.4, -0.6, -1.0</p> <p>Diagram 2: <math>65^\circ &lt; \alpha \leq 90^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, -0.6, -1.0, leeward wall: -0.4, -0.6, -1.0</p> <p>Diagram 3: <math>\alpha \leq 65^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: <math>(-0.02\alpha - 0.4) - 0.6</math>, leeward wall: -0.4, -0.3, -1.0</p> <p>Diagram 4: <math>65^\circ &lt; \alpha \leq 90^\circ</math>, windward wall: -0.9, roof: -0.4, -0.6, -1.0, leeward wall: -0.4, -0.3, -1.0</p>

Tabel 3.3 (lanjutan)

(3)	ATAP PELANA BIASA TANPA DINDING (a)	<p>I</p> <p><math>0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ</math></p> <p><math>\alpha \geq 50^\circ</math></p>	<p>II</p> <p><math>\alpha = 0^\circ</math></p> <p><math>10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ</math></p> <p><math>\alpha = 30^\circ</math></p> <p><math>(-0.4 - \frac{\alpha}{300})</math></p> <p><math>\alpha &gt; 30^\circ</math></p>
		UNTUK $\alpha$ YANG TERDAPAT DI ANTARANYA, DIADAKAN INTERPOLASI LINIER.	
	ATAP PELANA TERBALIK TANPA DINDING (a)	<p>I</p> <p><math>0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ</math></p> <p><math>\alpha = 30^\circ</math></p>	<p>II</p> <p><math>\alpha = 0^\circ</math></p> <p><math>10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ</math></p> <p><math>\alpha = 30^\circ</math></p> <p><math>(-0.4 - \frac{\alpha}{300})</math></p> <p><math>\alpha &gt; 30^\circ</math></p>
		UNTUK $\alpha$ YANG TERDAPAT DI ANTARANYA, DIADAKAN INTERPOLASI LINIER.	
	ATAP MIRING SEPIHAK TANPA DINDING (b)	<p><math>0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ</math></p> <p><math>\alpha = 40^\circ</math></p>	
		UNTUK $\alpha$ YANG TERDAPAT DI ANTARANYA, DIADAKAN INTERPOLASI LINIER.	
(4)	DINDING YANG BERDIRI BEBAS	<p><math>0.9 - 0.4 = -1.3</math></p>	
(5)	CEROBONG DENGAN PENAMPANG LINGKARAN	<p>0.7</p>	
(6)	STRUKTUR RANGKA	<p>1.6</p> <p>0.65</p> <p>0.5</p> <p>0.4</p> <p>0.2</p> <p>0.15</p> <p>0.1</p> <p>0.05</p> <p>0.02</p> <p>0.01</p> <p>0.005</p>	

### c) Beban Gempa

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar.

Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Gaya yang timbul ini disebut gaya inersia. Besar gaya-gaya tersebut bergantung pada banyak faktor. Massa bangunan merupakan faktor yang paling utama karena gaya tersebut melibatkan inersia. Faktor lain adalah cara massa tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis pondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan, dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri. Perilaku dan besar getaran merupakan aspek yang sulit ditentukan secara tepat karena sifatnya yang acak (random), sekalipun kadang kala dapat ditentukan juga. Gerakan yang diakibatkan tersebut berperilaku tiga dimensi. Gerakan tanah horisontal biasanya merupakan yang terpenting dalam tinjauan desain struktural.

Massa dan kekakuan struktur, yang juga periode alami dari getaran yang berkaitan, merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi respons keseluruhan struktur terhadap gerakan dan besar serta perilaku gaya-gaya yang timbul sebagai akibat dari gerakan tersebut. Salah satu cara untuk memahami fenomena respons yang terlihat dapat diperhatikan terlebih dahulu bagaimana suatu struktur kaku memberikan respons terhadap getaran sederhana gedung. Strukturnya cukup fleksibel, seperti yang umumnya terdapat pada semua struktur gedung.

#### MODEL STATIK.

Karena rumitnya analisis dinamis, model statis untuk merepresentasikan gaya gempa sangat berguna. Untuk tujuan desain berbagai model statis sering digunakan. Persamaan yang umum digunakan pada peraturan bangunan untuk menentukan gaya desain gempa, misalnya, adalah yang berbentuk:

$$V = ZTKCSW \quad (4.1)$$

Dalam persamaan ini

- V adalah geser statis total pada dasar struktur,
- W adalah beban mati total pada gedung,
- C adalah koefisien yang bergantung pada periode dasar gedung (T),
- Z adalah faktor yang bergantung pada lokasi geografi gedung serta kemungkinan aktivitas dan intensitas gempa di lokasi yang bersangkutan,

- K adalah faktor yang bergantung pada jenis struktur dan konstruksi yang digunakan (terutama berkaitan dengan daktilitas dan kekakuan relatif),
- I adalah koefisien keutamaan yang bergantung pada jenis penggunaan gedung,
- S adalah koefisien yang bergantung pada (antara lain) hubungan antara periode alami gedung dan periode alami tanah tempat gedung tersebut dengan menggunakan persamaan berbentuk  $T = 0,05H/\sqrt{D}$  dengan D adalah dimensi struktur dalam arah sejajar dengan gaya yang bekerja dan H adalah tinggi bagian utama gedung di atas dasar (dalam ft). Koefisien C mempunyai bentuk  $C = 15 / \sqrt{T} \leq 0,12$ .

Semua persamaan dan faktor ditentukan secara empiris. Gaya geser V yang didapat dengan menggunakan evaluasi faktor-faktor tersebut didistribusikan pada berbagai tingkat gedung dengan menggunakan metode-metode yang ada sehingga menjadi beban lateral di tiap tingkat.

Permasalahan gempa untuk bangunan di Indonesia, secara lebih rinci terdapat dalam SNI 03-1726-2002: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung. Beban gempa yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya dan oleh kekuatan lebih yang terkandung di dalam struktur tersebut.

Menurut Standar ini, peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa yang menyebabkannya disebut Gempa Rencana (dengan perioda ulang 500 tahun), tingkat daktilitas struktur gedung dapat ditetapkan sesuai dengan kebutuhan, sedangkan faktor kuat lebih  $f_t$  untuk struktur gedung secara umum nilainya adalah 1,6. Dengan demikian, beban gempa nominal adalah beban akibat pengaruh Gempa Rencana yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung, kemudian direduksi dengan faktor kuat lebih  $f_t$ .

Apabila  $V_e$  adalah pembebanan maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan dan  $V_y$  adalah pembebanan yang menyebabkan pelelehan pertama di dalam struktur gedung, maka berlaku hubungan sebagai berikut:

$$V_y = \frac{V_e}{\mu} \quad (4.2)$$

di mana  $\mu$  adalah faktor daktilitas struktur gedung.

Apabila  $V_n$  adalah pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung, maka berlaku hubungan sebagai

$$V_n = \frac{V_y}{f_1} = \frac{V_e}{R} \quad (4.3)$$

- $f_1$  adalah faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam struktur gedung dan nilainya ditetapkan sebesar  $f_1 = 1,6$ .
- $R$  adalah faktor reduksi gempa untuk struktur gedung yang berperilaku elastik penuh,  $R = 1,6$ .

Nilai R untuk berbagai nilai  $\mu$  yang bersangkutan dicantumkan Tabel 3.4,

**Tabel 3.4. Parameter daktilitas dan reduksi untuk struktur gedung**

Sumber: SNI 03-1726-2002

Taraf kinerja struktur gedung	$\mu$	R pers.( 6)
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktail penuh	5,3	8,5

#### d) Kombinasi Pembebanan

Pada setiap sistem struktur terdapat berbagai jenis beban yang bekerja. Hal yang penting dalam menentukan beban desain adalah apakah semua beban tersebut bekerja secara simultan atau tidak. Perlu diperhatikan sekali lagi bahwa beban mati selalu terdapat pada struktur, sedangkan yang selalu berubah-ubah harganya adalah besar beban hidup dan kombinasi beban hidup.

Struktur dapat dirancang untuk memikul semua beban maksimum yang bekerja secara simultan, tetapi model struktur yang demikian, akan berkekuatan sangat berlebihan untuk kombinasi beban yang secara aktual mungkin terjadi selama umur struktur. Berkenaan dengan hal ini, banyak peraturan atau rekomendasi mengenai reduksi beban desain apabila ada kombinasi beban tertentu.

Untuk beban penggunaan pada gedung bertingkat banyak, sangat tidak mungkin semua lantai secara simultan memikul beban penggunaan maksimum. Oleh sebab itu ada reduksi yang diizinkan dalam beban desain untuk merencanakan elemen struktur dengan memperhatikan efek kombinasi dan beban hidup dari banyak lantai. Kombinasi pembebanan

untuk bangunan-bangunan di Indonesia ditentukan dalam SNI 03-1727-1989-F tentang *Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung*.

### 3.3. Macam-macam Gaya dalam Struktur Bangunan

#### 3.3.1. Proses Analisis

Langkah-langkah dasar proses analisis struktur dilaksanakan dengan tujuan untuk menentukan kekuatan struktur sesuai kondisi yang direncanakan. Secara umum, langkah-langkah dasar proses analisis adalah:

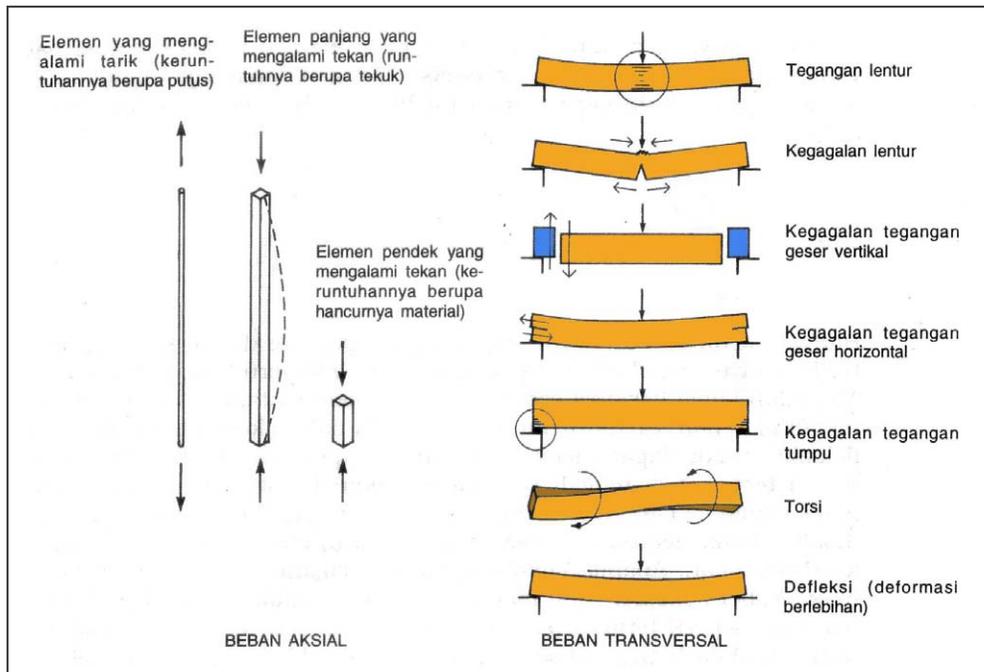
1. Menentukan perilaku struktur, menganalisis menjadi elemen-elemen dasar, serta membuat model kondisi batas elemen sehingga keadaan gabungan struktur yang sesungguhnya dapat direpresentasikan. Pemodelan menggunakan anggapan mengenai gaya dan momen pada elemen struktur tersebut. Pemodelan yang digunakan dapat sederhana misalnya balok di atas tumpuan sederhana, atau pemodelan yang cukup rumit misalnya balok pada struktur rangka yang mempunyai titik hubung kaku, dan yang mengharuskan peninjauan struktur secara lebih luas yang melibatkan bagian-bagian struktur yang lain.
2. Menentukan sistem gaya eksternal yang bekerja pada struktur yang ditinjau. Hal ini sering melibatkan langkah-langkah seperti bagaimana beban penggunaan yang bekerja pada permukaan yang dipikul oleh elemen-elemen struktural dapat disalurkan ke tanah. Hal ini diperlukan untuk mengetahui bagian mana dari beban total yang dipikul oleh setiap elemen struktur yang berhubungan. Dengan demikian cukup atau tidaknya kebutuhan elemen struktur dapat diketahui.
3. Menentukan dan menerapkan prinsip-prinsip keseimbangan, momen dan gaya-gaya reaksi yang timbul sebagai akibat adanya gaya-gaya eksternal. Untuk struktur statis tertentu dengan menerapkan persamaan-persamaan keseimbangan statika, yaitu  $\sum F_x=0$ ,  $\sum F_y=0$ , dan  $\sum M_o=0$ . Untuk model struktur yang lebih kompleks adalah struktur statis tak tentu maka diperlukan metode penyelesaian khusus.
4. Menentukan perilaku-perilaku momen dan gaya internal yang timbul dalam struktur sebagai akibat gaya-gaya eksternal. Pada elemen-elemen kaku linear seperti balok pada umumnya, hal ini melibatkan penentuan besar dan distribusi momen secara geser internal dalam struktur.
5. Menentukan kekuatan elemen struktur agar cukup kuat untuk memikul gaya-gaya internal tersebut tanpa mengalami kelebihan tegangan maupun deformasi. Hal ini berarti melibatkan perhitungan

tegangan yang terkait dengan gaya internal yang ada serta membandingkan tegangan tersebut dengan tegangan yang aman untuk dipikul oleh material yang digunakan. Perkiraan tegangan aktual memerlukan tinjauan jumlah dan distribusi material dalam struktur.

### 3.3.2. Aksi Gaya Eksternal Pada Struktur

Aksi gaya eksternal pada struktur menyebabkan timbulnya gaya internal di dalam struktur. Gaya internal yang paling umum adalah berupa gaya tarik, tekan, lentur, geser, torsi dan tumpu. Pada gaya internal selalu berkaitan dengan timbulnya tegangan dan regangan. Tegangan adalah ukuran intensitas gaya per satuan luas ( $N/nm^2$  atau Mpa), sedangkan regangan adalah ukuran deformasi (mm/mm).

- **Gaya tarik** adalah gaya yang mempunyai kecenderungan untuk menarik elemen hingga putus. Kekuatan elemen tarik tergantung pada luas penampang elemen atau material yang digunakan. Elemen yang mengalami tarik dapat mempunyai kekuatan yang tinggi, misalnya kabel yang digunakan untuk struktur bentang panjang. Kekuatan elemen tarik umumnya tergantung dari panjangnya. Tegangan tarik terdistribusi merata pada penampang elemen.
- **Gaya tekan** cenderung untuk menyebabkan hancur atau tekuk pada elemen. Elemen pendek cenderung hancur, dan mempunyai kekuatan yang relatif setara dengan kekuatan elemen tersebut apabila mengalami tarik. Sebaliknya kapasitas pikul beban elemen tekan panjang akan semakin kecil untuk elemen yang semakin panjang. Elemen tekan panjang dapat menjadi tidak stabil dan secara tiba-tiba menekuk pada taraf beban kritis. Ketidakstabilan yang menyebabkan elemen tidak dapat menahan beban tambahan sedikitpun bisa terjadi tanpa kelebihan pada material. Fenomena ini disebut tekuk (*buckling*). Adanya fenomena tekuk ini maka elemen tekan yang panjang tidak dapat memikul beban yang sangat besar.
- **Lentur** adalah 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. Jadi keadaan tarik maupun tekan terjadi pada penampang yang sama. Tegangan tarik dan tekan bekerja dalam arah tegak lurus permukaan penampang. Kekuatan elemen yang mengalami lentur tergantung distribusi material pada penampang dan juga jenis material. Respon adanya lentur pada penampang mempunyai bentuk-bentuk khusus yang berbeda-beda.



**Gambar 3.14. Aksi gaya-gaya pada tinjauan struktur**

Sumber: Schodek, 1999

- **Geser** adalah keadaan gaya yang berkaitan dengan aksi gaya-gaya berlawanan arah yang menyebabkan satu bagian struktur tergelincir terhadap bagian di dekatnya. Tegangan akan timbul (disebut tegangan geser) dalam arah tangensial permukaan yang tergelincir. Tegangan geser umumnya terjadi pada balok.
- **Torsi** adalah puntir. Tegangan tarik maupun tekan akan terjadi pada elemen yang mengalami torsi.
- **Tegangan tumpu** terjadi antara bidang muka kedua elemen apabila gaya-gaya disalurkan dari satu elemen ke elemen yang lain. Tegangan-tegangan yang terjadi mempunyai arah tegak lurus permukaan elemen.

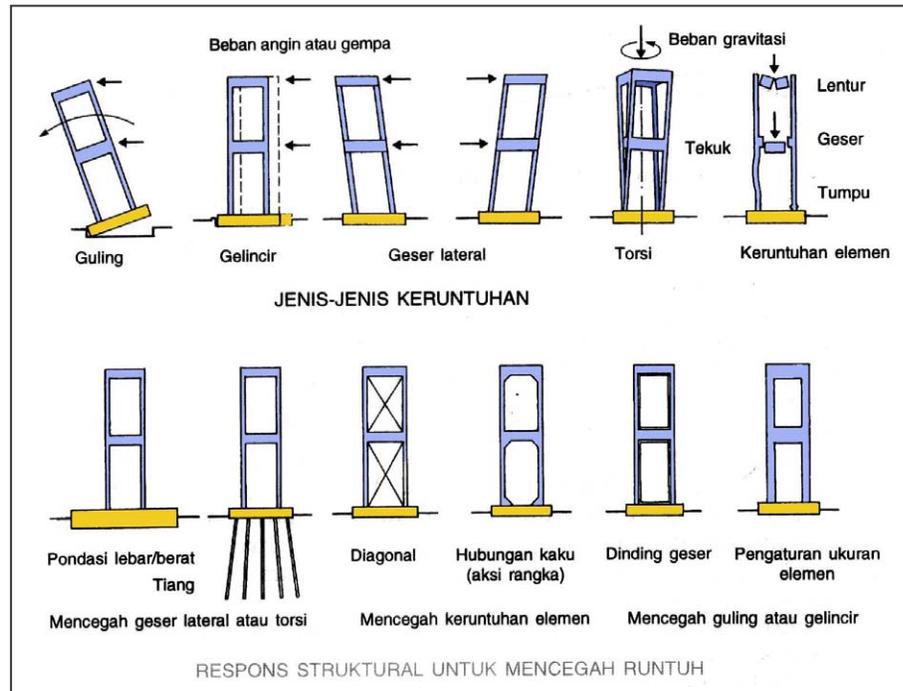
### 3.3.3. Fenomena Struktural Dasar

#### a) Kestabilan menyeluruh

Suatu struktur dapat terguling, tergelincir, atau terpuntir relatif terhadap dasarnya terutama apabila mengalami beban horisontal seperti angin dan gempa, seperti pada Gambar 3.15. Struktur yang relatif tinggi atau struktur yang memiliki dasar yang relatif kecil akan mudah terguling. Ketidak seimbangan terhadap berat sendiri dapat menyebabkan terjadinya guling. Penggunaan pondasi kaku yang lebar dapat mencegah tergulingnya bangunan, selain itu penggunaan elemen-elemen pondasi seperti tiang-tiang yang mampu memikul gaya tarik.

## b) Kestabilan hubungan

Suatu bagian struktur yang tidak tersusun atau terhubung dengan baik akan dapat runtuh secara internal. Mekanisme dasar-dinding pemikul beban, aksi rangka atau dengan penambahan elemen diagonal dapat digunakan untuk membuat struktur menjadi stabil.



Gambar 3.15. Keruntuhan struktur dan respon struktur mencegah runtuh

Sumber: Schodek, 1999

## c) Kekuatan dan kekakuan elemen

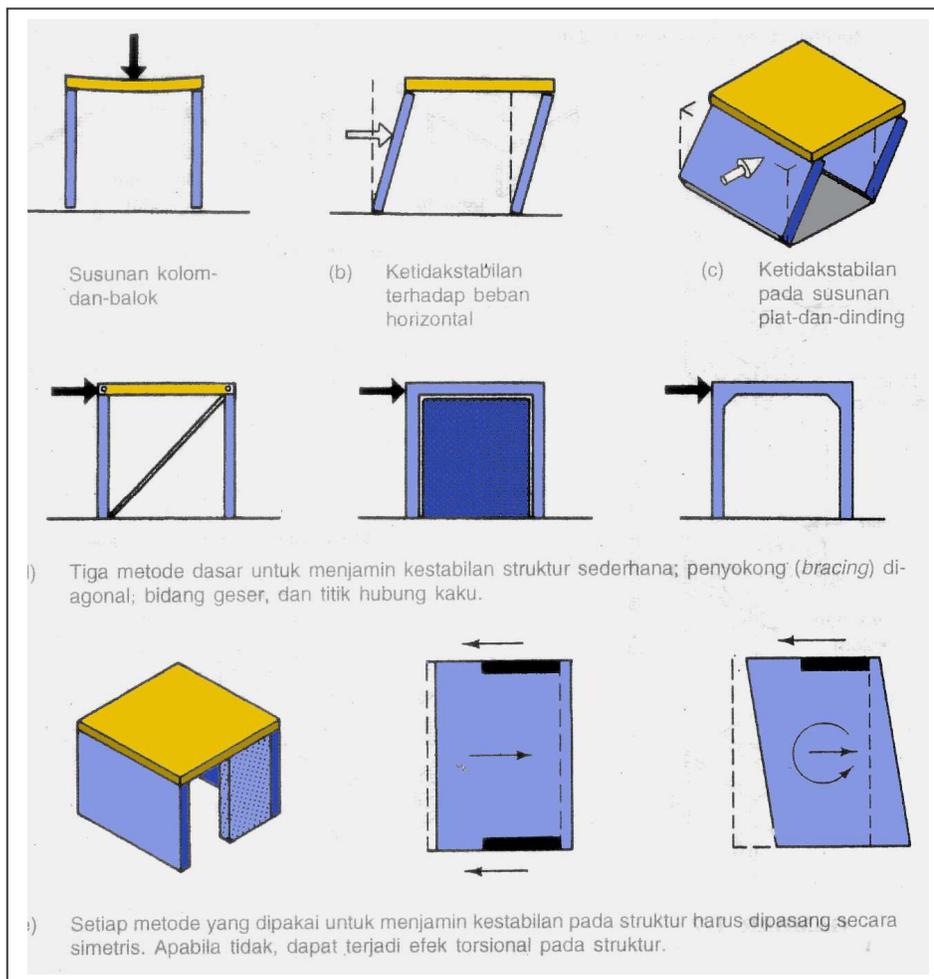
Permasalahan kekuatan dan kekakuan elemen struktural berkaitan akibat tarik, tekan, lentur, geser, torsi, gaya tumpuan, atau deformasi berlebihan yang timbul secara internal dalam struktur karena adanya beban yang diterima. Adanya beban dan gaya juga menimbulkan tegangan-tegangan pada material elemen struktural tersebut.

### 3.3.4. Kestabilan Struktur

Kestabilan struktur diperlukan untuk menjamin adanya kestabilan bangunan pada segala kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Semua struktur akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi apabila mengalami pembebanan. Pada struktur yang stabil, deformasi yang terjadi akibat beban pada umumnya kecil, dan gaya internal yang timbul dalam struktur mempunyai kecenderungan mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula apabila beban dihilangkan. Pada struktur yang tidak stabil, deformasi yang terjadi akan cenderung bertambah selama struktur dibebani,

sistem tidak memberikan gaya-gaya internal untuk mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula. Struktur yang tidak stabil mudah mengalami keruntuhan (*collapse*) secara menyeluruh dan seketika begitu dibebani.

Stabilitas struktur merupakan hal yang sulit, karena sistem struktur merupakan gabungan dari elemen-elemen diskrit. Suatu struktur kolom balok merupakan sistem struktur yang stabil untuk beban-beban vertikal (Gambar 3.16a). Pada perubahan pembebanan yang menimbulkan gaya horisontal maka sistem struktur akan mengalami deformasi (Gambar 3.16b). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem tidak memiliki kemampuan untuk menahan baban horisontal, serta tidak memiliki mekanisme yang dapat mengembalikan ke bentuk semula apabila beban horisontal tersebut dihilangkan. Sistem struktur ini merupakan sistem yang tidak stabil, dan merupakan awal terjadinya keruntuhan.

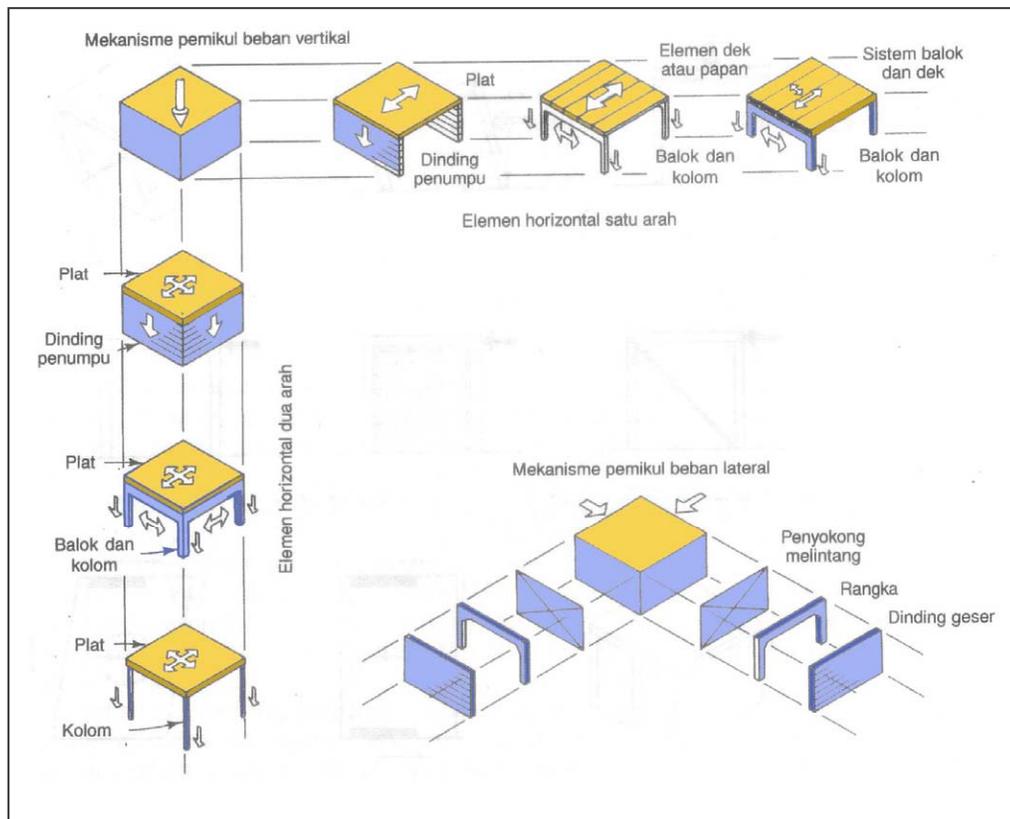


**Gambar 3.16. Analisa kestabilan struktur**

Sumber: Schodek, 1999

Cara untuk membentuk sistem struktur menjadi sistem yang stabil.

- Penambahan elemen diagonal pada struktur, dengan demikian struktur tidak akan mengalami deformasi menjadi jajaran genjang. Elemen diagonal harus tidak mengalami perubahan besar pada panjangnya pada saat mengalami deformasi karena beban horisontal, sehingga elemen diagonal harus dirancang cukup untuk menahan beban tersebut.
- Menggunakan dinding geser. Elemennya berupa elemen permukaan bidang kaku yang dapat menahan deformasi akibat beban horisontal. Elemen bidang permukaan kaku dapat terbuat dari konstruksi beton bertulang atau dinding bata, baik dinding penuh atau sebagian. Ukuran dinding tergantung pada besar gaya yang bekerja padanya.
- membentuk hubungan antara elemen struktur sedemikian rupa sehingga perubahan sudut yang terjadi berharga konstan untuk suatu kondisi pembebanan yang diterimanya. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat titik hubung kaku antara elemen struktur pada sudut pertemuan antara elemen struktur tersebut. Struktur yang menggunakan titik hubung kaku untuk menjamin kestabilan sering disebut sebagai rangka (*frame*).



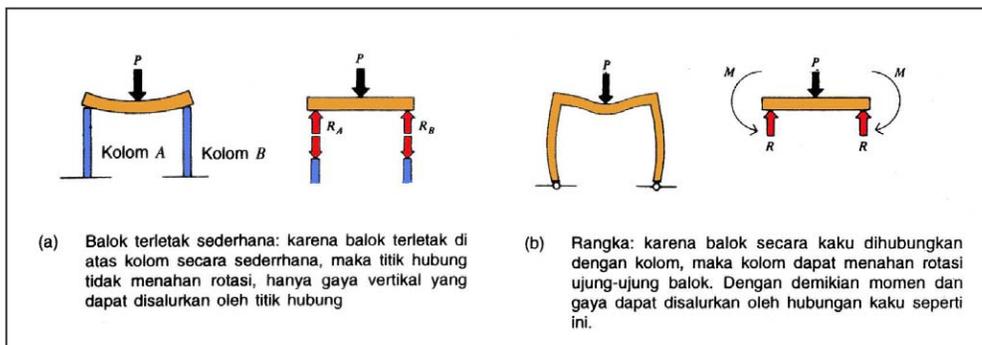
**Gambar 3.17. Contoh komponen struktur untuk bangunan yang umum**  
 Sumber: Schodek, 1999

Untuk menjamin kestabilan struktur selain menggunakan cara-cara yang telah disebutkan, dapat pula menggunakan penggabungan dari cara-cara mendasar tersebut, misalnya elemen struktur dihubungkan secara kaku dan mempunyai elemen diagonal (Gambar 3.17). Hal ini akan semakin memperbesar derajat kestabilan atau kestatistik-tak-tentuannya.

Pada rakitan komponen struktur, salah satu atau lebih komponen yang menjamin kestabilan harus digunakan agar struktur tidak runtuh secara lateral. Satu elemen struktur dapat didesain dengan menggunakan satu cara yang menjamin stabilitas struktur untuk satu arah lateral, dan cara yang lain untuk arah yang lainnya.

### 3.3.5. Pemodelan Struktur

Struktur dibagi ke dalam elemen-elemen yang lebih mendasar dengan cara memisahkannya pada hubungan antara elemen-elemen struktur, kemudian mengganti aksi elemen dengan sekumpulan gaya-gaya dan momen yang mempunyai efek ekuivalen. Dalam hal ini gaya yang dimodelkan adalah gaya-gaya reaksi. Contoh sederhana pemodelan struktur untuk perletakan balok sederhana atau model rangka seperti pada Gambar 3.18.



**Gambar 3.18. Pemisahan elemen struktural**

Sumber: Schodek, 1999

Pemodelan efektif bergantung pada pengidentifikasian perilaku nyata struktural pada titik hubung elemen-elemen struktur. Untuk memudahkan analisis, titik hubung dapat dimodelkan dalam jenis-jenis dasar hubungan yaitu titik sendi, rol atau jepit. Dalam menentukan model yang paling mendekati kondisi nyata di lapangan, diperlukan pertimbangan yang sangat matang.

Langkah awal menganalisis suatu titik hubung adalah dengan menyelidiki apakah titik tersebut dapat meneruskan rotasi pada suatu elemen struktur ke elemen lainnya akibat adanya suatu beban. Jika titik hubung tidak meneruskan rotasi maka pemodelannya adalah sendi atau rol.

Perbedaan antara sendi dan rol adalah pada arah penyaluran gaya. Apabila penyaluran gaya ke sembarang arah maka pemodelannya adalah sendi, sedangkan jika penyalurannya pada satu arah saja maka pemodelannya menggunakan rol.

Apabila titik hubung dapat meneruskan rotasi, ada momen pada masing-masing ujung elemen struktur, titik hubung ini disebut titik hubung kaku (*rigid joints*). Titik hubung kaku selalu mempertahankan sudut antar elemen-elemen struktur. Titik hubung kaku seperti yang terlihat pada Gambar 3.19(f) merupakan bagian dari satu rangka namun dapat mengalami translasi dan rotasi sebagai satu kesatuan. Jika elemen struktur terjepit kaku dan tidak membolehkan adanya translasi maupun rotasi antar ujung elemen maka titik hubung disebut hubungan ujung jepit Gambar 3.19(o).

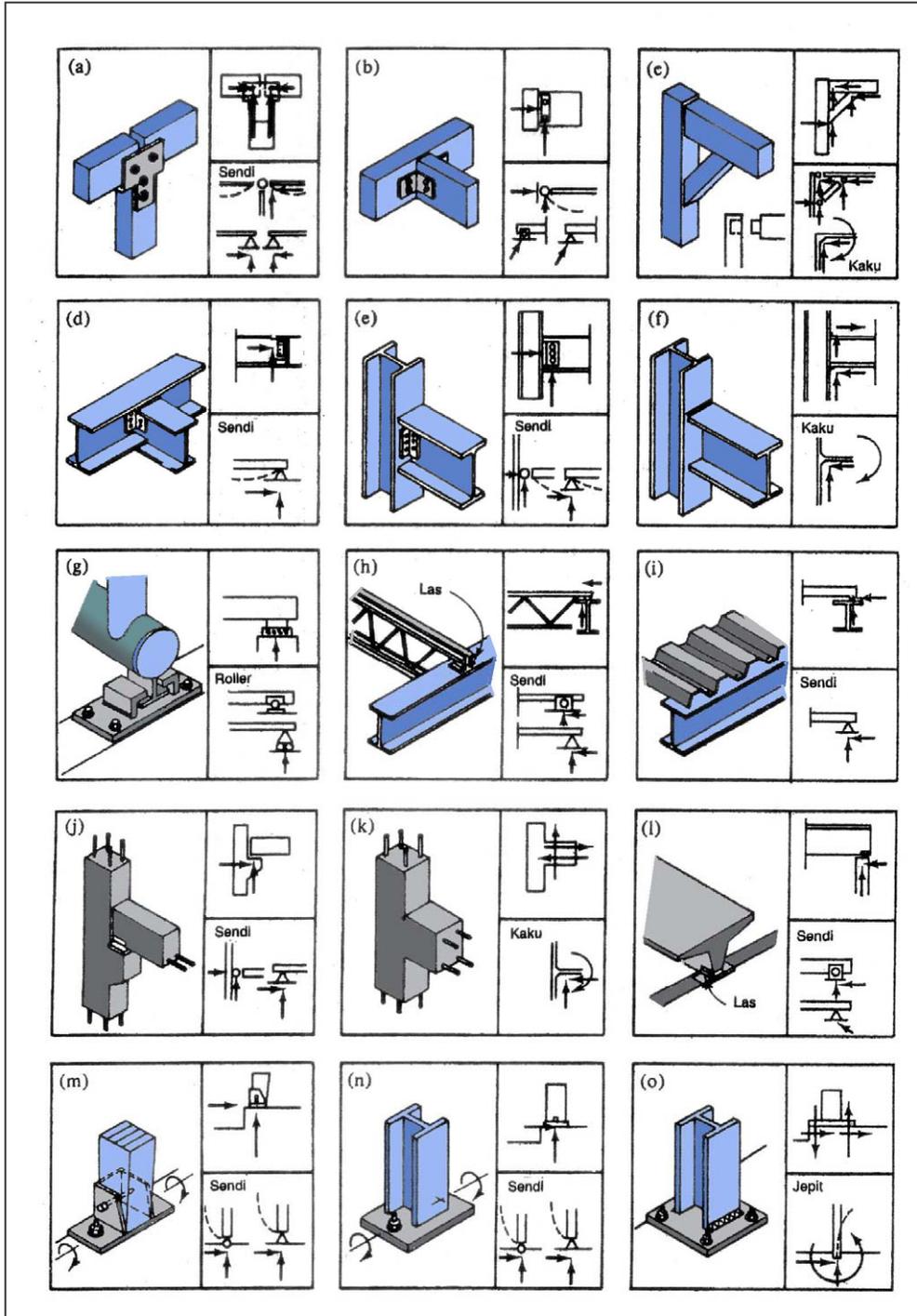
Perbedaan antara titik hubung sendi dan jepit kadang sulit untuk ditentukan secara langsung. Biasanya apabila satu elemen struktur dihubungkan dengan yang lainnya pada satu titik saja, maka titik hubung tersebut adalah sendi. Jika elemen struktur terhubung di dua titik yang berjarak jauh, maka titik hubung tersebut dikatakan kaku. Gambar 3.19(c) dan (f) mengilustrasikan dua elemen struktur baja flens lebar yang dihubungkan dengan dua cara berbeda. Gambar 3.19(e) menunjukkan hubungan sendi yang dihubungkan hanya pada satu titik. Gambar 4.4(f) menunjukkan las yang menggabungkan flens dan web kedua elemen struktur menyebabkan titik hubung tersebut menjadi kaku.

Pada struktur nyata, titik hubung rol ada yang bisa dan ada yang tidak bisa menahan gerak ke atas. Rol dapat dibuat menahan gerak ke atas seperti yang terlihat pada Gambar 3.19(g).

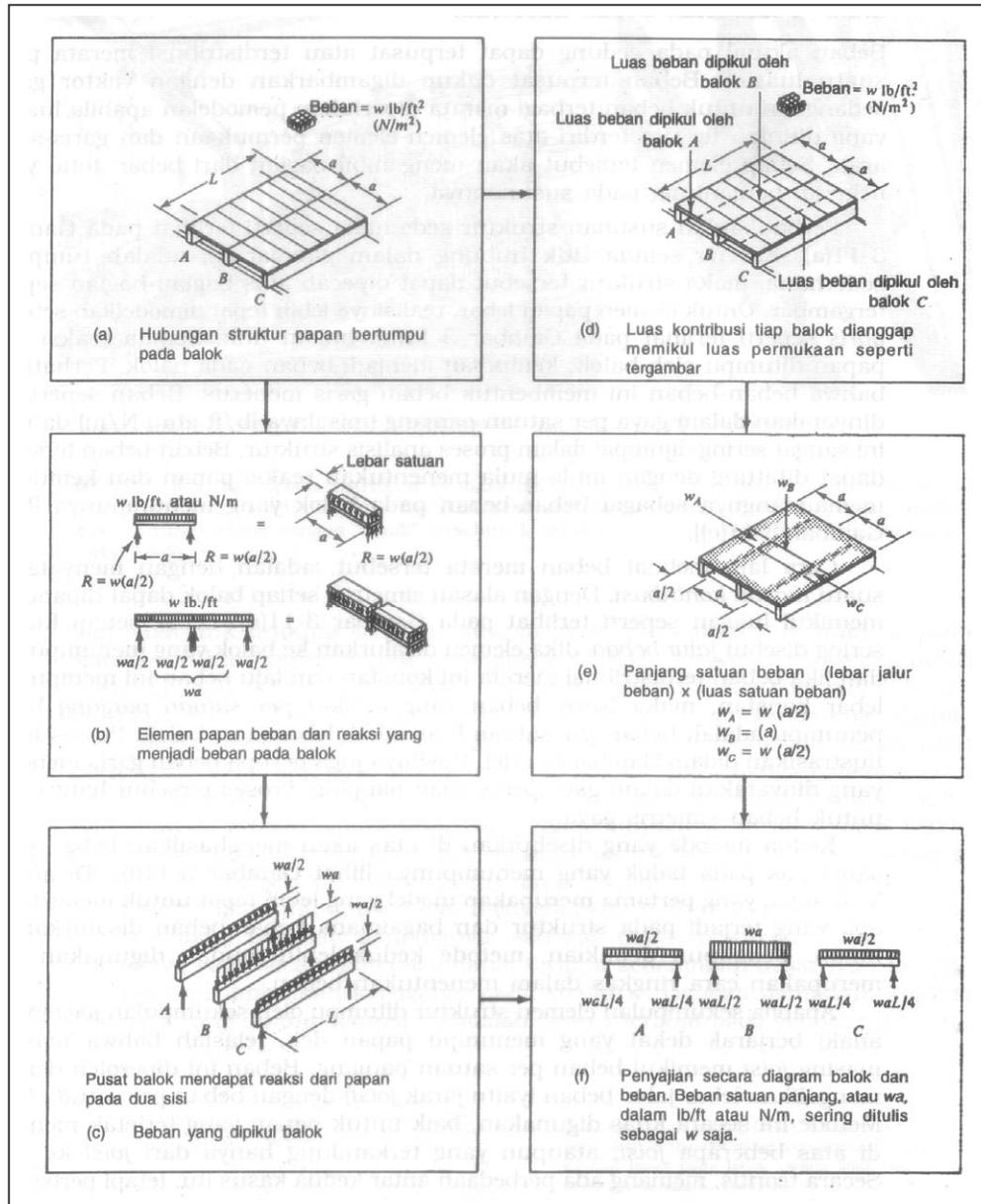
Selain perilaku berbagai titik hubung, perlu juga diperhatikan persyaratan minimum mengenai jumlah dan jenis hubungan struktur dengan arah. Kumpulan titik hubung struktur harus mampu mempertahankan persamaan keseimbangan dasar  $\sum F_x=0$ ,  $\sum F_y=0$ , dan  $\sum M_o=0$ . Sebagai ilustrasi adalah sebuah balok tidak dapat terletak di atas dua tumpuan rol. Disamping karena apabila balok diberi beban horisontal maka struktur akan bertranslasi pada arah horisontal, atau model struktur ini tidak dapat memenuhi persamaan  $\sum F_x=0$ .

Pada pemodelan yang diakibatkan adanya beban eksternal, beban aktual pada suatu struktur dapat terpusat atau terdistribusi merata pada suatu luasan. Beban terpusat dapat digambarkan dengan vektor gaya, sedangkan beban merata diperlukan pemodelan jika luasan yang ditinjau terdiri atas elemen-elemen permukaan dan garis. Setiap elemen akan mengambil bagian dari beban total yang bekerja, bergantung pada susunan elemen-elemen strukturnya.

Sebuah struktur plat sederhana yang tertumpu pada balok, dapat dimodelkan dengan sistem beban permukaan dari plat yang dipikul oleh sistem balok seperti pada gambar 3.20(a,b, dan c). Sedangkan pemodelan lain adalah berdasarkan konsep luas kontribusi, seperti pada gambar 3.20(d,e, dan f).



Gambar 3.19. Berbagai jenis hubungan dan pemodelannya  
Sumber: Schodek, 1999



Gambar 3.20. Pendekatan pemodelan pembebanan pada struktur plat

Sumber: Schodek, 1999

### 3.4. Cara Menyusun Gaya

#### 3.4.1. Besaran dan Satuan

Setiap besaran dalam ilmu gaya harus dinyatakan dengan satuan. Umumnya besaran-besaran terbagi kedalam dimensi massa/*mass* (M), panjang/*length* (L) dan besaran waktu/*time* (T). Misal satuan massa kg memiliki dimensi M, sedangkan percepatan gravitasi  $m/dt^2$  memiliki dimensi  $L / T^2$  atau  $LT^{-2}$ . Sedang satuan gaya Newton, yang dapat diruntut dari  $kg \ m / dt^2$ , memiliki dimensi  $M \ L \ T^{-2}$ .

Sistem satuan yang umum digunakan adalah satuan metrik dan satuan teknis. Satuan metrik, merupakan satuan yang memiliki satuan utama metrik, meter – kg. Sedangkan satuan teknis, merupakan satuan yang umum digunakan di Eropa maupun Amerika berdasarkan satuan utama lb, inch dan foot.

Untuk menyatakan satuan metrik ke dalam satuan teknis atau sebaliknya memerlukan konversi. Tabel 3.5, menunjukkan satuan utama umum yang perlu diketahui dalam ilmu teknik berikut konversinya.

#### 3.4.2. Besaran Skalar dan Besaran Vektor

Besaran yang kita nyatakan kadang tidak mengandung komponen arah. Besaran ini disebut sebagai besaran skalar. Sementara besaran lain mengharuskan kita menyertakan arah terhadap struktur atau titik acuan tertentu. Besaran ini disebut sebagai besaran vektor. Sebagai contoh, besaran gaya newton atau kg force, akan menjadi kabur jika tidak disertai dengan pernyataan arah dari suatu titik tangkap, yakni kemana arah gaya tersebut dan dimana titik tangkapnya pada atau dalam suatu struktur. Arah dan titik tangkap pada besaran vektor tersebut akan memberikan konsekuensi yang berbeda dalam penggabungan dari besaran skalar.

#### 3.4.3. Gaya

Gaya secara singkat dapat diartikan sebagai besaran usaha yang dikerjakan pada suatu titik dan atau bidang dengan arah tertentu. Berdasarkan satuan metrik, satuan Newton merupakan satuan gaya yang umum digunakan. Besaran gaya ini merupakan perkalian besaran massa dan besaran percepatan yang dialami oleh benda / materi tersebut. Suatu masa 1 kg, jika ada di bumi, pasti akan mengalami percepatan gravitasi (g) yang besarnya mendekati  $10 \ m/dt^2$ . Dengan begitu massa tersebut akan memberikan gaya berat akibat gravitasi sebesar 10 Newton.

Satuan gaya ini kadang digunakan secara praktis oleh pelaku bidang keteknikan, utamanya yang banyak terlibat dengan berat suatu struktur, yakni digunakan istilah satuan kgf yang mengandung pengertian bahwa 1 kgf (1 kg force) dapat dikonversikan dengan besaran 10 Newton.

Gaya dapat dilukis dalam bentuk diagram panah. Panjang diagram merepresentasikan besar gaya. Sedang arah panah menunjukkan arah gaya yang bersangkutan

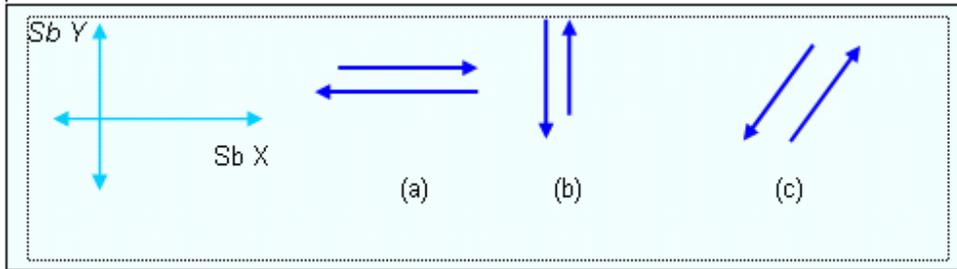
**Tabel 3.5: Konversi Satuan Amerika Serikat (US) terhadap Satuan Baku Internasional (SI Units)**

Sumber: Gere &amp; Timoshenko, 1994

Satuan Umum Amerika (US Unit)	Pengali	Satuan Internasional (SI Unit)
Percepatan Foot per detik kuadrat      Ft/sec <sup>2</sup> Inch per detik kuadrat      Inch/dt <sup>2</sup>	0.305 0.0254	Percepatan Meter per detik kuadrat      M/dt <sup>2</sup> Centimeter per detik <sup>2</sup> Cm/dt <sup>2</sup>
Luas (area) Kaki persegi ( <i>square foot</i> )      Ft <sup>2</sup> Inch persegi ( <i>square inch</i> )      Inch <sup>2</sup>	0.093 645	Luas Meter persegi      M <sup>2</sup> Centimeter persegi      Cm <sup>2</sup>
Kerapatan Massa ( <i>Density</i> ) Slug per foot kubik      Slug/ft <sup>3</sup>	515	Kerapatan massa Kilogram per meter kubik      Kg/m <sup>3</sup>
Gaya Pound      Lb Kip (1000 pound)      k	4.45 4.45	Gaya Newton      N Kilonewton      kN
Panjang Foot      Ft Inch      Inch Mile      Mile	0.31 2.54 1.61	Panjang Meter      M Centimeter      Cm Kilometer      Km
Massa Slug      Slug Pound      lb	14.583 0.4536	Masa Kilogram (masaa)      Kg Kilogram (masa)
Gaya Momen Pound foot      Lb ft Pound inch      Lb.inch Kip foot      Kip/fg Kip inch      Kip / inc	0.136 13.56 0.136 1.130	Momen gaya Kilogram.meter      Kg.m Kilogram.centimeter      Kg.cm Ton. Meter      T m Ton centimeter      T cm
Tekanan; tegangan Pound per square foot      Lb/ft <sup>2</sup> Pound per square inch      Lb/ich <sup>2</sup> Kip per square foot      Kip/ft <sup>2</sup> Kip per square inch      Kip/inch <sup>2</sup>	6.8948 6.8948 47.880 6.8948	Tegangan Kilo Newton/meter <sup>2</sup> kN/m <sup>2</sup> Newton/centi meter <sup>2</sup> N/cm <sup>2</sup> Kilo Newton/meter <sup>2</sup> kN/m <sup>2</sup> Newton/centi meter <sup>2</sup> N/cm <sup>2</sup>
Berat Jenis ( <i>specific weight</i> ) Pound per foot kubik      Lb/ft <sup>3</sup> Pound per inch kubik      Lb/inch <sup>3</sup>	16.019 27.68	Berat Jenis Kilogram per meter kubik      Kg/m <sup>3</sup> Gram centimeter kubik      Gr/cm <sup>3</sup>
Volume Ounces (oz)      Oz Gallon      Ft <sup>3</sup> Foot kubik ( <i>cubic foot</i> )      Ft <sup>3</sup> Cubic yards      Yd <sup>3</sup> Inch kubik ( <i>cubic inch</i> )      Inch <sup>3</sup>	29.574 3.7854 0.02832 0.07646 0.1639	Volume Mililiter=centimeter kubik      Ml = cc Liter = Desimeter kubik      Lt Meter kubik      M <sup>3</sup> Meter kubik      M <sup>3</sup> Liter      Lt

**a) Arah Gaya**

Berdasarkan arah pada suatu bidang datar dan terhadap titik tangkap tertentu, gaya dapat dibagi menjadi gaya datar (horisontal), vertikal dan gaya yang berarah miring.



**Gambar 3.21. Arah gaya pada suatu bidang: (a) Horisontal, (b) vertikal dan(c) gaya miring / diagonal.**

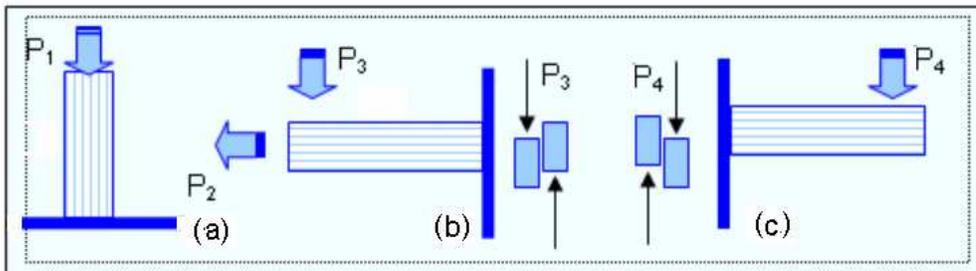
Sumber: Gere & Timoshenko, 1994

**b) Gaya Normal**

Terhadap arah serat batang struktur, gaya-gaya tersebut dapat dibedakan dan diuraikan ke dalam gaya normal/sejajar serat dan gaya melintang/tegak lurus serat. Berdasarkan arah, gaya normal dapat berupa gaya tekan, sering disepakati dengan tanda  $N -$  (Normal negatif) dan gaya tarikan sebagai  $N +$  (gaya normal positif).

**c) Gaya Lintang**

Terhadap serat batang, gaya ini memiliki arah tegak lurus atau melintang. Karenanya, gaya ini lebih sering disebut sebagai gaya lintang atau gaya geser. Ditinjau dari arah terhadap tampang batang, gaya lintang dapat berupa gaya lintang positif (+) dan gaya lintang negatif (-). Sebenarnya perbedaan tanda tersebut hanya didasarkan kesepakatan agar memberi kemudahan dan kejelasan presentasi perhitungan pada perancangan struktur.



**Gambar 3.22. Gaya normal dan gaya lintang: (a) Gaya normal Tekan ( $P_1$ ), (b) Normal Tarik ( $P_2$ ) dan gaya lintang negatif ( $P_3$ ), (c) gaya lintang positif ( $P_4$ )**

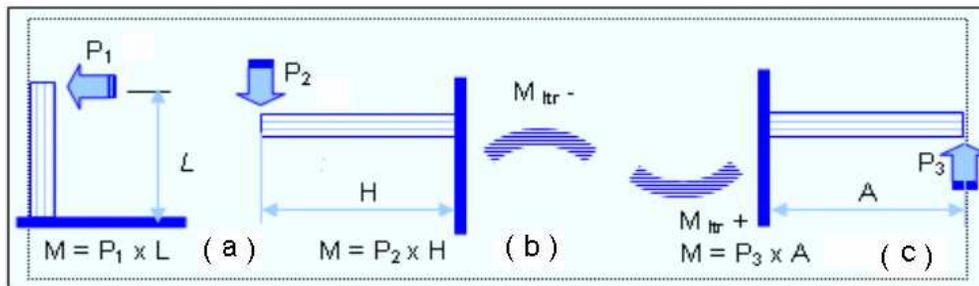
Sumber: Gere & Timoshenko, 1994

Gaya lintang positif dapat ditandai dengan bagian kiri dari batang tergeser berarah ke atas, sementara bagian kiri mengarah ke bawah. Dengan begitu mengakibatkan batang yang terkena gaya tersebut berputar kekanan. Sedang gaya lintang negatif, merupakan kebalikan gaya lintang positif, mengakibatkan dua bagian batang berputar ke kiri.

#### d) Momen

Batang yang dikenai gaya tegak lurus terhadap batang akan menghasilkan gaya putar (rotasi) terhadap titik yang berjarak tertentu di sepanjang batang. Gaya memutar tersebut disebut sebagai momen. Dengan begitu besaran momen merupakan perkalian antara gaya (tegak lurus) dengan lengan momen.

Berdasarkan arah putaran, momen dapat berupa momen yang berotasi searah jarum jam ( $M_R +$ ) dan momen yang berotasi melawan arah jarum jam ( $M_R -$ ). Sedangkan terhadap akibat yang ditimbulkan pada batang, momen tersebut akan melenturkan batang. Momen ini disebut sebagai momen lentur ( $M_{ltr}$ ). Momen lentur inipun di bedakan menjadi momen lentur positif ( $M_{ltr} +$ ) dan momen lenturan negatif ( $M_{ltr} -$ ).

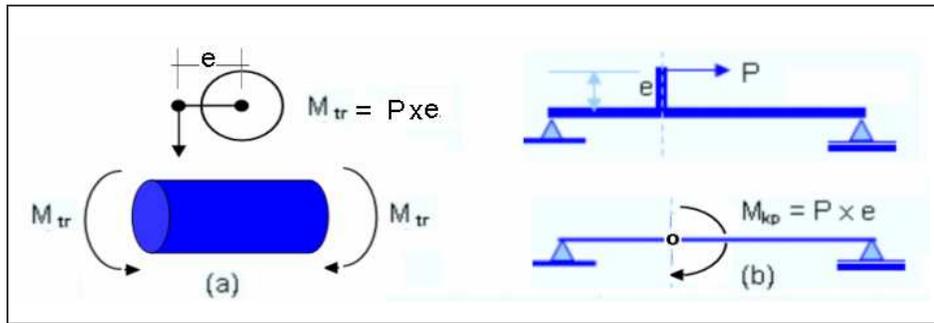


**Gambar 3.23.  $P_1$ ,  $P_2$  dan  $P_3$  menghasilkan momen rotasi negatif,  $P_2$  gambar (b) menyebabkan momen lentur negatif,  $P_3$  pada gambar (c) menyebabkan momen lentur positif**

Sumber: Gere & Timoshenko, 1994

Momen lentur positif ditandai dengan bagian atas serat/ tampang mengalami tekanan dan bagian bawah tampang mengalami tarikan. Sedangkan momen lentur negatif ditandai dengan bagian atas tampang melintang batang mengalami tarikan dan bagian bawah tampang batang mengalami tekanan.

Selain momen lentur, momen dapat pula terdiri dari momen puntir dan momen kopel. Contoh momen puntir yang sering dijumpai adalah momen yang dialami oleh batang obeng (*screw driver*). Momen ini bekerja sejajar dengan tampang melintang batang. Sedangkan momen kopel merupakan momen pada suatu titik pada gelegar yang bekerja sejajar arah panjang gelegar atau batang. Ilustrasi puntir kopel ditunjukkan pada Gambar 3.24.



**Gambar 3.24. Bentuk momen : (a) Momen puntir dan (b) Momen kopel**

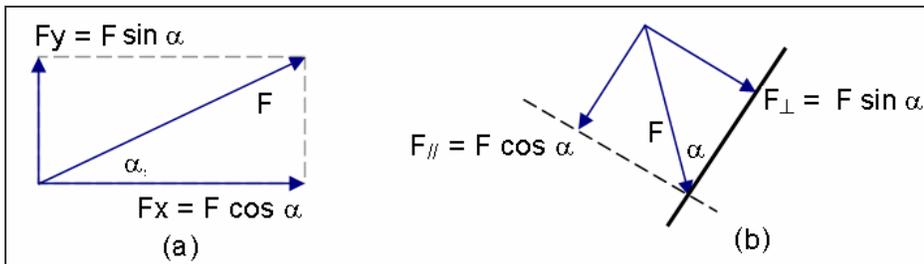
Sumber: Gere & Timoshenko, 1994

### 3.4.4. Menguraikan dan Menggabungkan Gaya

#### a) Menguraikan Gaya

Gaya yang berarah miring  $F$  dapat diuraikan terhadap bidang datar, tegak dan atau bidang acuan tertentu. Pada Gambar 3.25. (a) gaya yang membentuk sudut lancip ( $\alpha$ ) terhadap bidang datar (bidang  $X$ ), dapat diuraikan menjadi gaya datar  $F_x = F \cos \alpha$ , dan gaya searah bidang  $F_y = F \sin \alpha$ .

Untuk gaya miring  $F$  terhadap bidang acuan pada gambar tertentu yang membentuk sudut lancip  $\alpha$  pada gambar 3.25.(b) dapat diurai menjadi gaya sejajar bidang  $F_{//} = F \cos \alpha$  dan gaya tegak lurus bidang  $F_{\perp} = F \sin \alpha$ .



**Gambar 3.25. Menguraikan gaya**

Sumber: Gere & Timoshenko, 1994

#### b) Menggabungkan Gaya

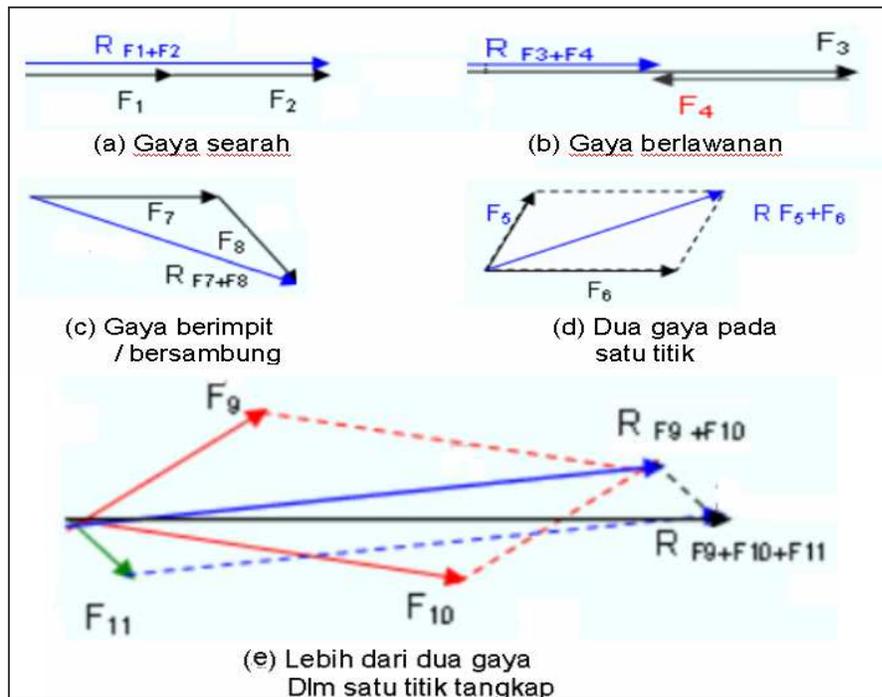
Besaran gaya merupakan besaran vektor, karenanya untuk dapat menggabungkan atau mencari resultannya perlu menyertakan arah dan titik tangkap gaya tersebut pada suatu bidang atau struktur.

Dua buah gaya atau lebih dalam satu lintasan yang segaris dengan arah yang sama, resultan gaya merupakan penjumlahan dari dua gaya tersebut. Sedangkan untuk gaya selintasan yang berlawanan arah, resultan

dua gaya tersebut tersebut merupakan operasi pengurangan. Perhatikan  $F_3$  dan  $F_4$ . Resultan  $F_3 + F_4$ , =  $R_{F_3+F_4} = F_3 - F_4$ .

Jika dua gaya atau lebih dalam satu titik tangkap memiliki arah berlainan seperti  $F_5$  dan  $F_6$ , maka resultan kedua gaya itu dapat dilukis dengan menggambar proyeksi  $F_5$  dan  $F_6$  seperti pada Gambar 3.26. Demikian halnya pada  $R_{F_7+F_8}$  yang merupakan resultan dari  $F_7$  dan  $F_8$ .

Untuk mencari resultan lebih dari dua gaya dalam satu titik tangkap digunakan cara yang sama seperti dilakukan pada gaya  $F_5$  dan  $F_6$  atau  $F_7$  dan  $F_8$ . Perhatikan gaya  $F_9$  hingga  $F_{11}$  pada Gambar 3.26. Tentukan dahulu  $R_{F_9+F_{10}}$ , kemudian tentukan resultan  $F_{11}$  dengan  $R_{F_9+F_{10}}$  menjadi  $R_{F_9+F_{10}+F_{11}}$  yang merupakan resultan  $F_9$  hingga  $F_{11}$ .



**Gambar 3.26. Cara menggabungkan gaya**

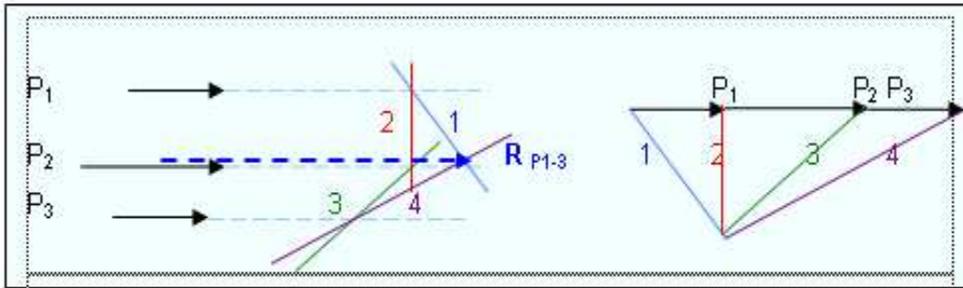
Sumber: Hasil penggambaran

Cara penggabungan gaya searah adalah dengan menjumlahkan dan secara grafis ditunjukkan pada gambar 3.26.(a). Gambar 3.26.(b) menunjukkan grafis menggabungkan dua gaya berlawanan arah. Secara analitis adalah menentukan selisih dua gaya tersebut.

Gambar 3.26.(c) menunjukkan cara grafis menggabungkan dua gaya bersambung berbeda arah. Resultan gaya adalah garis hubung pangkal sampai ujung gaya ke dua. Gambar 3.26.(d) menunjukkan cara grafis menggabungkan dua gaya satu titik tangkap berbeda arah. Caranya adalah memproyeksikan gaya kedua pada jung gaya pertama atau sebaliknya. Besar gaya gabungan / resultan secara prinsip mirip seperti gambar 3.26.(c).

Cara ini dapat diulangi untuk menggabungkan lebih dari dua gaya dalam satu titik tangkap seperti digambarkan pada gambar 3.26.(e). Pada gambar 3.26.(e) resultan  $P_9$  dan  $P_{10} = R_{P_9+P_{10}}$  menjadi gaya yang harus digabungkan dengan gaya  $P_{11}$  untuk menghasilkan resultan dari ke tiga gaya tersebut.

Untuk menggabungkan beberapa gaya berbeda titik tangkapnya, dapat dilakukan dengan cara grafis maupun analitis. Cara grafis dapat dilakukan dengan lukisan kutub seperti pada Gambar 3.27.



**Gambar 3.27. Cara menggabungkan gaya dengan lukisan kutub**

Sumber: Hasil penggambaran

Tahapan lukisan kutub adalah sebagai berikut:

- Gambarlah secara terskala gaya-gaya yang akan digabungkan beserta garis kerja masing-masing gaya
- Urutkan posisi, susun gaya tersebut secara linear,  $P_1$ ,  $P_2$  dan  $P_3$  seperti Gambar 3.27b.
- Tentukan titik kutub dan lukis garis kutub gaya tersebut. Yakni pada  $P_1$  terdapat garis kutub 1 dan 2 dan seterusnya
- Plotkan garis kutub tersebut pada masing-masing garis kerja. Pada garis kerja  $P_1$ , lukis suatu garis sehingga sejajar dengan garis kutub 1.
- Dari titik potong garis kerja  $P_1$  dengan garis kutub 1, lukis garis kutub 2 hingga memotong garis kerja  $P_2$ .
- Dari titik potong garis kutub 2 dengan garis kerja  $P_2$ , lukis garis kutub 3 hingga memotong garis kerja  $P_3$ .
- Dari perpotongan garis kutub 3 dan  $P_3$ , lukis garis kutub 4 hingga memotong garis kutub awal, garis kutub 1. Perpotongan kedua garis kutub tersebut merupakan letak garis kerja resultan ketiga gaya,  $R_{P_1-3}$

Penyelesaian secara analitis dilakukan dengan kaidah momen dari titik acuan yang ditentukan. Misal garis kerja  $P_3$  dipakai sebagai acuan, dengan  $y_{P_2}$ ,  $y_{P_1}$  dan  $y_R$  masing merupakan jarak gaya  $P_2$ ,  $P_1$  dan  $R$  dari garis kerja  $P_3$ . Persamaan  $y_R$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$y_R = (y_{P_2} \times P_2 + y_{P_1} \times P_1) / R$$

$$y_R = (y_{P_2} \times P_2 + y_{P_1} \times P_1) / (P_1 + P_2 + P_3)$$

### 3.4.5. Hukum Newton

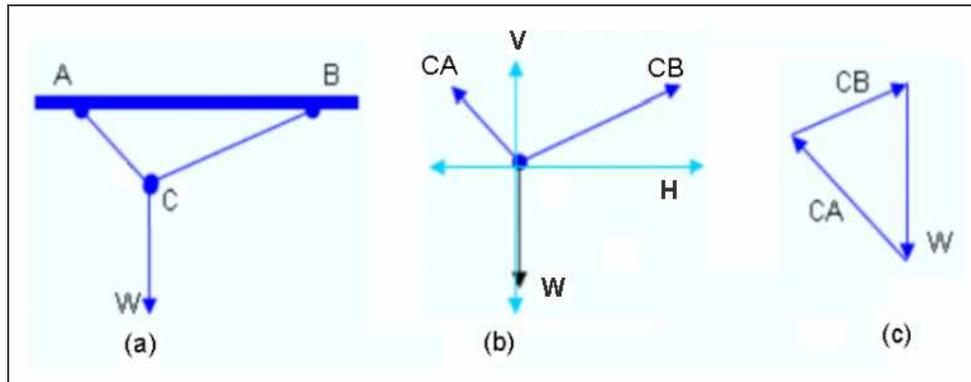
Hukum Newton merupakan hukum yang menjadi dasar Ilmu Statika Gaya. Hukum Newton I menyatakan bahwa Aksi (A) suatu gaya akan sama dengan Reaksi (- R) yang timbul. Dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = -R \text{ atau Aksi + Reaksi} = 0 \quad (3.2)$$

Pernyataan itulah yang menjadi dasar kestabilan suatu struktur dengan gaya-gaya yang bekerja. Dengan begitu suatu struktur dikatakan stabil jika Resultan antara gaya aksi dan reaksi = 0, dan menjadi syarat untuk menentukan atau mencari besarnya komponen reaksi dari suatu struktur. Perhatikan contoh soal dibawah berikut.

#### Contoh Soal 3.4.1:

Lihat Gambar 3.28 di bawah ini. Jika  $\angle CAB = 45^\circ$  dan  $\angle CBA = 30^\circ$   
Tentukanlah gaya pada batang CA dan batang CB



Gambar 3.28. Komponen reaksi contoh soal 3.5.1

Sumber: Hasil analisis

#### Penyelesaian :

**Cara analitis:** Berdasarkan Hukum Newton, struktur seperti pada contoh soal tersebut stabil jika Resultan gaya W dan reaksi pada batang struktur CA dan CB di atas = 0.

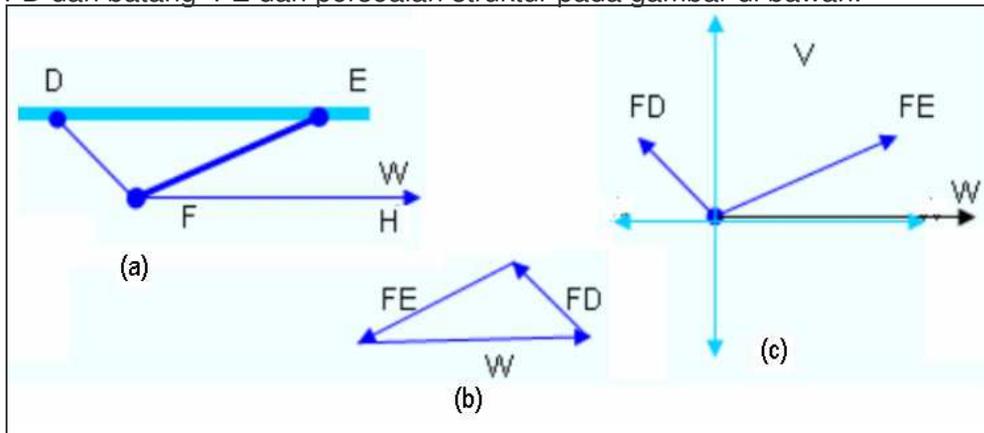
$$\begin{aligned} \sum V &= 0 \\ CA_v + CB_v - W &= 0 \\ CA \sin 45 + CB \sin 30 - W &= 0 \\ \sum H &= 0 \\ CA_h + CB_h &= 0 \\ -CA \cos 45 + CB \cos 30 &= 0 \end{aligned}$$

Didapat dua buah persamaan dengan 2 variabel. Dengan begitu CA dan CB yang merupakan gaya reaksi akibat W akan dapat ditentukan.

**Cara grafis.** Untuk contoh soal tersebut dilakukan dengan melukis vektor gaya dengan kaidah penggabungannya. Gambarkan secara berurutan secara terskala  $W$ ,  $CA$  dan  $CB$  dengan arah yang bersesuaian sehingga  $CB$  kembali berimpit dengan titik tangkap mula  $W$ . Arah lukisan masing komponen reaksi merupakan arah gaya terhadap titik tinjau  $C$ . Kedua bagian batang (*member*)  $CA$  dan  $CB$  mengalami gaya tarikan karena arah lukisan pada grafis menjauh terhadap titik tangkap  $C$ . Besar gaya di tunjukkan dengan panjang lukisan secara terskala.

**Contoh Soal 3.4.2:**

Jika  $\angle FDE = 45^\circ$  dan  $\angle FED = 30^\circ$  Tentukanlah gaya pada bagian batang  $FD$  dan batang  $FE$  dari persoalan struktur pada gambar di bawah.



**Gambar 3.29. Komponen reaksi tekan pada suatu struktur**  
 Sumber: Hasil analisis

**Cara analitis:**

Persamaan kestabilan pada soal 3.5.2 dikemukakan sebagai berikut. Dengan cara substitusi dua persamaan tersebut besaran  $FD$  dan  $FE$  dapat diketahui besarnya

$$\begin{aligned} \sum V &= 0 \\ FD_v + FE_v &= 0 \\ FD \sin 45 + FE \sin 30 &= 0 \\ \sum H &= 0 \\ -FD_h + FE_h + W &= 0 \\ -FD \cos 45 + FE \cos 30 + W &= 0 \end{aligned}$$

**Cara Grafis:**

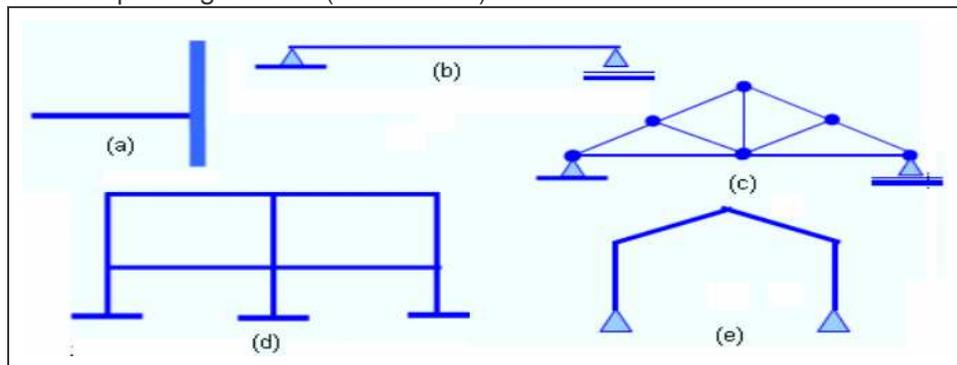
Dengan memperhatikan diagram arag gaya pada gambar 3.9.(b), grafis gaya batang dapat dilukiskan seperti dtunjukkan pada gambar 3.9.(c). Batang/bagian  $FE$  pada Gambar 3.9 di atas mengalami gaya tekan karena arah lukisan berbalik dari diagram pada gambar 3.9.(b). Sedang bagian batang (*member*)  $FD$  mengalami tarikan.

### 3.5. Statika Konstruksi Balok Sederhana

#### 3.5.1. Bagian Struktur Bangunan

Umumnya bangunan sipil terdiri dari beberapa komponen struktur. Komponen struktur utama tersebut dapat berupa rasuk, komponen struktur yang membentang, dan kolom, bagian struktur yang menerima gaya aksial dan menyalurkannya ke struktur pondasi.

Komponen yang membentang tersebut dapat berupa balok maupun berupa rangka batang (*truss*). Balok merupakan gelagar tunggal yang menerima beban lentur atau momen lentur. Sedangkan rangka batang merupakan rangkaian batang tunggal yang disusun agar bagian batang tersebut tidak menahan momen. Bentuk lain dari komponen struktur dapat pula berupa rangka kaku (*frame work*).



Gambar 3.30. Bentuk struktur utama : (a) Balok Konsol, (b) Balok dua dudukan, (c) Rangka Batang, (d) Rangka Kaku, (e) Rangka 3 sendi

Sumber: Hasil penggambaran

#### 3.5.2. Dudukan dan Tumpuan (*Support*)

Dudukan suatu struktur bangunan dapat berupa dudukan kaku atau jepitan, paduan dudukan sendi dan dudukan gelinding (rol) atau gelincir. Dudukan itulah yang nantinya diperhitungkan besaran komponen reaksinya dengan menggunakan syarat kesetimbangan. Syarat kesetimbangan atau stabilitas dalam struktur statis seperti gambar 3.30.(a) dan 3.30.(b), adalah sebagai berikut:

$$\Sigma H = 0, \Sigma V = 0, \Sigma M = 0 \text{ atau}$$

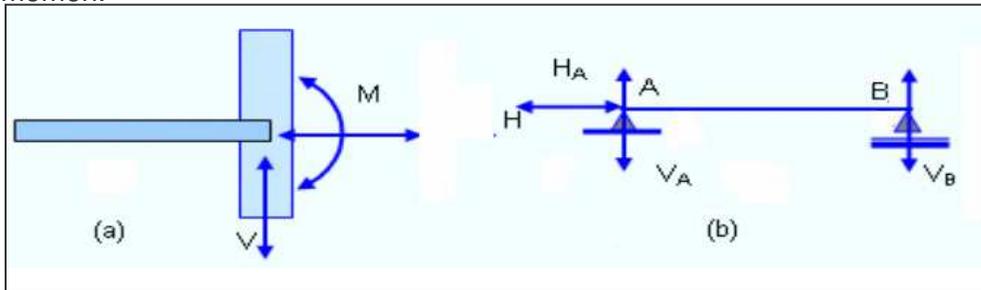
$$\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0, \Sigma M = 0 \quad (3.3)$$

##### 1. Dudukan Jepit Kaku Tunggal

Dudukan jepit kaku tunggal sering disebut sebagai struktur konsol. Dudukan ini dapat menerima atau menguraikan gaya menjadi 3 (tiga) komponen reaksi, yaitu  $\Sigma H = 0, \Sigma V = 0, \Sigma M = 0$ . Dudukan jepit kaku tunggal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.11(a) berikut.

## 2. Dudukan Ganda untuk Balok

Dudukan ganda ini utamanya untuk balok atau rangka batang. Bentuk dudukan ini dapat berupa dudukan sendi atau engsel (*hinge*) dan dudukan gelinding (*rol*) atau dudukan gelincir. Dudukan gelincir tersebut dimaksudkan agar batang struktur dan dudukan tidak menerima tarikan atau tekanan akibat melenturnya batang atau balok yang disangga. Dudukan tersebut memungkinkan batang yang ditumpu dapat berputar dengan bebas jika terjadi lenturan. Karenanya dudukan tidak menahan komponen reaksi momen.



**Gambar 3.31. Bentuk dudukan : (a) dudukan jepit kaku, (b) balok dengan sendi dan dudukan gelincir – gelinding**

Sumber: Hasil penggambaran

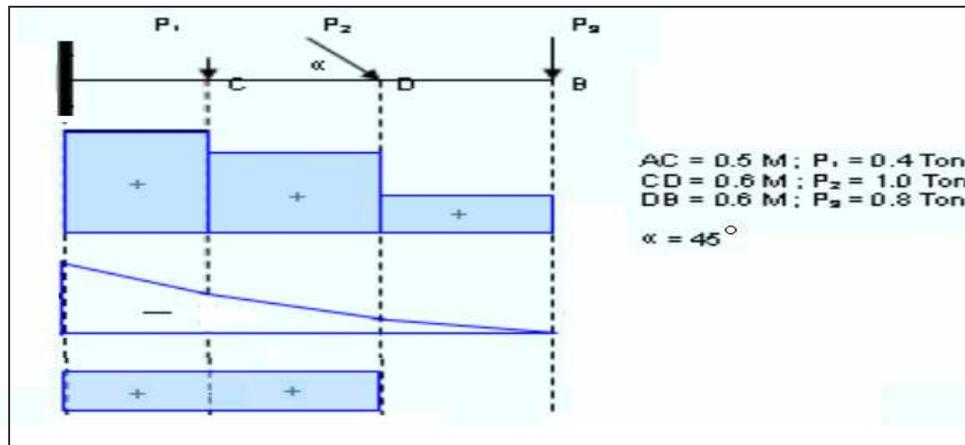
Pada dudukan sendi, dudukan A, akan menghasilkan komponen reaksi vertikal ( $V$ ) dan horisontal ( $H$ ), sedangkan dudukan gelinding atau gelincir, dudukan B, hanya akan menerima komponen reaksi vertikal ( $V$ ) saja. Ilustrasi dudukan ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.31(b).

### 3.5.3. Analisis Balok Statis Tertentu

Bagian ini akan memberikan analisis dasar untuk balok dengan berbagai bentuk arah beban baik secara analitis perhitungan maupun grafis untuk menentukan besarnya komponen reaksi dudukan. Pada bagian ini pula dipresentasikan diagram gaya, yakni besarnya gaya baik itu gaya lintang, normal maupun momen di sepanjang batang struktur.

#### a) Balok Terjepit Sebelah (Konsol) dengan Beban Terpusat

Beban terpusat yang bekerja pada konsol dapat saja berupa beban vertikal, miring atau diagonal maupun horisontal. Untuk dapat menganalisis serta menghitung balok ini harus telah menguasai kesepakatan tanda presentasi gaya lintang, normal maupun momen (Gambar 3.32).



Gambar 3.32. Konsol dengan beban terpusat

Sumber: Hasil analisis

**Cara Analitis:**

Besaran Komponen Reaksi secara analitis adalah sebagai berikut:

$$\sum V_A = 0$$

$$R_{AV} - P_1 - P_{2V} - P_3 = 0$$

$$R_{AV} = P_1 + P_{2V} + P_3$$

$$R_{AV} = 0.40 + (1.0 \times \sin 45^\circ) + 0.80$$

$$R_{AV} = 0.4 + 0.7 + 0.8 = 1.9 \text{ Ton } (\uparrow)$$

$$\sum H_A = 0$$

$$R_{AH} + P_{2H} = 0$$

$$R_{AH} = - (1.0 \times \cos 45^\circ)$$

$$R_{AH} = - 0.7 \text{ Ton } (\leftarrow)$$

$$\sum M_A = 0,$$

$$M_A + P_1 \cdot 0.5 + P_{2V} (0.5+0.6) + P_3 \cdot (0.5+0.6+0.6) = 0$$

$$M_A = - 2.41 \text{ Ton Meter ( Berlawanan jarum jam)}$$

**Besaran Gaya Geser / Gaya Lintang**

Besaran gaya geser pada tiap bagian di sepanjang konsol dapat dihitung sebagai berikut:

Bagian Batang AC	Bagian Batang CD	Bagian Batang DB
$DA = DC = R_A$ $DA = DC = 1.90 \text{ Ton}$	$DC = DD = R_A - P_1$ $DC = 1.90 - 0.4 = 1.50 \text{ Ton}$	$DD = DC - P_{2V} = 1.50 - 1.0 \sin 45$ $DD = DB1 = 1.5 - 0.7 = 0.8 \text{ ton}$ $DB2 = DB1 - 0.8 = 0$

**Besaran Momen Lentur**

Besaran lenturan di tiap titik dapat dihitung menurut persamaan dengan variabel panjang di setiap bentang batang sebagai berikut. Karena beban yang bekerja adalah beban terpusat, maka persamaan momen pada persoalan tersebut merupakan persamaan variabel berpangkat 1 atau persamaan garis lurus

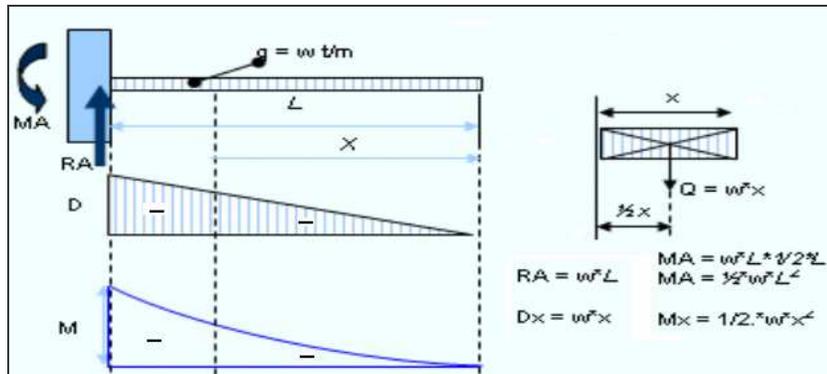
Bagian batang AC	Bagian batang CD	Bagian Batang DB
Persamaa: $Mx = -MA - RA \cdot x$ $MA = -2.41 + (1.9 \cdot 0) = 2.41 \text{ t.m}$ $MC = -2.41 + (1.9 \times 0.5) = 1.46 \text{ t.m}$	Pers : $Mx = -Ma + RA \cdot x + P1 \cdot (x - 0.5) - P2 \cdot V \cdot (x - 1.1)$ $MD = -2.41 + 1.90 \cdot (1.1) - 0.4 \cdot (0.6)$ $MD = -0.56 \text{ Ton meter}$	Pers : $Mx = -Ma + RA \cdot x + P1 \cdot (x - 0.5) - P2 \cdot V \cdot (x - 1.1)$ $MB = -2.41 + 1.9 \cdot 1.7 + 0.4 \cdot 1.2 + 0.7 \cdot 0.6$ $MB \approx 0$

### Besaran Gaya Normal

Akibat beban  $P_2$  yang miring dengan sudut  $45^\circ$ , bagian batang konsol A – D mengalami tarikan sebesar  $P_2 \cos 45 = 1.0 \cdot \sin 45 = 0.70 \text{ ton}$ . Sebagaimana ditunjukkan pada diagram di atas.

### b) Balok Konsol dengan Muatan Terbagi Merata.

Muatan merata / terbagi dinyatakan dalam besaran beban per satuan panjang. Beban ini dapat ditemui pada beban sendi gelagar. Contoh persoalan dengan beban terbagi rata dapat dilihat pada Gambar 3.33. berikut.

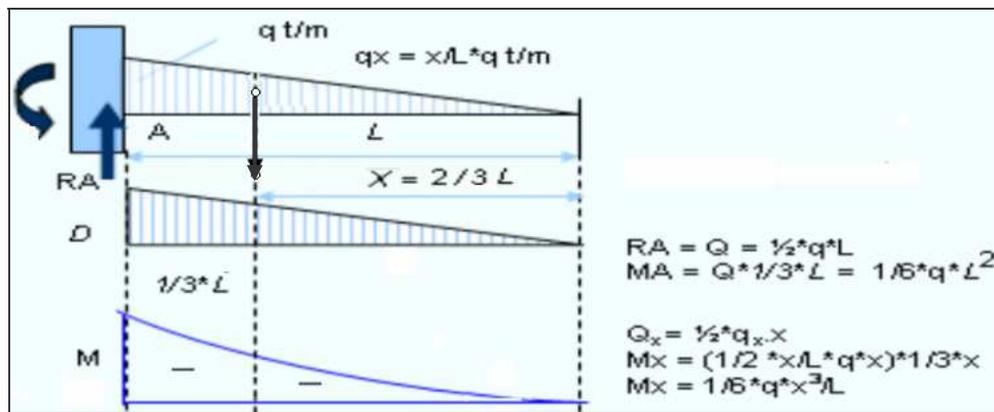


Gambar 3.33. Balok konsol dengan beban terbagi merata

Sumber: Hasil analisis

### c) Balok Konsol dengan Muatan Terbagi Segitiga.

Muatan terbagi segitiga dapat dijumpai pada muatan yang diakibatkan oleh tekanan hidrostatika maupun tekanan tanah pada dinding penahan tanah. Jika muatan tersebut di kerjakan pada konsol, analisis dan ilustrasinya dapat ditunjukkan pada Gambar 3.34.



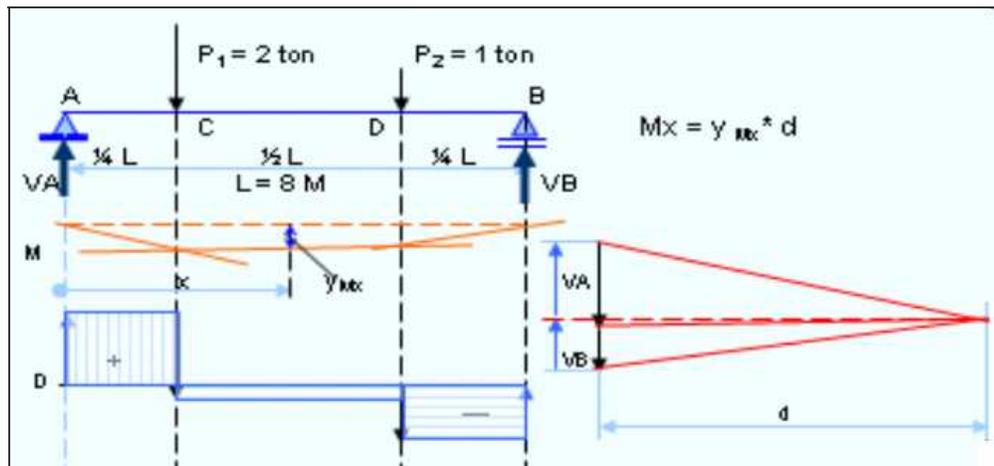
Gambar 3.34. Muatan terbagi segitiga pada struktur konsol

Sumber: Hasil analisis

**d) Balok di atas Dua Dudukan**

Bentuk dukungan untuk struktur balok statis tertentu umumnya salah satu dukungan itu berupa dukungan sendi (*hinge*) sedang dukungan lain berupa dukungan gelinding (*rol*) atau dukungan gelincir (*sliding support*). Dukungan ini dimaksudkan agar batang struktur tidak menahan beban tambahan akibat lendutan atau pengaruh lain terkait dengan kembang susut batang struktur.

Dudukan sendi dapat menahan komponen reaksi vertikal dan komponen reaksi horisontal  $R_V$  dan  $R_H$ . Sedangkan dukungan gelinding atau gelincir hanya dapat menahan beban bertikal  $R_V$  saja. Ilustrasi penyelesaian secara grafis dan Analitis ditunjukkan pada Gambar 3.35.



Gambar 3.35. Balok di atas dua tumpuan

Sumber: Hasil analisis

Besaran momen yang terjadi berdasarkan diagram yang dibentuk dari lukisan kutub tersebut dapat di tentukan dengan mengukur  $y_{Mx}$  pada diagram dan mengalikan dengan jarak titik kutub  $d$  dengan memperhitungkan skala gaya yang telah ditentukan sebelumnya.

$$Mx = y_{Mx} \cdot d \text{ (ton meter)}$$

### Cara Analitis.

Menentukan komponen reaksi

Untuk menentukan komponen reaksi di tiap dudukan berlaku persamaan kestabilan  $\Sigma M = 0$  . Berlaku pula persamaan kestabilan  $\Sigma V = 0$  atau  $\Sigma P + \Sigma R = 0$  pada struktur tersebut.

Di dudukan A

$$\Sigma MA = 0$$

$$P1 \cdot 2 + P2 \cdot 6 - VB \cdot 8 = 0$$

$$VB = (2 \cdot 2 + 1 \cdot 6) / 2 = 1.25 \text{ Ton}$$

Di dudukan B

$$\Sigma MB = 0$$

$$P2 \cdot 2 + P1 \cdot 6 - VA \cdot 8 = 0$$

$$VA = (1 \cdot 2 + 2 \cdot 6) / 8 = 1.75 \text{ Ton}$$

$$\Sigma V = 0 \text{ atau } \Sigma P + \Sigma V = 0$$

$$-P1 - P2 + VA + VB = 0$$

$$-2 - 1 + 1.75 + 1.25 = 0 \text{ (ok)}$$

Catatan : Tanda + dan – pada

persamaan diberikan berdasarkan arah gaya.

### Diagram Gaya Lintang

Untuk mempresentasikan gaya dalam bentuk diagram gaya, tinjau di tiap bagian batang sebagai berikut.

Bagian batang AC	Bagian batang CD	Bagian Batang DB
$D_A = VA = 1.75 \text{ ton}$ $D_C = DA = 1.75 \text{ ton}$	$D_C = VA - P1 = 1.75 - 2 = -0.25 \text{ ton}$ $D_D = D_C = 0.25 \text{ ton}$	$D_D = VA - P1 - P2 = 1.75 - 2 - 1 = -1.25 \text{ ton}$ $DB1 = DD = -1.25 \text{ ton}$ $DB2 = DB1 + VB = 0$

### Diagram Momen

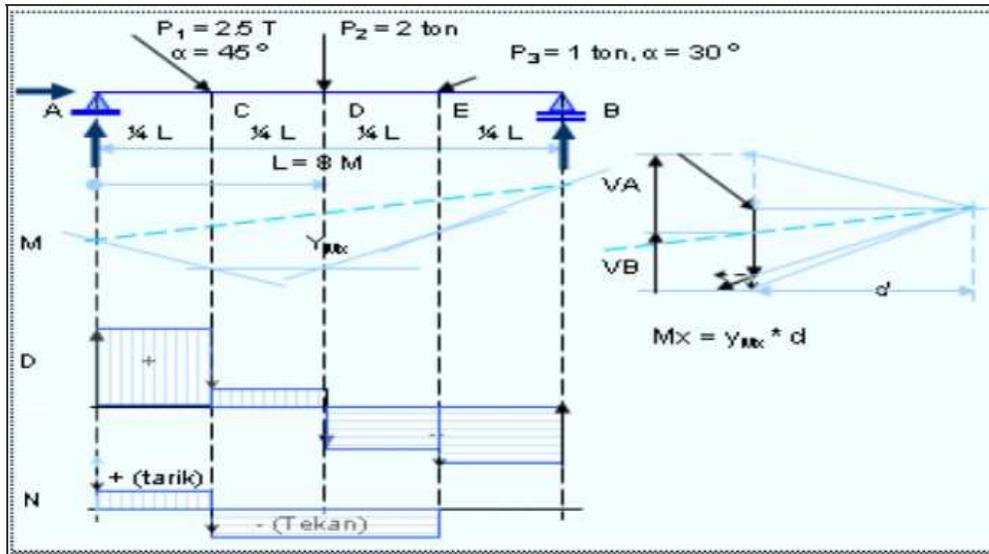
Bagian batang AC	Bagian batang CD	Bagian Batang DB
Persamaan: $Mx = VA \cdot x$ $MA = 0$ (sendi tak menahan momen) $MC = VA \cdot 2 = +1.75 \cdot 2 = +3.50 \text{ ton.meter}$	Pers : $Mx = VA \cdot x - P1 \cdot (x-2)$ $MD = 1.75 \cdot 6 - 2 \cdot (6-2) = 2.5 \text{ ton.meter}$ $M_{x=1/2L} = 1.75 \cdot 4 - 2 \cdot (4-2) = 3 \text{ ton.meter}$	Pers : $Mx = VA - P1 \cdot (x-2) - P2 \cdot (x-6)$ $MB = 1.75 \cdot 8 - 2 \cdot (8-2) - 1 \cdot (8-6)$ $MB = 0 \text{ (ok)}$

### e) Balok Dua Dudukan dengan Beban Miring.

Penyelesaian struktur balok oleh beban miring pada dasarnya hampir sama dengan penyelesaian beban tegak lurus dan melintang seperti pada contoh soal sebelumnya. Perbedaannya adalah bahwa beban miring tersebut mengakibatkan gaya normal yang harus ditahan oleh dudukan maupun batang balok. Perhatikan contoh dengan ilustrasi pada Gambar 3.36. Besaran momen yang terjadi berdasarkan diagram yang dibentuk dari lukisan kutub tersebut dapat di tentukan dengan mengukur  $y_{Mx}$  pada

diagram dan mengalikan dengan jarak titik kutub  $d$  yang telah memperhitungkan skala gaya maupun panjang yang telah ditentukan.

$$M_x = y_{Mx} \cdot d \text{ (ton meter)}$$



Gambar 3.36. Struktur balok dua dukungan dengan beban miring

Sumber: Hasil analisis

### Cara Analitis.

Menentukan komponen reaksi. Untuk menentukan komponen reaksi di tiap dukungan berlaku persamaan kestabilan  $\Sigma M = 0$  dan  $\Sigma V = 0$  atau  $\Sigma P + \Sigma R = 0$  di kedua dukungan struktur tersebut.

Di dukungan A

$$\Sigma M_A = 0$$

$$P_1 v^2 + P_2 \cdot 4 + P_3 v \cdot 6 - V_B \cdot 8 = 0$$

$$P_1 \cdot \sin 45^\circ \cdot 2 + P_2 \cdot 4 + P_3 \cdot \sin 30^\circ \cdot 6 - V_B \cdot 8 = 0$$

$$V_B = (2.5 \cdot \sin$$

$$45^\circ \cdot 2 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot \sin 30^\circ \cdot 6) / 8 = 1.82 \text{ Ton}$$

$$\Sigma V = 0 \text{ atau } \Sigma P + \Sigma V = 0$$

$$-P_1 v - P_2 - P_3 v + V_A + V_B = 0$$

$$-2.5 \cdot \sin 45^\circ - 2 - 1 \cdot \sin 30^\circ + 1.82 + 2.45 = 0 \text{ (ok)}$$

$$-2.5 \cdot 0.7071 - 2 - 1 \cdot 0.5 + 1.82 + 2.45 = 0$$

$$0 = 0 \text{ (ok)}$$

Di dukungan B

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-P_1 v \cdot 6 - P_2 \cdot 4 + P_3 v \cdot 2 - V_A \cdot 8 = 0$$

$$-P_1 \cdot \sin 45^\circ \cdot 6 - P_2 \cdot 4 + P_3 \cdot \sin 30^\circ \cdot 2 - V_A \cdot 8 = 0$$

$$V_A = (2.5 \cdot \sin$$

$$45^\circ \cdot 6 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot \sin 30^\circ \cdot 2) / 8 = 2.45 \text{ Ton}$$

*Catatan* : Tanda + dan – pada persamaan diberikan berdasarkan arah gaya. Untuk momen searah jarum jam bertanda positif dan sebaliknya. Untuk arah gaya ke atas bertanda positif dan sebaliknya.

### Gaya Lintang (D)

Untuk menghitung/menyelesaikan secara analitis besarnya gaya lintang untuk presentasi dalam bentuk diagram gaya, tinjau di tiap bagian batang. Semua perhitungan yang dicantumkan meninjau sebelah potongan batang struktur.

Bagian batang AC	Bagian batang CD
$D_A = V_A = 2.45 \text{ ton}$ $D_C = D_A = 2.45 \text{ ton}$	$D_C = V_A - P1v$ $= 2.45 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ$ $\dots = 0.68 \text{ ton}$ $D_D = D_C = 0.68 \text{ ton}$

Bagian Batang DE	Bagian Batang EB
$D_D = V_A - P1v - P2$ $= 2.45 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ - 2$ $= -1.32 \text{ ton}$ $D_E = D_D = -1.32 \text{ ton}$	$D_E = V_A - P1v - P2 - P3v$ $= 2.45 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ - 2 - 1 \cdot \sin 30^\circ$ $= -1.82 \text{ ton}$ $D_{B1} = D_D = -1.82 \text{ ton}$ $D_{B2} = D_{B1} + V_B = -1.82 + 1.82 = 0$

Dari penyelesaian cara grafis maupun analitis diperoleh bahwa gaya lintang maksimum pada batang berada pada bagian batang A – C =  $V_A = 2.45 \text{ ton}$ . Besaran gaya lintang inilah yang akan diperhitungkan untuk kekuatan dudukan struktur dan batang atau untuk keperluan sambungan pada batang struktur.

### Diagram Momen (M)

Besaran momen yang terjadi di sepanjang batang dengan jarak x sebesar Mx di masing-masing titik tinjauan dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Bagian batang AC	Bagian batang CD
$M_x = V_A \cdot x$ $M_A = 0$ $M_C = V_A \cdot 2 = 2.45 \cdot 2$ $= 4.90 \text{ ton.meter}$	$M_x = V_A \cdot x - P1v \cdot (x-2)$ $M_C = V_A \cdot 2 = 2.45 \cdot 2$ $= 4.9 \text{ ton.meter}$ $M_D = V_A \cdot 4 - P1v \cdot (4-2)$ $= 2.45 \cdot 4 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ \cdot 2$ $= 6.26 \text{ ton meter}$
Bagian Batang DE	Bagian Batang DB
$M_x = V_A \cdot x - P1v \cdot (x-2) - P2 \cdot (x-4)$ $M_D = 2.45 \cdot 4 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ \cdot (4-2)$ $= 6.32 \text{ ton.meter}$ $M_E = 2.45 \cdot 6 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ \cdot (6-2) - 2 \cdot (6-4)$ $= 3.63 \text{ ton meter}$	$M_x = V_A \cdot x - P1v \cdot (x-2) - P2 \cdot (x-4) - P3v \cdot (x-6)$ $M_E = 2.45 \cdot 6 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ \cdot (6-2) - 2 \cdot (6-4) = 3.63 \text{ ton.meter}$ $M_B = 2.45 \cdot 8 - 2.5 \cdot \sin 45^\circ \cdot (8-2) - 2 \cdot (8-4) - P3 \cdot \sin 30^\circ \cdot (8-6)$ $\dots = 0$

Dari penyelesaian grafis maupun analitis didapatkan bahwa momen maksimum terjadi di titik D (tengah bentang batang)  $M_D = 6.32 \text{ ton meter}$ . Momen maksimum inilah yang akan diperhitungkan untuk perancangan batang struktur akibat momen lentur.

### Diagram Gaya Normal (N)

Gaya miring P1 dan P3 memberikan gaya normal pada batang struktur sebesar masing-masing  $P1H = \cos 45^\circ$  (kekanan) dan  $P3H = P3 \cos 30^\circ$  (kekiri). Besar gaya normal di tiap bagian batang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma H &= 0 \\ HA + P1H - P3H &= 0 \\ HA + 2.5 \cdot \cos 45^\circ - 1 \cdot \cos 30^\circ &= 0 \\ HA &= -2.5 \cdot \cos 45^\circ + 1 \cdot \cos 30^\circ \\ &= -0.90 \text{ ton (} \leftarrow \text{)} \end{aligned}$$

Bagian batang AC	Bagian batang CE	Bagian Batang EB
$N_A = HA = 0.90 \text{ ton (+ / Tarik)}$ $N_C = HA$	$N_C = HA - P1H$ $= 0.90 - 2.5 \cdot \cos 45^\circ$ $\dots = -0.87 \text{ ton (- / Tekan)}$ $N_E = N_C$	$N_E = HA - P1H - P3H$ $= 0.90 - 2.5 \cdot \cos 45^\circ - 1 \cdot \cos 30^\circ$ $= 0$

**f) Balok Dua Dudukan dengan Beban Terbagi Rata**

Penentuan komponen reaksi dan gaya dalam pada struktur balok dua dudukan dengan beban terbagi merata pada soal pada gambar 3.37.

**Menentukan komponen reaksi**

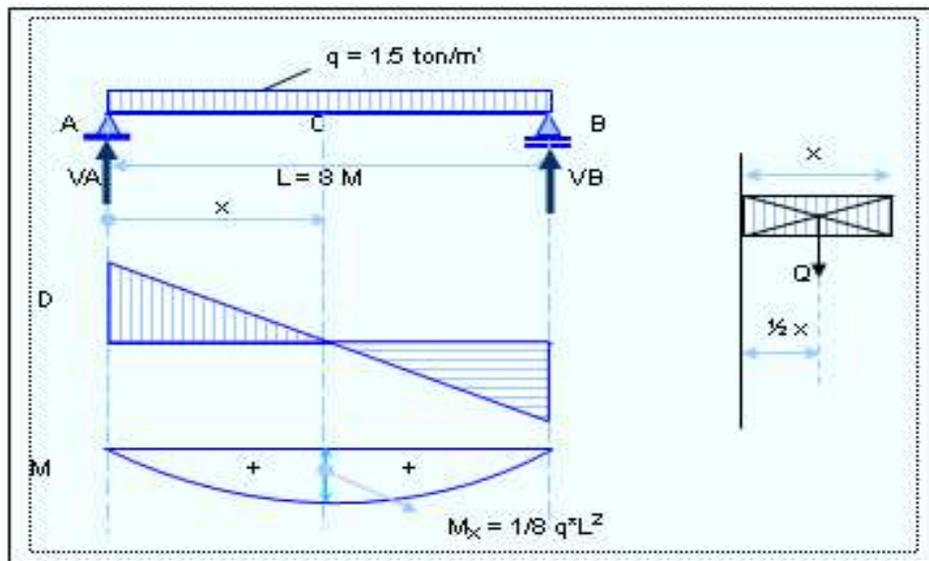
Untuk menentukan komponen reaksi di tiap dudukan berlaku persamaan kestabilan  $\Sigma M = 0$  dan  $\Sigma V = 0$  atau  $\Sigma P + \Sigma R = 0$  di kedua dudukan struktur tersebut.

Di dudukan A

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ q \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot L - V_B \cdot L &= 0 \\ V_B &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot 8 = 6 \text{ ton} \end{aligned}$$

Di dudukan B

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ -q \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot L + V_A \cdot L &= 0 \\ V_A &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot 8 = 6 \text{ ton} \end{aligned}$$



**Gambar 3.37. Balok dua dudukan dengan beban terbagi rata**  
 Sumber: Hasil analisis

### Gaya Lintang D dan Momen M

Besaran Gaya lintang dan momen lentur M di sepanjang batang dengan jarak x sebesar masing-masing Dx dan Mx dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Gaya Lintang D

$$\text{Persamaan } D_x = VA - qx$$

$$D_A = VA \text{ (+ / positif)} = +6 \text{ ton}$$

$$D_C = VA - 1/2 * q * L = 6 - 1/2 * 1.5 * 8 = 0 \text{ ton}$$

$$D_{B1} = VA - q * L = 6 - 1.5 * 8 = -6 \text{ ton}$$

$$D_{B2} = VA - q * L + V_B = 6 - 1.5 * 8 + 6 = 0 \text{ ton}$$

Momen Lentur M

$$\text{Persamaan: } M_x = VA * x - (q * x) * (1/2 * x) \\ = VA * x - 1/2 * q * x^2$$

$$M_A = 0$$

$$M_{C \text{ } x=4 \text{ m}} = 6 * 4 - 1/2 * 1.5 * 4^2 = 12 \text{ ton meter}$$

$$M_B = 0$$

Sebagaimana ditunjukkan di atas, persamaan momen merupakan persamaan berpangkat 2/persamaan kuadrat. Karenanya diagram momen merupakan diagram garis lengkung/parabolik. Letak momen maksimum dapat diperoleh dari persamaan diferensial  $dM_x/dx$  atau  $D_x = 0$

$$dM_x/dx = 0$$

$$VA - q * x = 0$$

$$X = VA/q = 6/1.5 = 4 \text{ m (dari A)}$$

Dengan begitu Momen Maksimum dari persamaan  $M_x = VA * x - 1/2 * q * x^2$

Dicapai jika  $x = 4 \text{ m}$  dan dapat dihitung sebagai berikut.

$$M \text{ maks} = VA * 4 - 1/2 * 1.5 * 4^2 = 24 - 12 = 12 \text{ ton meter}$$

### g) Balok di atas Dua Dudukan dengan Beban Terbagi Segitiga

Untuk menyelesaikan persoalan balok di atas dua dudukan dengan beban terbagi segitiga pada prinsipnya hampir sama dengan beban terbagi segitiga pada konsol. Jika besaran beban maksimum terbagi segitiga tersebut sebesar  $q$  ton/meter, maka muatan terbagi sepanjang  $x$  dapat ditentukan sebesar  $qx = x/L * q$ .

Dengan memperhatikan titik berat segitiga, penyelesaian untuk contoh soal pada Gambar 3.38 dapat dikemukakan sebagai berikut.

#### Besaran Komponen Reaksi.

Di dudukan A

$$\Sigma M_A = 0$$

$$q * L / 2 * 1/3 * L - V_B * L = 0$$

$$V_B = 1/6 * q * L^2 / L = 1/6 * q * L$$

$$V_B = 1/6 * 1.5 * 6 = 1.5 \text{ ton}$$

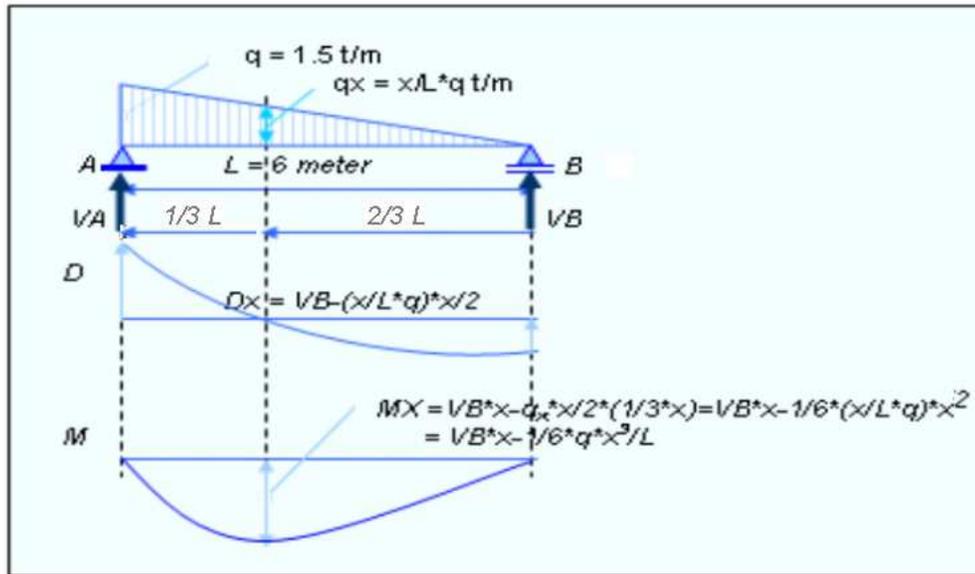
Di dudukan B

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-q * L / 2 * 2/3 * L + V_A * L = 0$$

$$V_A = 1/3 * q * L^2 / L = 1/3 * q * 6$$

$$V_A = 3 \text{ ton}$$



Gambar 3.38. Contoh soal balok dua dukungan dengan beban segitiga.

Sumber: Hasil analisis

### Gaya Lintang D dan Momen M

Besaran Gaya lintang D dan momen lentur M di sepanjang batang dengan jarak x dari B dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Gaya Lintang D

$$\begin{aligned} \text{Persamaan } D_x &= V_B - q_x \cdot x/2 = V_B - \\ & \quad (x/L \cdot q) \cdot x/2 \\ & = V_B - 1/2 \cdot q \cdot x^2/L \end{aligned}$$

$$D_B = V_B = 1.5 \text{ ton (+ / positif)}$$

$$D_{x=4} = V_B - 1/2 \cdot q \cdot (4)^2/6 = -0.5 \text{ ton}$$

Momen Lentur M

$$\begin{aligned} \text{Persamaan: } M_x &= V_B \cdot x - (x/L \cdot q \cdot x/2) \cdot (1/3 \cdot x) \\ & = V_B \cdot x - 1/6 \cdot q \cdot x^3/L \end{aligned}$$

$$M_A = 0$$

$$M_{x=4m} = 6 \cdot 4 - 1/6 \cdot 1.5 \cdot 4^3/6 = 3.33 \text{ ton meter}$$

### Momen Maksimum

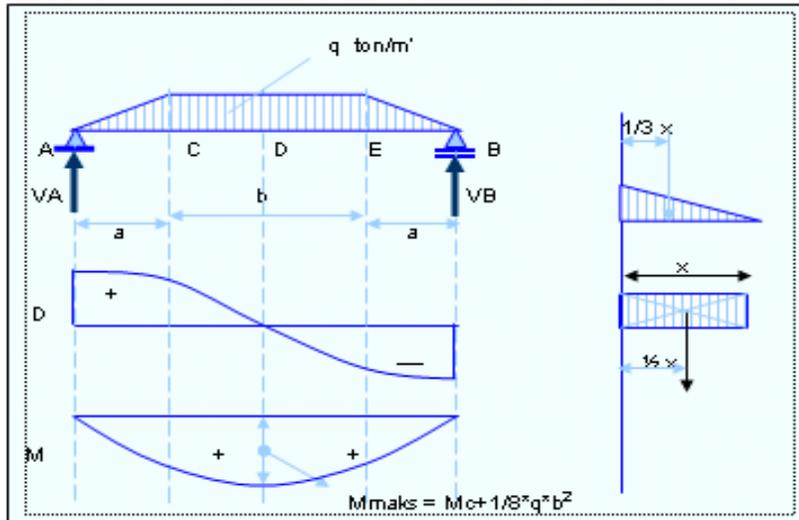
Momen maksimum diperoleh jika turunan pertama  $dM_x/dx$  dari persamaan  $M_x = 0$ ,

$$\begin{aligned} dM_x/dx &= V_B - 1/2 \cdot q \cdot x^2/L \\ 0 &= 1.5 - 1/2 \cdot 1.5 \cdot x^2/6 \\ x^2 &= 2 \cdot L \\ x &= \sqrt{2}L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ maks} &= V_B \cdot \sqrt{2}L - 1/6 \cdot q \cdot (\sqrt{2}L)^3/L, \text{ dimana } V_B = 1/6 \cdot q \cdot L \\ &= (1/6 \cdot q \cdot L) \cdot (\sqrt{2}L) - 1/6 \cdot q \cdot (\sqrt{2}L)^3/L \\ &= 0.0642 \cdot q \cdot L^2 \end{aligned}$$

### h) Balok Dua Dudukan dengan Beban Trapesium

Penentuan komponen reaksi dan gaya dalam pada struktur balok dua dudukan dengan beban trapesium seperti pada Gambar 3.19 dapat diselesaikan dengan menggunakan prinsip penyelesaian beban terbagi rata dan beban segitiga.



Gambar 3.39. Balok dua dudukan dengan beban trapesium

Sumber: Hasil penggambaran

#### Menentukan komponen reaksi

Untuk menentukan komponen reaksi di tiap dudukan dengan beban simetris dapat dihitung sebagai berikut.

Reaksi dudukan A = reaksi dudukan B

$$\Sigma R = q \cdot b + q \cdot a$$

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (b+a)$$

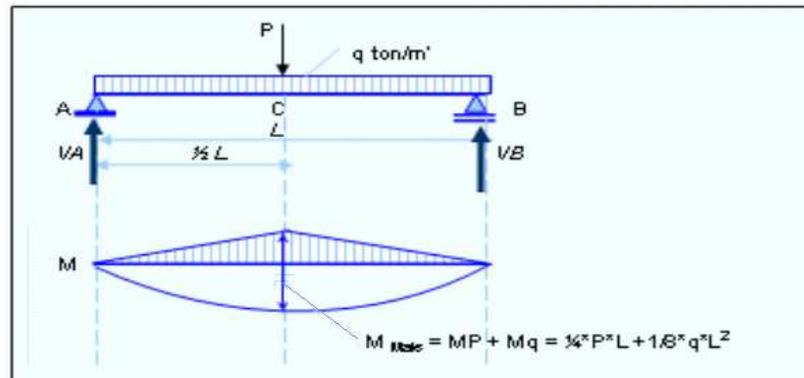
$$M_C = (R_A \cdot a) - q \cdot a / 2 \cdot (1/3 \cdot a)$$

$$M_C = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (b+a) \cdot a - q \cdot a / 2 \cdot (1/3 \cdot a)$$

$$M_{maks} = M_C + 1/8 \cdot q \cdot b^2$$

### i) Balok Dua Dudukan Beban Gabungan

Penyelesaian beban gabungan dari suatu atau lebih macam gaya, dapat diselesaikan secara terpisah berdasarkan jenis beban dan selanjutnya dilakukan superposisi. Cara superposisi prinsipnya adalah menjumlahkan gaya yang timbul akibat masing-masing jenis beban. Perhatikan contoh soal seperti pada Gambar 3.40.

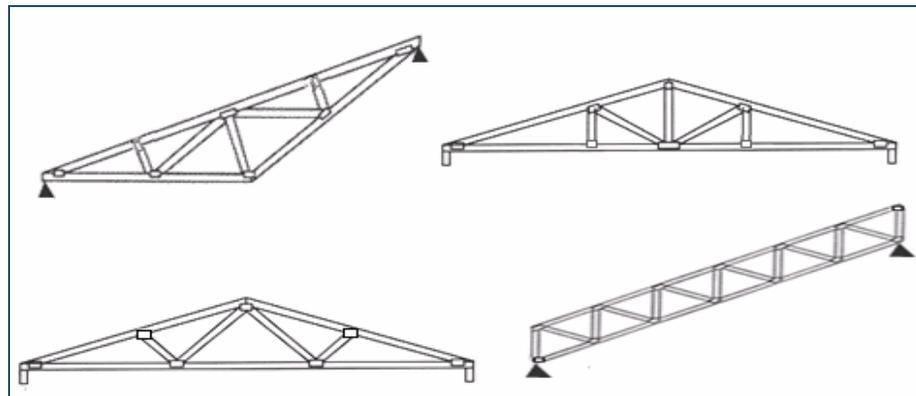


**Gambar 3.40. Balok dua dudukan dengan beban gabungan**

Sumber: Hasil penggambaran

### 3.6. Analisis Rangka Batang (*Truss*) Sederhana

Bentuk struktur rangka batang (*truss*) dipilih karena mampu menerima beban struktur relatif besar dan dapat melayani kebutuhan bentang struktur yang panjang. Bentuk struktur ini dimaksudkan menghindari lenturan pada batang struktur seperti terjadi pada balok. Pada struktur rangka batang ini batang struktur dimaksudkan hanya menerima beban normal baik tarikan maupun beban tekan. Bentuk paling sederhana dari struktur ini adalah rangkaian batang yang dirangkai membentuk bangun segitiga (Gambar 3.41). Struktur ini dapat dijumpai pada rangka atap maupun jembatan.



**Gambar 3.41. Tipikal struktur rangka batang**

Sumber: Schodek, 1999

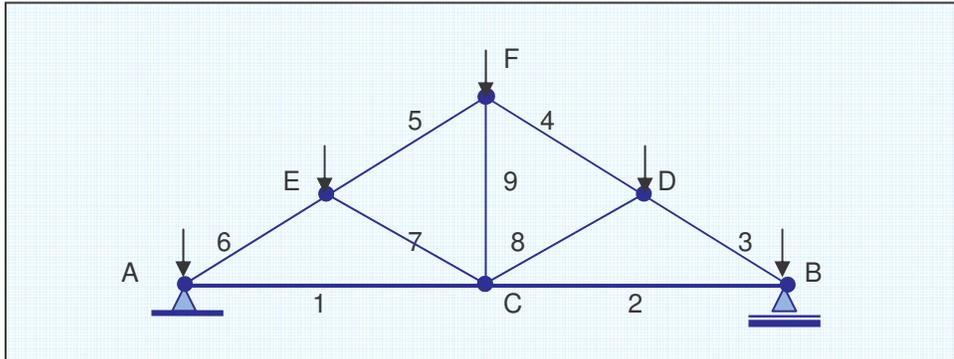
Titik rangkai disebut sebagai simpul/ buhul atau titik sambung. Struktur rangka statis umumnya memiliki dua dudukan yang prinsipnya sama dengan dudukan pada struktur balok, yakni dudukan sendi dan dudukan gelinding atau gelincir.

Gambar 3.42 menunjukkan struktur rangka batang yang tersusun dari rangkaian bangun segitiga yang merupakan bentuk dasar yang memiliki

sifat stabil. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kestabilan rangka batang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$n = 2 J - R \quad (3.4)$$

Dimana: J = Jumlah simpul  
 n = Jumlah batang  
 R = Jumlah komponen reaksi,  $RA_V$ ,  $RA_H$ ,  $RB_V$ ,



**Gambar 3.42. Tipikal bentuk struktur rangka batang sederhana**

Sumber: Hasil penggambaran

Rangka batang tersebut terdiri dari 9 batang struktur (*member*) dan 6 titik sambung atau simpul (A-F). Sebagaimana dikemukakan pada bagian balok, bahwa dukungan sendi A dapat menerima 2 arah komponen reaksi,  $RV$  dan  $RH$ . Sedangkan dukungan gelinding B dapat menerima komponen reaksi  $RV$ . Sehingga terdapat 3 komponen reaksi dukungan. Berdasarkan persyaratan tersebut kestabilan rangka batang dapat ditulis :

$$\begin{aligned} n &= 2 J - R \\ 9 &= 2 \cdot 6 - 3 \\ 9 &= 12 - 3 \quad (\text{ok}) \end{aligned}$$

Untuk dapat menentukan gaya dengan prinsip perhitungan gaya sesuai hukum Newton, persyaratan kestabilan tersebut harus dipenuhi lebih dahulu. Jika suatu struktur rangka tidak memenuhi persyaratan kestabilan tersebut, struktur rangka tersebut disebut sebagai struktur rangka statis tak tentu. Struktur statis tak tentu ini memerlukan persamaan dan asumsi cukup rumit dan merupakan materi untuk pendidikan tinggi.

Metoda yang banyak digunakan dalam perhitungan rangka sederhana adalah metoda kesetimbangan titik simpul dan metoda potongan (*Ritter*).

### 3.6.1. Metoda Kesetimbangan Titik Simpul (Buhul).

Metoda ini menggunakan prinsip bahwa jika stabilitas dalam titik simpul terpenuhi, berlaku hukum bahwa jumlah komponen reaksi  $\Sigma R$  harus sama dengan nol,  $\Sigma R_h = 0$ ,  $\Sigma R_V = 0$ ,  $\Sigma R_M = 0$ . Dengan begitu gaya

batang pada titik simpul tersebut dapat ditentukan besarnya. Metoda ini meliputi dua cara yakni secara analitis dan grafis.

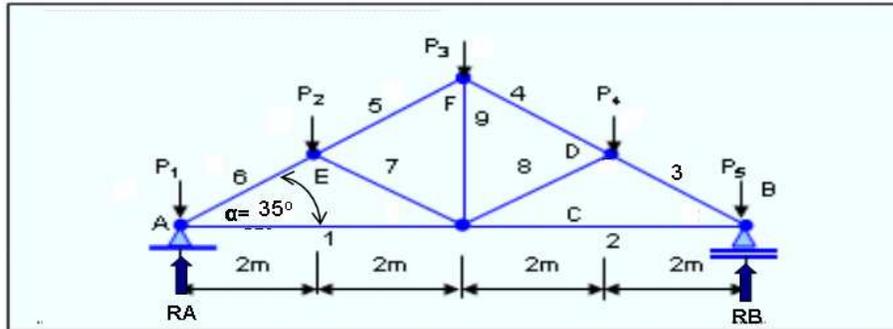
Tahapan yang perlu dilakukan untuk menentukan gaya batang pada struktur rangka batang adalah sebagai berikut.

- Memeriksa syarat kestabilan struktur rangka batang
- Menentukan besar gaya reaksi dudukan
- Menentukan gaya batang di tiap simpul dimulai dari simpul pada salah satu dudukan.
- Membuat daftar gaya batang

Secara grafis, skala lukisan gaya harus ditentukan lebih dahulu baru kemudian melukis gaya yang bersesuaian secara berurutan. Urutan melukis dimaksud dapat searah dengan jarum jam atau berlawanan arah jarum jam.

**Contoh soal 3.6.1:**

Tentukanlah besar seluruh gaya batang dari struktur rangka pada gambar 2.25 jika  $P_1 = P_6 = 250$  kg,  $P_2 = P_3 = P_4 = 500$  kg,  $L_{FAB} = 35^\circ$ , bentang A-B = 8 meter.



Gambar 3.43. Sketsa contoh soal struktur rangka batang  
Sumber: Hasil analisis

**Penyelesaian:**

1. Memeriksa kestabilan struktur:  $9 = 2*6 - 3$  (ok)
2. Menentukan komponen reaksi

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ -RB*8 + P_5*8 + P_4*6 + P_3*4 + P_2*2 &= 0 \\ RB &= (250*8 + 500*6 + 500*4 + 500*2)/8 \\ RB &= 1000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ -RA*8 - P_1*8 - P_2*6 - P_3*4 - P_4*2 &= 0 \\ RA &= (250*8 + 500*6 + 500*4 + 500*2)/8 \\ RA &= 1000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P &= \Sigma R \\ P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 &= RA + RB \\ 2000 &= 2000 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

### 3. Menentukan besarnya gaya batang

#### Simpul A :

Cara analitis:

$$\Sigma V = 0$$

$$RA - P_1 + S_6 \sin 35^\circ = 0$$

$$1000 - 250 + S_6 \cdot 0.57 = 0$$

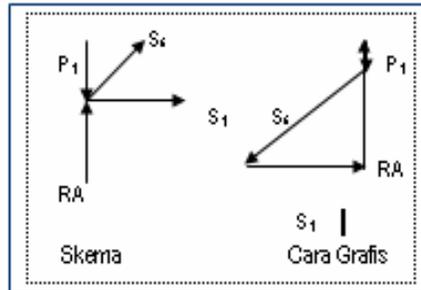
$$S_6 = -750 / 0.57 = -1315 \text{ kg (tekan)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S_6 \cos 35^\circ + S_1 = 0$$

$$-1315 \cdot 0.82 + S_1 = 0$$

$$S_1 = -(-1315) \cdot 0.82 = 1078 \text{ kg (tarik)}$$



#### Cara Grafis:

Dengan mengambil skala 2 cm = 1000 kg. Gambarlah secara berurutan searah jarum jam gaya yang berada pada simpul A, RA — P1 — S6 — S1. Untuk menentukan gaya tekan atau tarik ditentukan dari searah atau kebalikan arah gaya pada grafis dengan anggapan seperti pada skema batang.

#### Simpul E

Cara analitis:

$$\Sigma V = 0$$

$$-S_6 \sin 35^\circ - P_2 + S_5 \sin 35^\circ - S_7 \sin 35^\circ = 0$$

$$-(-1315) \cdot 0.57 - 500 + S_5 \cdot 0.57 - S_7 \cdot 0.57 = 0$$

$$750 - 500 + S_5 \cdot 0.57 - S_7 \cdot 0.57 = 0$$

$$250 + 0.57 \cdot S_5 - 0.57 \cdot S_7 = 0$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S_6 \cos 35^\circ + S_5 \cos 35^\circ + S_7 \cos 35^\circ = 0$$

$$-(-1315) \cdot 0.82 + S_5 \cdot 0.82 + S_7 \cdot 0.82 = 0$$

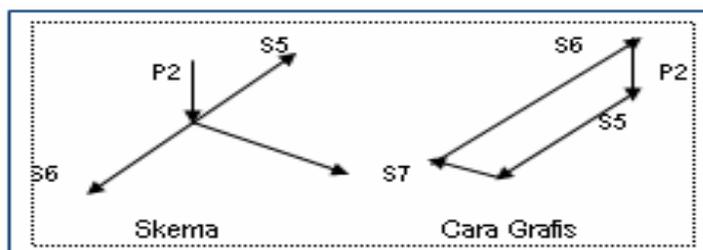
$$1078 + 0.82 \cdot S_5 + 0.82 \cdot S_7 = 0$$

Dari substitusi persamaan didapat :  $S_5 = -877 \text{ Kg (tekan)}$

$S_7 = -439 \text{ kg (tekan)}$

#### Cara Grafis:

Gambarlah secara berurutan searah jarum jam gaya yang berada pada simpul E, S6 — P2 — S5 — S7.



**Simpul F**

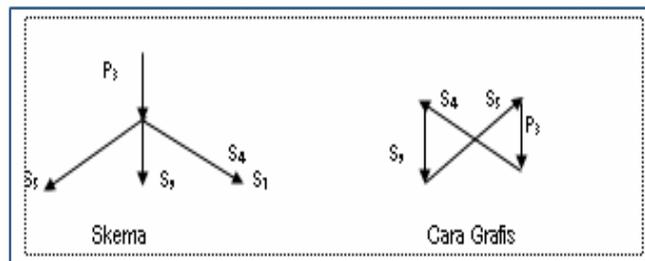
Cara analitis:

Sepanjang struktur tersebut simetris, gaya batang S4 = S5 = -877 kg. Dengan begitu gaya batang S9 dapat kita tentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \\ -S5 \cdot \sin 35^\circ - P3 - S4 \sin 35^\circ - S9 &= 0 \\ -(-877) \cdot 0.57 - 500 - (-877) \cdot 0.57 - S9 &= 0 \\ 500 - 500 + 500 - S9 &= 0 \\ S9 &= 500 \text{ kg (tarik)} \end{aligned}$$

Cara Grafis:

Gambarlah secara berurutan searah jarum jam gaya yang berada pada simpul F, S5 — P3 — S4 — S9.



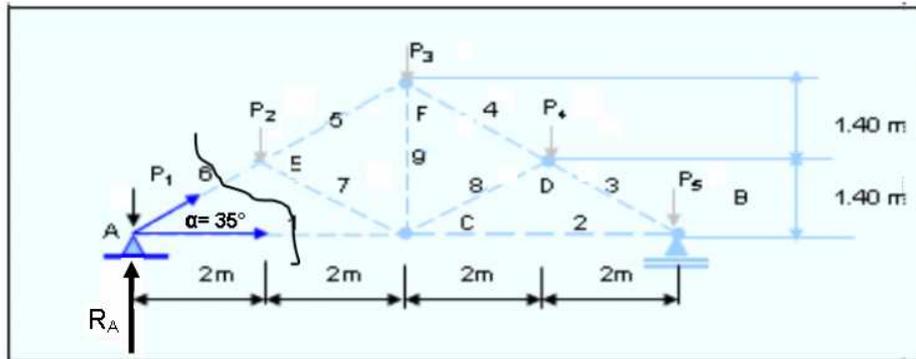
**Membuat daftar gaya batang**

Contoh persoalan struktur di atas merupakan bentuk rangka batang simetris dengan yang simetris pula. Gaya batang yang bersesuaian akan memiliki besaran yang sama. Daftar gaya batang dapat ditunjukkan seperti pada tabel berikut.

Batang	Gaya Batang	Tarik / Tekan	Batang	Gaya Batang	Tarik / Tekan
S1	1078	Tarik	S6	-1315	Tekan
S2	1078	Tarik	S7	-439	Tekan
S3	-1315	Tekan	S8	-439	Tekan
S4	-877	Tekan	S9	500	Tarik
S5	-877	Tekan			

**3.6.2. Metoda Ritter**

Metoda ini sering disebut metoda potongan. Metoda ini tidak memerlukan penentuan gaya batang secara berurutan seperti pada metoda titik simpul. Prinsipnya adalah bahwa di titik manapun yang ditinjau, berlaku kestabilan  $\Sigma M = 0$  terhadap potongan struktur yang kita tinjau. Dengan persamaan kestabilan tersebut gaya batang terpotong dapat kita cari besarnya. Dengan mengambil contoh soal terdahulu, penentuan besar gaya batang melalui metoda pemotongan adalah sebagai berikut (gambar 3.44).



Gambar 3.44. Pemotongan untuk mencari  $S_1$  dan  $S_6$

Sumber: Hasil analisis

### Menentukan Gaya Batang $S_1$

Untuk menentukan gaya batang  $S_1$ , tinjaulah titik simpul E. Perhatikan struktur di sebelah kiri potongan. Terdapat  $R_A$  dan  $P_1$ .  $P_2$  diabaikan karena berada di titik tinjau E.

$$\begin{aligned} \sum M_E &= 0 \\ R_A \cdot 2 - P_1 \cdot 2 - S_1 \cdot 1.40 &= 0 \\ 1000 \cdot 2 - 250 \cdot 2 - 1.40 \cdot S_1 &= 0 \\ S_1 &= 1500/1.40 = 1071 \text{ kg} \end{aligned}$$

### Menentukan Gaya Batang $S_6$

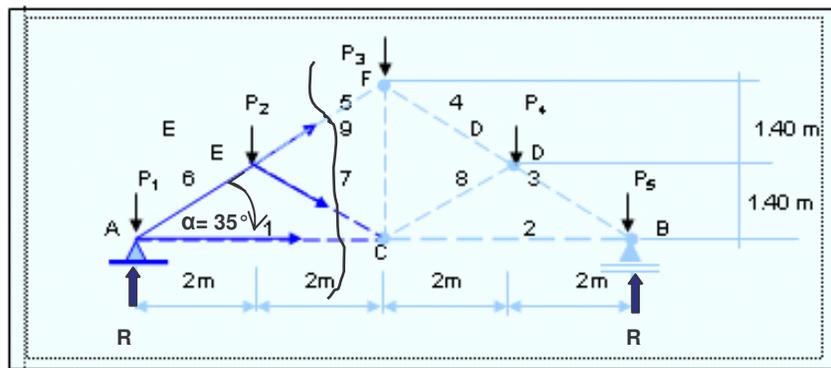
$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0 \\ R_A \cdot 4 - P_1 \cdot 4 + S_6 \cdot \sin 35^\circ \cdot 4 &= 0 \\ 1000 \cdot 4 - 250 \cdot 4 + S_6 \cdot 0.57 \cdot 4 &= 0 \\ 3000 + 2.28 S_6 &= 0 \\ S_6 &= -3000/2.28 = -1315 \text{ kg (tekan)} \end{aligned}$$

Perhitungan dengan metoda Ritter menunjukkan bahwa tanpa lebih dahulu menemukan besar gaya batang  $S_6$ , gaya batang  $S_5$ ,  $S_1$  dan  $S_7$  dapat ditentukan. Untuk menentukan besar gaya batang  $S_6$  dapat dilakukan dengan pemotongan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.25.

### Menentukan Gaya Batang $S_5$

Untuk menentukan besar gaya batang  $S_5$ , tinjau titik simpul C. Seperti halnya mencari gaya  $S_1$ , perhatikan potongan sebelah kiri pada gambar 3.45.

$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0 \\ R_A \cdot 4 - P_1 \cdot 4 - P_2 \cdot 2 + S_5 \sin 35^\circ \cdot 2 + S_5 \cos 35^\circ \cdot 1.40 &= 0 \\ 1000 \cdot 4 - 250 \cdot 4 - 500 \cdot 2 + S_5 \cdot 0.57 \cdot 2 + S_5 \cdot 0.82 \cdot 1.40 &= 0 \\ 2000 + 2.288 \cdot S_5 &= 0 \\ S_5 &= -2000/2.288 = -874 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 3.45. Pemotongan untuk mencari gaya batang  $S_5$ ,  $S_6$  dan  $S_7$ .  
Sumber: Hasil analisis

### Menentukan Gaya Batang $S_7$

Tinjaulah di titik simpul F.

$$\sum M_F = 0$$

$$R_A \cdot 4 - P_1 \cdot 4 - P_2 \cdot 2 - S_1 \cdot 2.8 - S_7 \sin 35^\circ \cdot 2 - S_7 \cos 35^\circ \cdot 1.40 = 0$$

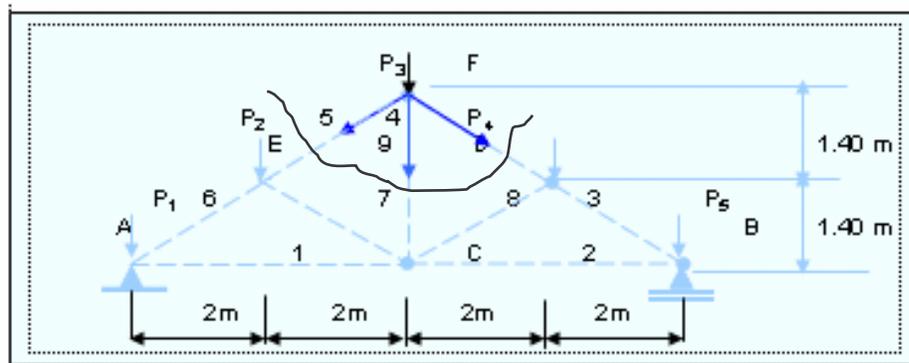
$$1000 \cdot 4 - 250 \cdot 4 - 500 \cdot 2 - 1071 \cdot 2.8 - S_7 \cdot 0.57 \cdot 2 - S_7 \cdot 0.82 \cdot 1.4 = 0$$

$$2000 - 3000 - 2.288 \cdot S_7 = 0$$

$$S_7 = 1000 / (-2.288) = -437 \text{ kg}$$

### Menentukan Gaya Batang $S_9$

Dengan diperolehnya gaya batang  $S_5 = S_4 = -874 \text{ kg}$ , gaya batang  $S_9$  dapat ditentukan dengan melakukan pemotongan sebagaimana Gambar 3.46:



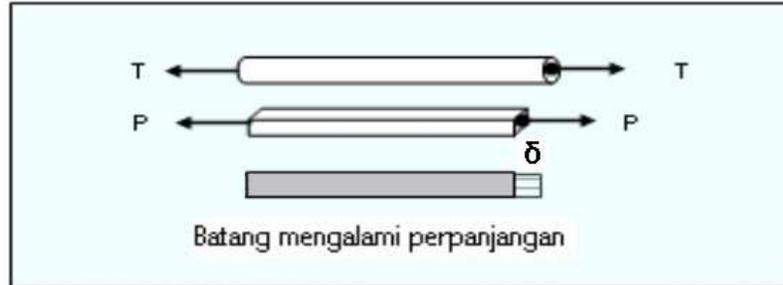
Gambar 3.46. Potongan untuk mencari gaya  $S_9$   
Sumber: Hasil analisis

## 3.7. Dasar-Dasar Tegangan

### 3.7.1. Tegangan Normal

Pengetahuan dan pengertian tentang bahan dan perilakunya jika mendapat gaya atau beban sangat dibutuhkan di bidang teknik bangunan. Jika suatu batang prismatik, dengan luas tampang seragam di sepanjang batang, menerima beban atau gaya searah dengan panjang batang, maka gaya tersebut akan menimbulkan tegangan atau tekanan pada tampang

batang. Tegangan atau tekanan merupakan besaran gaya per satuan luas tampang. Sehingga besar tegangan yang dialami batang prismatik tersebut masing-masing sebesar  $T/A$  dan  $P/A$ . Pada gambar 3.47,  $A$  merupakan luas tampang melintang batang yang dikenai  $T$  atau  $P$  pada .



**Gambar 3.47. Tegangan normal tarik pada batang prismatik**

Sumber: Hasil penggambaran



**Gambar 3.48. Tegangan normal tekan pada batang prismatik**

Sumber: Hasil penggambaran

Jika batang tersebut menerima gaya tarikan (Gambar 3.47), maka akan timbul tegangan tarik. Sedang jika batang menerima gaya tekan, (Gambar 3.48) akan menyebabkan tegangan tekan pada tampang melintang batang. Tegangan dinyatakan dengan simbol  $\sigma$ . Secara umum besaran tegangan dapat ditulis dengan formula sebagai berikut.

$$\sigma = P / A \quad (3.5)$$

Dimana:  $\sigma$  = Tegangan

$P$  = Besarnya gaya

$A$  = Luas tampang

Menurut Hukum Hooke, setiap batang bahan akan berubah mengalami perubahan bentuk (*deformasi*), baik perpanjangan atau perpendekan saat menerima gaya. Bertambah panjang jika menerima tegangan tarik, bertambah pendek jika menerima gaya tekan. Perubahan panjang – pendek batang, diberi symbol  $\delta$ , dipengaruhi oleh pajang batang, tegangan yang terjadi, dan modulus elastisitas dari bahan ( $E$ ). Besaran perubahan akibat gaya tersebut dapat ditulis dengan formula sebagai berikut.

$$\delta = \varepsilon L \quad (3.6)$$

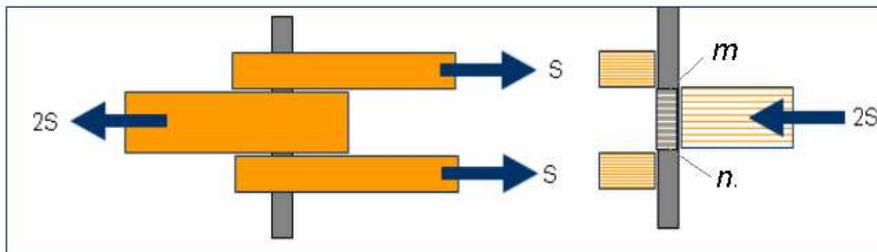
Dimana :  $\delta$  = Perubahan panjang : perpanjangan / perpendekan  
 $\varepsilon$  = Regangan bahan =  $\sigma/E$   
 $L$  = Panjang Batang  
 $E$  = Modulus elatisitas bahan

### 3.7.2. Tegangan Geser (*Shear*)

Jika gaya normal/tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Ilustrasi geseran ditunjukkan pada Gambar 3.49. Batang vertikal pada gambar tersebut menerima geseran di dua bagian potongan  $m$  dan potongan  $n$ . Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol  $\tau$  dalam satuan. Jika besaran gaya geser ( $S$ ) dikerjakan pada batang akan menimbulkan tegangan geser ( $\tau$ ) dengan formula sebagai berikut.

$$\tau = S / A \quad (3.7)$$

Dimana :  $\tau$  = Tegangan geser ( $\text{kg/mm}^2$ ,  $\text{kg/cm}^2$ ,  $\text{ton/m}^2$ )  
 $S$  = Gaya geser ( $\text{kg}$ ,  $\text{ton}$ )  
 $A$  = luas tampang tergeser ( $\text{mm}^2$ ,  $\text{cm}^2$ ,  $\text{m}^2$ )

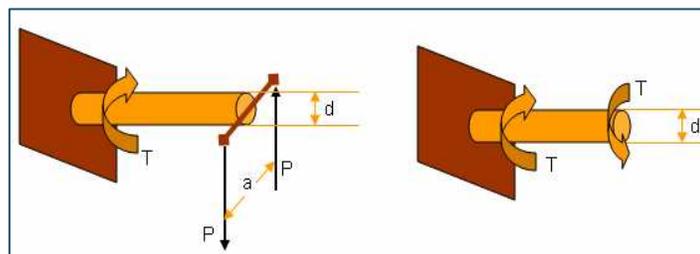


Gambar 3.49. Geser pada sambungan baut

Sumber: Hasil penggambaran

### 3.7.3. Tegangan Torsi (*Puntir*)

Terkadang suatu komponen struktur menerima puntiran, kopel puntir atau momen puntiran. Puntiran tersebut menimbulkan tegangan geseran yang disebut sebagai tegangan geser puntir. Ilustrasi batang yang mengalami torsi ditunjukkan pada Gambar 3.50.



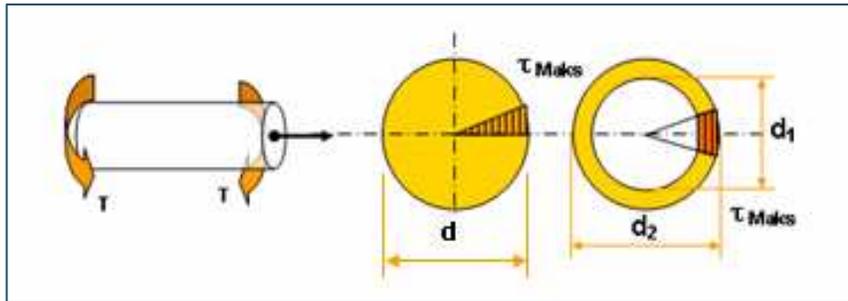
Gambar 3.50. Batang yang mengalami puntiran (*torsion*)

Sumber: Hasil penggambaran

Besarnya tegangan yang diakibatkan oleh momen puntir/torsi pada tampang batang lingkaran dan lingkaran berlubang dituliskan dengan formula sebagai berikut.

$$\tau = T \cdot r / I_p \quad (3.8)$$

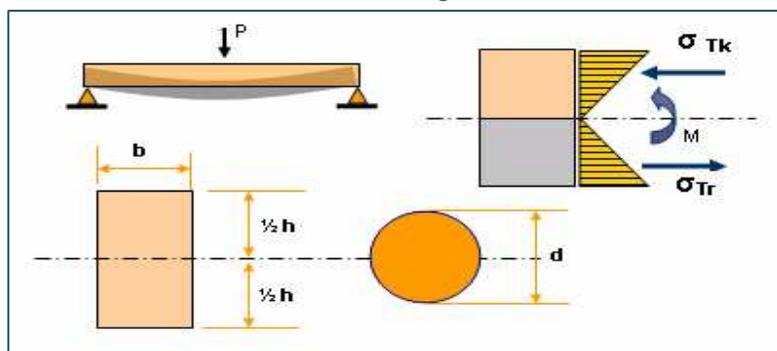
Dimana :  $\tau$  = Tegangan geser torsi  
 $T$  = Besaran momen torsi  
 $r$  = Jari-jari batang terputir  
 $I_p$  = Momen inersia polar tampang tergeser:  
 $I_p = \pi d^4/32$  untuk lingkaran pejal  
 $I_p = \pi/32(d_2^4-d_1^4)$  untuk lingkaran berlubang



Gambar 3.51. Torsi tampang lingkaran solid dan lingkaran berlubang  
 Sumber: Hasil penggambaran

### 3.7.4. Tegangan Lentur pada Balok

Balok merupakan struktur yang menerima beban tegak lurus terhadap arah panjang. Karenanya balok umumnya mengalami lenturan dan geseran pada bagian di dekat dudukan. Gaya geser, sering disebut gaya lintang akan menyebabkan tegangan geser. Gambar 3.52 menunjukkan diagram geser balok yang terjadi di sepanjang batang. Ditunjukkan pula diagram gaya momen yang menyebabkan lenturan pada balok. Momen penyebab lenturan tersebut disebut sebagai momen lentur.



Gambar 3.52. (a) Struktur balok yang mengalami lenturan dan geser  
 (b) Diagram tegangan akibat momen lentur  
 Sumber: Hasil penggambaran

Gaya geser dan momen lentur tersebut akan menyebabkan tegangan geser dan tegangan lentur. Tegangan lentur maksimum seperti terjadi pada batang tepat di bawah P, berjarak a dari dudukan A. Diagram momen lentur maksimum terjadi pada titik dimana geseran memiliki nilai = 0. Sedangkan geseran maksimum terjadi umumnya di daerah dudukan. Pada gambar gaya lintang masimum/ D maks terjadi di atas dudukan B.

Terdapat dua macam momen lentur, momen lentur positif dan momen lentur negatif. Tampang balok yang mengalami lenturan positif akan mengalami tegangan dengan arah sejajar panjang batang (tegangan normal). Di bagian atas sumbu tengahampang akan mengalami tegangan tekan (*Compression Stress*). Bagian bawah sumbu tampang mengalami tegangan tarik (*tension stress*).

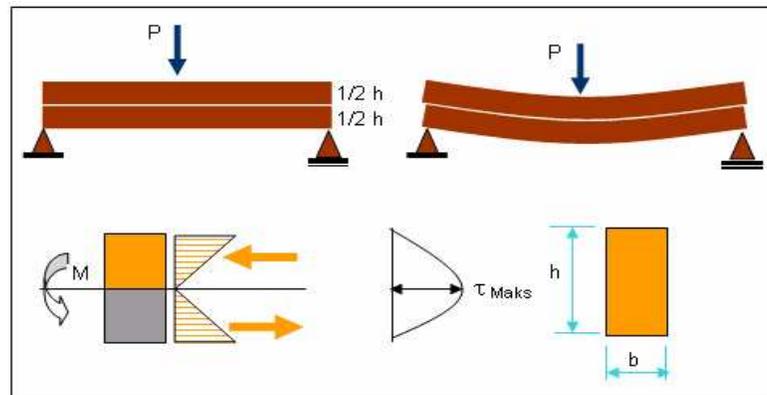
Sedangkan tampang dengan lenturan negatif berlaku kebalikannya, tegangan tarik di bagian atas dan tegangan tekan di bagian bawah sumbu tampang. Besaran tegangan akibat lenturan pada balok dapat ditulis dengan formula sebagai berikut.

$$\sigma = M.y/I \quad (3.9)$$

Dimana:  $\sigma$  = tegangan lentur yang terjadi pada batang  
 $M$  = Momen lentur yang dialami balok  
 $y$  = Jarak serat terjauh dari sumbu tampang  
 $I$  = Momen inersia tampang balok  
 =  $1/12 b h^3$  untuk tampang persegi panjang dengan lebar  $b$  dan tinggi  $h$   
 =  $\pi d^4/64$  untuk tampang lingkaran

### 3.7.5. Tegangan Geser pada Balok

Balok yang menerima lentur dapat mengalami geseran ke arah memanjang. Ilustrasi perilaku balok yang mengalami geseran pada arah memanjang beserta diagram tegangan geser yang terjadi ditunjukkan seperti pada Gambar 3.53.



Gambar 3.53. Balok yang mengalami geseran arah memanjang

Sumber: Hasil penggambaran

Tegangan geser paling besar terjadi pada garis netral tampang. Besaran tegangan geser maksimum ke arah memanjang balok dengan tampang persegi panjang ditunjukkan gambar 3.53, dapat dihitung dengan formula sebagai berikut.

$$\tau_{\text{maks}} = 3 V / 2A \quad (3.10)$$

Dimana:  $V$  = Gaya geser / gaya lintang  
 $A$  = Luas tampang melintang batang  
 =  $b \cdot h$  untuk tampang persegi panjang

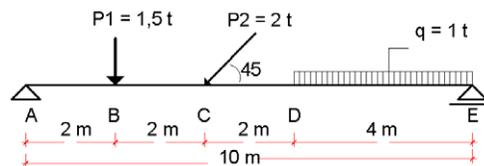
Sedangkan formula tegangan geser maksimum yang terjadi untuk tampang lingkaran adalah sebagai berikut.

$$\tau_{\text{maks}} = 4 V / 3\pi r^2 = 4 V / 3A \quad (3.11)$$

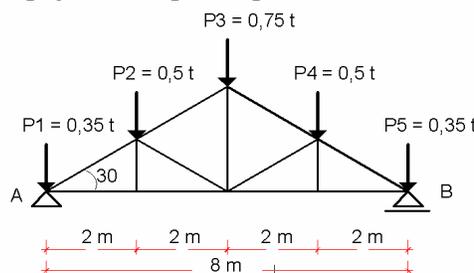
Dimana:  $V$  = Gaya geser / gaya lintang  
 $A$  = Luas tampang melintang batang  
 =  $\pi r^2$  untuk tampang lingkaran

**Pertanyaan pemahaman:**

1. Sebutkan dan uraikan klasifikasi sistem-sistem struktur?
2. Sebutkan dan uraikan elemen-elemen utama sistem struktur??
3. Sebutkan kriteria sebuah desain struktur?
4. Jelaskan beban-beban yang perlu diperhitungkan dalam desain struktur?
5. Sebutkan dan jelaskan gaya-gaya yang bekerja dalam suatu sistem struktur?
6. Bagaimanakah langkah dan cara untuk menguraikan dan mengga-bungkan gaya?
7. Untuk Statika balok sederhana:  
 Hitung reaksi-reaksinya, dan lengkapi dengan gambar diagram N, D dan M!



8. Analisis rangka batang:  
 Hitung seluruh gaya batang, dengan cara analitis maupun grafis.



# 4

## ANALISIS SISTEM STRUKTUR BANGUNAN

### 2.2. Struktur Rangka Batang

Rangka batang adalah 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. Setiap elemen tersebut dianggap tergabung pada titik hubungannya dengan sambungan sendi. Sedangkan batang-batang tersebut dihubungkan sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada titik hubung.

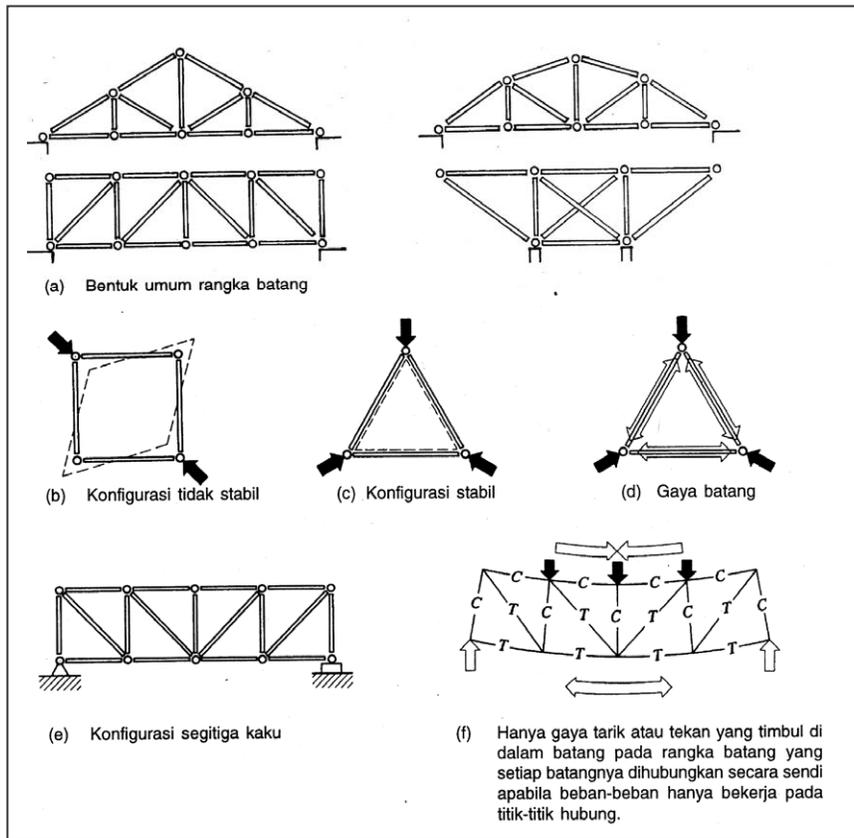
#### 4.1.1. Prinsip – prinsip Umum Rangka Batang

##### a. Prinsip Dasar Triangulasi

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil. Bila struktur ini diberi beban, maka akan membentuk suatu mekanisme runtuh (*collapse*), sebagaimana diilustrasikan pada gambar berikut ini. Struktur yang demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil (Gambar 4.1).

Pada struktur stabil, setiap deformasi yang terjadi relatif kecil dan dikaitkan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Selain itu, sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat berbeda dengan mekanisme yang terjadi pada bentuk tak stabil, dimana sudut antara dua batangnya berubah sangat besar.

Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan murni. Lentur (*bending*) tidak akan terjadi selama gaya eksternal berada pada titik nodal (titik simpul). Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kukuh. Hal ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang dan mungkin terjadi pola yang berganti-ganti antara tarik dan tekan.



**Gambar 4.1. Rangka Batang dan Prinsip-prinsip Dasar Triangulasi**

Sumber: Schodek, 1999

Penekanan pada prinsip struktur rangka batang adalah bahwa struktur hanya dibebani dengan beban-beban terpusat pada titik-titik hubung agar batang-batangnya mengalami gaya tarik atau tekan. Bila beban bekerja langsung pada batang, maka timbul pula tegangan lentur pada batang itu sehingga desain batang sangat rumit dan tingkat efisiensi menyeluruh pada batang menurun.

### b. Analisa Kualitatif Gaya Batang

Perilaku gaya-gaya dalam setiap batang pada rangka batang dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan dasar keseimbangan. Untuk konfigurasi rangka batang sederhana, sifat gaya tersebut (tarik, tekan atau nol) dapat ditentukan dengan memberikan gambaran bagaimana rangka batang tersebut memikul beban. Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka batang adalah dengan menggambarkan bentuk

deformasi yang mungkin terjadi. Mekanisme gaya yang terjadi pada konfigurasi rangka batang sederhana dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Metode untuk menggambarkan gaya-gaya pada rangka batang adalah berdasarkan pada tinjauan keseimbangan titik hubung. Secara umum rangka batang kompleks memang harus dianalisis secara matematis agar diperoleh hasil yang benar.

Mekanisme Gaya Batang	Rangka Batang A	Rangka Batang B
Susunan Rangka Batang Dasar		
Sifat gaya (tarik / tekan) batang diagonal dapat ditentukan dengan membayangkan batang itu tidak ada dan melihat kecenderungan deformasinya. Jadi, diagonal yang terletak di antara B - F pada rangka batang A mengalami tarik karena mencegah menjauhnya titik B dan F.		
Distribusi gaya batang pada rangka batang tersebut adalah :  <b>C</b> = gaya tekan <b>T</b> = gaya tarik		
Analogi 'kabel' atau 'pelengkung' dapat digunakan untuk menentukan sifat (tarik / tekan) gaya batang. Di dalam rangka batang kiri, batang FBD dibayangkan sebagai 'kabel' yang mengalami tarik. Batang-batang lain berfungsi mempertahankan keseimbangan konfigurasi 'kabel' dasar tersebut.		

Gambar 4.2. Mekanisme Gaya-gaya pada Rangka Batang

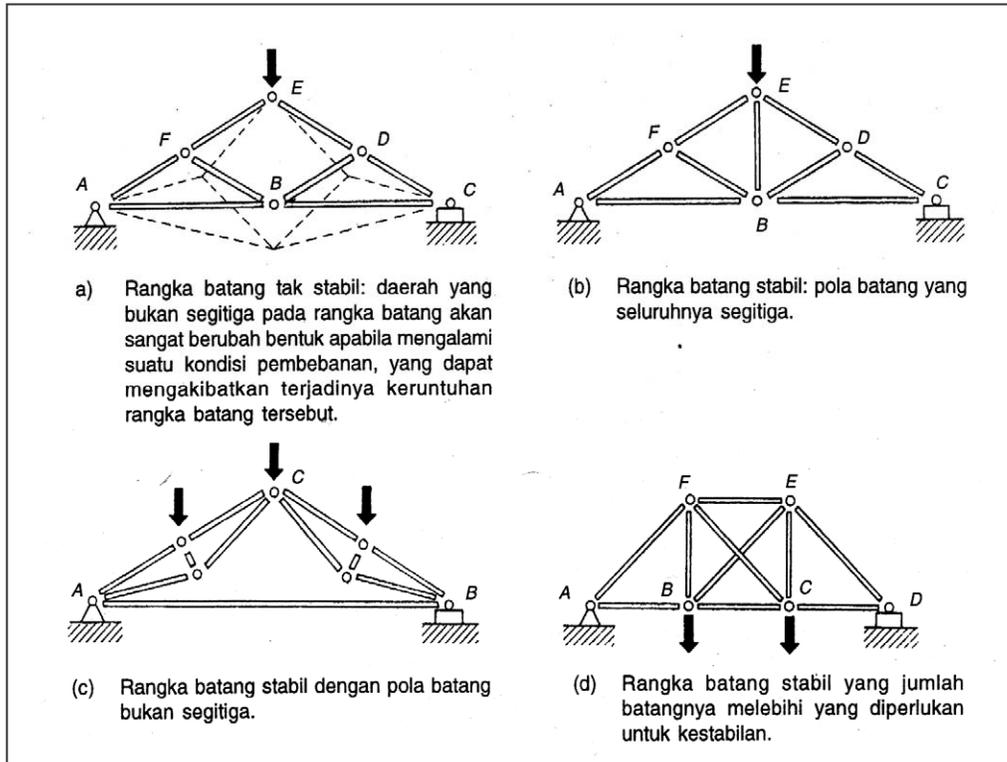
Sumber: Schodek, 1999

#### 4.1.2. Analisa Rangka Batang

##### a. Stabilitas

Langkah pertama pada analisis rangka batang adalah menentukan apakah rangka batang itu mempunyai konfigurasi yang stabil atau tidak. Secara umum, setiap rangka batang yang merupakan susunan bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil. Pola susunan batang yang tidak

segitiga, umumnya kurang stabil. Rangka batang yang tidak stabil dan akan runtuh apabila dibebani, karena rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang yang mencukupi untuk mempertahankan hubungan geometri yang tetap antara titik-titik hubungannya (Gambar 4.3).



**Gambar 4.3. Kestabilan Internal pada Rangka Batang**

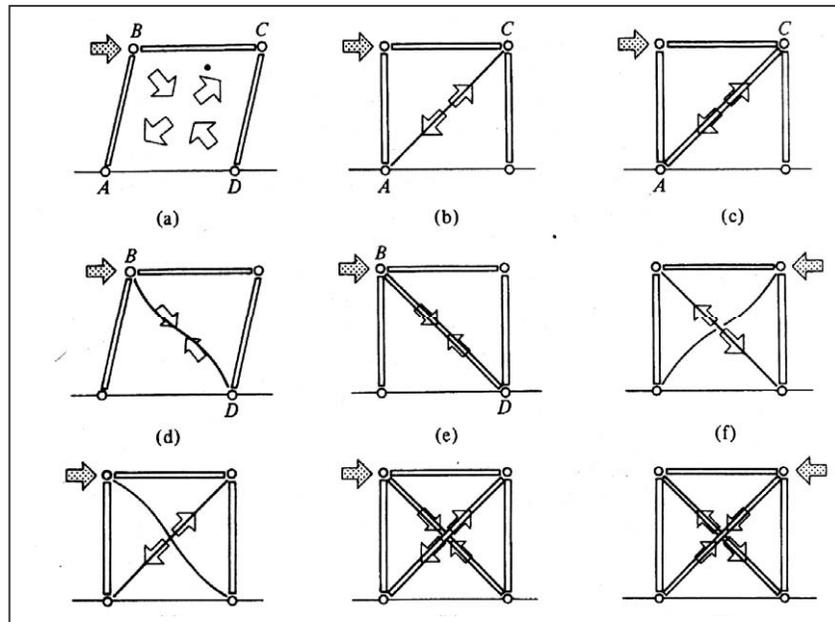
Sumber: Schodek, 1999

Penting untuk menentukan apakah konfigurasi batang stabil atau tidak stabil. Keruntuhan total dapat terjadi bila struktur tak stabil terbebani. Pola yang tidak biasa seringkali menyulitkan penyelidikan kestabilannya. Pada suatu rangka batang, dapat digunakan batang melebihi jumlah minimum yang diperlukan untuk mencapai kestabilan.

Untuk menentukan kestabilan rangka batang bidang, digunakan persamaan yang menghubungkan banyaknya titik hubung pada rangka batang dengan banyaknya batang yang diperlukan untuk mencapai kestabilan (lihat sub bab 3.6).

Aspek lain dalam stabilitas adalah bahwa konfigurasi batang dapat digunakan untuk menstabilkan struktur terhadap beban lateral. Gambar 4.4 menunjukkan cara menstabilkan struktur dengan menggunakan batang-batang kaku (*bracing*). Kabel dapat digunakan sebagai pengganti dari batang kaku, bila gaya yang dipikul adalah gaya tarik saja. Tinjauan stabilitas sejauh ini beranggapan bahwa semua elemen rangka batang

dapat memikul gaya tarik dan tekan dengan sama baiknya. Elemen kabel tidak dapat memenuhi asumsi ini, karena kabel akan melengkung bila dibebani gaya tekan. Ketika pembebanan datang dari suatu arah, maka gaya tekan atau gaya tarik mungkin timbul pada diagonal, sesuai dengan arah diagonal tersebut. Suatu struktur dengan satu kabel diagonal mungkin tidak stabil. Namun bila kabel digunakan dengan sistem kabel silang, dimana satu kabel memikul seluruh gaya horisontal dan kabel lainnya menekuk tanpa menimbulkan bahaya terhadap struktur, maka kestabilan dapat tercapai.

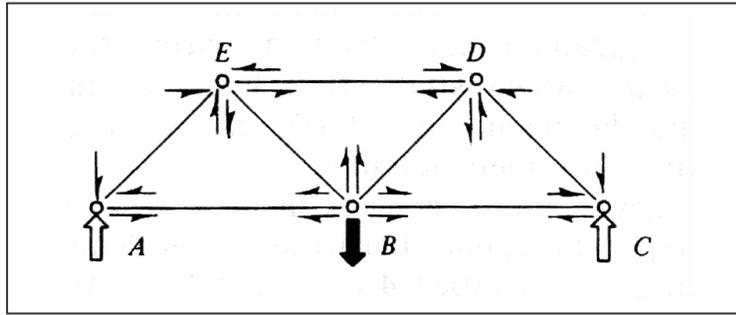


**Gambar 4.4. Penggunaan batang kaku (*bracing*) diagonal**

Sumber: Schodek, 1999

### b. Gaya Batang

Prinsip yang mendasari teknik analisis gaya batang adalah bahwa setiap struktur atau setiap bagian dari setiap struktur harus berada dalam kondisi seimbang. Gaya-gaya batang yang bekerja pada titik hubung rangka batang pada semua bagian struktur harus berada dalam keseimbangan, seperti pada Gambar 4.5. Prinsip ini merupakan kunci utama dari analisis rangka batang.



Gambar 4.5. Diagram gaya-gaya batang yang bekerja pada titik hubung

Sumber: Schodek, 1999

### c. Metode Analisis Rangka Batang

Beberapa metode digunakan untuk menganalisa rangka batang. Metode-metode ini pada prinsipnya didasarkan pada prinsip keseimbangan. Metode-metode yang umum digunakan untuk analisa rangka batang adalah sebagai berikut :

- Keseimbangan Titik Hubung pada Rangka Batang  
Pada analisis rangka batang dengan metode titik hubung (*joint*), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik hubung. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik hubung. Setiap titik hubung harus berada dalam keseimbangan.
- Keseimbangan Potongan  
Prinsip yang mendasari teknik analisis dengan metode ini adalah bahwa setiap bagian dari suatu struktur harus berada dalam keseimbangan. Dengan demikian, bagian yang dapat ditinjau dapat pula mencakup banyak titik hubung dan batang. Konsep peninjauan keseimbangan pada bagian dari suatu struktur yang bukan hanya satu titik hubung merupakan cara yang sangat berguna dan merupakan dasar untuk analisis dan desain rangka batang, juga banyak desain struktur lain.

Perbedaan antara kedua metode tersebut di atas adalah dalam peninjauan keseimbangan rotasionalnya. Metode keseimbangan titik hubung, biasanya digunakan apabila ingin mengetahui semua gaya batang. Sedangkan metode potongan biasanya digunakan apabila ingin mengetahui hanya sejumlah terbatas gaya batang.

- Gaya Geser dan Momen pada Rangka Batang  
Metode ini merupakan cara khusus untuk meninjau bagaimana rangka batang memikul beban yang melibatkan gaya dan momen eksternal, serta gaya dan momen tahanan internal pada rangka batang.

Agar keseimbangan vertikal potongan struktur dapat dijamin, maka gaya geser eksternal harus diimbangi dengan gaya geser tahanan total atau gaya geser tahanan internal ( $V_R$ ), yang besarnya sama tapi arahnya berlawanan dengan gaya geser eksternal. Efek rotasional total dari gaya internal tersebut juga harus diimbangi dengan momen tahanan internal ( $M_R$ ) yang besarnya sama dan berlawanan arah dengan momen lentur eksternal. Sehingga memenuhi syarat keseimbangan, dimana :

$$M_E = M_R \quad \text{atau} \quad M_E - M_R = 0 \quad (4.1)$$

#### d. Rangka Batang Statis Tak Tentu

Rangka batang statis tak tentu tidak dapat dianalisis hanya dengan menggunakan persamaan kesimbangan statika, karena kelebihan banyaknya tumpuan atau banyaknya batang yang menjadi variabel. Pada struktur statis tak tentu, keseimbangan translasional dan rotasional ( $\sum F_x=0$ ,  $\sum F_y=0$ , dan  $\sum M_o=0$ ) masih berlaku. Pemahaman struktur statis tak tentu adalah struktur yang gaya-gaya dalamnya bergantung pada sifat-sifat fisik elemen strukturnya.

#### e. Penggunaan Elemen (Batang) Tarik Khusus : Kabel

Selain elemen batang yang sudah dibahas di atas, ada elemen lain yang berguna, yaitu elemen kabel, yang hanya mampu memikul tarik. Secara fisik, elemen ini biasanya berupa batang baja berpenampang kecil atau kabel terjalin. Elemen ini tidak mampu memikul beban tekan, tetapi sering digunakan apabila hasil analisis diketahui selalu memikul beban tarik. Elemen yang hanya memikul beban tarik dapat mempunyai penampang melintang yang jauh lebih kecil dibanding dengan memikul beban tekan.

#### f. Rangka Batang Ruang

Kestabilan yang ada pada pola batang segitiga dapat diperluas ke dalam tiga dimensi. Pada rangka batang bidang, bentuk segitiga sederhana merupakan dasar, sedangkan bentuk dasar pada rangka batang ruang adalah tetrahedron.

Prinsip-prinsip yang telah dibahas pada analisis rangka batang bidang secara umum dapat diterapkan pada rangka batang ruang. Kestabilan merupakan tinjauan utama.

Gaya-gaya yang timbul pada batang suatu rangka batang ruang dapat diperoleh dengan meninjau keseimbangan ruang potongan rangka batang ruang tersebut. Jelas bahwa persamaan statika yang digunakan untuk benda tegar tiga dimensi, yaitu :

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0 & \quad \text{dan} \\ \sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0 & \quad (4.2) \end{aligned}$$

Apabila diterapkan langsung pada rangka batang ruang yang cukup besar, persamaan-persamaan ini akan melibatkan banyak titik hubung dan batang.

### **g. Kekakuan Titik Hubung**

Pada perhitungan rangka batang, diasumsikan bahwa semua titik hubung dimodelkan sebagai titik hubung sendi. Dalam beberapa hal, membuat hubungan yang benar-benar sendi kadang-kadang tidak mungkin atau bahkan tidak dikehendaki. Apabila kondisi titik hubung aktual sedemikian rupa sehingga ujung-ujung batang tidak bebas berotasi, maka momen lentur lokal dan gaya aksialnya dapat timbul pada batang-batang. Apabila momen lentur itu cukup besar, maka batang tersebut harus didesain agar mampu memikul tegangan kombinasi akibat gaya aksial dan momen lentur. Besar tegangan lentur yang terjadi sebagai akibat dari titik hubung kaku umumnya  $\leq 20\%$  dari tegangan normal yang terjadi. Pada desain awal, biasanya tegangan lentur sekunder ini diabaikan.

Salah satu efek positif dari adanya titik hubung kaku ini adalah untuk memperbesar kekakuan rangka batang secara menyeluruh, sehingga dapat mengurangi defleksi. Merencanakan titik hubung yang kaku biasanya tidak akan mempengaruhi pembentukan akhir dari rangka batang.

### **4.1.3. Desain Rangka Batang**

#### **a. Tujuan**

Kriteria yang digunakan untuk merancang juga menjadi sangat bervariasi. Ada beberapa tujuan yang menjadi kriteria dalam desain rangka batang, yaitu:

(1) Efisiensi Struktural

Tujuan efisiensi struktural biasa digunakan dan diwujudkan dalam suatu prosedur desain, yaitu untuk meminimumkan jumlah bahan yang digunakan dalam rangka batang untuk memikul pembebanan pada bentang yang ditentukan. Tinggi rangka batang merupakan variabel penting dalam meminimumkan persyaratan volume material, dan mempengaruhi desain elemennya.

(2) Efisiensi Pelaksanaan (Konstruksi)

Alternatif lain, kriteria desain dapat didasarkan atas tinjauan efisiensi pelaksanaan (konstruksi) sehubungan dengan fabrikasi dan pembuatan rangka batang. Untuk mencapai tujuan ini, hasil yang diperoleh seringkali berupa rangka batang dengan konfigurasi eksternal sederhana, sehingga diperoleh bentuk triangulasi yang sederhana pula. Dengan membuat semua batang identik, maka pembuatan titik hubung menjadi lebih mudah dibandingkan bila batang-batang yang digunakan berbeda.

#### **b. Konfigurasi**

Beberapa bentuk konfigurasi eksternal rangka batang yang umum digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6. Konfigurasi eksternal selalu berubah-ubah, begitu pula pola internalnya. Konfigurasi-konfigurasi ini dipengaruhi oleh faktor eksternal, tinjauan struktural maupun konstruksi.

Masing-masing konfigurasi mempunyai tujuan yang berbeda. Beberapa hal yang menjadi bahasan penting dalam konfigurasi rangka batang adalah :

(1) Faktor Eksternal

Faktor-faktor eksternal memang bukanlah hal yang utama dalam menentukan konfigurasi rangka batang. Namun faktor eksternal juga dapat mempengaruhi bentuk-bentuk yang terjadi.

(2) Bentuk-bentuk Dasar

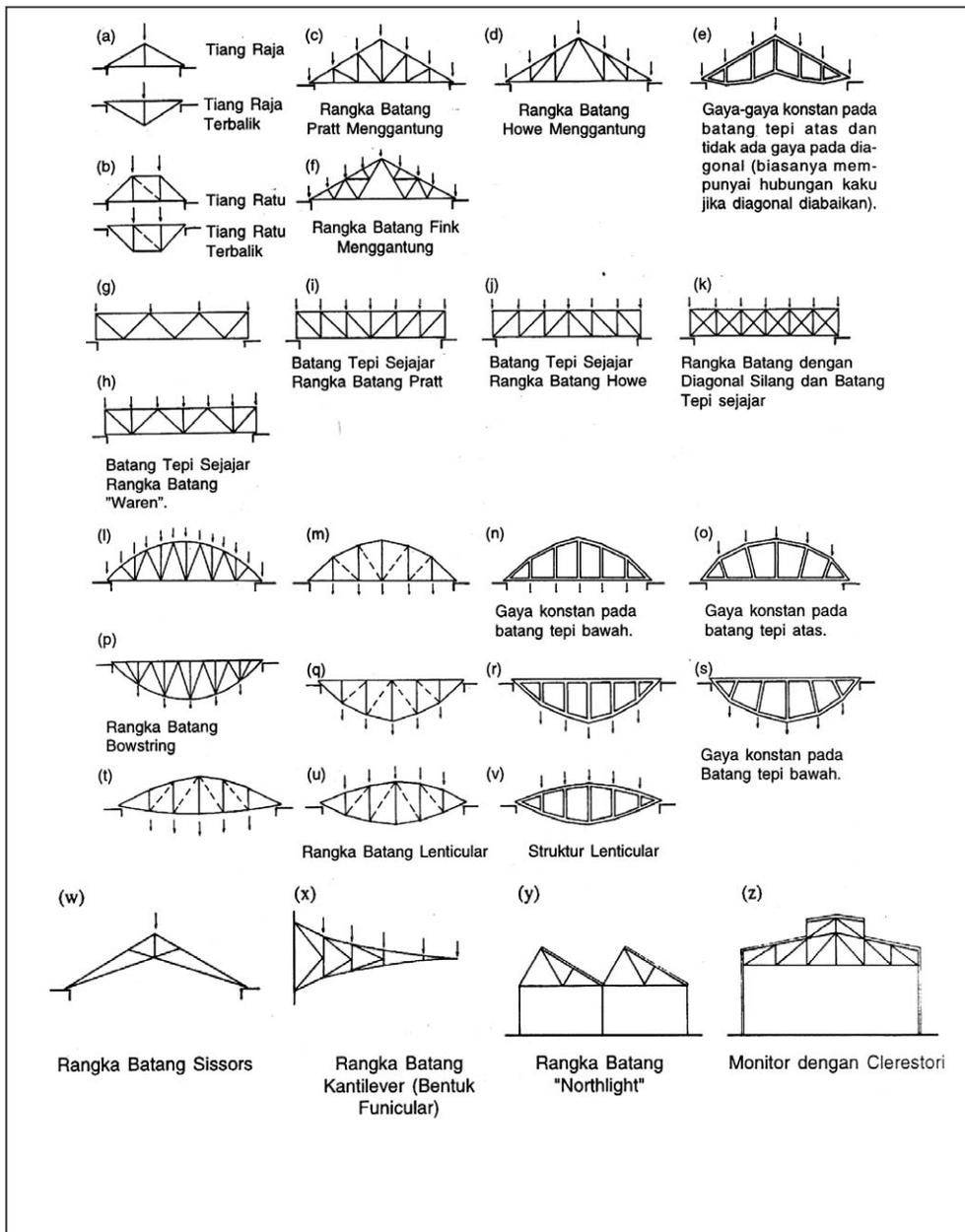
Ditinjau dari segi struktural maupun konstruksi, bentuk-bentuk dasar yang digunakan dalam rangka batang merupakan respon terhadap pembebanan yang ada. Gaya-gaya internal akan timbul sebagai respon terhadap momen dan gaya geser eksternal. Momen lentur terbesar pada umumnya terjadi di tengah rangka batang yang ditumpu sederhana yang dibebani merata, dan semakin mengecil ke ujung. Gaya geser eksternal terbesar terjadi di kedua ujung, dan semakin mengecil ke tengah.

(3) Rangka Batang Sejajar

Pada rangka batang dengan batang tepi sejajar, momen eksternal ditahan terutama oleh batang-batang tepi atas dan bawah. Gaya geser eksternal akan dipikul oleh batang diagonal karena batang-batang tepi berarah horisontal dan tidak mempunyai kontribusi dalam menahan gaya arah vertikal. Gaya-gaya pada diagonal umumnya bervariasi mengikuti variasi gaya geser dan pada akhirnya menentukan desain batang.

(4) Rangka Batang *Funicular*

Rangka batang yang dibentuk secara *funicular* menunjukkan bahwa secara konsep, batang nol dapat dihilangkan hingga terbentuk konfigurasi bukan segitiga, namun tanpa mengubah kemampuan struktur dalam memikul beban rencana. Batang-batang tertentu yang tersusun di sepanjang garis bentuk funicular untuk pembebanan yang ada merupakan transfer beban eksternal ke tumpuan. Batang-batang lain adalah batang nol yang terutama berfungsi sebagai *bracing*. Tinggi relatif pada struktur ini merupakan fungsi beban dan lokasinya.



Gambar 4.6. Jenis-jenis Umum Rangka Batang

Sumber: Schodek, 1999

### c. Tinggi Rangka Batang

Penentuan tinggi optimum yang meminimumkan volume total rangka batang umumnya dilakukan dengan proses optimasi. Proses optimasi ini membuktikan bahwa rangka batang yang relatif tinggi terhadap bentangannya merupakan bentuk yang efisien dibandingkan dengan rangka

batang yang relatif tidak tinggi. Sudut-sudut yang dibentuk oleh batang diagonal dengan garis horisontal pada umumnya berkisar antara  $30^{\circ} - 60^{\circ}$  dimana sudut  $45^{\circ}$  biasanya merupakan sudut ideal.

Berikut ini pedoman sederhana untuk menentukan tinggi rangka batang berdasarkan pengalaman. Pedoman sederhana di bawah ini hanya untuk pedoman awal, bukan digunakan sebagai keputusan akhir dalam desain.

<b>Jenis Rangka Batang</b>	<b>Tinggi</b>
Rangka batang dengan beban relatif ringan dan berjarak dekat	$\frac{1}{20}$ dari bentangan
Rangka batang kolektor sekunder yang memikul reaksi yang dihasilkan oleh rangka batang lain	$\frac{1}{10}$ dari bentangan
Rangka batang kolektor primer yang memikul beban sangat besar, misalnya: rangka batang yang memikul beban kolom dari gedung bertingkat banyak	$\frac{1}{4}$ atau $\frac{1}{5}$ dari bentangan

#### d. Masalah-masalah pada Desain Elemen

Beberapa permasalahan yang umumnya timbul pada desain elemen menyangkut faktor-faktor yang diuraikan berikut ini.

(1) Beban Kritis

Pada rangka batang, setiap batang harus mampu memikul gaya maksimum (kritis) yang mungkin terjadi. Dengan demikian, dapat saja terjadi setiap batang dirancang terhadap kondisi pembebanan yang berbeda-beda.

(2) Desain Elemen, meliputi :

- Batang Tarik

$$L \text{ penampang yang diperlukan} = \frac{\text{gaya tarik}}{\text{tegangangan ijin}}$$

- Batang Tekan

Untuk batang tekan, harus diperhitungkan adanya kemungkinan keruntuhan tekuk (*buckling*) yang dapat terjadi pada batang panjang yang mengalami gaya tekan. Untuk batang tekan panjang, kapasitas pikul-beban berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang. Untuk batang tekan yang relatif pendek, maka tekuk bukan merupakan masalah sehingga luas penampang melintang hanya bergantung langsung pada besar gaya yang terlibat dan tegangan ijin material, dan juga tidak bergantung pada panjang batang tersebut.

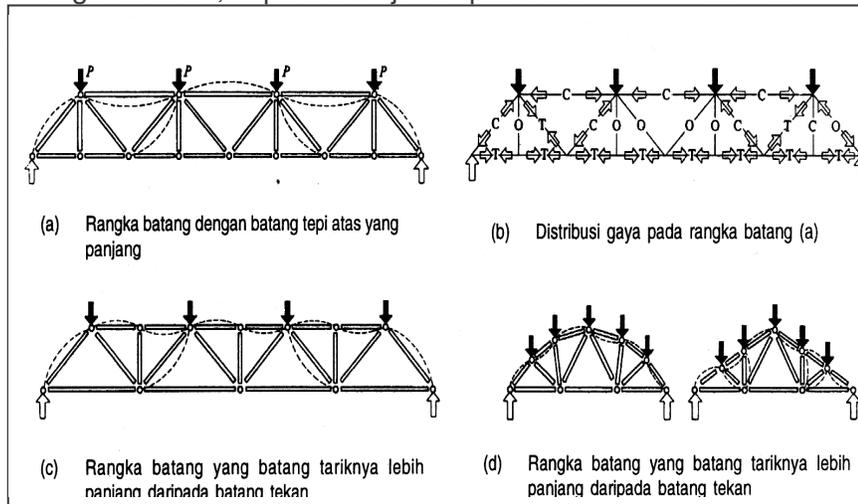
(3) Batang Berukuran Konstan dan/atau Tidak Konstan

Bila batang tepi atas dirancang sebagai batang yang menerus dan berpenampang melintang konstan, maka harus dirancang terhadap gaya maksimum yang ada pada seluruh batang tepi atas,

sehingga penampang tersebut akan berlebihan dan tidak efisien. Agar efisien, maka penampang konstan yang dipakai dikombinasikan dengan bagian-bagian kecil sebagai tambahan luas penampang yang hanya dipakai pada segmen-segmen yang memerlukan.

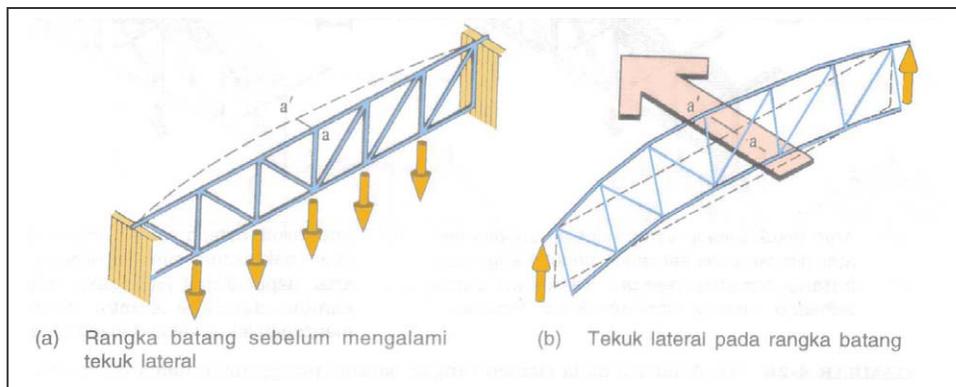
(4) Pengaruh Tekuk terhadap Pola

Ketergantungan kapasitas pikul beban suatu batang tekan pada panjangnya serta tujuan desain agar batang tekan tersebut relatif lebih pendek seringkali mempengaruhi pola segitiga yang digunakan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.



**Gambar 4.7. Tekuk Batang : hubungan dengan pola segitiga**

Sumber: Schodek, 1999



**Gambar 4.8. Tekuk lateral pada rangka**

Sumber: Schodek, 1999

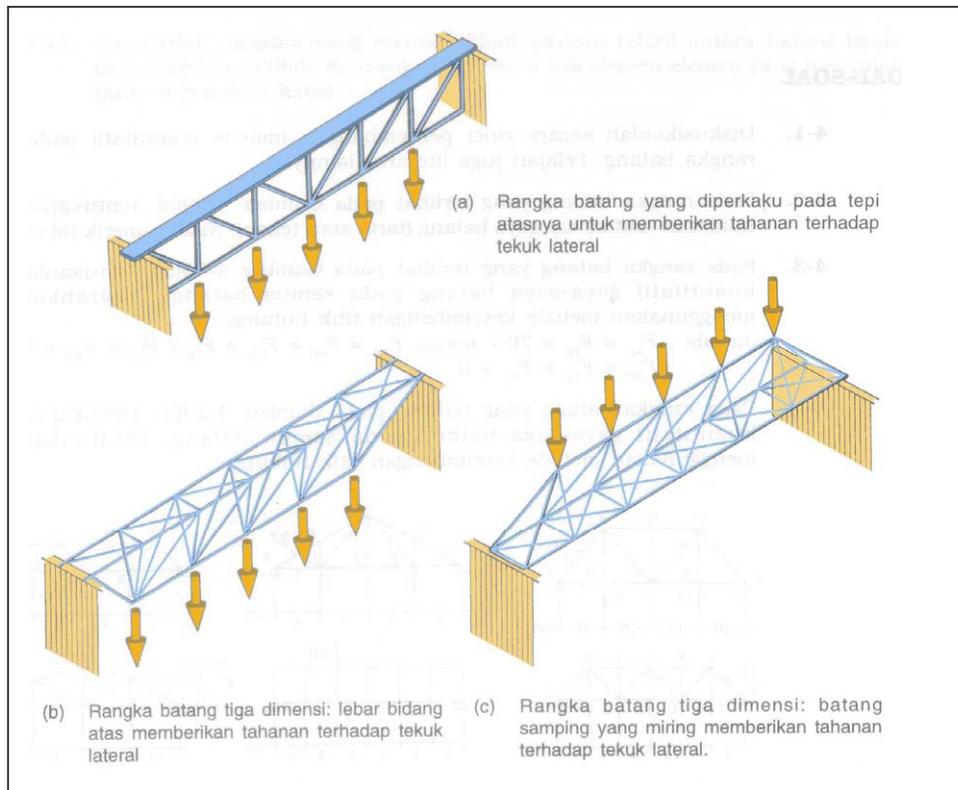
(5) Pengaruh Tekuk Lateral pada desain batang dan susunan batang.

Jika rangka berdiri bebas seperti pada Gambar 4.8, maka ada kemungkinan struktur tersebut akan mengalami tekuk lateral pada seluruh bagian struktur. Untuk mencegah kondisi ini maka struktur rangka batang yang berdiri bebas dapat dihindari. Selain itu penambahan balok transversal pada batang tepi atas dan penggunaan rangka batang ruang juga dapat mencegah tekuk transversal (Gambar 4.9).

**e. Rangka Batang Bidang dan Rangka Batang Ruang**

Rangka batang bidang memerlukan material lebih sedikit daripada rangka batang tiga dimensi untuk fungsi yang sama. Dengan demikian, apabila rangka batang digunakan sebagai elemen yang membentang satu arah, sederetan rangka batang bidang akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan sederetan rangka batang ruang (tiga dimensi).

Sebaliknya, konfigurasi tiga dimensi seringkali terbukti lebih efisien dibandingkan beberapa rangka batang yang digunakan untuk membentuk sistem dua arah. Rangka batang tiga dimensi juga terbukti lebih efisien bila dibandingkan beberapa rangka batang yang digunakan sebagai rangka berdiri bebas (tanpa balok transversal yang menjadi penghubung antar rangka batang di tepi atas). Hal ini seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9. Rangka batang ruang tiga dimensi**

Sumber: Schodek, 1999

### 2.3. Struktur Balok

Secara sederhana, balok sebagai elemen lentur digunakan sebagai elemen penting dalam konstruksi. Balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya. Balok menerus dengan lebih dari dua titik tumpuan dan lebih dari satu tumpuan jepit merupakan struktur statis tak tentu. Struktur statis tak tentu adalah struktur yang reaksi, gaya geser, dan momen lenturnya tidak dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan persamaan keseimbangan dasar  $\sum F_x = 0$ ,  $\sum F_y = 0$ , dan  $\sum F_z = 0$ . Balok statis tak tentu sering juga digunakan dalam praktek, karena struktur ini lebih kaku untuk suatu kondisi bentang dan beban daripada struktur statis tertentu. Jadi ukurannya bisa lebih kecil. Kerugian struktur statis tak tentu adalah pada kepekaannya terhadap penurunan (*settlement*) tumpuan dan efek termal.

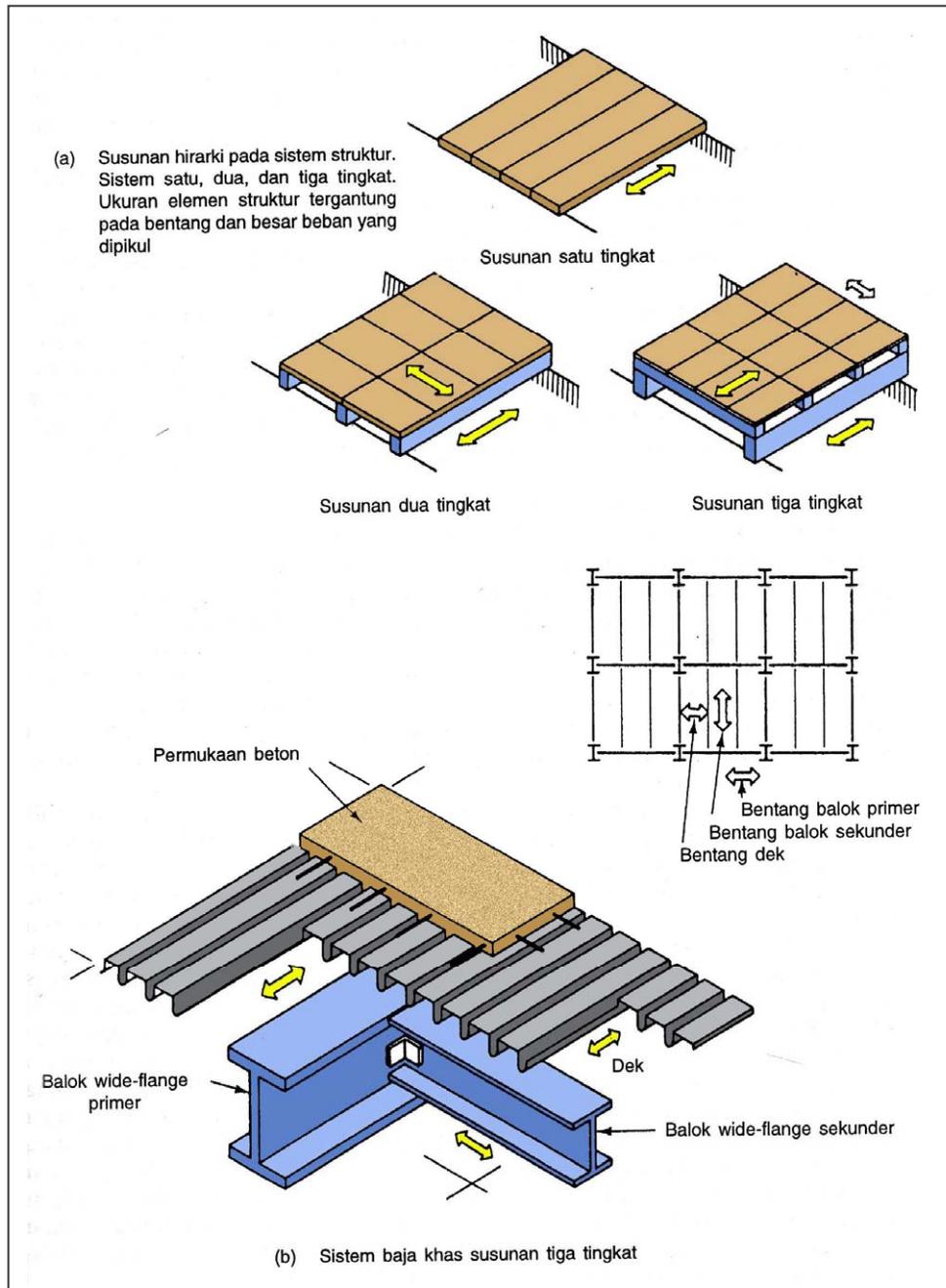
#### 4.2.1. Prinsip Desain Balok

Pada sistem struktural yang ada di gedung, elemen balok adalah elemen yang paling banyak digunakan dengan pola berulang. Umumnya pola ini menggunakan susunan hirarki balok, dimana beban pada permukaan mula-mula dipikul oleh elemen permukaan diteruskan ke elemen struktur sekunder, dan selanjutnya diteruskan ke kolektor atau tumpuan. Semakin besar beban, yang disertai dengan bertambahnya panjang, pada umumnya akan memperbesar ukuran atau tinggi elemen struktur, seperti pada Gambar 4.10.

Susunan hirarki bisa sangat bervariasi, tetapi susunan yang umum digunakan adalah satu dan dua tingkat. Sedangkan susunan tiga tingkat adalah susunan yang maksimum digunakan [Gambar 4.10(a)]. Untuk ukuran bentang tertentu, pada umumnya sistem dengan berbagai tingkat dapat digunakan. Ukuran elemen struktur untuk setiap sistem dapat ditentukan berdasarkan analisis bentang, beban dan material. Ada beberapa kriteria pokok yang harus dipenuhi, antara lain : kemampuan layan, efisiensi, kemudahan.

Tegangan aktual yang timbul pada balok tergantung pada besar dan distribusi material pada penampang melintang elemen struktur. Semakin besar balok maka semakin kecil tegangannya. Luas penampang dan distribusi beban merupakan hal yang penting. Semakin tinggi suatu elemen, semakin kuat kemampuannya untuk memikul lentur.

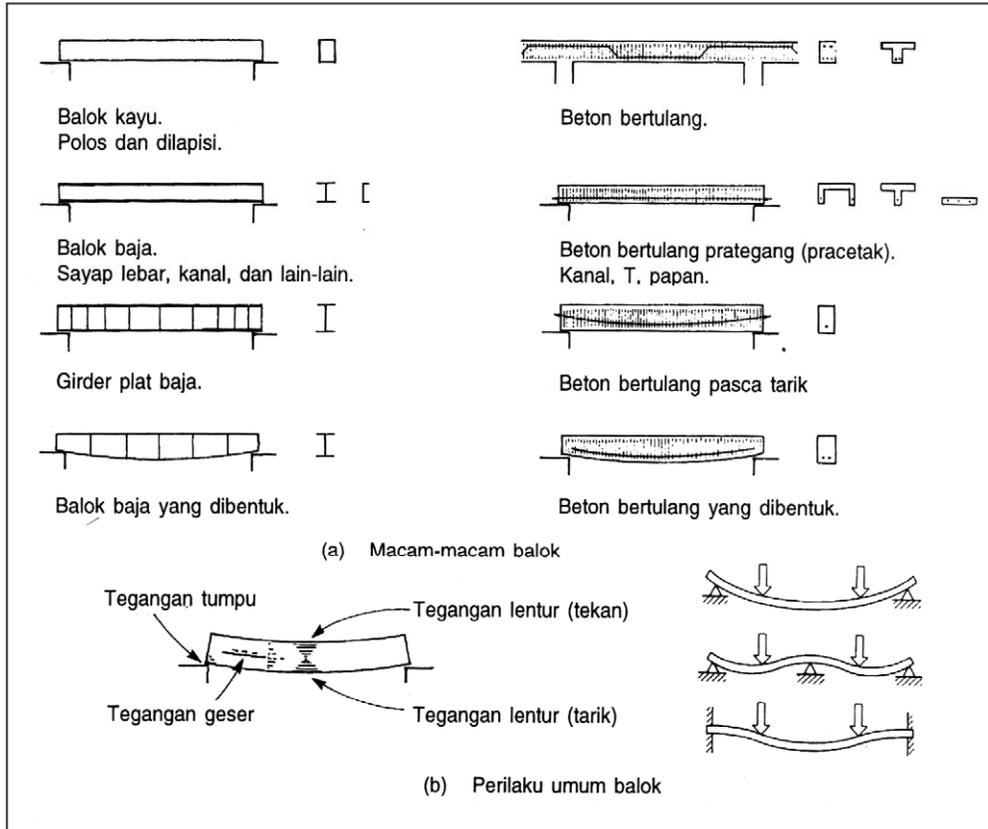
Variabel dasar yang penting dalam desain adalah besar beban yang ada, jarak antara beban-beban dan perilaku kondisi tumpuan balok. Kondisi tumpuan jepit lebih kaku daripada yang ujung-ujungnya dapat berputar bebas. Balok dengan tumpuan jepit dapat memikul beban terpusat di tengah bentang dua kali lebih besar daripada balok yang sama tidak dijepit ujungnya. Jenis dan perilaku umum balok seperti pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.10. Balok pada Gedung**

Sumber: Schodek, 1999

Beban lentur pada balok menyebabkan terjadinya gaya-gaya internal, tegangan serta deformasi. Gaya serta momen ini berturut-turut disebut gaya geser dan momen lentur. Agar keseimbangan pada bagian struktur tersebut diperoleh untuk bagian struktur yang diperlihatkan, sekumpulan gaya internal pasti timbul pada struktur yang efek jaringnya adalah untuk menghasilkan momen rotasional yang sama besar tapi berlawanan arah dengan momen lentur eksternal dan gaya vertikal yang sama dan berlawanan arah dengan gaya geser eksternal.



Gambar4 .11. Jenis-jenis perilaku balok

Sumber: Schodek, 1999

#### 4.2.2. Analisa Balok

##### a. Tegangan Lentur

Pada perilaku umum balok, tegangan lentur yang bervariasi secara linier pada suatu penampang merupakan tanggapan atas aksi momen lentur eksternal yang ada pada balok di titik tersebut. Hubungan antara tegangan lentur ( $f_y$ ), parameter lokasi ( $y$ ) dan besaran penampang ( $I$ ) dapat dinyatakan dalam hubungan berikut ini :

$$f_y \Rightarrow \left( M \cdot y \cdot \frac{1}{I} \right) \left\{ \begin{array}{l} \text{apabila } M \text{ membesar, maka } f_y \text{ membesar} \\ \text{apabila } y \text{ membesar, maka } f_y \text{ membesar} \\ \text{apabila } I \text{ membesar, maka } f_y \text{ membesar} \end{array} \right\} f_y \Rightarrow \frac{My}{I} \quad (4.3)$$

Untuk suatu harga momen tertentu, bila tinggi balok menjadi dua kali (sementara lebarnya tetap), akan menyebabkan tegangan lentur mengecil dengan faktor  $\frac{1}{4}$ . Tegangan lentur tidak terlalu peka terhadap perubahan lebar penampang. Untuk momen dan tinggi penampang konstan, memperlebar penampang dua kali akan memperkecil tegangan lentur menjadi setengahnya. Untuk penampang tak simetris, penentuan lokasi pusat berat tidak tepat ditengah tinggi penampang.

Proses penentuan dimensi penampang melintang pada balok sederhana simetris yang memikul momen lentur tidaklah sulit. Mula-mula bahan dipilih sehingga tegangan ijin diketahui. Selanjutnya ukuran penampang yang diperlukan ditentukan berdasarkan taraf tegangan lentur aktual pada balok yang harus sama atau lebih kecil dari taraf tegangan lentur ijin. Apabila tegangan aktual pada titik itu melampaui tegangan ijin, maka balok tersebut dipandang mengalami kelebihan tegangan (*over-stressed*) dan hal ini tidak diijinkan.

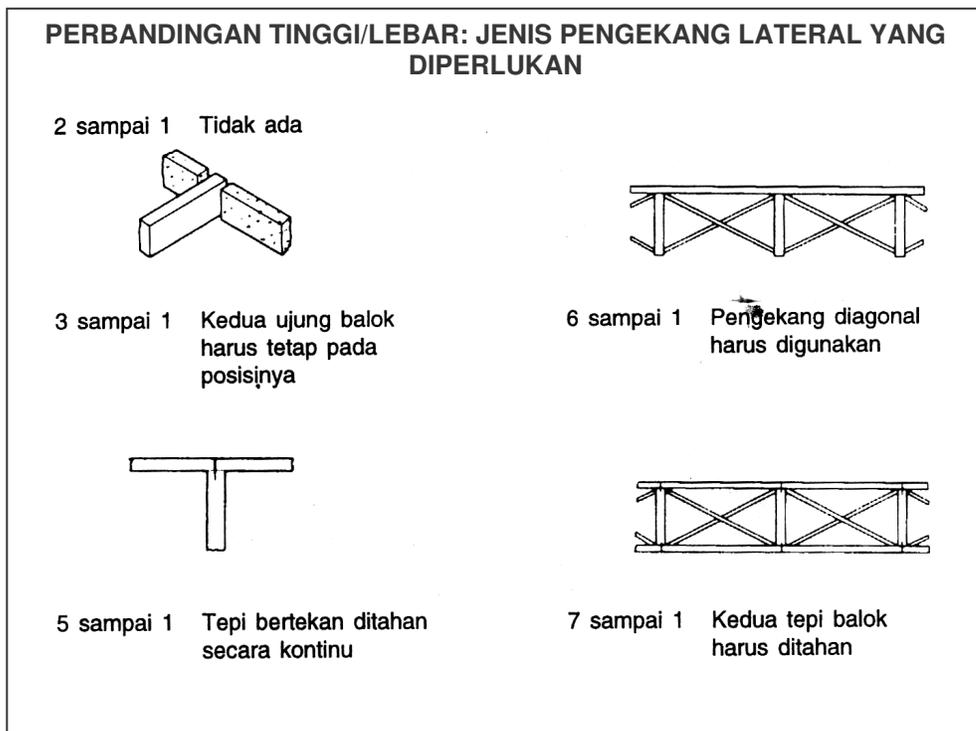
### b. Tekuk Lateral pada Balok

Pada balok yang dibebani dapat terjadi tekuk lateral dan terjadi keruntuhan sebelum seluruh kekuatan penampang tercapai. Fenomena tekuk lateral pada balok serupa dengan yang terjadi pada rangka batang. Ketidakstabilan dalam arah lateral terjadi karena gaya tekan yang timbul di daerah di atas balok, disertai dengan tidak cukupnya kekakuan balok dalam arah lateral. Diasumsikan bahwa jenis kegagalan tekuk lateral ini dapat terjadi, dan tergantung pada penampang balok, pada taraf tegangan yang relatif rendah.

Pencegahan tekuk lateral dapat dilakukan dengan cara :

- (1) dengan membuat balok cukup kaku dalam arah lateral
- (2) dengan menggunakan pengaku/pengekang (*bracing*) lateral.

Apabila balok digunakan untuk menumpu tutup atap atau sistem sekunder lain, pengekan dengan sendirinya diberikan oleh elemen sekunder tersebut. Apabila balok digunakan pada situasi dimana jenis pengekan tersebut tidak mungkin digunakan, maka balok dapat dibuat menjadi kaku dalam arah lateral dengan memperbesar dimensi transversal di daerah atas balok. Penggunaan beberapa pengekan lateral pada contoh struktur balok kayu dapat dilihat pada Gambar 4.12. Jenis dan penggunaan pengekan lateral juga ditentukan oleh perbandingan antara tinggi dan lebar balok.



**Gambar 4.12. Pengekang Lateral untuk Balok Kayu**

Sumber: Schodek, 1999

### c. Tegangan Geser

Gaya resultan dari tegangan geser ini, yaitu gaya geser internal ( $V_R$ ) sama besar, tetapi berlawanan arah dengan gaya geser eksternal ( $V_E$ ). Tegangan geser maksimum pada penampang balok adalah 1,5 kali tegangan geser rata-rata penampang balok segiempat.

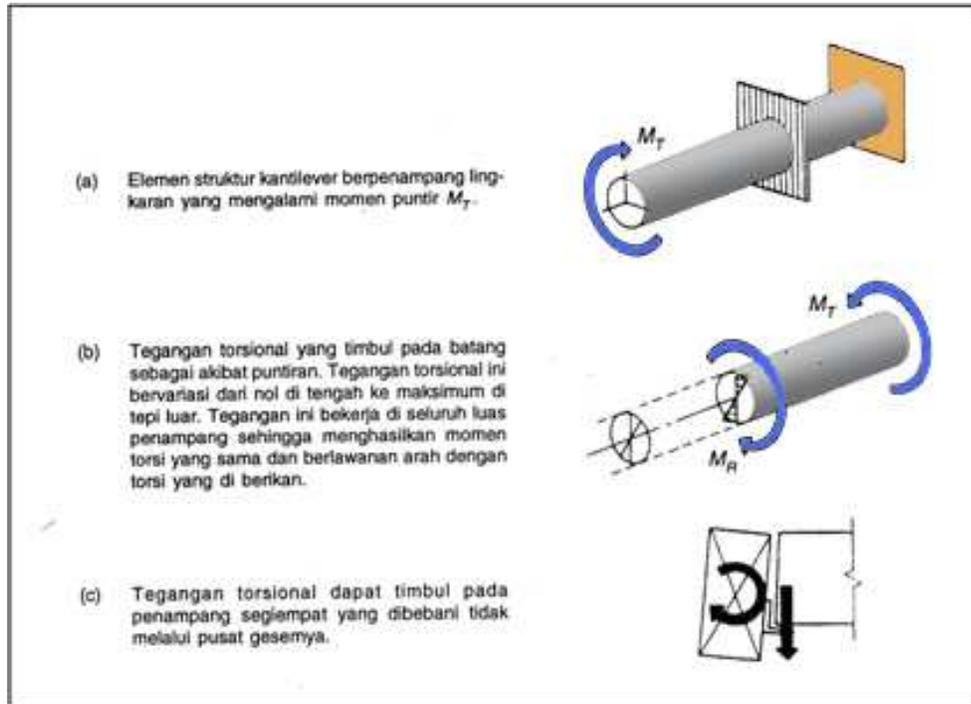
### d. Tegangan Tumpu

Tegangan tumpu (*bearing stress*) adalah tegangan yang timbul pada bidang kontak antara dua elemen struktur. Contohnya adalah tegangan yang terjadi pada ujung-ujung balok sederhana yang terletak di atas tumpuan ujung dengan dimensi tertentu.

Banyak material, misalnya kayu, yang sangat mudah mengalami kegagalan akibat tegangan tumpu. Apabila beban tekan disalurkan, kegagalan tegangan tekan biasanya terjadi, dan hal ini ditunjukkan dengan hancurnya material. Kegagalan ini biasanya dilokalisasi, dan lebih baik dihindari.

**e. Torsi**

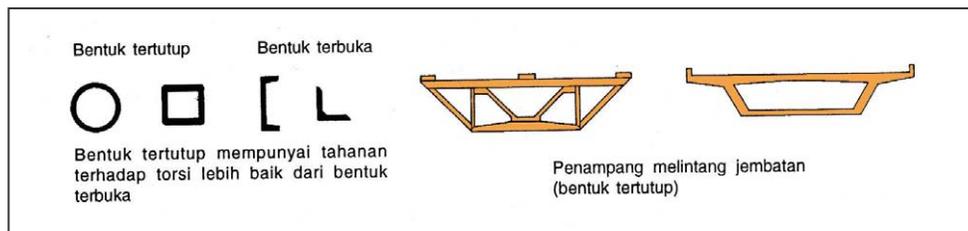
Torsi adalah puntiran, yang timbul pada elemen struktur apabila diberikan momen puntir langsung  $M_T$  atau secara tak langsung. Tegangan geser torsional timbul pada elemen struktur tersebut sebagai akibat dari momen torsi yang bekerja padanya, seperti pada gambar 4.13.



**Gambar 4.13. Torsi yang terjadi pada balok.**

Sumber: Schodek, 1999

Sedangkan Gambar 4.14 menunjukkan bahwa penampang tertutup lebih baik dalam menahan torsi bila dibandingkan dengan penampang terbuka.

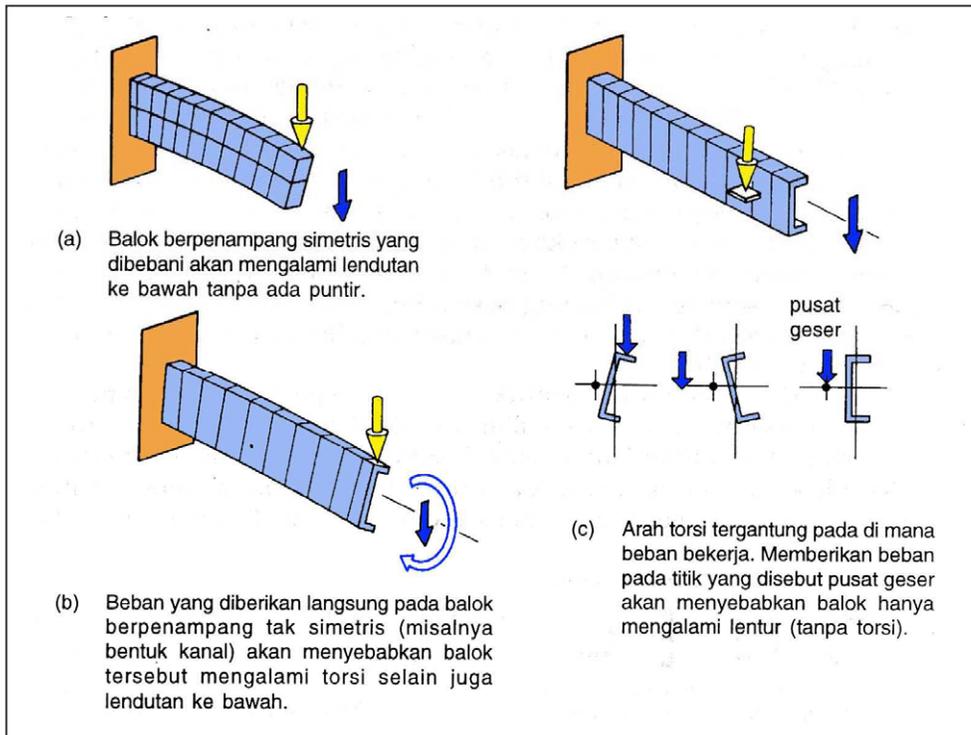


**Gambar 4.14. Penampang balok dan ketahanan terhadap torsi**

Sumber: Schodek, 1999

**f. Pusat Geser**

Gambar 4.15 adalah ilustrasi pusat geser (*shear centre*) pada balok. Pada penampang tak simetris, pemberian beban dapat menyebabkan terjadinya puntiran. Dengan menerapkan beban melalui 'pusat geser' balok, maka hanya akan terjadi lentur, tanpa adanya puntir. Pusat geser penampang tak simetris seringkali terletak di luar penampang.



**Gambar 4.15. Pusat geser (*shear center*) pada balok**

Sumber: Schodek, 1999

### g. Defleksi

Defleksi pada bentang balok disebabkan karena adanya lendutan balok akibat beban. Defleksi ( $\Delta$ ) pada suatu titik tergantung pada beban  $P$  atau  $w$ , panjang bentang balok  $L$ , dan berbanding terbalik dengan kekakuan balok. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa:

*apabila  $w$  bertambah, maka  $\Delta$  bertambah*

*apabila  $L$  bertambah, maka  $\Delta$  bertambah*

*apabila  $I$  bertambah, maka  $\Delta$  berkurang*

*apabila  $E$  bertambah, maka  $\Delta$  berkurang*

$$\Rightarrow \begin{aligned} \Delta &= C_1 (wL^4 / EI) \\ \Delta &= C_2 (PL^3 / EI) \end{aligned}$$

Beberapa kriteria empiris yang digunakan untuk menentukan defleksi ijin adalah sebagai berikut :

**Lantai**

- Defleksi akibat beban mati
- Defleksi akibat beban mati dan beban hidup

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360}$$

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240}$$

**Atap**

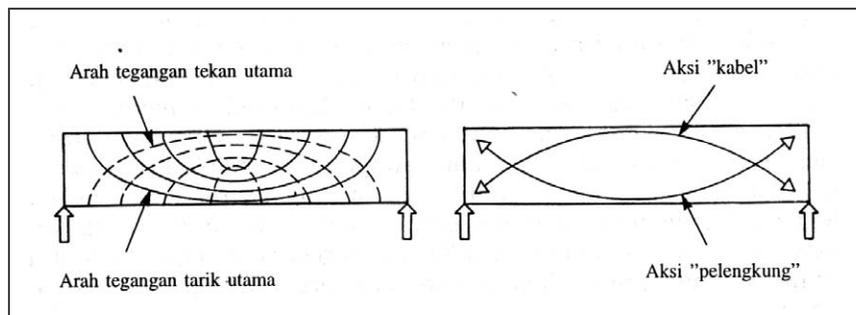
- Defleksi akibat beban hidup
- Defleksi akibat beban mati dan beban hidup

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240}$$

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{180}$$

**g. Tegangan Utama**

Pada balok, interaksi antara tegangan lentur dan tegangan geser dapat merupakan tegangan normal tekan atau tarik, yang disebut sebagai tegangan utama (*principle stresses*). Arah tegangan aksial ini pada umumnya berbeda dengan arah tegangan lentur maupun tegangan gesernya. Garis tegangan utama dapat digambarkan berikut ini, dimana merupakan implikasi pada mekanisme pemikul-beban yang ada pada balok (Gambar 4.16).



**Gambar 4.16. Garis tegangan utama**

Sumber: Schodek, 1999

**4.2.3. Desain Balok****Prinsip – prinsip Desain Umum**

Variabel utama dalam mendesain balok meliputi: bentang, jarak balok, jenis dan besar beban, jenis material, ukuran dan bentuk penampang, serta cara penggabungan atau fabrikasi. Semakin banyak batasan desain, maka semakin mudah desain dilakukan.

Setiap desain harus memenuhi kriteria kekuatan dan kekakuan untuk masalah keamanan dan kemampuan layan. Pendekatan desain untuk memenuhi kriteria ini sangat bergantung pada material yang dipilih, apakah menggunakan balok kayu, baja atau beton bertulang.

Beberapa faktor yang merupakan prinsip-prinsip desain umum dalam perencanaan balok, yaitu :

- (1) Kontrol kekuatan dan kekakuan
- (2) Variasi besaran material
- (3) Variasi bentuk balok pada seluruh panjangnya
- (4) Variasi kondisi tumpuan dan kondisi batas

Prinsip desain praktis balok kayu dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah sifat kayu yang mempunyai kemampuan untuk memikul tegangan besar dalam waktu singkat. Pada kondisi beban permanen, tegangan ijin perlu direduksi dengan faktor 0,90. Faktor beban untuk angin adalah 1,33. Sedangkan beban normal mempunyai faktor 1,0.

Desain balok baja umumnya didesain berdasarkan beban kerja dan tegangan ijin. Balok yang digunakan bisa berupa penampang gilas (*wide flens / sayap lebar*), kanal, atau tersusun atas elemen-elemen (plat atau siku). Untuk bentang atau beban yang sangat besar, penampang girder plat yang tersusun dari elemen siku dan plat sering digunakan. Pada balok baja, apabila material balok mulai leleh pada saat dibebani, maka distribusi tegangan yang ada mulai berubah. Balok masih dapat menerima tambahan momen sampai semua bagian penampang telah meleleh.

Desain balok beton tidak dapat digunakan sendiri pada balok karena sangat kecilnya kekuatan tarik, dan karena sifat getasnya (*brittle*). Retak-retak yang timbul dapat berakibat gagalnya struktur, dimana hal ini dapat terjadi ketika balok beton mengalami lentur. Penambahan baja di dalam daerah tarik membentuk balok beton bertulang dapat meningkatkan kekuatan sekaligus daktilitasnya. Elemen struktur beton bertulang menggabungkan sifat yang dimiliki beton dan baja.

### **Desain Balok Statis Tak Tentu**

Proses desain balok menerus sama saja dengan proses desain balok sederhana. Apabila momen maksimum yang dapat terjadi pada struktur telah diketahui, selanjutnya ditentukan penampang struktur yang cukup untuk memikul momen itu. Prinsip mengenai distribusi material secara optimal di suatu penampang melintang juga dapat diterapkan pada balok menerus.

Beberapa hal khusus yang perlu diperhatikan dalam desain balok statis tak tentu ini diuraikan sebagai berikut:

- (1) Desain Momen, secara praktis seperti pada Tabel 4.1.
- (2) Penentuan Penampang Balok Menerus  
Penentuan ukuran suatu penampang melintang balok menerus tergantung pada besar momen yang ada pada penampang tersebut. Tinggi struktur yang dibentuk disesuaikan dengan momen lentur yang ada.
- (3) Penggunaan Titik Hubung Konstruksi  
Karena alasan pelaksanaan, kesulitan sering terjadi dalam membuat elemen struktur menerus yang panjang, karena seringnya digunakan

titik pelaksanaan (*construction joints*). Untuk memudahkan pembuatan titik konstruksi, titik-titik itu diletakkan di dekat, atau pada titik belok. Dengan demikian, titik pelaksanaan tidak perlu dirancang untuk memikul momen. Jadi hanya merupakan titik hubung sendi. Dengan menggunakan kondisi momen nol pada titik belok, perilaku balok menerus tersebut dapat dimodelkan sebagai struktur statis tertentu.

(4) Pengontrolan Distribusi Momen

Momen yang timbul pada balok menerus dapat dirancang secara cermat oleh perencana. Hal ini dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya adalah dengan mengatur bentang dan beban pada struktur.

**Tabel 4.1. Desain Momen**

Sumber: Chen & Liu, 2005

Momen positif	
Bentang ujung	
Apabila ujung diskontinu tak dijepit	$\frac{1}{11}wL^2$
Apabila ujung diskontinu integral dengan tumpuan	$\frac{1}{14}wL^2$
Bentang interior	$\frac{1}{16}wL^2$
Momen negatif pada tumpuan interior pertama	
Dua bentang	$\frac{1}{9}wL^2$
Lebih dari dua bentang	$\frac{1}{10}wL^2$
Momen negatif pada tumpuan-tumpuan interior lainnya	$\frac{1}{11}wL^2$
Momen negatif pada semua tumpuan untuk	
(a) <i>slab</i> yang bentangnya tidak melebihi 10 ft,	
(b) balok dan <i>girder</i> di mana perbandingan antara jumlah kekakuan kolom terhadap jumlah kekakuan balok lebih besar dari delapan di setiap ujung bentang	$\frac{1}{12}wL^2$
Momen negatif pada tumpuan eksterior untuk elemen struktur yang integral dengan tumpuan-tumpuannya	
Apabila tumpuannya merupakan <i>girder</i> atau balok <i>spandrel</i> (tepi)	$\frac{1}{24}wL^2$
Apabila tumpuannya berupa kolom	$\frac{1}{16}wL^2$
Geser pada balok ujung pada tumpuan interior pertama	$1,15 \frac{wL}{2}$
Geser pada semua tumpuan lain	$\frac{wL}{2}$

Beton bertulang merupakan salah satu contoh material yang cocok untuk digunakan pada balok menerus. Kontinuitas dapat diperoleh dengan mengatur penulangan balok beton bertulang tersebut. Tulangan baja diletakkan pada daerah dimana terjadi tegangan tarik. Banyaknya tulangan di setiap lokasi tergantung pada momen yang timbul.

## 2.4. Struktur Kolom

Kolom sebagai elemen tekan juga merupakan elemen penting pada konstruksi. Kolom pada umumnya merupakan elemen vertikal. Namun sebenarnya kolom tidak harus selalu berarah vertikal, bahkan dinding pemikul (*load-bearing wall*) sebenarnya juga dapat dipadang sebagai kolom yang diperluas menjadi suatu bidang. Umumnya, kolom tidak mengalami lentur secara langsung, karena tidak ada beban tegak lurus terhadap sumbunya.

Sistem *post and beam* terdiri dari elemen struktur horisontal (balok) diletakkan sederhana di atas dua elemen struktur vertikal (kolom) yang merupakan konstruksi dasar yang digunakan sejak dulu. Pada sistem ini, secara sederhana balok dan kolom digunakan sebagai elemen penting dalam konstruksi.

### 4.3.1. Prinsip Desain Kolom

Elemen struktur kolom yang mempunyai nilai perbandingan antara panjang dan dimensi penampang melintangnya relatif kecil disebut kolom pendek. Kapasitas pikul-beban kolom pendek tidak tergantung pada panjang kolom dan bila mengalami beban berlebihan, maka kolom pendek pada umumnya akan gagal karena hancurnya material. Dengan demikian, kapasitas pikul-beban batas tergantung pada kekuatan material yang digunakan. Semakin panjang suatu elemen tekan, proporsi relatif elemen akan berubah hingga mencapai keadaan yang disebut elemen langsing. Perilaku elemen langsing sangat berbeda dengan elemen tekan pendek.

Perilaku elemen tekan panjang terhadap beban tekan adalah apabila bebannya kecil, elemen masih dapat mempertahankan bentuk liniernya, begitu pula apabila bebannya bertambah. Pada saat beban mencapai nilai tertentu, elemen tersebut tiba-tiba tidak stabil, dan berubah bentuk menjadi seperti tergambar. Hal inilah yang disebut fenomena tekuk (*buckling*) apabila suatu elemen struktur (dalam hal ini adalah kolom) telah menekuk, maka kolom tersebut tidak mempunyai kemampuan lagi untuk menerima beban tambahan. Sedikit saja penambahan beban akan menyebabkan elemen struktur tersebut runtuh. Dengan demikian, kapasitas pikul-beban untuk elemen struktur kolom itu adalah besar beban yang menyebabkan kolom tersebut mengalami tekuk awal. Struktur yang sudah mengalami tekuk tidak mempunyai kemampuan layan lagi.

Fenomena tekuk adalah suatu ragam kegagalan yang diakibatkan oleh ketidakstabilan suatu elemen struktur yang dipengaruhi oleh aksi beban. Kegagalan yang diakibatkan oleh ketidakstabilan dapat terjadi pada berbagai material. Pada saat tekuk terjadi, taraf gaya internal bisa sangat rendah. Fenomena tekuk berkaitan dengan kekakuan elemen struktur. Suatu elemen yang mempunyai kekakuan kecil lebih mudah mengalami tekuk dibandingkan dengan yang mempunyai kekakuan besar. Semakin panjang suatu elemen struktur, semakin kecil kekakuannya.

Apabila suatu elemen struktur mulai tidak stabil, seperti halnya kolom yang mengalami beban tekuk, maka elemen tersebut tidak dapat memberikan gaya tahanan internal lagi untuk mempertahankan bentuk liniernya. Gaya tahanannya lebih kecil daripada beban tekuk. Kolom yang tepat berada dalam kondisi mengalami beban tekuk sama saja dengan sistem yang berada dalam kondisi keseimbangan netral. Sistem dalam kondisi demikian mempunyai kecenderungan mempertahankan konfigurasi semula.

Banyak faktor yang mempengaruhi beban tekuk ( $P_{cr}$ ) pada suatu elemen struktur tekan panjang. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

(1) Panjang Kolom

Pada umumnya, kapasitas pikul-beban kolom berbanding terbalik dengan kuadrat panjang elemennya. Selain itu, faktor lain yang menentukan besar beban tekuk adalah yang berhubungan dengan karakteristik kekakuan elemen struktur (jenis material, bentuk, dan ukuran penampang).

(2) Kekakuan

Kekakuan elemen struktur sangat dipengaruhi oleh banyaknya material dan distribusinya. Pada elemen struktur persegi panjang, elemen struktur akan selalu menekuk pada arah seperti yang diilustrasikan pada di bawah bagian (a). Namun bentuk berpenampang simetris (misalnya bujursangkar atau lingkaran) tidak mempunyai arah tekuk khusus seperti penampang segiempat. Ukuran distribusi material (bentuk dan ukuran penampang) dalam hal ini pada umumnya dapat dinyatakan dengan momen inersia ( $I$ ).

(3) Kondisi ujung elemen struktur

Apabila ujung-ujung kolom bebas berotasi, kolom tersebut mempunyai kemampuan pikul-beban lebih kecil dibandingkan dengan kolom sama yang ujung-ujungnya dijepit. Adanya tahanan ujung menambah kekakuan sehingga juga meningkatkan kestabilan yang mencegah tekuk. Mengekang (menggunakan *bracing*) suatu kolom pada suatu arah juga meningkatkan kekakuan.

Fenomena tekuk pada umumnya menyebabkan terjadinya pengurangan kapasitas pikul-beban elemen tekan. Beban maksimum yang dapat dipikul kolom pendek ditentukan oleh hancurnya material, bukan tekuk. Beban ini dinyatakan dalam persamaan:

$$P_y = A \cdot F_y \quad (4.4)$$

dimana:  $A$  = luas penampang melintang kolom  
 $F_y$  = tegangan leleh material

Sebaliknya, pada kolom panjang atau langsing, kegagalan yang terjadi disebabkan oleh beban yang lebih kecil daripada beban yang menyebabkan hancurnya material. Ini berarti bahwa tegangan aktual yang

ada apabila tekuk terjadi pada kolom panjang (tegangan tekuk kritis) selalu lebih kecil daripada tegangan leleh, yaitu dinyatakan sebagai berikut :

$$f_{cr} = P_{cr} / A < f_{leleh}$$

Kegagalan pada kolom panjang adalah yang disebabkan oleh tekuk, jadi tegangan yang terjadi pada saat gagal lebih kecil daripada tegangan leleh material kolom tersebut.

### 4.3.2. Analisa Kolom

#### a. Kolom Pendek

Analisis pada kolom pendek dibagi atas analisa terhadap dua jenis beban yang terjadi pada elemen tekan tersebut, yaitu:

##### 1. Beban Aksial

Elemen tekan yang mempunyai potensi kegagalan karena hancurnya material (tegangan langsung) dan mempunyai kapasitas pikul-beban tak tergantung pada panjang elemen, relatif lebih mudah untuk dianalisis. Apabila beban yang bekerja bertitik tangkap tepat pada pusat berat penampang elemen, maka yang timbul adalah tegangan tekan merata yang besarnya dinyatakan dalam persamaan:

$$f = P / A$$

dimana kegagalan akan terjadi bila tegangan langsung aktual ini melebihi tegangan hancur material ( $f_a \geq F_y$ ).

Beban hancur dinyatakan dalam persamaan:

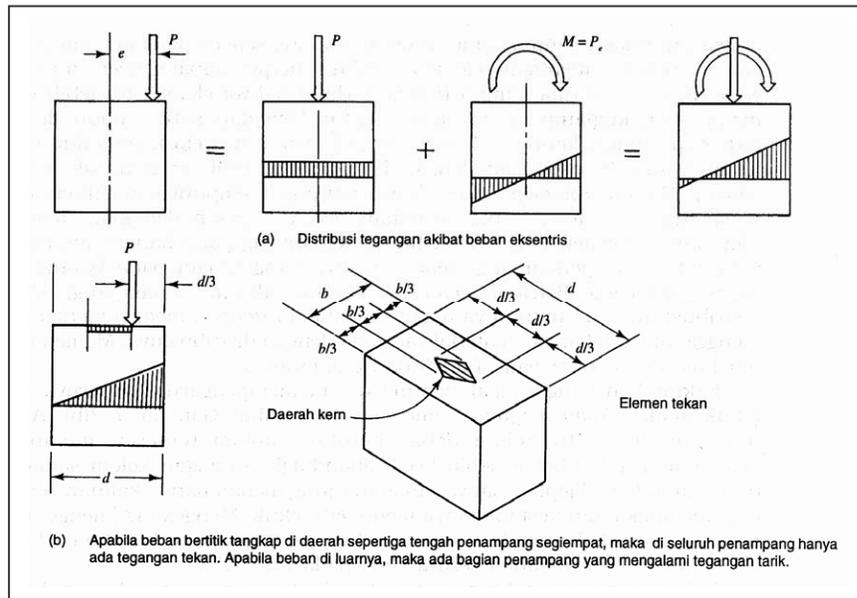
$$P_y = A \cdot F_y$$

dimana:  $A$  = luas penampang melintang kolom  
 $F_y$  = tegangan leleh / hancur material

##### 2. Beban Eksentris

Apabila beban bekerja eksentris (tidak bekerja di pusat berat penampang melintang), maka distribusi tegangan yang timbul tidak akan merata. Efek beban eksentris adalah menimbulkan momen lentur pada elemen yang berinteraksi dengan tegangan tekan langsung. Bahkan apabila beban itu mempunyai eksentrisitas yang relatif besar, maka di seluruh bagian penampang yang bersangkutan dapat terjadi tegangan tarik (Gambar 4.17)

*Aturan sepertiga-tengah*, yaitu aturan yang mengusahakan agar beban mempunyai titik tangkap di dalam sepertiga tengah penampang (daerah Kern) agar tidak terjadi tegangan tarik.



Gambar 4.17. Beban eksentris pada Kolom

Sumber: Schodek, 1999

## b. Kolom Panjang

Analisis pada kolom panjang dibagi atas analisa terhadap dua faktor yang terjadi pada elemen tekan tersebut, yaitu:

### 1. Tekuk Euler

Beban tekuk kritis untuk kolom yang ujung-ujungnya sendi disebut sebagai beban tekuk Euler, yang dinyatakan dalam **Rumus Euler** :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (4.5)$$

dimana:

$E$  = modulus elastisitas

$I$  = momen inersia

$L$  = panjang kolom di antara kedua ujung sendi

$\pi$  = konstanta = 3,1416

Dengan rumus ini, dapat diprediksi bahwa apabila suatu kolom menjadi sangat panjang, beban yang dapat menimbulkan tekuk pada kolom menjadi semakin kecil menuju nol, dan sebaliknya. Rumus Euler ini tidak berlaku untuk kolom pendek, karena pada kolom ini yang lebih menentukan adalah tegangan hancur material.

Bila panjang kolom menjadi dua kali lipat, maka kapasitas pikul-beban akan berkurang menjadi seperempatnya. Dan bila panjang kolom menjadi setengah dari panjang semula, maka kapasitas pikul-

beban akan meningkat menjadi 4 kali. Jadi, beban tekuk kolom sangat peka terhadap perubahan panjang kolom.

## 2. Tegangan Tekuk Kritis

Beban tekuk kritis kolom dapat dinyatakan dalam tegangan tekuk kritis ( $f_{cr}$ ), yaitu dengan membagi rumus Euler dengan luas penampang  $A$ . Jadi persamaan tersebut adalah :

$$f_{cr} = \frac{P}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} \quad \text{atau} \quad f_{cr} = \frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

dimana bila dimensi penampang  $I$  dan  $A$  mempunyai hubungan sebagaimana rumus berikut :

$$I = A.r^2 \quad \text{sehingga} \quad r = \sqrt{I/A}$$

dimana  $r$  disebut *jari-jari girasi*

Unsur  $L/r$  disebut sebagai rasio kelangsingan kolom. Tekuk kritis berbanding terbalik dengan kuadrat rasio kelangsingan. Semakin besar rasio, akan semakin kecil tegangan kritis yang menyebabkan tekuk. Rasio kelangsingan ( $L/r$ ) ini merupakan parameter yang sangat penting dalam peninjauan kolom karena pada parameter inilah tekuk kolom tergantung.

Jari-jari girasi suatu luas terhadap suatu sumbu adalah jarak suatu titik yang apabila luasnya dipandang terpusat pada titik tersebut, momen inersia terhadap sumbu akan sama dengan momen inersia luas terhadap sumbu tersebut. Semakin besar jari-jari girasi penampang, akan semakin besar pula tahanan penampang terhadap tekuk, walaupun ukuran sebenarnya dari ketahanan terhadap tekuk adalah rasio  $L/r$ .

## 3. Kondisi Ujung

Pada kolom yang ujung-ujungnya sendi, titik ujungnya mudah berotasi namun tidak bertranslasi. Hal ini akan memungkinkan kolom tersebut mengalami deformasi.

## 4. Bracing

Untuk mengurangi panjang kolom dan meningkatkan kapasitas pikul-bebannya, kolom sering dikekang pada satu atau lebih titik pada panjangnya. Pengekang (*bracing*) ini merupakan bagian dari rangka struktur suatu bangunan gedung.

Pada kolom yang diberi pengekang (*bracing*) di tengah tingginya, maka panjang efektif kolom menjadi setengah panjangnya, dan kapasitas pikul-beban menjadi empat kali lipat dibandingkan dengan kolom tanpa pengekang. Mengekang kolom di titik yang jaraknya 2/3 dari tinggi tidak efektif dalam memperbesar kapasitas pikul-beban kolom bila dibandingkan dengan mengekang tepat di tengah tinggi kolom.

#### 5. Kekuatan Kolom Aktual vs Ideal

Apabila suatu kolom diuji secara eksperimental, maka akan diperoleh hasil yang berbeda antara beban tekuk aktual dengan yang diperoleh secara teoritis. Hal ini khususnya terjadi pada pada kolom yang panjangnya di sekitar transisi antara kolom pendek dan kolom panjang. Hal ini terjadi karena adanya faktor-faktor seperti eksentrisitas tak terduga pada beban kolom, ketidak-lurusan awal pada kolom, adanya tegangan awal pada kolom sebagai akibat dari proses pembuatannya, ketidakseragaman material, dan sebagainya. Untuk memeperhitungkan fenomena ini, maka ada prediksi perilaku kolom pada selang menengah (*intermediate range*).

#### 6. Momen dan Beban Eksentris

Banyaknya kolom yang mengalami momen dan beban eksentris, dan bukan hanya gaya aksial. Untuk kolom pendek, cara memperhitungkannya adalah dinyatakan dengan  $M = Pe$ , dan dapat diperhitungkan tegangan kombinasi antara tegangan aksial dan tegangan lentur. Untuk kolom panjang, ekspresi Euler belum memperhitungkan adanya momen.

### 4.3.3. Desain Kolom

#### a. Prinsip-prinsip Desain Umum

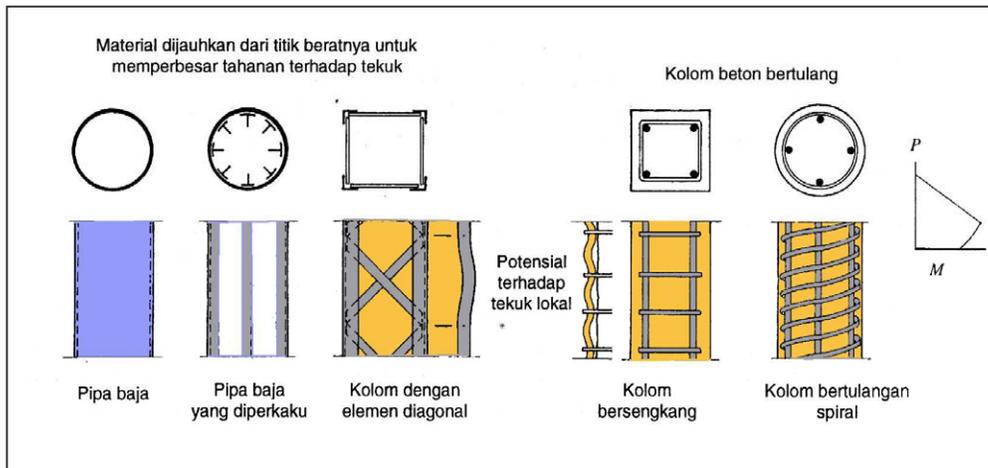
Tujuan desain kolom secara umum adalah untuk memikul beban rencana dengan menggunakan material seminimum mungkin, atau dengan mencari alternatif desain yang memberikan kapasitas pikul-beban sebesar mungkin untuk sejumlah material yang ditentukan. Ada beberapa faktor yang menjadi pertimbangan dasar atau prinsip-prinsip dalam desain elemen struktur tekan secara umum, yaitu sebagai berikut :

##### 1. Penampang

Penentuan bentuk penampang melintang yang diperlukan untuk memikul beban, secara konseptual merupakan sesuatu yang mudah. Tujuannya adalah untuk memperoleh penampang melintang yang memberikan nilai  $r_x$  dan  $r_y$  yang diperlukan dengan material yang seminimum mungkin. Beberapa bentuk penampang dapat dilihat pada Gambar 4.18.

##### 2. Kolom pada Konteks Gedung

Pada umumnya, akan lebih menguntungkan bila menggunakan *bracing* pada titik-titik yang tidak terlalu banyak disertai kolom yang agak besar, dibandingkan dengan banyak *bracing* dan kolom kecil.



**Gambar 4.18. Bentuk-bentuk Penampang Kolom**

Sumber: Schodek, 1999

## b. Ukuran Kolom

Prosedur desain untuk mengestimasi ukuran kolom cukup rumit karena harga tegangan ijinnya belum diketahui sebelum menentukan ukuran kolom. Prosedur desain yang biasa digunakan adalah dengan mengestimasi tegangan ijin, ukuran kolom, dengan menggunakan dimensinya untuk menentukan tegangan ijinnya, lalu kemudian memeriksa apakah kolom tersebut mempunyai ukuran yang memadai. Tegangan aktual yang ada dibandingkan dengan tegangan ijin yang dihitung. Bila tegangan aktual melampaui tegangan yang diijinkan, maka proses diulangi lagi sampai tegangan aktual lebih kecil daripada yang diijinkan.

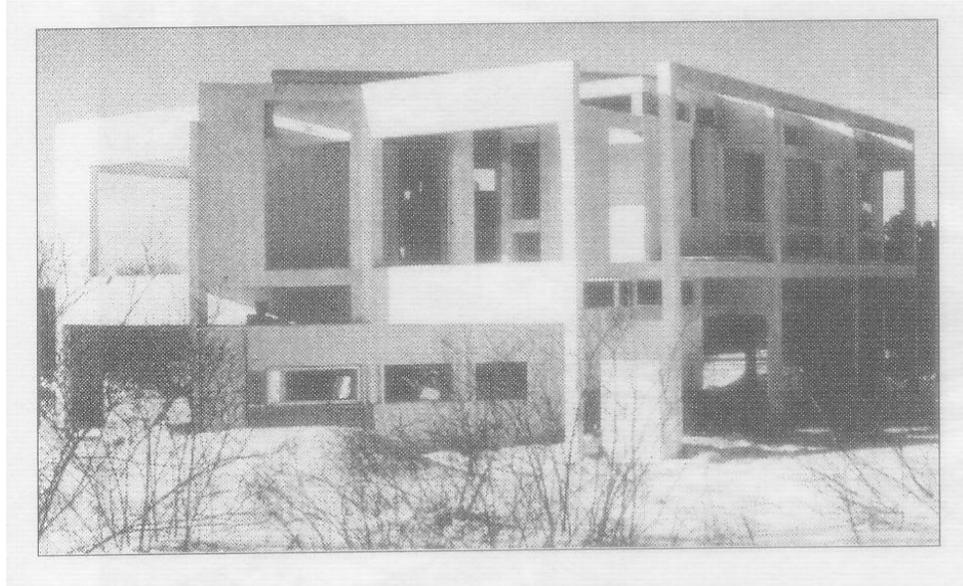
## 2.5. Sistem Struktur pada Bangunan Gedung Bertingkat

### 2.2.1. Pengantar Aplikasi Sistem Struktur pada Bangunan

Sistem struktur pada bangunan gedung secara garis besar menggunakan beberapa sistem utama

#### a) Struktur Rangka atau Skeleton

Struktur kerangka atau skeleton terdiri atas komposisi dari kolom-kolom dan balok-balok. Kolom sebagai unsur vertikal berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya menuju tanah, sedangkan balok adalah unsur horisontal yang berfungsi sebagai pemegang dan media pembagian beban dan gaya ke kolom. Kedua unsur ini harus tahan terhadap tekuk dan lentur.



**Gambar 4.19. Gedung dengan struktur rangka beton**

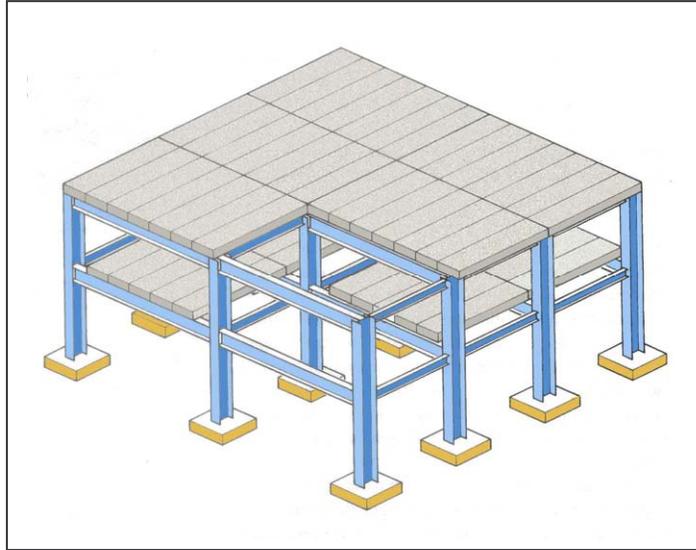
Sumber: Macdonald, 2002

Selanjutnya dilengkapi dengan sistem lantai, dinding, dan komponen lain untuk melengkapi kebutuhan bangunan untuk pembentuk ruang. Sistem dan komponen tersebut diletakkan dan ditempelkan pada kedua elemen rangka bangunan. Dapat dikatakan bahwa elemen yang menempel pada rangka bukanlah elemen struktural (elemen non-struktural).

Bahan yang umumnya dipakai pada sistem struktur rangka adalah kayu, baja, beton (Gambar 4.19) termasuk beton pra-cetak. Semua bahan tersebut harus tahan terhadap gaya-gaya tarik, tekan, puntir dan lentur. Saat ini bahan yang paling banyak digunakan adalah baja dan beton bertulang karena mampu menahan gaya-gaya tersebut dalam skala yang besar. Untuk bahan pengisi non-strukturalnya dapat digunakan bahan yang ringan dan tidak mempunyai daya dukung yang besar, seperti susunan bata, dinding kayu, kaca dan lainnya.

Sistem rangka yang dibentuk dengan elemen vertikal dan horisontal baik garis atau bidang, akan membentuk pola satuan ukuran yang disebut grid (Gambar 4.20). Grid berarti kisi-kisi yang bersilangan tegak lurus satu dengan lainnya membentuk pola yang teratur. Berdasarkan pola yang dibentuk serta arah penyaluran pembebanan atau gayanya, maka sistem rangka umumnya terdiri atas dua macam yaitu: sistem rangka dengan bentang satu arah (*one way spanning*) dan bentang dua arah (*two way spanning*). Bentuk grid persegi panjang menggunakan sistem bentang satu arah, dengan penyaluran gaya ke arah bentang yang pendek. Sedangkan untuk pola grid yang cenderung bujursangkar maka penyaluran gaya terjadi

ke arah kedua sisinya, maka sistem struktur yang digunakan adalah sistem bentang dua arah. Aksi struktur dua arah dapat diperoleh jika perbandingan dimensi bentang panjang dengan bentang pendek lebih kecil dari 1,5.



**Gambar 4.20. Tipikal struktur gedung berlantai banyak**  
Sumber: Schodek, 1999

Sistem struktur rangka banyak berkembang untuk aplikasi pada bangunan tinggi (*multi-storey structure*) dan bangunan dengan bentang lebar (*long-span structure*)

#### **b) Struktur Rangka Ruang**

Sistem rangka ruang dikembangkan dari sistem struktur rangka batang dengan penambahan rangka batang ke arah tiga dimensinya (gambar 4.21). Struktur rangka ruang adalah komposisi dari batang-batang yang masing-masing berdiri sendiri, memikul gaya tekan atau gaya tarik yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem tiga dimensi atau ruang. Bentuk rangka ruang dikembangkan dari pola grid dua lapis (*doubel-layer grids*), dengan batang-batang yang

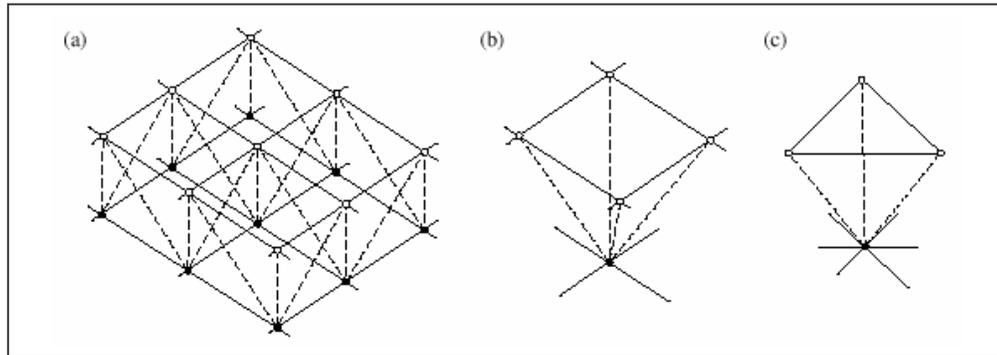


**Gambar 4.21. Contoh aplikasi sistem rangka ruang**  
Sumber: Macdonald, 2002

menghubungkan titik-titik grid secara tiga dimensional.

Elemen dasar pembentuk struktur rangka ini adalah:

- Rangka batang bidang
- Piramid dengan dasar segiempat membentuk oktahedron
- Piramid dengan dasar segitiga membentuk tetrahedron (Gambar 4,22)



**Gambar 4.22. Elemen dasar pembentuk sistem rangka ruang**

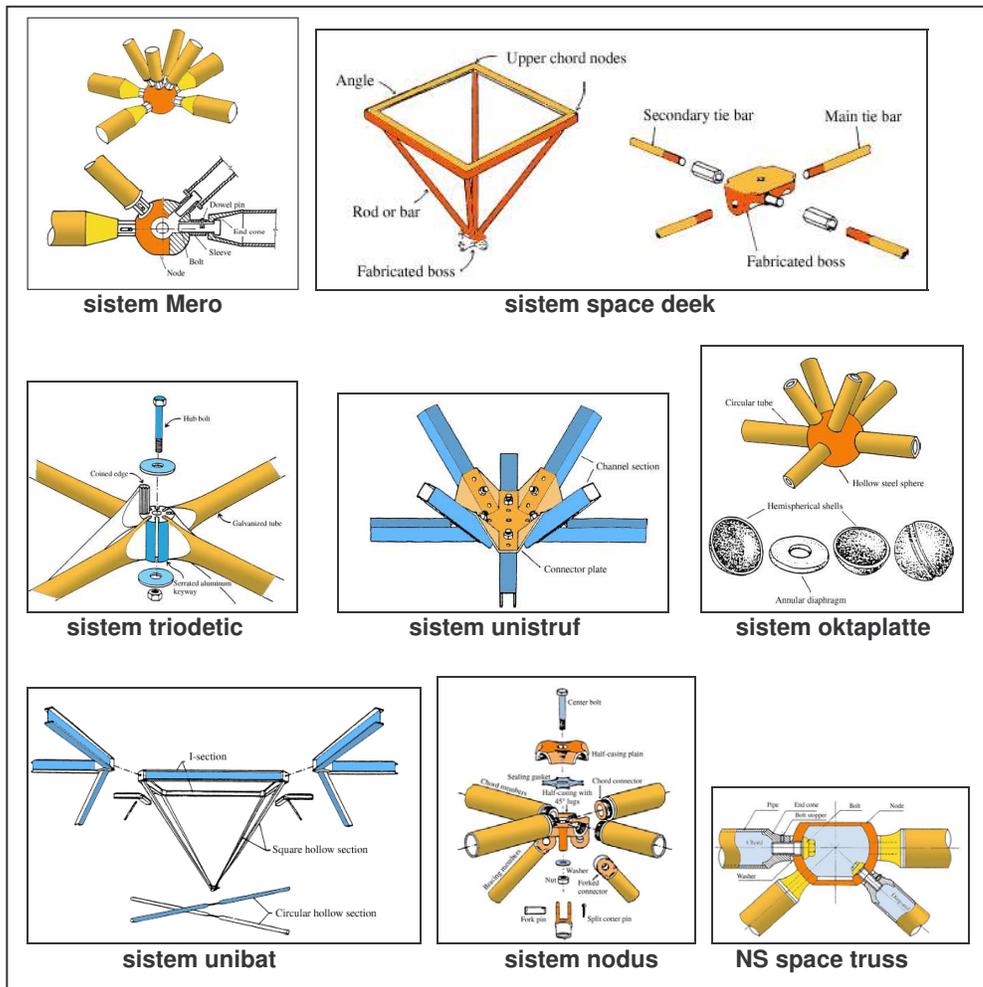
Sumber: Schodek, 1999

Beberapa sistem selanjutnya dikembangkan model rangka ruang berdasarkan pengembangan sistem konstruksi sambungannya (Gambar 4.23), antara lain:

- Sistem Mero
- Sistem space deck
- Sistem Triodetic
- Sistem Unistrut
- Sistem Oktaplatte
- Sistem Unibat
- Sistem Nodus
- Sistem NS Space Truss

### c) Struktur Permukaan Bidang

Struktur permukaan bidang termasuk juga struktur *form-active* biasanya digunakan pada keadaan khusus dengan persyaratan struktur dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Struktur-struktur permukaan bidang pada umumnya menggunakan material-material khusus yang dapat mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dengan ketebalan yang minimum. Beberapa jenis struktur ini antara lain:



Gambar 4.23. Macam-macam sistem rangka ruang

Sumber: Schodek, 1999

- **Struktur bidang lipat**

Struktur bidang lipat dibentuk melalui lipatan-lipatan bidang datar dengan kekakuan dan kekuatan yang terletak pada keseluruhan bentuk itu sendiri. Bentuk lipatan akan mempunyai kekakuan yang lebih karena momen inersia yang lebih besar, karena bentuk lipatan akan memiliki ketinggian yang jauh lebih besar dibandingkan dengan plat datar.

- **Struktur cangkang**

Struktur cangkang adalah sistem dengan pelat melengkung ke satu arah atau lebih yang tebalnya jauh lebih kecil daripada bentangnya. Gaya-gaya yang harus didukung dalam struktur cangkang disalurkan secara merata melalui permukaan bidang sebagai gaya-gaya

membran yang diserap oleh elemen strukturnya. Gaya-gaya disalurkan sebagai gaya normal, dengan demikian tidak terdapat gaya lintang dan lentur. Resultan gaya yang tersebar diserap ke dalam struktur dengan gaya tangensial yang searah dengan kelengkungan bidang permukaannya.

▪ **Struktur membran**

Struktur membran mempunyai prinsip yang sama dengan struktur cangkang, tetapi dengan bahan bidang permukaan yang sangat tipis. Kekakuan selaput tipis tersebut diperoleh dengan elemen tarik yang membentuk jala-jala yang saling membantu untuk menambah kapasitas menahan beban-beban lendutan.

d) **Struktur Kabel dan Jaringan**

Struktur kabel dan jaringan dikembangkan dari kemampuan kabel menahan gaya tarik yang tinggi. Dengan menggunakan sistem tarik maka tidak diperlukan sistem penopang vertikal untuk elemen horisontalnya (lantai atau atap), sehingga daerah di bawah elemen horisontal (ruang) memiliki bentangan yang cukup besar. Bangunan dengan aplikasi sistem struktur ini akan sangat mendukung untuk bangunan bentang luas berbenteng lebar, seperti dome, stadion, dll (Gambar 4.24). Sistem yang dikembangkan pada struktur kabel antara lain:

- Struktur atap tarik dengan kolom penunjang
- Struktur kabel tunggal
- Struktur kabel ganda



**Gambar 4.24. Struktur bangunan modern dengan sistem permukaan bidang dan kabel**

Sumber: Macdonald, 2002

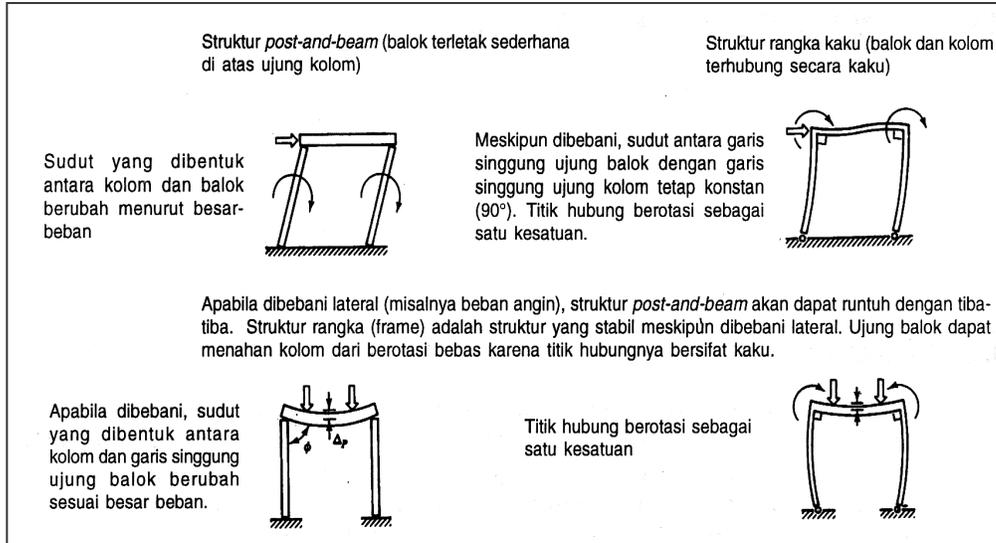
## 2.2.2. Analisis Struktur Rangka Kaku

Struktur rangka kaku (*rigid frame*) adalah 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. Dengan demikian, elemen struktur itu menerus pada titik hubung tersebut. Seperti halnya balok menerus, struktur rangka kaku adalah struktur statis tak tentu.

Banyak struktur rangka kaku yang tampaknya sama dengan sistem *post and beam*, tetapi pada kenyataannya struktur rangka ini mempunyai perilaku yang sangat berbeda dengan struktur *post and beam*. Hal ini karena adanya titik-titik hubung pada rangka kaku. Titik hubung dapat cukup kaku sehingga memungkinkan kemampuan untuk memikul beban lateral pada rangka, dimana beban demikian tidak dapat bekerja pada struktur rangka yang memperoleh kestabilan dari hubungan kaku antara kaki dengan papan horisontalnya.

### a) Prinsip Rangka Kaku

Cara yang paling tepat untuk memahami perilaku struktur rangka sederhana adalah dengan membandingkan perilakunya terhadap beban dengan struktur *post and beam*. Perilaku kedua macam struktur ini berbeda dalam hal titik hubung, dimana titik hubung ini bersifat kaku pada rangka dan tidak kaku pada struktur *post and beam*. Gambar 4.25 menunjukkan jenis-jenis struktur rangka dan perbedaannya dengan struktur *post and beam*.



**Gambar 4.25. Perbandingan Perilaku Struktur 'Post and Beam' dan Rangka Kaku**

Sumber: Schodek, 1999

## b) Beban Vertikal

Pada struktur *post and beam*, struktur akan memikul beban beban vertikal dan selanjutnya beban diteruskan ke tanah. Pada struktur jenis ini, balok terletak bebas di atas kolom. Sehingga pada saat beban menyebabkan momen pada balok, ujung-ujung balok berotasi di ujung atas kolom. Jadi, sudut yang dibentuk antara ujung balok dan ujung atas kolom berubah. Kolom tidak mempunyai kemampuan untuk menahan rotasi ujung balok. Ini berarti tidak ada momen yang dapat diteruskan ke kolom, sehingga kolom memikul gaya aksial.

Apabila suatu struktur rangka kaku mengalami beban vertikal seperti di atas, beban tersebut juga dipikul oleh balok, diteruskan ke kolom dan akhirnya diterima oleh tanah. Beban itu menyebabkan balok cenderung berotasi. Tetapi pada struktur rangka kaku akan terjadi rotasi bebas pada ujung yang mencegah rotasi bebas balok. Hal ini dikarenakan ujung atas kolom dan balok berhubungan secara kaku. Hal penting yang terjadi adalah balok tersebut lebih bersifat mendekati balok berujung jepit, bukan terletak secara sederhana. Seiring dengan hal tersebut, diperoleh beberapa keuntungan, yaitu bertambahnya kekakuan, berkurangnya defleksi, dan berkurangnya momen lentur internal. Akibat lain dari hubungan kaku tersebut adalah bahwa kolom menerima juga momen lentur serta gaya aksial akibat ujung kolom cenderung memberikan tahanan rotasionalnya. Ini berarti desain kolom menjadi relatif lebih rumit.

Titik hubung kaku berfungsi sebagai satu kesatuan. Artinya, bila titik ujung itu berotasi, maka sudut relatif antara elemen-elemen yang dihubungkan tidak berubah. Misalnya, bila sudut antara balok dan kolom semula  $90^{\circ}$ , setelah titik hubung berotasi, sudut akan tetap  $90^{\circ}$ . Besar rotasi titik hubung tergantung pada kekakuan relatif antara balok dan kolom. Bila kolom semakin relatif kaku terhadap balok, maka kolom lebih mendekati sifat jepit terhadap ujung balok, sehingga rotasi titik hubung semakin kecil. Bagaimanapun rotasi selalu terjadi walaupun besarnya relatif kecil. Jadi kondisi ujung balok pada struktur rangka kaku terletak di antara kondisi ujung jepit (tidak ada rotasi sama sekali) dan kondisi ujung sendi-sendi (bebas berotasi). Begitu pula halnya dengan ujung atas kolom.

Perilaku yang dijelaskan di atas secara umum berarti bahwa balok pada sistem rangka kaku yang memikul beban vertikal dapat didesain lebih kecil daripada balok pada sistem *post and beam*. Sedangkan kolom pada struktur rangka kaku harus didesain lebih besar dibandingkan dengan kolom pada struktur *post and beam*, karena pada struktur rangka kaku ada kombinasi momen lentur dan gaya aksial. Sedangkan pada struktur *post and beam* hanya terjadi gaya aksial. Ukuran relatif kolom akan semakin dipengaruhi bila tekuk juga ditinjau. Hal ini dikarenakan kolom pada struktur rangka mempunyai tahanan ujung, sedangkan kolom pada *post and beam* tidak mempunyai tahanan ujung. Perbedaan lain antara struktur rangka kaku dan struktur *post and beam* sebagai respon terhadap beban vertikal adalah

adanya reaksi horisontal pada struktur rangka kaku. Sementara pada struktur *post and beam* tidak ada.

Pondasi untuk rangka harus didesain untuk memikul gaya dorong horisontal yang ditimbulkan oleh beban vertikal. Pada struktur *post and beam* yang dibebani vertikal, tidak ada gaya dorong horisontal, jadi tidak ada reaksi horisontal. Dengan demikian, pondasi struktur *post and beam* relatif lebih sederhana dibandingkan pondasi untuk struktur rangka.

### c) Beban Horisontal

Perilaku struktur *post and beam* dan struktur rangka terhadap beban horisontal sangat berbeda. Struktur *post and beam* dapat dikatakan hampir tidak mempunyai kemampuan sama sekali untuk memikul beban horisontal. Adanya sedikit kemampuan, pada umumnya hanyalah karena berat sendiri dari tiang / kolom (*post*), atau adanya kontribusi elemen lain, misalnya dinding penutup yang berfungsi sebagai *bracing*. Tetapi perlu diingat bahwa kemampuan memikul beban horisontal pada struktur *post and beam* ini sangat kecil. Sehingga struktur *post and beam* tidak dapat digunakan untuk memikul beban horisontal seperti beban gempa dan angin.

Sebaliknya, pada struktur rangka timbul lentur, gaya geser dan gaya aksial pada semua elemen, balok maupun kolom. Momen lentur yang diakibatkan oleh beban lateral (angin dan gempa) seringkali mencapai maksimum pada penampang dekat titik hubung. Dengan demikian, ukuran elemen struktur di bagian yang dekat dengan titik hubung pada umumnya dibuat besar atau diperkuat bila gaya lateralnya cukup besar.

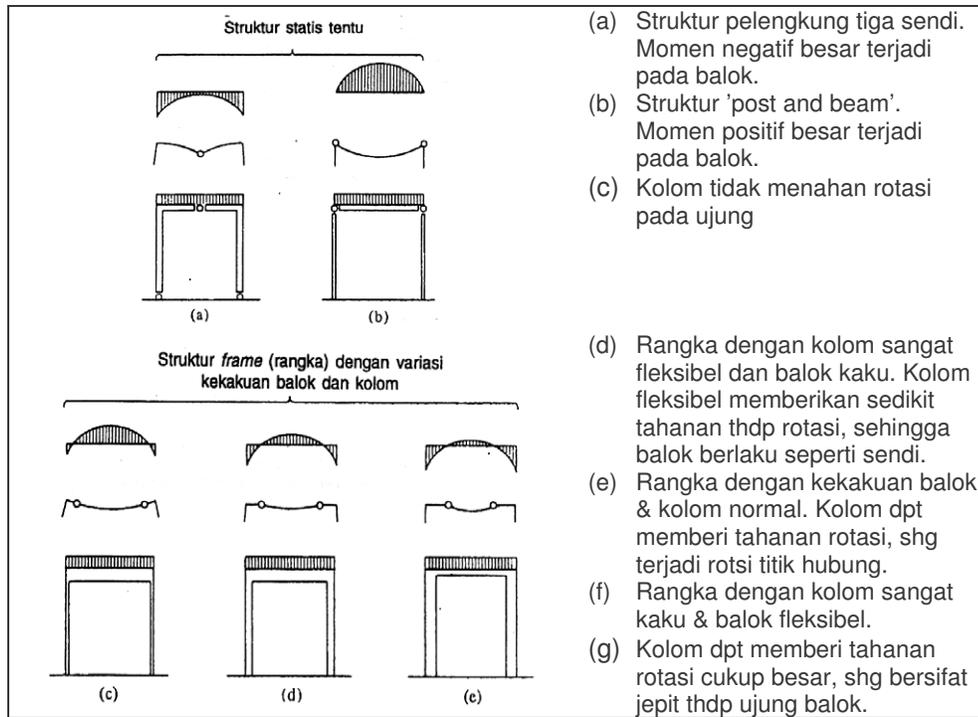
Rangka kaku dapat diterapkan pada gedung besar maupun kecil. Secara umum, semakin tinggi gedung, maka akan semakin besar pula momen dan gaya-gaya pada setiap elemen struktur. Kolom terbawah pada gedung bertingkat banyak pada umumnya memikul gaya aksial dan momen lentur terbesar. Bila beban lateral itu sudah sangat besar, maka umumnya diperlukan kontribusi elemen struktur lainnya untuk memikul, misalnya dengan menggunakan pengekang (*bracing*) atau dinding geser (*shear walls*).

### d) Kekakuan Relatif Balok dan Kolom

Pada setiap struktur statis tak tentu, termasuk juga rangka (*frame*), besar momen dan gaya internal tergantung pada karakteristik relatif antara elemen-elemen strukturnya. Kolom yang lebih kaku akan memikul beban horisontal lebih besar. Sehingga tidak dapat digunakan asumsi bahwa reaksi horisontal sama besar. Momen yang lebih besar akan timbul pada kolom yang memikul beban horisontal lebih besar (kolom yang lebih kaku).

Perbedaan kekakuan relatif antara balok dan kolom juga mempengaruhi momen akibat beban vertikal. Semakin kaku kolom, maka momen yang timbul akan lebih besar daripada kolom yang relatif kurang kaku terhadap balok. Untuk struktur yang kolomnya relatif lebih kaku

terhadap balok, momen negatif pada ujung balok yang bertemu dengan kolom kaku akan membesar sementara momen positifnya berkurang. Efek variasi kekakuan tersebut seperti pada Gambar 4.26.



**Gambar 4.26. Efek variasi kekakuan relatif balok dan kolom terhadap momen dan gaya internal pada struktur rangka kaku**

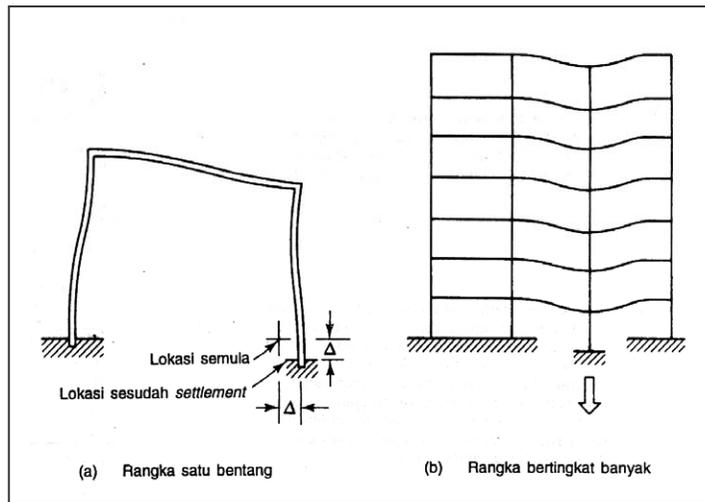
Sumber: Schodek, 1999

### e) Goyangan (*Sideways*)

Pada rangka yang memikul beban vertikal, ada fenomena yang disebut goyangan (*sidesway*). Bila suatu rangka tidak berbentuk simetris, atau tidak dibebani simetris, struktur akan mengalami goyangan (translasi horisontal) ke salah satu sisi.

### f) Penurunan Tumpuan (*Support Settlement*)

Seperti halnya pada balok menerus, rangka kaku sangat peka terhadap turunnya tumpuan (Gambar 4.27). Berbagai jenis tumpuan (vertikal, horisontal, rotasional) dapat menimbulkan momen. Semakin besar *differential settlement*, akan semakin besar pula momen yang ditimbulkan. Bila gerakan tumpuan ini tidak diantisipasi sebelumnya, momen tersebut dapat menyebabkan keruntuhan pada rangka. Oleh karena itu perlu diperhatikan desain pondasi struktur rangka kaku untuk memperkecil kemungkinan terjadinya gerakan tumpuan.



**Gambar 4.27. Efek turunnya tumpuan (*support settlement*) pada struktur Rangka Kaku**

Sumber: Schodek, 1999

#### **g) Efek Kondisi Pembebanan Sebagian**

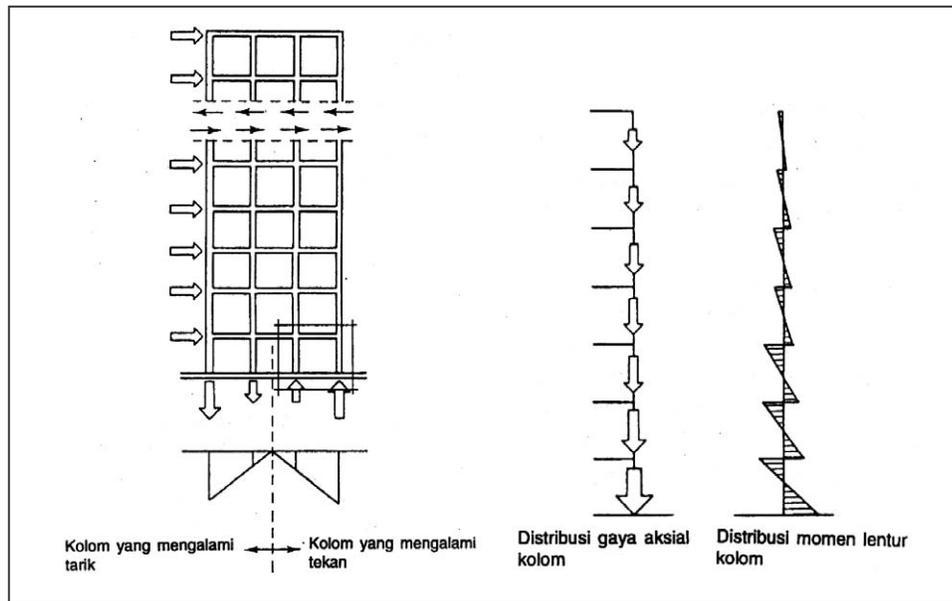
Seperti yang terjadi pada balok menerus, momen maksimum yang terjadi pada struktur rangka bukan terjadi pada saat rangka itu dibebani penuh. Melainkan pada saat dibebani sebagian. Hal ini sangat menyulitkan proses analisisnya. Masalah utamanya adalah masalah prediksi kondisi beban yang bagaimanakah yang menghasilkan momen kritis.

#### **h) Rangka Bertingkat Banyak**

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis rangka bertingkat banyak yang mengalami beban lateral. Salah satunya adalah Metode Kantilever (Gambar 4.28), yang mulai digunakan pada tahun 1908. Metode ini menggunakan banyak asumsi, yaitu antara lain :

- ada titik belok di tengah bentang setiap balok
- ada titik belok di tengah tinggi setiap kolom
- besar gaya aksial yang terjadi di setiap kolom pada suatu tingkat sebanding dengan jarak horisontal kolom tersebut ke pusat berat semua kolom di tingkat tersebut.

Metode analisis lain yang lebih eksak adalah menggunakan perhitungan berbantuan komputer. Walaupun dianggap kurang eksak, metode kantilever sampai saat ini masih digunakan, terutama untuk mempelajari perilaku struktur bertingkat banyak.

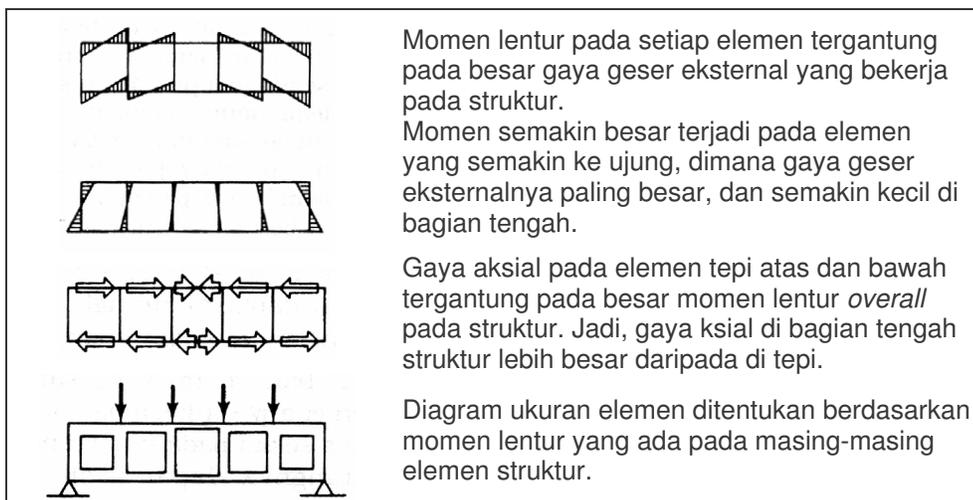


**Gambar 4.28. Rangka Kaku Bertingkat Banyak**

Sumber: Schodek, 1999

**i) Rangka Vierendeel**

*Struktur Vierendeel* seperti pada Gambar 4.29, adalah 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 hubungannya kaku. Struktur demikian digunakan pada gedung karena alasan fungsional, dimana tidak diperlukan elemen diagonal. Struktur *Vierendeel* ini pada umumnya lebih efisien daripada struktur rangka batang.



Momen lentur pada setiap elemen tergantung pada besar gaya geser eksternal yang bekerja pada struktur.

Momen semakin besar terjadi pada elemen yang semakin ke ujung, dimana gaya geser eksternalnya paling besar, dan semakin kecil di bagian tengah.

Gaya aksial pada elemen tepi atas dan bawah tergantung pada besar momen lentur *overall* pada struktur. Jadi, gaya aksial di bagian tengah struktur lebih besar daripada di tepi.

Diagram ukuran elemen ditentukan berdasarkan momen lentur yang ada pada masing-masing elemen struktur.

**Gambar 4.29. Rangka Khusus : Struktur Vierendeel**

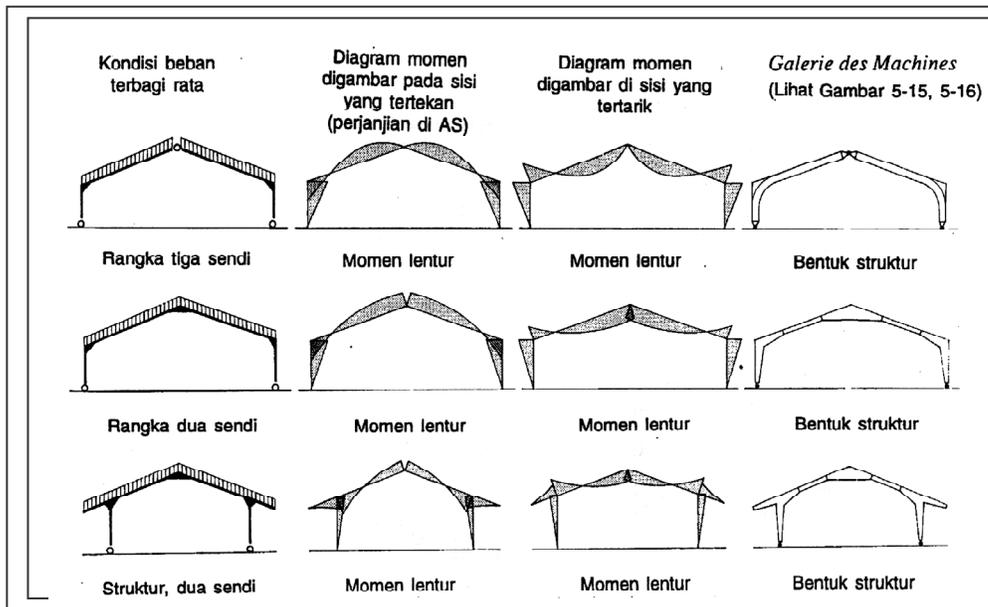
Sumber: Schodek, 1999

### 2.2.3. Desain Rangka Kaku

Struktur rangka adalah jenis struktur yang tidak efisien apabila digunakan untuk beban lateral yang sangat besar. Untuk memikul beban yang demikian akan lebih efisien menambahkan dinding geser (*shear wall*) atau pengekang diagonal (*diagonal bracing*) pada struktur rangka. Apabila persyaratan fungsional gedung mengharuskan penggunaan rangka, maka dimensi dan geometri umum rangka yang akan didesain sebenarnya sudah dipastikan. Masalah desain yang utama adalah pada penentuan titik hubung, jenis material dan ukuran penampang struktur.

#### a) Pemilihan Jenis Rangka

Derajat kekakuan struktur rangka tergantung antara lain pada banyak dan lokasi titik-titik hubung sendi dan jepit (kaku). Titik hubung sendi dan jepit seringkali diperlukan untuk maksud-maksud tertentu, meminimumkan momen rencana dan memperbesar kekakuan adalah tujuan-tujuan desain umum dalam memilih jenis rangka. Tinjauan lain meliputi kondisi pondasi dan kemudahan pelaksanaan. Gambar 4.30 menunjukkan beberapa jenis struktur rangka yang mempunyai bentuk berdasarkan pada momen lentur yang terjadi padanya.



**Gambar 4.30. Jenis-jenis struktur dengan bentuk berdasarkan momen lentur yang terjadi padanya**

Sumber: Schodek, 1999

Momen yang diakibatkan oleh turunnya tumpuan pada rangka yang mempunyai tumpuan sendi akan lebih kecil daripada yang terjadi pada rangka bertumpuan jepit. Selain itu, pondasi untuk rangka bertumpuan sendi

tidak perlu mempunyai kemampuan memikul momen. Gaya dorong horisontal akibat beban vertikal juga biasanya lebih kecil pada rangka bertumpuan sendi dibandingkan dengan rangka yang bertumpuan jepit. Rangka bertumpuan jepit dapat lebih memberikan keuntungan meminimumkan momen dan mengurangi defleksi bila dibandingkan dengan rangka bertumpuan sendi. Dalam desain harus ditinjau berbagai macam kemungkinan agar diperoleh hasil yang benar-benar diinginkan.

#### **b) Momen Desain**

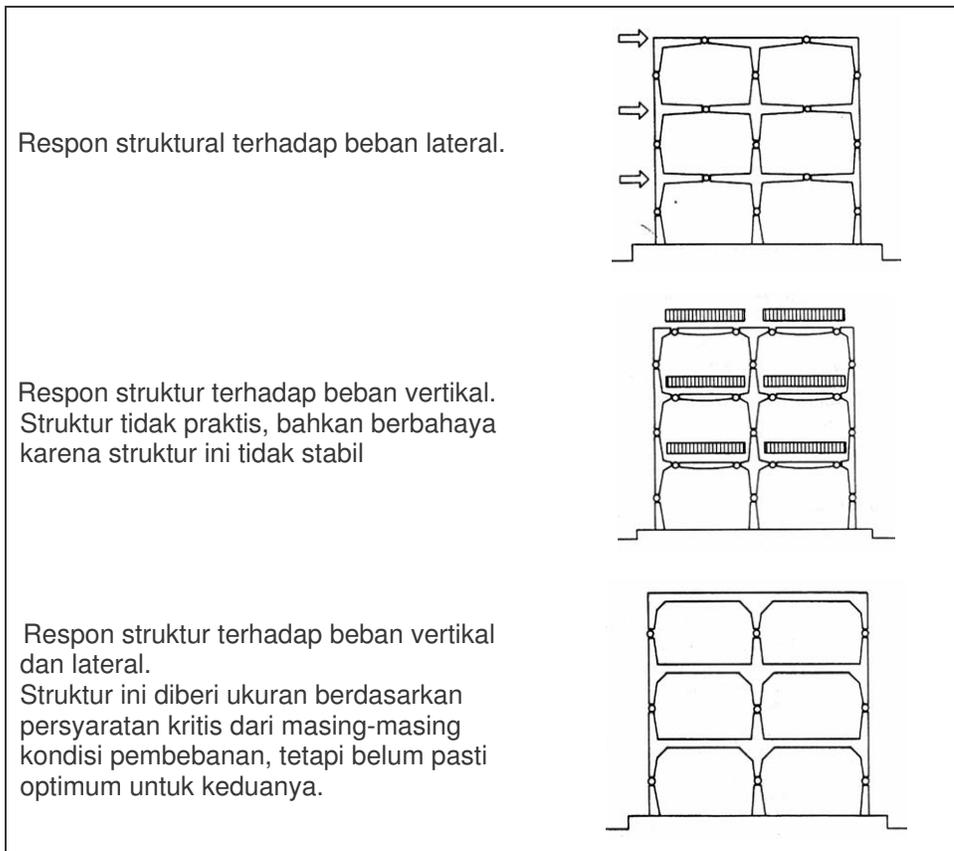
Untuk menentukan momen desain, diperlukan momen gabungan akibat beban vertikal dan beban horisontal. Dalam beberapa hal, momen-momen akibat beban vertikal dan lateral (horisontal) ini saling memperbesar. Sementara dalam kondisi lain dapat saling mengurangi. Momen kritis terjadi apabila momen-momen tersebut saling memperbesar. Perlu diingat bahwa beban lateral umumnya dapat mempunyai arah yang berlawanan dengan yang tergambar. Karena itu, umumnya yang terjadi adalah momen yang saling memperbesar, jarang yang saling memperkecil.

Apabila momen maksimum kritis, gaya aksial dan geser internal telah diperoleh, maka penentuan ukuran penampang elemen struktural dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- (1) Mengidentifikasi momen dan gaya internal, maksimum yang ada di bagian elemen struktur tersebut, selanjutnya menentukan ukuran penampang di seluruh elemen tersebut berdasarkan gaya dan momen internal tadi, sampai ukuran penampang konstan pada seluruh panjang elemen struktur tersebut. Cara ini seringkali menghasilkan elemen struktur yang berukuran lebih (*over-size*) di seluruh bagian elemen, kecuali titik kritis. Oleh karena itu, cara ini dianggap kurang efisien dibanding cara kedua berikut ini.
- (2) Menentukan bentuk penampang sebagai respon terhadap variasi gaya momen kritis. Biasanya cara ini digunakan dalam desain balok menerus.

#### **c) Penentuan Bentuk Rangka**

- (1) Struktur Satu Bentang  
Pendekatan dengan menggunakan respon terhadap beban vertikal sebagai rencana awal tidak mungkin dilakukan berdasarkan momen negatif dan positif maksimum yang mungkin terjadi di setiap penampang akibat kedua jenis pembebanan tersebut. Konfigurasi yang diperoleh tidak optimum untuk kondisi beban lateral maupun beban vertikal, namun dapat memenuhi kondisi simultan kedua jenis pembebanan tersebut. (Gambar 4.31)
- (2) Rangka Bertingkat Banyak  
Pada struktur rangka bertingkat banyak juga terjadi hal-hal yang sama dengan yang terjadi pada struktur rangka berbentang tunggal.



**Gambar 4.31. Penentuan ukuran dan bentuk penampang pada rangka bertingkat banyak, berdasarkan momen internal**

Sumber: Schodek, 1999

#### d) Desain Elemen dan Hubungan

Penentuan bentuk elemen struktur dapat pula dilakukan dengan menggunakan profil tersusun. Titik hubung yang memikul momen umumnya dilas/disambung dengan baut pada kedua *flens* untuk memperoleh kekakuan hubungan yang dikehendaki. Umumnya digunakan plat elemen pengaku di titik-titik hubung kaku agar dapat mencegah terjadinya tekuk pada elemen *flens* dan badan sebagai akibat dari adanya tegangan tekan yang besar akibat momen.

Rangka beton bertulang umumnya menggunakan tulangan di semua muka sebagai akibat dari distribusi momen akibat berbagai pembebanan. Tulangan baja terbanyak umumnya terjadi di titik-titik hubung kaku. Pemberian pasca tarik dapat pula digunakan pada elemen struktur horisontal dan untuk menghubungkan elemen-elemen vertikal.

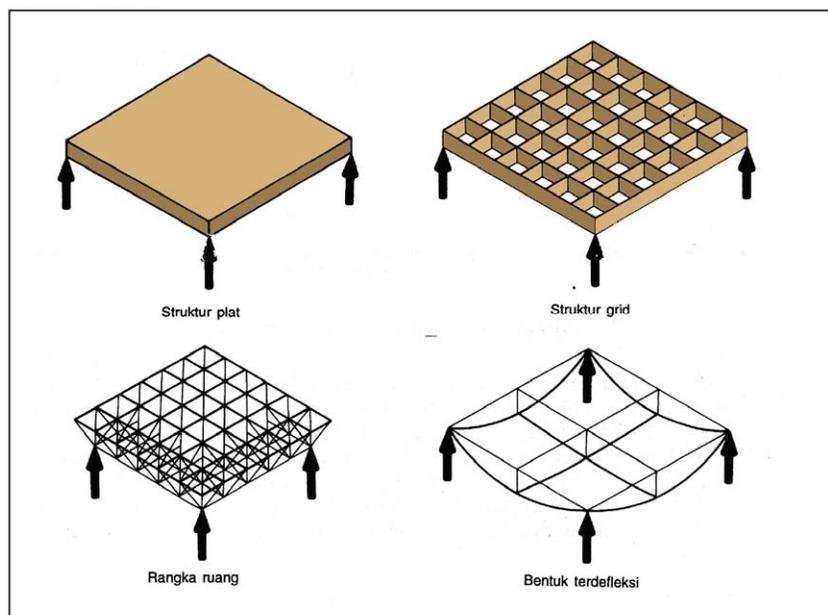
Rangka kayu biasanya mempunyai masalah, yaitu kesulitan membuat titik hubung yang mampu memikul momen. Salah satu usaha yang dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan memakai *knee braces*. Titik hubung perletakkannya biasanya berupa sendi.

### 2.2.4. Analisis Struktur Plat dan Grid

Plat adalah struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit yang tingginya relatif kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Beban yang umum bekerja pada plat mempunyai sifat banyak arah dan tersebar. Plat dapat ditumpu di seluruh tepinya atau hanya pada titik-titik tertentu, misalnya oleh kolom-kolom, atau bahkan campuran antar tumpuan menerus dan tumpuan titik. Kondisi tumpuan bisa berbentuk sederhana atau jepit. Adanya kemungkinan variasi kondisi tumpuan menyebabkan plat dapat digunakan untuk berbagai keadaan.

Rangka ruang (sebenarnya merupakan rangka batang) yang terdiri dari elemen-elemen pendek kaku berpola segitiga yang disusun secara tiga dimensi dan membentuk struktur permukaan bidang kaku yang besar dengan ketebalan relatif tipis adalah struktur yang analog dengan plat.

Struktur Grid juga merupakan suatu contoh analogi lain dari struktur plat. Struktur grid bidang secara khas terdiri dari elemen-elemen linier kaku panjang seperti balok atau rangka batang, dimana batang-batang tepi atas dan bawah terletak sejajar. Titik hubungannya bersifat kaku. Distribusi momen dan geser pada struktur seperti ini dapat merupakan distribusi yang terjadi pada plat monolit. Pada umumnya grid berbutir kasar lebih baik memikul beban terpusat. Sedangkan plat dan rangka ruang dengan banyak elemen struktur kecil cenderung lebih cocok untuk memikul beban terdistribusi merata. Beberapa skema bentuk struktur plat, rangka ruang dan grid seperti pada Gambar 4.32.



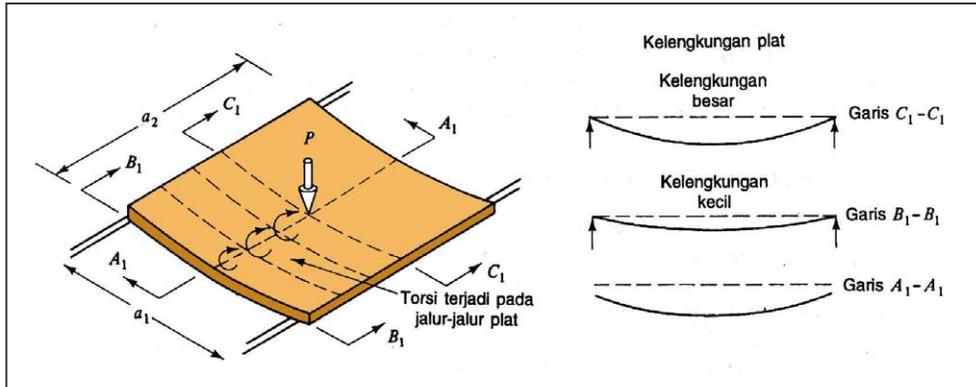
**Gambar 4.32. Struktur Rangka Ruang, Plat dan Grid**

Sumber: Schodek, 1999

**a) Struktur Plat**

(1) Struktur Plat Satu Arah

Beberapa hal perlu menjadi perhatian dalam pembahasan struktur plat satu arah, yaitu :

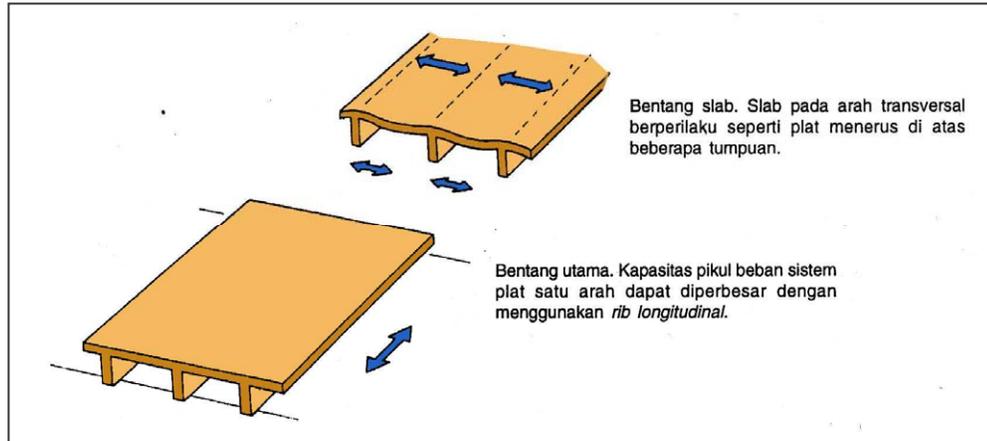


**Gambar 4.33. Struktur plat satu arah**

Sumber: Schodek, 1999

- **Beban Merata**  
struktur plat berperilaku hampir sama dengan struktur grid. perbedaannya adalah bahwa pada struktur plat, berbagi aksi terjadi secara kontinu melalui bidang slab, bukan hanya pada titik-titik tumpuan. Plat tersebut dapat dibayangkan sebagai sederetan jalur balok yang berdekatan dengan lebar satu satuan dan terhubung satu sama lain di seluruh bagian panjangnya. Gambar 4.33 mengilustrasikan struktur plat satu arah.
- **Beban Terpusat**  
Plat yang memikul beban terpusat berperilaku lebih rumit. Plat tersebut dapat dibayangkan sebagai sederetan jalur balok yang berdekatan dengan lebar satu satuan dan terhubung satu sama lain di seluruh bagian panjangnya. Karena adanya beban yang diterima oleh jalur balok, maka balok cenderung berdefleksi ke bawah. Kecenderungan itu dikurangi dengan adanya hubungan antara jalur-jalur tersebut. Torsi juga terjadi pada jalur tersebut. Pada jalur yang semakin jauh dari jalur dimana beban terpusat bekerja, torsi dan geser yang terjadi akan semakin berkurang di jalur yang mendekati tepi plat. Hal ini berarti momen internal juga berkurang.  
Jumlah total reaksi harus sama dengan beban total yang bekerja pada seluruh arah vertikal. Jumlah momen tahanan internal yang terdistribusi di seluruh sisi plat juga harus sama dengan momen eksternal total. Hal ini didasarkan atas tinjauan keseimbangan dasar.

- **Plat Berusuk**  
Plat berusuk adalah sistem gabungan balok-slab. Apabila slab mempunyai kekakuan yang relatif kaku, maka keseluruhan susunan ini akan berperilaku sebagai slab satu arah (Gambar 4.34), bukan balok-balok sejajar. Slab transversal dianggap sebagai plat satu arah menerus di atas balok. Momen negatif akan terjadipada slab di atas balok.



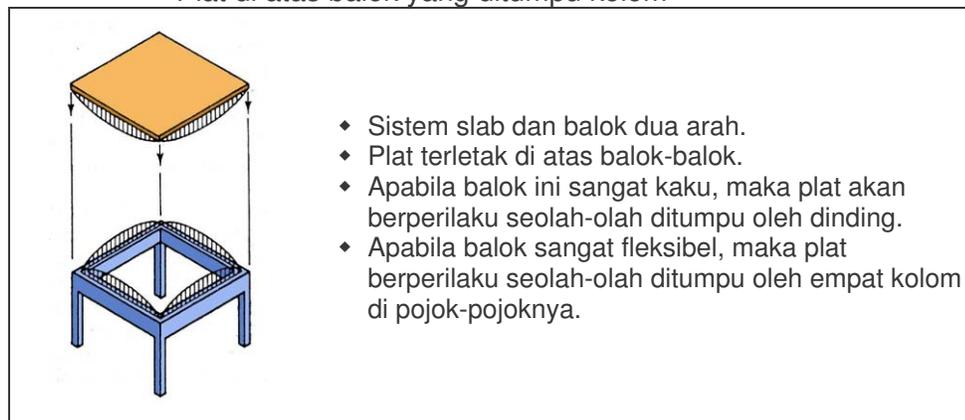
**Gambar 4.34. Plat Berusuk Satu Arah**

Sumber: Schodek, 1999

(2) Struktur Plat Dua Arah

Bahasan atas struktur plat dua arah akan dijelaskan berdasarkan kondisi tumpuan yang ada (gambar 4.35), yaitu sebagai berikut :

- Plat sederhana di atas kolom
- Plat yang ditumpu sederhana di tepi-tepi menerus
- Plat dengan tumpuan tepi jepit menerus
- Plat di atas balok yang ditumpu kolom

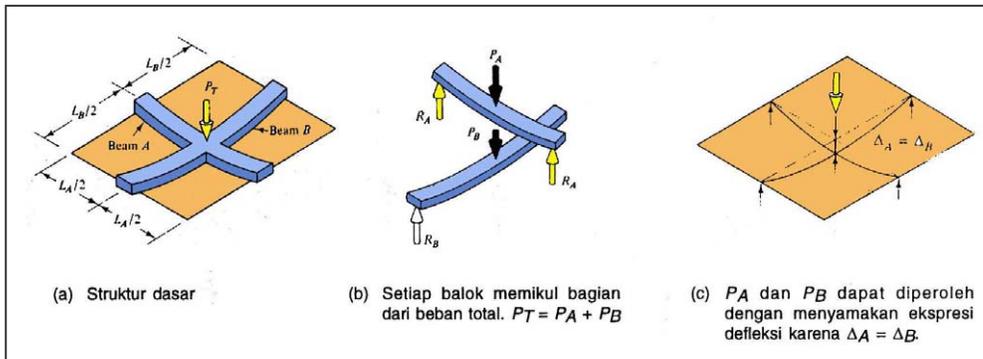


**Gambar 4.35. Sistem Balok dan Plat Dua Arah**

Sumber: Schodek, 1999

### b) Struktur Grid

Pada struktur grid, selama baloknya benar-benar identik, beban akan sama di sepanjang sisi kedua balok. Setiap balok akan memikul setengah dari beban total dan meneruskan ke tumpuan. Apabila balok-balok tersebut tidak identik maka bagian terbesar dari beban akan dipikul oleh balok yang lebih kaku. Apabila balok mempunyai panjang yang tidak sama, maka balok yang lebih pendek akan menerima bagian beban yang lebih besar dibandingkan dengan beban yang diterima oleh balok yang lebih panjang. Hal ini karena balok yang lebih pendek akan lebih kaku. Kedua balok tersebut akan mengalami defleksi yang sama di titik pertemuannya karena keduanya



Gambar 4.36. Struktur Grid Dua Arah Sederhana

Sumber: Schodek, 1999

dihubungkan pada titik tersebut. Agar defleksi kedua balok itu sama, maka diperlukan gaya lebih besar pada balok yang lebih pendek. Dengan demikian, balok yang lebih pendek akan memikul bagian beban yang lebih besar. Besar relatif dari beban yang dipikul pada struktur grid saling tegak lurus, dan bergantung pada sifat fisis dan dimensi elemen-elemen grid tersebut (Gambar 4.36).

Pada grid yang lebih kompleks, baik aksi dua arah maupun torsi dapat terjadi. Semua elemen berpartisipasi dalam memikul beban dengan memberikan kombinasi kekuatan lentur dan kekuatan torsi. Defleksi yang terjadi pada struktur grid yang terhubung kaku akan lebih kecil dibandingkan dengan defleksi pada struktur grid terhubung sederhana.

## 2.2.5. Desain Sistem Dua Arah: Plat, Grid dan Rangka Ruang

### a) Desain Plat Beton Bertulang

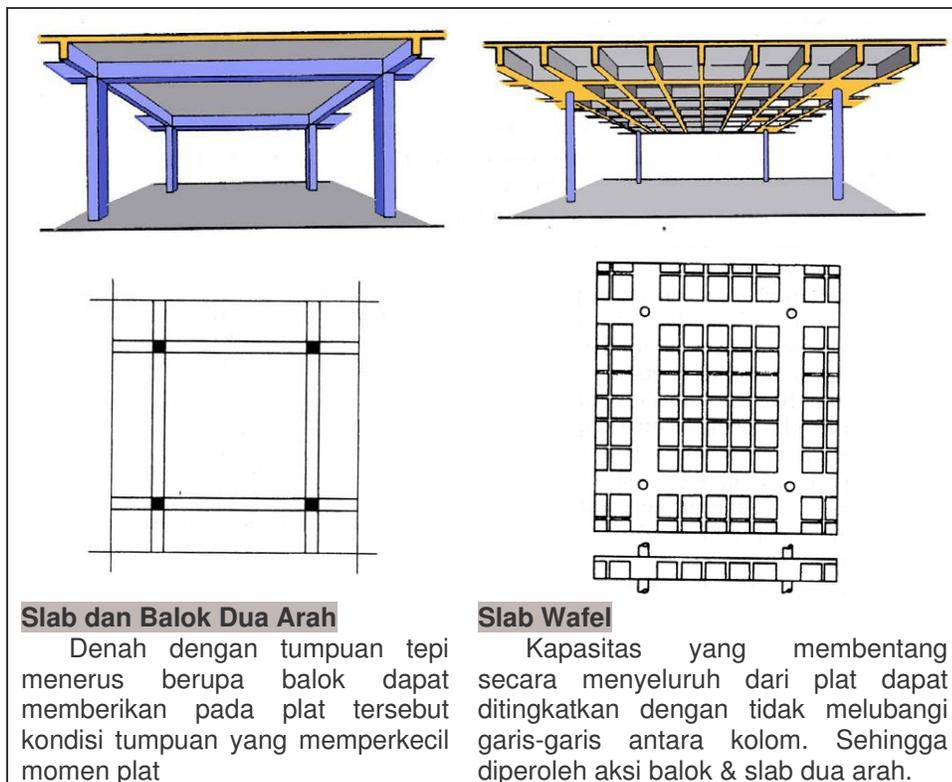
Beberapa faktor yang merupakan tinjauan desain pada plat beton bertulang. Faktor-faktor itu antara lain :

- (1) Momen Plat dan penempatan tulangan baja

Tebal plat beton bertulang dan banyaknya serta lokasi penempatan tulangan baja yang digunakan pada slab atau plat bertinggi konstan selalu bergantung pada besar dan distribusi momen pada plat tersebut. Tulangan baja harus diletakkan pada seluruh daerah tarik. Karena momen bersifat kontinu, maka tulangan baja harus mempunyai jarak yang dekat. Umumnya tulangan dipasang sejajar.

(2) Bentang efektif

Semakin besar bentang, maka semakin besar momen yang timbul. Hal ini berarti, semakin tebal pula plat beton tersebut. Bila plat beton yang digunakan tebal, maka berat sendiri struktur akan bertambah. Karena alasan ini, plat beton seringkali dilubangi untuk mengurangi berat sendiri, tanpa mengurangi tinggi strukturalnya secara berarti. Sistem ini biasa disebut *slab wafel*. (Gambar 4.37)



**Gambar 4.37. Sistem Slab dengan Balok Dua Arah dan Sistem Wafel**

Sumber: Schodek, 1999

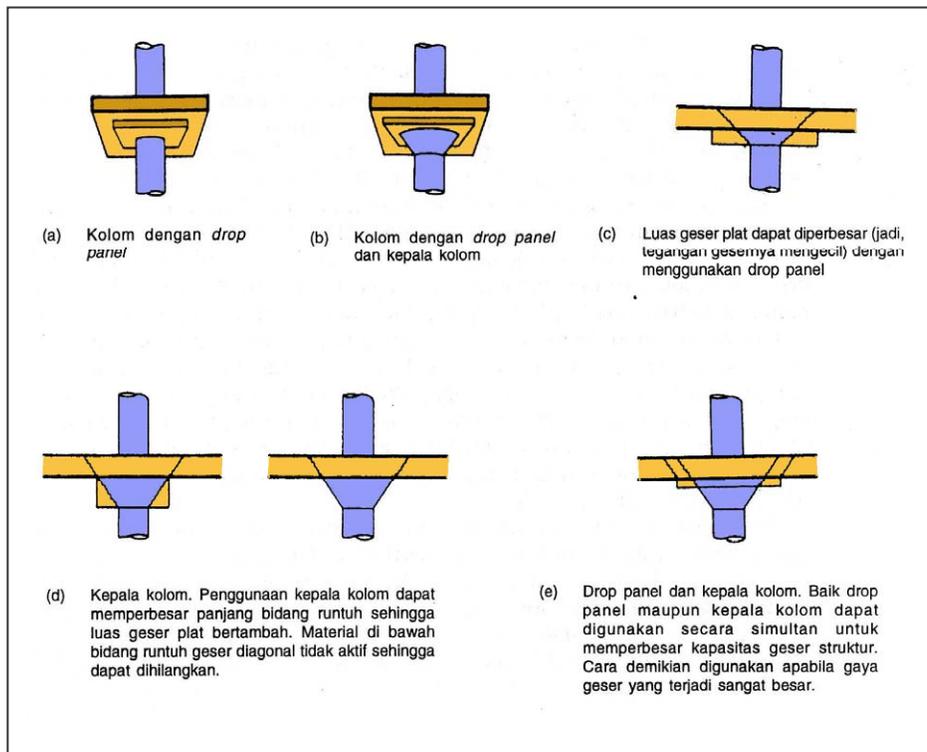
(3) Tebal plat

Perbandingan  $L/d$  untuk mengestimasi tebal slab secara pendekatan adalah sebagai berikut :

Sistem	L / d
Slab datar dua arah	33-40
Slab dan balok dua arah	45-55
Slab wafel	28-30
Slab satu arah	24-36
Balok beton bertulang	16-26

(4) Efek gaya geser

Geser juga terjadi pada plat dan kadang kala bersifat dominan. Memperbesar luas geser plat dapat dilakukan dengan mempertebal plat. Namun hal ini menyebabkan plat tidak ekonomis. Solusinya adalah dengan menggunakan *drop panel*, yaitu plat dengan penebalan setempat. Alternatif lain, luas geser dapat diperbesar dengan memperbesar ukuran plat. Hal ini dapat dilakukan secara lokal dengan menggunakan kepala kolom (*column capitals*). Semakin besar kepala kolom, maka akan semakin besar pula luas geser plat. Plat yang menggunakan kepala kolom seperti ini biasanya disebut plat datar (*flat slab*). (Gambar 4.38)



Gambar 4.38. Penggunaan *drop panel* dan *column capitals*

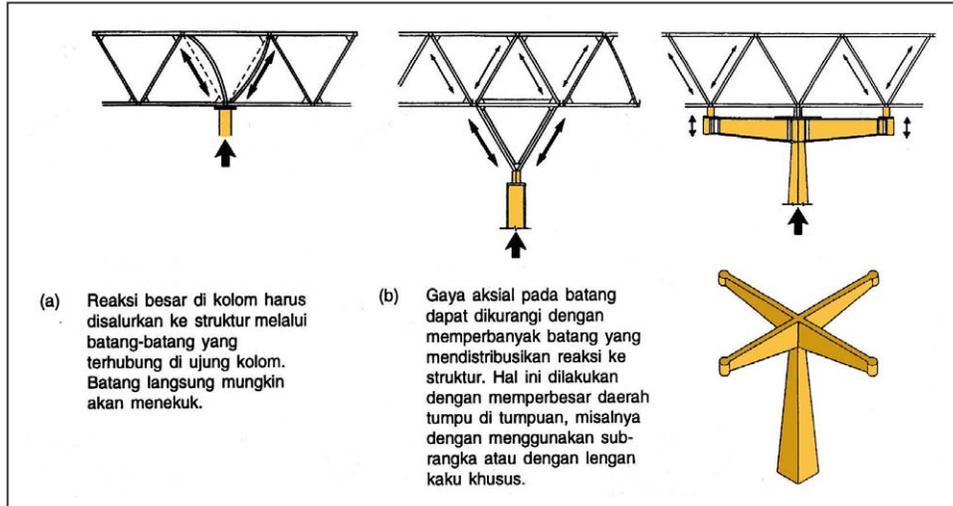
Sumber: Schodek, 1999

**b) Struktur Rangka Ruang**

Beberapa faktor yang akan diuraikan berikut merupakan tinjauan desain pada struktur rangka ruang. Faktor-faktor itu antara lain :

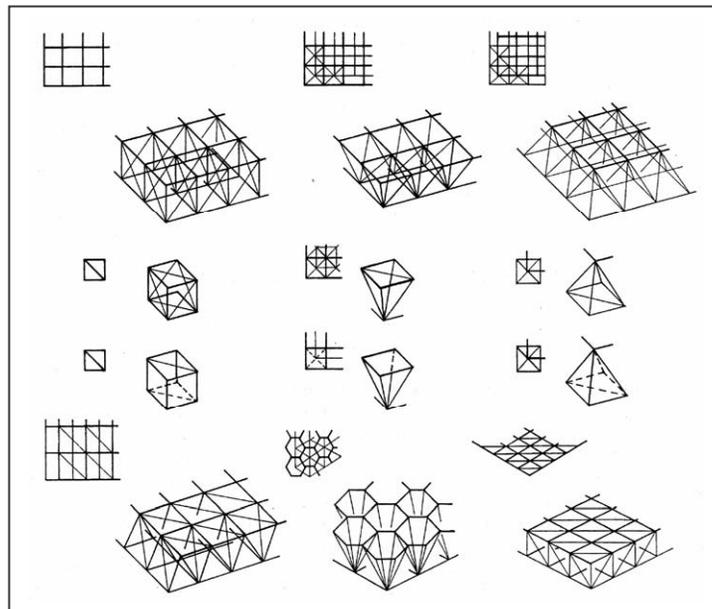
(1) Gaya-gaya elemen struktur

Gambar 4.39 berikut ini mengilustrasikan gaya-gaya elemen yang terjadi pada struktur rangka ruang.



**Gambar 4.39. Gaya-gaya pada Struktur Rangka Ruang**

Sumber: Schodek, 1999



**Gambar 4.40. Jenis-jenis Struktur Rangka Ruang dengan modul berulang**

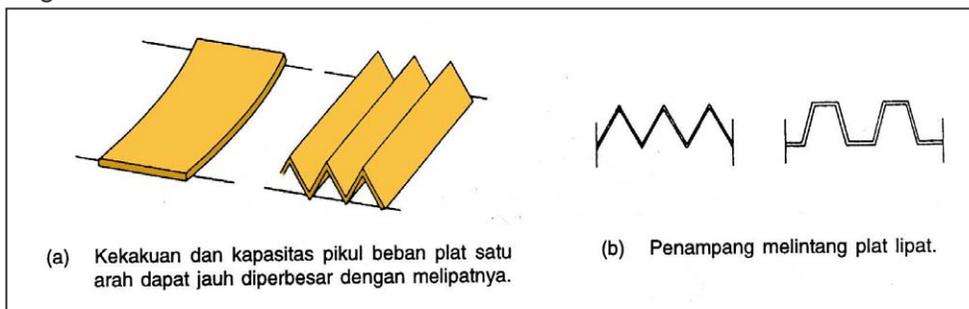
Sumber: Schodek, 1999

(2) Desain batang dan bentuk

Banyak sekali unit geometris yang dapat digunakan untuk membentuk unit berulang mulai dari tetrahedron sederhana, sampai bentuk-bentuk polihedral lain (Gambar 4.40). Rangka ruang tidak harus terdiri atas modul-modul individual, tapi dapat pula terdiri atas bidang-bidang yang dibentuk oleh batang menyilang dengan jarak seragam.

### Struktur Plat Lipat

Kekakuan struktur plat satu arah dapat sangat ditingkatkan dengan menghilangkan sama sekali permukaan planar, dan membuat deformasi besar pada plat itu, sehingga tinggi struktural plat semakin besar. Struktur semacam ini disebut plat lipat (*folded plate*), seperti pada Gambar 4.41.. Karakteristik struktur plat lipat adalah masing-masing elemen plat berukuran relatif panjang. Prinsip desain yang mendasari hal ini adalah mengusahakan sedemikian rupa agar sebanyak mungkin material terletak jauh dari bidang tengah struktur.



**Gambar 4.41. Struktur Plat Lipat**

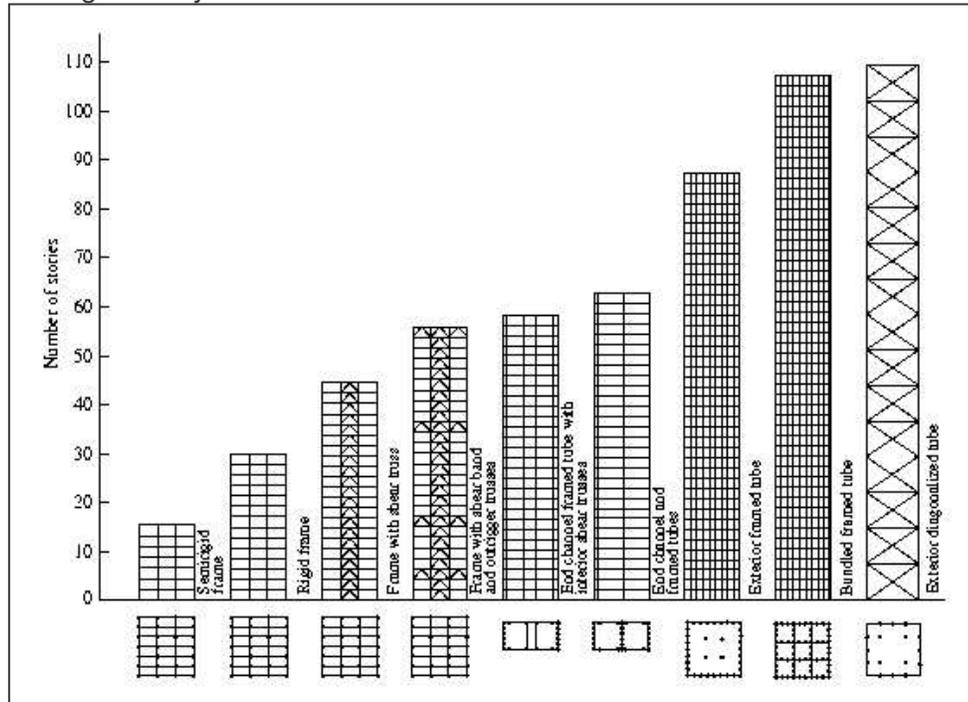
Sumber: Schodek, 1999

### 2.2.6. Sistem Struktur dan Konstruksi Bangunan Bertingkat Tinggi

Dasar pemilihan suatu sistem struktur untuk bangunan tinggi adalah harus memenuhi syarat kekuatan dan kekakuan. Sistem struktur harus mampu menahan gaya lateral dan beban gravitasi yang dapat menyebabkan deformasi geser horisontal dan lentur. Hal lain yang penting dipertimbangkan dalam perencanaan skema struktural dan layout adalah persyaratan-persyaratan meliputi detail arsitektural, utilitas bangunan, transportasi vertikal, dan pencegahan kebakaran. Efisiensi dari sistem struktur dinilai dari kemampuannya dalam menahan beban lateral yang tinggi, dimana hal ini dapat menambah tinggi rangka. Suatu bangunan dinyatakan sebagai bangunan tinggi bila efek beban lateral tercermin dalam desainnya. Defleksi lateral dari suatu bangunan tinggi harus dibatasi untuk mencegah kerusakan elemen struktural dan non-struktural. Kecepatan angin di bagian atas bangunan juga harus dibatasi sesuai dengan kriteria

kenyamanan, untuk menghindari kondisi yang tidak nyaman bagi penghuninya.

Gambar 4.42 berikut ini adalah batasan-batasan umum, dimana suatu sistem rangka dapat digunakan secara efisien untuk bangunan bertingkat banyak.



Gambar 4.42. Pengelompokan Sistem Bangunan Tinggi

Sumber: Chen & Liu, 2005

Berbagai jenis sistem struktur di atas dapat diklasifikasikan atas dua kelompok utama, yaitu :

- *medium-height building*, meliputi : *shear-type deformation predominant*
- *high-rise cantilever structures*, meliputi : *framed tubes, diagonal tubes, and braced trusses*

Klasifikasi ini didasarkan atas keefektifan struktur tersebut dalam menahan beban lateral. Dari diagram di atas, sistem struktur yang terletak pada ujung kiri adalah sistem struktur rangka dengan tahanan momen yang efisien untuk bangunan dengan tinggi 20-30 lantai. Dan pada ujung kanan adalah sistem struktur tubular dengan efisiensi kantilever tinggi. Sistem struktur lainnya merupakan sistem struktur yang bentuknya merupakan aplikasi dari berbagai batasan ekonomis dan batasan ketinggian bangunan.

Menurut *Council on Tall Buildings and Urban Habitat 1995*, dalam menyusun suatu metode klasifikasi bangunan tinggi berdasarkan sistem strukturnya, klasifikasi ini harus meliputi bahasan atas empat tinjauan, yaitu

tinjauan terhadap : sistem rangka utama, sub-sistem pengekang (*bracing*), rangka lantai, dan konfigurasi serta distribusi beban. Pengelompokan ini ditekankan pada tahanan terhadap beban lateral. Sedangkan bahasan terhadap fungsi pikul-beban dari sub-sistem bangunan tinggi bisa lebih bebas ditentukan. Suatu sistem pencakar langit yang efisien harus mempunyai elemen penahan beban vertikal yang sesuai dalam sub-sistem beban lateral dengan tujuan untuk meminimalkan beban lateral terhadap keseluruhan struktur.

### 2.2.7. Klasifikasi Rangka Bangunan Bertingkat

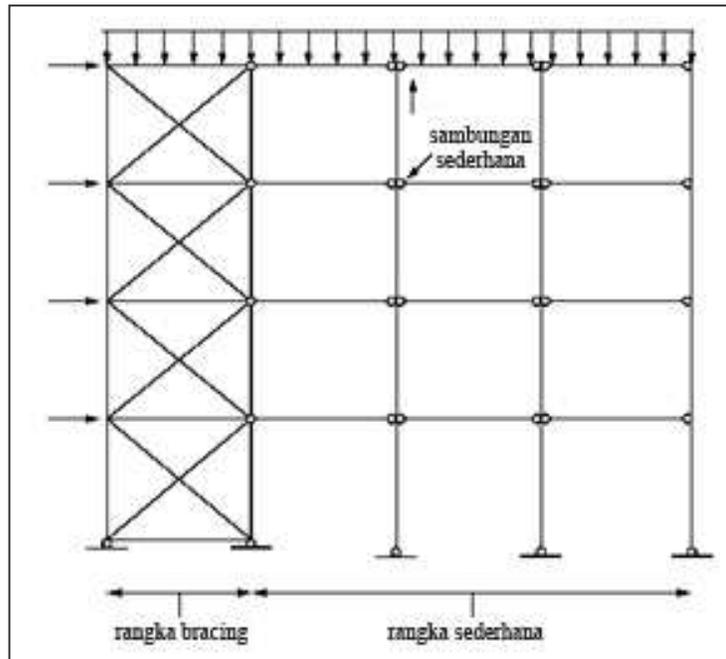
Dengan mengetahui berbagai variasi sistem rangka, maka dapat memudahkan pembuatan model sistem rangka bertingkat banyak. Untuk struktur tiga dimensi yang lebih rumit yang melibatkan interaksi berbagai sistem struktur, model yang sederhana sangat berguna dalam tahap *preliminary design* dan untuk komputasi. Model ini harus dapat mempresentasikan perilaku dari tiap elemen rangka dan efeknya terhadap keseluruhan struktur.

Berikut ini akan dibahas tentang beberapa sistem rangka sebagai struktur untuk konstruksi bangunan berlantai banyak.

#### a) Rangka Momen (*Moment Frames*)

Suatu rangka momen memperoleh kekakuan lateral terutama dari tekukan kaku dari elemen rangka yang saling dihubungkan dengan sambungan kaku. Sambungan ini harus didesain sedemikian rupa sehingga punya cukup kekuatan dan kekakuan, serta punya kecenderungan deformasi minimal. Deformasi yang akan terjadi harus diusahakan seminimal mungkin berpengaruh terhadap distribusi gaya internal dan momen dalam struktur atau dalam keseluruhan deformasi rangka. Suatu rangka kaku tanpa pengekang (*unbraced*) harus mampu memikul beban lateral tanpa mengandalkan sistem *bracing* tambahan untuk stabilitasnya. Rangka itu sendiri harus tahan terhadap gaya-gaya rencana, meliputi beban dan gaya lateral. Disamping itu, rangka juga harus mempunyai cukup kekakuan lateral untuk menahan goyangan bila dibebani gaya horisontal dari angin dan gempa. Walaupun secara detail, sambungan kaku mempunyai nilai ekonomis struktur yang rendah, namun rangka kaku tanpa pengekang menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam merespon beban dan gempa. Dari sudut pandang arsitektural, akan banyak keuntungan bila tidak digunakan sistem *bracing* triangulasi atau sistem dinding solid pada bangunan.

## b) Rangka Sederhana



Gambar 4.43. Rangka Sederhana dengan Bracing

Sumber: Chen &amp; Liu, 2005

Suatu sistem rangka sederhana mengacu pada sistem struktur dimana balok dan kolom dihubungkan dengan sambungan baut (*pinned-joints*), dan sistem ini tidak mempunyai ketahanan terhadap beban lateral. Stabilitas struktur ini dicapai dengan menambahkan sistem pengaku (*bracing*) seperti pada gambar 4.43. Dengan demikian, beban lateral ditahan oleh bracing. Sedangkan beban vertikal dan lateral ditahan oleh sistem rangka dan sistem bracing tersebut.

Beberapa alasan penggunaan rangka dengan sambungan baut (*pinned-joints frame*) dalam desain rangka baja bertingkat banyak adalah :

- Rangka jenis ini mudah dilaksanakan
- Sambungan baut lebih dipilih dibandingkan sambungan las, yang umumnya memerlukan pengawasan khusus, perlindungan terhadap cuaca, dan persiapan untuk permukaannya dalam pengerjaannya.
- Rangka jenis ini mudah dari segi desain dan analisis.
- Lebih efektif dari segi pembiayaan. Penggunaan sistem bracing pada rangka sederhana lebih efektif bila dibandingkan dengan penggunaan sambungan kaku pada rangka sederhana.

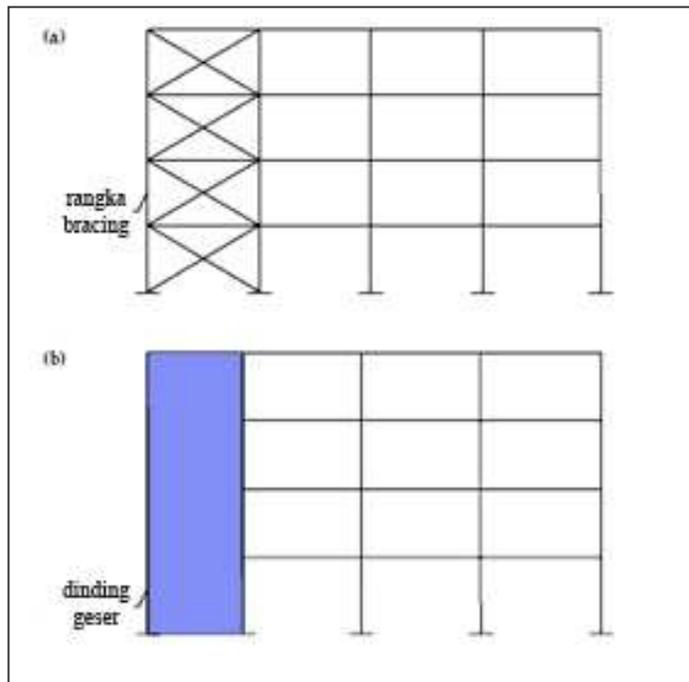
**c) Sistem Pengekang (*Bracing Systems*)**

Sistem bracing menjamin stabilitas lateral dari keseluruhan kinerja rangka. Sistem ini bisa berupa rangka triangulasi, dinding geser atau core, atau rangka dengan sambungan kaku. Umumnya bracing pada gedung ditempatkan untuk mengakomodasi ruang lift dan tangga.

Pada struktur baja, umumnya digunakan truss triangulasi vertikal sebagai bracing. Tidak seperti pada struktur beton, dimana semua sambungan bersifat menerus, cara yang paling efisien pada baja digunakan sambungan berupa penggantung untuk menghubungkan masing-masing elemen baja. Untuk struktur yang sangat kaku, dinding geser / *shear wall* atau core umum digunakan. Efisiensi bangunan dalam menahan gaya lateral bergantung pada lokasi dan tipe sistem bracing yang digunakan untuk menggantikan dinding geser dan core di sekeliling shaft lift dan tangga.

**d) Rangka dengan Pengekang (*Braced Frame*) dan Rangka Tanpa Pengekang (*Unbraced Frame*)**

Sistem rangka bangunan dapat dipisahkan dalam dua macam sistem, yaitu sistem tahanan beban vertikal dan sistem tahanan beban horisontal. Fungsi utama dari sistem bracing ini adalah untuk menahan gaya lateral. Pada beberapa kasus, tahanan beban vertikal juga mempunyai kemampuan untuk menahan gaya horisontal. Untuk membandingkan kedua sistem bracing ini perlu diperhatikan perilaku sistem terutama responnya terhadap gaya-gaya horisontal.



**Gambar 4.44. Sistem Bracing Umum : (a) sistem rangka vertikal, (b) dinding geser-shear wall**

Sumber: Chen & Liu, 2005

Gambar 4.44 menunjukkan perbandingan antara kedua sistem bracing di atas. Struktur A menahan beban horisontal dengan sistem *bracing* yang merupakan kesatuan dengan struktur utama. Sedangkan struktur B menahan beban horisontal dengan sistem bracing yang sifatnya terpisah dari struktur utama.

Suatu rangka dapat diklasifikasikan sebagai rangka berpengaku (*braced*) bila tahanan terhadap goyangan disediakan oleh sistem *bracing* sebagai respon terhadap beban lateral, dimana pengekang tersebut mempunyai cukup kekakuan dan dapat secara akurat merespon beban horisontal. Rangka dapat diklasifikasikan sebagai rangka berpengekang (*braced*) bila sistem bracing mampu mereduksi geser horisontal lebih dari 80%.

**e) Sway Frame dan Un-sway Frame**

Suatu rangka dapat diklasifikasikan sebagai '*un-sway frame*' bila respon terhadap gaya horisontal dalam bidang cukup kaku untuk menghindari terjadinya tambahan gaya internal dan momen dari pergeseran horisontal tersebut. Dalam desain rangka bangunan berlantai banyak, perlu untuk memisahkan kolom dari rangka dan memperlakukan stabilitas dari kolom dan rangka sebagai masalah yang berbeda.

Untuk kolom dalam rangka berpengaku, diasumsikan bahwa kolom dibatasi pada ujung-ujungnya dari geser horisontal, sehingga pada ujung kolom hanya dikenai momen dan beban aksial yang diteruskan oleh rangka. Selanjutnya diasumsikan bahwa rangka sebagai sistem bracing memenuhi stabilitas secara keseluruhan dan tidak mempengaruhi perilaku kolom.

Pada desain '*sway frame*', kolom dan rangka saling berinteraksi satu sama lainnya. Sehingga pada desain '*sway frame*', harus dipertimbangkan bahwa rangka merupakan menjadi bagian atau merupakan keseluruhan struktur bangunan tersebut.

---

**Pertanyaan pemahaman:**

9. Bagaimanakah prinsip-prinsip umum suatu struktur rangka batang?
10. Bagaimana prinsip metode analisis rangka batang yang umum digunakan?
11. Bagaimanakah prinsip desain balok?
12. Pada analisis perilaku umum balok, aspek-aspek apa saja yang perlu diperhatikan?
13. Bagaimanakah prinsip desain kolom?
14. Bagaimanakah perbedaan analisis untuk kolom pendek dan kolom panjang?

15. Sebutkan dan jelaskan sistem struktur apa saja yang umum diaplikasikan pada bangunan?
16. Jelaskan aspek-aspek yang perlu diperhatikan pada analisis rangka kaku!
17. Sebutkan dan jelaskan beberapa sistem rangka untuk bangunan bertingkat banyak?

**Tugas pendalaman:**

Cari sebuah contoh bangunan bertingkat, uraikan dan gambarkan rangkaian bagian-bagian atau komponen strukturnya. Komponen struktur dan rangkaianannya harus menggambarkan satu kesatuan sistem struktur pembentuk bangunan. Komponen struktur dapat merupakan sistem rangka, atau sistem rangka kaku kolom dan balok.

## 5. DAYA DUKUNG TANAH DAN PONDASI

Pondasi merupakan bagian dari konstruksi bangunan yang menyalurkan beban struktur dengan aman ke dalam tanah. Untuk merancang pondasi dengan aman memerlukan data sifat/karakteristik tanah, mulai dari jenis, sifat fisik dan sifat mekanik termasuk keberadaan muka air dari tanah yang akan menerima penyaluran beban dari pondasi. Bagian berikut mempresentasikan secara garis besar keterkaitan tanah dan implikasinya pada struktur pondasi bangunan dan dinding penahan tanah.

### 5.1. Tanah dan Sifat-sifatnya

#### 5.1.1. Jenis Tanah dan Klasifikasi Tanah

Di bidang teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai material lapukan batuan yang terdiri dari butiran (agregat) mineral-mineral padat, bahan organik yang melapuk, serta zat cair serta gas yang mengisi ruang kosong diantara butiran. Sebutan dan deskripsi perbedaan fisik tanah berikut dapat membantu mengerti tentang bagaimana tanah dikelompokkan untuk kepentingan rekayasa bangunan.

- Batu (*Stone*). Batu merupakan materi yang kekal yang terbentuk dari bahan mineral yang keras, seperti granit atau batu kapur, yang hanya dapat dipindahkan dengan membor atau meledakkan. Batu tersusun dari butiran material yang saling merekat seperti halnya beton, dan merupakan bahan dari alam terkuat di bidang bangunan.
- Batu Bongkah (*Boulder*). Bongkah merupakan hasil lapukan batuan yang berukuran kira-kira diperlukan dua tangan untuk dapat mengangkat.
- Geragal/kerakal. Lapukan batuan ini relatif dapat di pegang/dipindahkan dengan satu tangan.
- Kerikil (*Gravel*). Ukuran butir ini kira-kira cukup mudah untuk dapat dipindahkan dengan jari tangan. Berdasarkan sistem pengelompokan USCS (*Unified Soil Clasification Sytem*), ukuran gravel lebih besar dari 6.5 mm (0.25 Inchi)
- Pasir (*Sand*). Butiran cukup jelas untuk dilihat, namun cukup sulit untuk diambil dengan jari. Ukuran butir pasir lebih kecil dari kerikil, 6.5 mm – 0.06 mm (0.25 – 0.002 Inch). Bersama-sama kerikil sering disebut sebagai tanah berbutir kasar.
- Lanau (*Silt*). Ukuran butir lanau lebih kecil dari pasir, yakni berkisar antara 0.06 – 0.002 mm (0.002 – 0,00008 mm. Lanau ini relatif memiliki sifat mirip pasir, tanah berbutir.
- Lempung (*Clay*). Butiran lempung berukuran lebih kecil dari lanau, kurang dari 0.00008 mm. Karena kecilnya ukuran dan berbutir

1. lingkup pekerjaan dan peraturan bangunan

lempeng, jenis tanah ini bersifat stabil, sangat dipengaruhi kandungan pori dan jumlah air yang mengisi pori tanah lempung.

- Humus (*peat*). Humus dan jenis tanah organik lain tidak diperkenankan untuk menerima beban pondasi. Karena banyak mengandung bahan organik, butiran tanah ini tidak kekal dan mudah berubah volume karena dipengaruhi oleh faktor biologis dan usia.

Untuk kepentingan bidang teknik sipil deskripsi tersebut masih kurang untuk dapat menggambarkan jenis, simbol dan sifat tanah. Karenanya, dilakukanlah sistem klasifikasi tanah oleh sekelompok ahli atau lembaga mulai dari bidang pertanian hingga bidang transportasi. *Unified Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway Transportation Officials System (AASHTO)* adalah sistem klasifikasi yang banyak dirujuk dan relevan untuk kepentingan bidang teknik sipil, seperti tercantum pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1. Klasifikasi Tanah Menurut USCS**

Sumber: Brockenbrough dkk, 2003

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab		
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa – sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> = 1 – 4 CC = D <sub>30</sub> ²/D <sub>10</sub> = 1-3	
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW	
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7	
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7	
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butir halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> ≥ 6 CC = D <sub>30</sub> ²/D <sub>10</sub> = 1-3	
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW	
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25	
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25	

**Tabel 5.1. Klasifikasi Tanah Menurut USCS (lanjutan)**

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab
Tanah Berbutir Halus (Lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 200 (Ø 0.075 mm))	Lanau bercampur Lempung dengan batas cair (Liquid Limit) kurang dari 50%	ML	Lanau tak organik dengan sedikit pasir halus, bubuk batu, atau pasir halus berlempung dengan sedikit plastis	Indeks Plastisitas < 7 dan LL < 30 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
		CL	Lanau berlempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lanau bercampur lempung, pasir halus	Indeks Plastisitas < 7 dan LL > 30 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25
		OL	Lanau organik atau lanau berlempung organik dengan plastisitas rendah-sedang	LL > 30 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
	Lempung bercampur lanau dengan batas cair lebih dari 50%	MH	Lempung tak organik, lempung bercampur lanau, pasir halus	LL > 50 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	Indeks Plastisitas < 7 dan LL < 50 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang hingga tinggi	LL > 30 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
		PT	Humus dan tanah dengan kadar organik tinggi	

### 5.1.2. Pengujian Tanah

Pengujian tanah untuk keperluan perancangan pondasi dapat berupa uji tanah di lapangan dan uji tanah di laboratorium, baik itu berupa uji fisik maupun uji mekanik, uji untuk mengetahui angka kekuatan tanah. Uji tanah di lapangan diperlukan untuk mencari data langsung dari lapangan. Uji ini dapat berupa uji lapisan tanah dengan alat bor (*soil boring*), uji kepadatan maupun kekerasan tanah. Uji Kekerasan tanah dapat berupa uji penetrasi standar (*standard penetration test*), uji sondir/uji penetrasi konus (*Cone penetration test*). Uji lapangan ini termasuk pelaksanaan pengambilan sampel tanah untuk keperluan uji laboratorium.

Sedangkan untuk uji di laboratorium dapat berupa analisis butiran dan komposisi butiran/ gradasi, kadar air, berat isi, berat jenis (*specific gravity*) uji geser dengan alat geser langsung maupun dengan alat triaxial hingga uji pemampatan tanah (*consolidation test*). Berikut di sampaikan sebagian uji tanah yang perlu untuk diketahui terkait dengan sifat tanah.

#### a) Uji Kadar Air

Kandungan air pada jenis tanah tertentu sangat berpengaruh terhadap sifat fisik maupun kekuatannya. Karenanya uji kadar air uji awal yang paling banyak dilakukan terkait dengan fisik tanah. Kadar air dinyatakan dalam angka persentase (%). Formula untuk kadar air (*water content*) dapat dikemukakan sebagai berikut.

$$W_c = W_w/W_{sd} * 100\% \quad (5.1)$$

Dimana:  $W_w$  = berat air yang dikandung tanah =  $W_s \text{ wet} - W_s \text{ dry}$   
 $W_s \text{ dry}$  = berat tanah kering oven.

**b) Uji ukuran butir tanah dan gradasi tanah**

Uji untuk mengetahui karakter fisik terkait dengan ukuran butiran yang umumnya cukup dilakukan dengan analisis ayakan (*Sieve analysis*) untuk tanah berbutir kasar. Sedang untuk tanah berbutir halus seperti lempung diperlukan uji dengan Hydrometer (*Hydrometer test set*). Peralatan uji ayakan dan *hydrometer* ditunjukkan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.

Dari pengujian dengan analisis ayakan akan diperoleh indeks ukuran butiran tanah mulai dari dari diameter butiran paling banyak / dominan, koefisien gradasi tanah maupun koefisien keseragaman tanah yang diperlukan untuk mengklasifikasikan tanah. Diameter lubang saringan dan contoh isian tabel uji ayakan untuk keperluan klasifikasi stanah ditunjukkan pada Tabel 5. 2 dan Tabel 5.3.



**Gambar 5.1. Set ayakan untuk uji ukuran butir dan gradasi tanah**  
Sumber: Dok. Lab TS-FTUM



**Gambar 5.2. Set alat uji Hidrometer**  
Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

**Tabel 5.2. Nomor Pengenal, Ukuran Lubang Ayakan (Sieve Size) untuk Uji Tanah**

Sumber: MBT Bandung

No	No. Pengenal Ayakan	Ø Lubang Ayakan		No.	No. Pengenal Ayakan	Ø Lubang Ayakan	
		(mm)	(Inch)			(mm)	(Inch)
1	4	4.75	1.87	8	50	0.30	0.12
2	6	3.35	1.32	9	60	0.25	0.10
3	8	2.36	0.93	10	80	0.18	0.07
4	10	2.00	0.79	11	100	0.15	0.06
5	20	0.85	0.33	12	140	0.106	0.04
6	30	0.60	0.24	13	170	0.088	0.03
7	40	0.425	0.17	14	200	0.075	0.03

**Tabel 5.3. Contoh analisis saringan menurut SNI 1968 - 1990 – F**

Sumber: Dokumen Laboratorium Teknik Sipil UM, 2004.

No.	Diameter Saringan (mm)	Berat Saringan Kosong (Gr)	Berat Saringan + Tanah (Gr)	Berat Tanah Tertahan (Gr)	Σ Berat Tanah Tertahan (Gr)	Σ % Berat Tertahan	Σ % Berat. Lolos
4	4.750	441.15	456.15	15.00	15.00	5.15	94.85
6	3.000	447.10	469.60	22.50	37.50	12.87	87.13
8	2.360	430.70	460.70	30.00	67.50	23.17	76.83
16	1.180	413.12	450.62	37.50	105.00	36.04	63.96
20	0.850	428.05	443.05	15.00	120.00	41.19	58.81
30	0.600	404.25	426.75	22.50	142.50	48.91	51.09
40	0.425	315.12	345.12	30.00	172.50	59.21	40.79
50	0.300	292.30	338.01	45.71	218.21	74.90	25.10
100	0.150	396.55	421.32	24.77	242.98	83.40	16.60
200	0.075	399.90	438.71	38.81	281.79	96.72	3.28
PAN	0.000	447.95	457.50	9.55	291.34	100.00	0.00

D10 = Besaran diameter butiran sehingga 10% dari total butiran lolos/lebih kecil dari diameter tersebut.

D30 = Besaran diameter butir sehingga 30% dari total butiran lolos/lebih kecil dari diameter tersebut.

D60 = Besaran diameter, sehingga 60% butiran tanah lolos.

Koefisien gradasi (Cc) =  $(D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$

Koefisien keseragaman (Cu) =  $D_{60} / D_{10}$

$$D_{10} = 0.075 + \{(10 - 2.28) / (16.60 - 3.28)\} \cdot (0.10 - 0.075) = 0.113 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.300 + \{(30 - 25.10) / (40.79 - 25.10)\} \cdot (0.425 - 0.300) = 0.339 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.850 + \{(60 - 58.81) / (63.96 - 58.81)\} \cdot (1.180 - 0.850) = 0.926 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60} / D_{10} = 8.21$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}) = 1.10$$

**c) Batas Konsistensi Tanah (*Atterberg Limits*)**

Batas konsistensi tanah sering disebut batas Atterberg. Besaran batas konsistensi merupakan besaran kadar air (%) untuk menandai kondisi tanah terhadap kandungan air. Batas konsistensi ini terdiri dari batas cair (*Liquid Limit / LL*), batas plastis (*Plastic Limit/ PL*) maupun batas susut (*shrinkage Limit*). Batas cair merupakan kadar air tanah sehingga tanah pada kadar air tersebut bersifat layaknya zat alir/ cair. Batas plastis merupakan kadar air dimana dengan kondisi tersebut bersifat plastis dari kondisi tanah kering yang bersifat padat / keras. Sedangkan batas susut merupakan kadar air maksimum agar saat tanah dikeringkan tidak mengalami susut/ perubahan volume.

Pengujian batas cair di laboratorium digunakan cawan *Cassagrande* (Gambar 5.3). Cawan ini dilengkapi dengan piranti pemukul dengan cara mengangkat dan menjatuhkan cawan.

Jika tanah uji di letakkan pada cawan setebal 1 cm, kemudian dibuat alur menggunakan alat pembuat alur (*groover*), dan kemudian melakukan ketukan (*blow*). Akibat ketukan tersebut, alur yang dibuat akan kembali menutup. Kemudahan menutupnya alur tersebut sangat dipengaruhi oleh jumlah air dalam tanah tersebut. Batas cair merupakan kadar air tanah uji (%) jika dilakukan ketukan sebanyak 25 kali menyebabkan alur tanah pada cawan *Cassagrande* berimpit 1.25 cm (1/2 Inch).



**Gambar 5.3. Alat uji Batas Cair dan batas plastis: Cawan Cassagrande**  
Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

Batas Plastis merupakan besaran kadar air tanah dimana saat dilakukan pilinan pada contoh tanah hingga  $\varnothing$  3 mm mulai terjadi retakan dan tidak putus. Tanah uji batas plastis ini umumnya menggunakan tanah uji batas cair yang diangin-anginkan kemudian dibuat bola tanah  $\varnothing$  1 cm. Bola tanah tersebut kemudian dipilin dengan jari di atas permukaan halus. Jika kondisi pilinan tanah  $\varnothing$  = 3 mm dan mulai retak, segera lakukan uji kadar air. Kadar air pada kondisi itulah sebagai batas platis.

Indek Plastisitas (PI) merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis. Jika ditulis dalam formula adalah sebagai berikut. Indeks plastisitas inilah yang memberikan indikasi terkait dengan kerekatan/ kohesifitas keplastisan suatu tanah uji oleh pengaruh air yang dikandungnya. Tanah lempung untuk bahan genting umumnya memiliki angka/ indeks plastisitas yang lebih tinggi dibanding tanah lanau.

$$PI = LL - PL \quad (5.2)$$

Dimana: PI = Indeks plastisitas,  
LL = Batas Cair,  
PL = Batas plastis

#### d) Pengujian Kekuatan Geser Tanah

Pengujian kekuatan geser tanah dapat dilakukan dengan menggunakan Set Alat Geser langsung (*Direct Shear Test Set*) dan Alat Uji Triaxial (*Triaxial Test Set*), seperti pada Gambar 5.4. Walaupun kurang memiliki ketelitian alat geser langsung sering digunakan untuk menentukan tegangan geser tanah ( $\tau$ ) dan atau beserta sudut geser tanah ( $\theta$ ). Tanah uji untuk test ini umumnya adalah tanah asli tanpa terganggu (*undisturbed*).

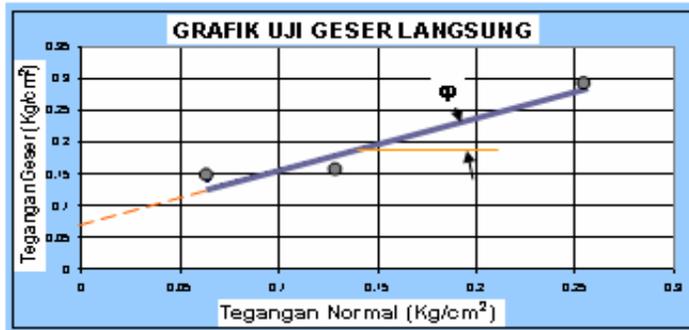
Untuk pelaksanaan uji contoh uji diberi tegangan normal ( $\sigma$ ) sebesar tekanan tanah yang ada di atas tanah uji,  $\sigma = \gamma \cdot h$ . Dimana  $\gamma$  adalah berat isi tanah dan  $h$  merupakan kedalaman tanah uji. Contoh hasil uji geser langsung dapat ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Sudut geser ( $\theta$ ) ditentukan berdasarkan kemiringan grafik uji = Arc Tan  $\tau/\sigma$ . Sedangkan angka rekatan (*cohesiveness*) ditentukan dari besaran tegangan geser pada tegangan normal  $\sigma = 0$ . Berdasarkan hasil uji tersebut didapatkan bahwa  $\theta = 37^\circ$ , dan angka kohesi ( $c$ ) = 0.075 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 5.4. Hasil Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)**

Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

Gaya Normal		N = 2.00 Kg			N = 4.00 Kg			N = 8.00 Kg		
Tegangan Normal		$\sigma = 0.0638 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma = 0.1276 \text{ Kg/cm}^2$			$\sigma = 0.2551 \text{ Kg/cm}^2$		
Waktu	Deformasi	Bacaan Dial	Gaya Geser (S)	Teg. Geser ( $\tau$ )	Bacaan Dial	Gaya Geser (S)	Teg. Geser ( $\tau$ )	Bacaan Dial	Gaya Geser (S)	Teg. Geser (t)
0' 00"	12.50	0.00			0.00			0.00		
0' 15"	25.00	10.00			20.00			20.00		
0' 30"	37.50	28.00			32.00			45.00		
0' 45"	50.00	40.00	4.40	0.14	40.00			60.00		
1' 00"	62.50	38.00			42.00			71.00		
0.00	75.00	35.00			45.00	4.95	0.16	75.00		
1' 30"	87.50				40.00			82.00	9.07	0.29
1' 45"	100.00				37.00			70.00		
2' 00"	112.50							63.00		
2' 15"	125.00									



Gambar 5.4. Grafik uji geser langsung

Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

Besaran sudut geser dalam dan besaran rekatan tersebut diperlukan untuk perhitungan geseran dari tanah untuk keperluan perhitungan pondasi maupun dinding penahan.



Gambar 5.5. Alat uji geser langsung (*direct shear test*)

Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

e) Uji Tekan Bebas (*unconfined compression test*)

Uji tekan bebas ini merupakan uji tekan searah, tanpa tahanan dari arah samping (*lateral*) dari contoh tanah silindris pada kondisi asli. Data yang dihasilkan dari uji ini adalah data tegangan tekan maksimum tanah uji. Data ini cukup bermanfaat untuk memperkirakan besaran daya dukung tanah pada tepian tebing dalam menerima beban. Uji tekan bebas ini relatif cepat dan bermanfaat sebagai data tambahan uji Triaxial



Gambar 5.6. Alat uji tekan bebas (*unconfined compression test*)

Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

**f) Uji Berat Isi Tanah ( $\gamma$ )**

Uji berat isi tanah dimaksudkan untuk menentukan berat tanah per satuan volume. Satuan yang umum digunakan adalah gr / Cm<sup>3</sup>, kg / liter atau ton / m<sup>3</sup>. Uji didahului dengan pengambilan sampel di lapangan dengan menggunakan tabung sampel. Tanah uji berbentuk silindris yang diambil kemudian dikeluarkan untuk ditimbang dan dihitung volumenya. Perhitungan berat isi dapat ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{wet}} &= W_{\text{soil wet}} / V, \text{ atau} \\ \gamma_{\text{dry}} &= W_{\text{soil dry}} / V\end{aligned}\quad (8.3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{wet}} &= \text{Berat isis tanah basah} & W_{\text{soil wet}} &= \text{berat tanah basah} \\ \gamma_{\text{dry}} &= \text{Berat isis tanah kering} & W_{\text{soil dry}} &= \text{berat tanah kering oven} \\ V &= \text{Volume tanah uji}\end{aligned}$$

Kadang berat isi tanah ini dinyatakan dalam bentuk berat isi maksimum ( $\gamma_{\text{maks}}$ ). Berat isi maksimum merupakan berat isi paling besar yang dapat dicapai oleh tanah melalui perlakuan pemadatan, baik itu pemadatan dengan tangan (*Hand Stamper*) atau dengan alat berat bermesin, dengan perlakuan kondisi kadar air tertentu. Kadar air yang memungkinkan pemadatan menghasilkan berat isi maksimum disebut sebagai kadar air optimum ( $w_{\text{optimum}}$ ). Besaran berat isi maksimum tanah dan kadar air optimum dapat dilihat pada Tabel 8.5.

**Tabel 5.5. Besaran berat isi maksimum tanah dan kadar air optimum**

Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

Simbol Klasifikasi Tanah / Deskripsi Tanah menurut USCS	Rentang Berat Isi Maks		Kadar Air Optimum (%)	
	pound/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		
GW	Kerikil murni bergradasi baik, kerikil bercampur pasir	125-135	2,002-2,163	8-11
GP	Kerikil murni bergradasi buruk, campuran kerikil pasir	115-125	1,842-2,002	11-14
GM	Kerikil berlanau, kerikil bercampur – lanau - pasir	120-135	1,922-2,163	8-12
GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung bergradasi buruk	115-130	1,842-2,082	9-14
SW	Pasir murni bergradasi baik, pasir bercampur kerikil	110-130	1782-2,082	9-16
SP	Pasir murni bergradasi buruk, pasir bercampur kerikil bergradasi buruk	100-120	1602-1922	12-21
SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau bergradasi buruk	110-125	1762-1,602	11-16
SC	Pasir bercampur lempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	105-125	1605-2002	11-19
ML	Lanau sedikit bercampur lempung tak organik	95-120	1522-1922	12-24
CL	Lempung tak organik plastisitas rendah–sedang	95-120	1522-1922	12-24
OL	Campuran lanau-lempung organik plastisitas rendah	80-100	1281-1602	21-33
MH	Lanau mengandung lempung tak organik, lanau elastis	70-95	1121-1522	24-40
CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi	75-105	1201-1,682	19-36
OH	Campuran lempung dan lanau organik	65-100	1201-1602	21-45

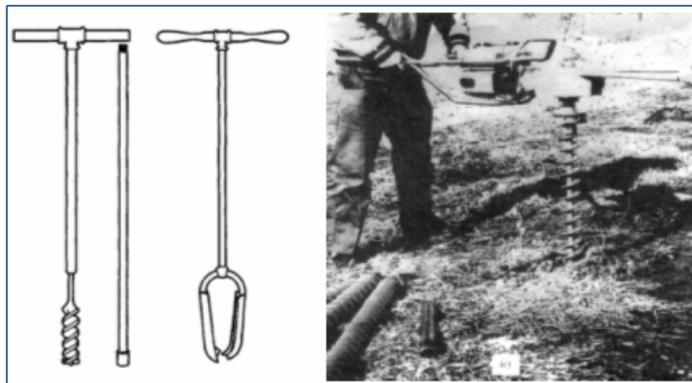
### g) Uji Triaxial

Uji triaxial ini dilakukan untuk memperoleh kekuatan geser tanah ( $\tau$ ) saat tanah menerima tegangan normal dengan besaran tertentu, dan sudut geser ( $\theta$ ). Data sangat penting untuk perancangan pondasi telapak, tiang maupun untuk perancangan dinding penahan (*retaining wall*). Sampel tanah untuk uji ini disarankan berupa tanah asli tak terganggu (*undisturbed specimen*). Uji ini sedikit mirip dengan uji tekan bebas, dengan penahan dan pengukuran ke arah samping akibat tekanan aksial.

### h) Pemboran Tanah (*Soil Boring*)

Salah satu data penting untuk perancangan pondasi dalam adalah mengetahui jenis tanah di tiap kedalaman / lapisan tanah. Alat uji ini dapat berupa bor dengan menggunakan tenaga manusia dan tenaga mesin (Gambar 5.7). Data yang dapat dihasilkan adalah berupa lembar bor (*Boring Log*) yang berisikan deskripsi fisik tanah di tiap kedalaman yang diperlukan. Deskripsi yang dimaksud umumnya tentang fisik tanah: warna tanah, jenis tanah, dan keseragaman butiran.

Uji boring biasanya disertai Uji Penetrasi Standar (SPT). Karenanya lembar data bor tersebut biasanya mencantumkan pula data SPT berupa jumlah pukulan dan tingkat kekerasan tanah.



Gambar 5.7. Set alat boring tanah dan alat pengambil sampel

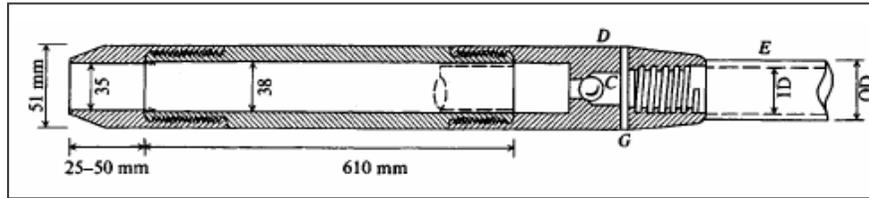
Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

### i) Uji Penetrasi Standar (*Standard Penetration Test*)

Uji ini pada prinsipnya seperti memancang tiang dalam tanah. Pengujian ini biasanya dilakukan bersamaan dengan pekerjaan *boring*, yakni mencari data kekerasan tanah yang diindikasikan dalam bentuk jumlah pukulan (*n blows*) yang diperlukan untuk memasukkan *split sampler* sedalam 30 cm. *Split sampler* merupakan ujung pancang yang dapat di belah untuk sekaligus memperoleh contoh tanah yang diukur kekerasannya. Dari contoh tanah tersebut dapat ditentukan jenis dan sifat tanah uji.

Data uji penetrasi standar tersebut belum memberikan informasi besaran kekuatan. Untuk itu diperlukan konversi jumlah pukulan terhadap

kekuatan dengan uji lain misal sondir. Tabel 5.6 menampilkan besaran jumlah pukulan dan tingkatan kepadatan untuk jenis tanah tak berkohesi (granular) dan tanah berkohesi (*cohesive soil*) seperti lempung.



**Gambar 5.8: Tipikal split sampler pada Ujung alat SPT**

Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

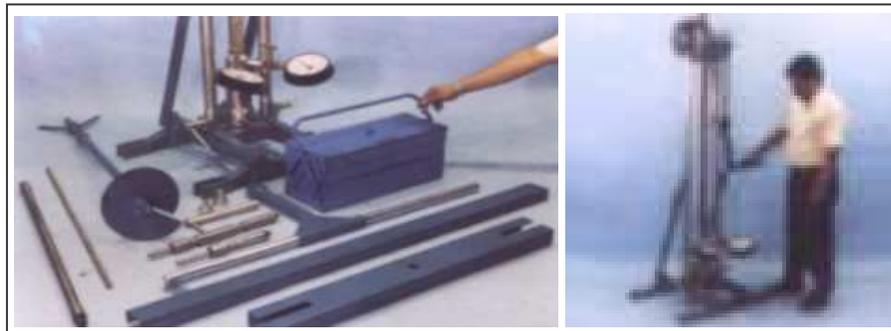
**Tabel 5.6. Jumlah pukulan hasil Uji SPT dan tingkat kepadatan tanah**

Sumber: Brockenbrough dkk, 2003

Tanah granuler		Tanah berkohesi	
Jumlah pukulan	Kepadatan	Jumlah pukulan	Kepadatan
0-4	Sangat lepas / lunak	0-1	Sangat lunak
5-10	Lepas / lunak	2-4	Lunak
11-24	Padat sedang	5-8	Kaku sedang
25-50	Padat	9-15	Kaku
> 50	Sangat padat	16-30	Sangat kaku
		31-60	Keras

#### j) Uji Sondir (*Cone Penetration Test*)

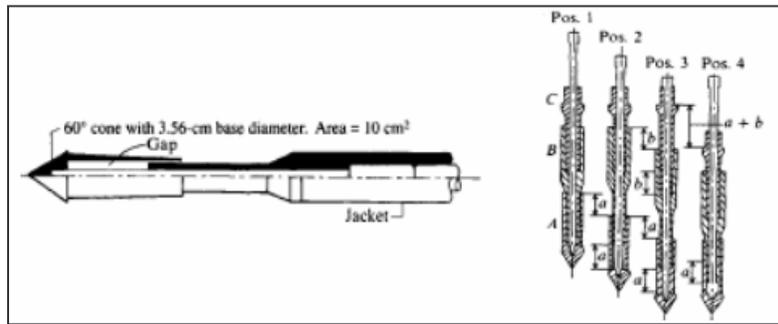
Uji ini mirip dengan uji penetrasi standar, yang membedakan adalah bahwa ujung alat ini berupa konus (Gambar 5.9) yang dimaksudkan memberikan tekanan pada pompa pengukur. Konus tersedia dua macam bentuk, konus tunggal dan konus ganda. Konus tunggal hanya dapat mengukur tahanan tanah ujung. Sedangkan konus ganda, selain tahanan tanah ujung dapat mengukur pula gesekan tanah (*soil friction*).



**Gambar 5.9. Set alat sondir (*Cone Penetration Test*)**

Sumber: Dok. Lab TS-FTUM

Ukuran kekerasan tanah maupun gesekan dapat dilihat pada manometer yang dinyatakan dalam besaran tegangan tanah ( $\text{kg/cm}^2$ ). Pengujian dengan alat ini relatif murah untuk diselenggarakan dengan hasil data yang cukup memadai untuk perancangan pondasi.



**Gambar 5.10: Konus tunggal dan konus ganda pada alat Sondir**  
 Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

## 5.2. Daya Dukung Tanah

Tanah merupakan bahan yang memiliki sifat khusus dan berbeda dengan bahan lain di bidang sipil. Ini karena konsistensi tanah dapat berubah dari sifat padat elastis, plastis hingga cair tergantung dari kandungan air. Karenanya mekanika tanah memiliki pendekatan khusus yang berbeda dari mekanika fluida maupun mekanika bahan solid seperti beton, kayu maupun baja. Namun begitu terdapat beberapa analisis mekanika tanah yang mengambil pendekatan mirip dengan mekanika fluida atau hidrostatika.

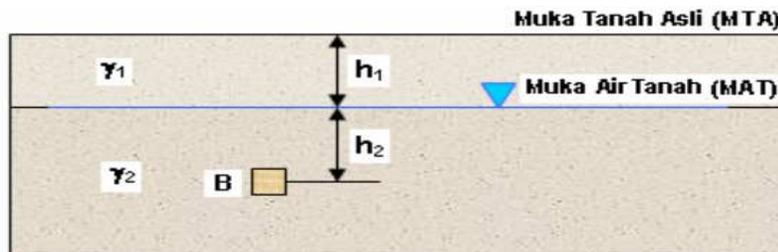
### 5.2.1. Tegangan Efektif Tanah

Tegangan ini menunjukkan besaran tegangan pada suatu titik di kedalaman akibat berat kolom tanah yang ada di atasnya. Keberadaan muka air tanah yang mungkin ada, diperhitungkan sebagai tegangan reduksi dari tegangan efektif tanah. Tegangan efektif ini diperlukan sebagai prasyarat perhitungan mekanika tanah lainnya. Ilustrasi kondisi dan besaran tegangan efektif dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\sigma_A = \gamma_1 \cdot h_1 \quad (5.4)$$

$$\sigma_B = \gamma_2 \cdot (h_1+h_2) - \gamma_w \cdot h_2 \quad (5.5)$$

Dimana:  $\gamma_s$  = berat isi tanah  
 $h$  = kedalaman tanah  
 $\gamma_w$  = berat isi air



**Gambar 5.11: Ilustrasi besaran tegangan efektif tanah**

### 5.2.2. Tegangan Tekan Tanah

Pada kondisi tertentu para perancang perlu mengetahui kuat tekan puncak, penurunan akibat mampat tanah dimana mereka bekerja. Idealnya kekuatan tersebut diperoleh dari uji *confined* dengan penahan samping sesuai situasi tanah. Karena uji *confined* merupakan uji yang relatif rumit, untuk keperluan pekerjaan skala kecil dilakukanlah uji yang lebih sederhana berupa uji tekan bebas (*unconfined test*) dan atau uji lain misal uji penetrasi standar (SPT) dan uji lain terkait dengan kuat tekan – kekerasan tanah. Secara umum tegangan tekan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = P / A \quad (5.6)$$

Dimana: P = Gaya tekan yang bekerja (kg, ton)

A = Luas tanah uji (cm<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan tekan tanah



Gambar 5.12: Ilustrasi tegangan pada tanah

Besaran pendekatan tingkat kekerasan berdasarkan hasil uji kuat tekan bebas dan uji penetrasi standar ditunjukkan pada Tabel 8.7.

Tabel 5.7. Kekerasan Tanah kohesif dari hasil uji kuat tekan bebas dan SPT

Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

Konsistensi	Kuat Tekan Bebas		Karakteristik Fisik di Lapangan	N Blow Uji SPT
	Ton/ft <sup>2</sup>	Ton/m <sup>2</sup>		
Sangat Lunak	< 0.25	< 0.82	Dengan mudah dipenetrasi beberapa inchi dengan kelingking	< 2
Lunak	0.25-0.50	0.82-1.64	Dengan mudah dipenetrasi beberapa inchi dengan ibu jari	2-4
Kaku Sedang (medium Stiff)	0.50-1.0	1.64-3.28	Dengan mudah dipenetrasi beberapa inchi dengan ibu jari dengan kekuatan sedang	5-8
Kaku (Stiff)	1.0-2.0	3.28-6.56	Dapat dipenetrasi dengan ibu jari dengan usaha sedikit kuat	9-15
Sangat Kaku (very Stiff)	2.0-4.0	6.56-13.12	Cukup kuat menahan tekanan ibu jari dapat terpenetrasi dengan tenaga dengan kuat	16-30
Keras (Hard)	> 4.0	> 13.12	Kuat menahan penetrasi ibu jari dengan kuat	> 30

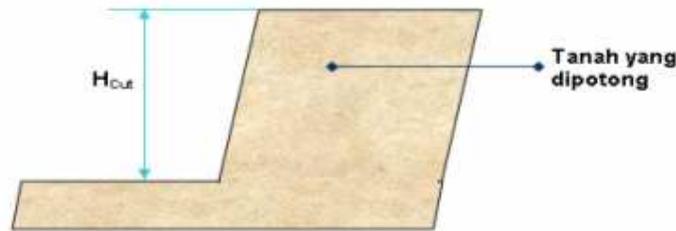
Kuat tekan ini sangat berguna untuk pendekatan perhitungan pemotongan / pengeprasan (*cut and fill*) tanah kohesif seperti lempung.

Rumus pendekatan dan skema untuk perhitungan pemotongan dapat ditunjukkan pada persamaan 5.7 dan gambar 5.13.

$$H_{cut} = 2 q_u / (\gamma_s \cdot S_F) \quad (5.7)$$

Dimana :

- H<sub>c</sub> = Tinggi pemotongan / pengeprasan tanah
- q<sub>u</sub> = tegangan tekan ultimate dari uji tekan bebas
- γ<sub>s</sub> = Berat isi tanah
- S<sub>F</sub> = Angka keamanan (*safety factor*)



Gambar 5.13. Ilustrasi perhitungan tinggi pemotongan tanah

### 5.2.3. Tegangan Geser

Kuat geser tanah sangat tergantung dari angka rekat tanah (c) besaran tegangan normal tekan (σ) dan karakter geser tanah yang diindikasikan dari sudut geser dalam tanah (θ). Besaran kuat geser tanah umumnya dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \theta \quad (5.8)$$

- Dimana: τ = tegangan geser
- c = angka rekat / kohesi tanah
- σ = tegangan normal akibat kolom tanah di atasnya
- θ = sudut geser tanah

Tabel 5.8 menunjukkan besaran sudut geser dalam dari jenis tanah granuler seperti pasir berdasarkan tingkat kekerasan

Tabel 5.8. Kekerasan dan Besaran sudut geser dalam dari jenis tanah granuler

Sumber: Brockenbrough dkk, 2003

Data	Sangat Lepas	Lepas	Padat Sedang	Padat	Sangat Padat
Jml Pukulan	< 4	5 - 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Sudut Geser (θ)	< 28.5°	28.5° – 32°	32° – 36°	36° – 41°	41° – 46°

Untuk kepentingan praktis, jenis tanah lanau atau pasir mengandung banyak lanau dengan besaran sudut 2° – 6° lebih kecil dari besaran sudut

geser tanah pasir (*granuler*). Tabel 5.9 menunjukkan besaran pendekatan untuk jenis tanah lanau.

**Tabel 5.9. Kekerasan dan Besaran sudut geser dalam dari jenis tanah Lanau**

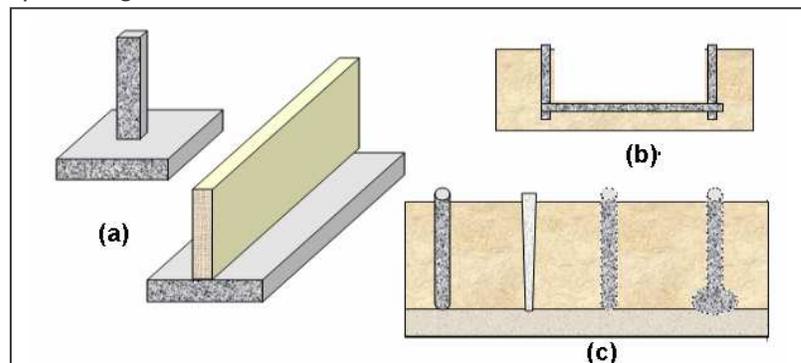
Sumber: Brockenbrough dkk, 2003

Data	Sangat lunak	Lunak	Padat Sedang	Padat	Sangat Padat
Jml Pukulan	< 4	5 - 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Sudut Geser ( $\theta$ )	< 22.5°	22.5° – 26°	26° – 30°	30° – 35°	35° – 40°

Sedang untuk jenis tanah lempung, sudut geser sangat dipengaruhi oleh tekanan pori, tekanan tambahan akibat pengaliran air dari tanah dan kecepatan pembebanan. Jika pembebanan pada tanah oleh suatu sturuktur dianggap beban sesaat/cepat, besaran pendekatan sudut geser ( $\theta$ ) untuk tanah lempung dapat diambil dengan rentangan 20° – 30°. Sedangkan jika pembebanan diasumsikan berlangsung lambat, maka besaran sudut geser ( $\theta$ ) jenis tanah ini berkisar adalah 10° – 20°.

### 5.3. Pondasi

Terdapat berbagai bentuk dan bahan pondasi yang saat ini diterapkan untuk mendukung bangunan. Bahan pondasi umumnya dibuat dari bahan yang tahan terhadap umur dan pengaruh tanah dimana pondasi tersebut di pasang. Secara umum dapat di golongan menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Walau belum ada rekomendasi yang tepat tentang batasan kedalaman pondasi, untuk keperluan praktis, pondasi dengan kedalaman < 2.50 meter merupakan pondasi dangkal. Pondasi dapat berbentuk umpak (*footing*), pondasi memanjang (*strip*) maupun pondasi pancang.



**Gambar 5.14: Macam-macam pondasi: (a) pondasi telapak (*footing*), (b) Pondasi Basement dan (c) berbagai type pondasi tiang**

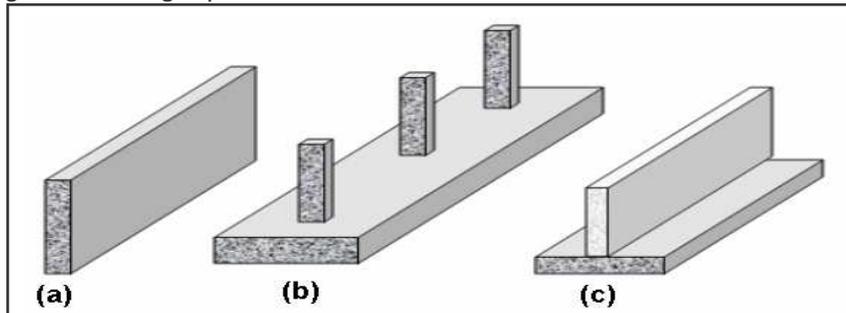
Sumber: Allen, 1999

Pondasi dangkal yang paling sederhana adalah pondasi umpak dari bahan pasangan maupun dari beton. Untuk menahan beban bangunan

relatif ringan, pondasi umpak ini cukup kuat dan dapat diselenggarakan pada permukaan tanah. Sedangkan untuk pondasi dalam tiang dapat berupa pondasi pancang dari bahan kayu, beton ataupun baja, hingga pondasi sumuran. Bentuk-bentuk pondasi ditunjukkan pada Gambar 5.14.

### 5.3.1. Pondasi telapak (*Footing Foundation*)

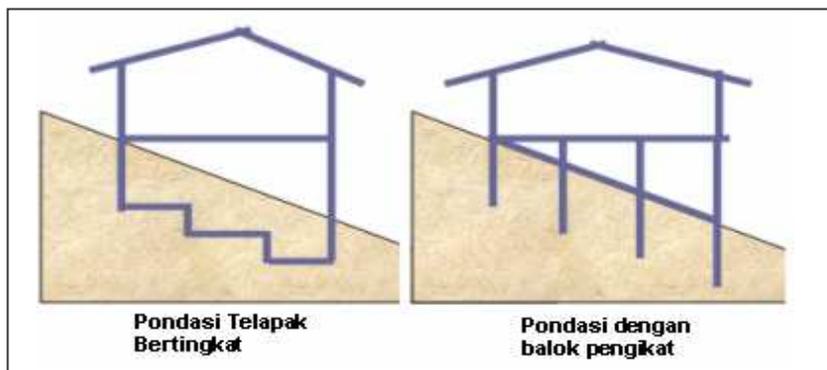
Pondasi ini umumnya diterapkan di atas tanah asli relatif keras dan atau tanah urugan yang telah dipadatkan dengan tingkat kepadatan tertentu yang disyaratkan. Prinsip utama dari pondasi telapak ini adalah mengandalkan luasan telapak untuk memindahkan beban dinding atau kolom. Bahkan jika ternyata tanah cukup keras, dinding menerus dapat difungsikan sebagai pondasi.



Gambar 5.15: (a) Pondasi dinding, (b) Telapak kolom dan (c) Telapak dinding  
Sumber: Allen, 1999

Pondasi telapak dapat berupa bahan pasangan batu, bahan beton tak bertulang maupun beton bertulang. Macam bentuk pondasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.15.

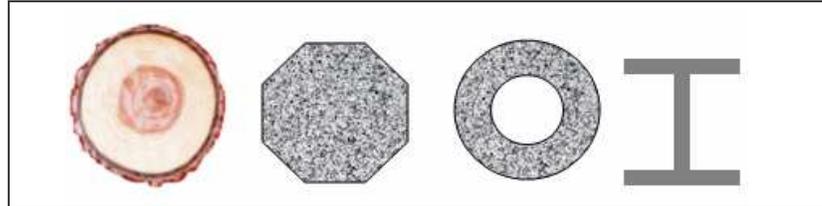
Untuk maksud ketahanan terhadap adanya pengaruh kemiringan tanah dan gempa, pondasi ini memerlukan struktur pengikat baik berupa balok pengikat miring (*grade beam*) maupun balok pengikat (*tie beam*). Ilustrasi bentuk pondasi pada tanah miring ditunjukkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16: Bentuk pondasi untuk tanah miring: Pondasi telapak bertingkat (*stepped footing*) dan pondasi dengan balok pengikat (*tie beam*)  
Sumber: Allen, 1999

### 5.3.2. Pondasi Dalam: Pondasi Tiang dan Sumuran

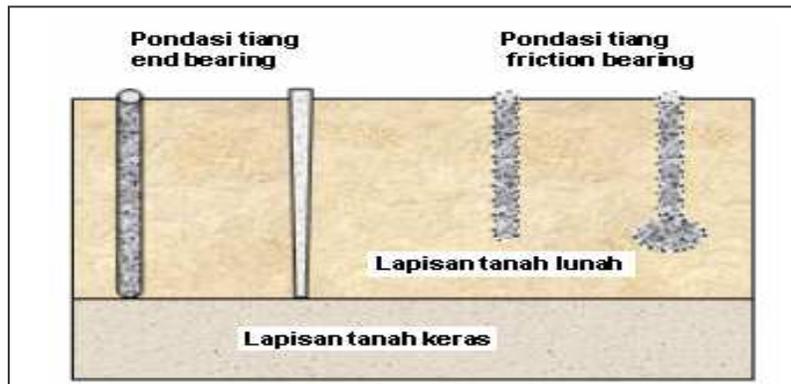
Berdasarkan perkembangannya, bahan pondasi tiang dapat berupa kayu hingga baja tahan karat. Bentuk tampang melintang pondasi tiang dapat beragam, mulai dari bentuk tiang bulat hingga bentuk propil H (Gambar 5.17). Berdasarkan cara pembuatannya, pondasi tiang ini dapat berasal dari produk pabrik atau berupa pondasi tiang cor setempat.



**Gambar 5.17: Tampang dan bahan pondasi tiang, kayu, beton dan baja**

Sumber: Allen, 1999

Berdasarkan cara penyaluran beban, pondasi tiang dapat dibagi menjadi dua jenis, pondasi tiang yang mengandalkan daya dukung ujung tiang (*end bearing*), dan pondasi tiang yang mengandalkan gesekan tanah terhadap bahan tiang (*friction bearing*). Pondasi *end bearing* menyalurkan beban kolom melalui ujung pondasi ke tanah keras. Pondasi *friction bearing* dirancang dengan memperhitungkan besar gesekan selimut pondasi untuk menerima beban.

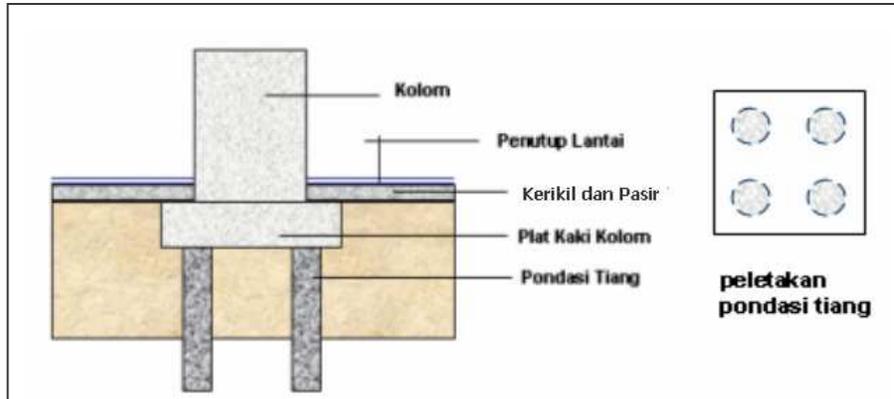


**Gambar 5.18: Tipikal pondasi tiang dalam menyalurkan beban**

Sumber: Allen, 1999

Pondasi tiang diselenggarakan dengan cara membor tanah dan mengisinya dengan adukan beton, serta menanam atau memasang pondasi tiang yang sudah jadi. Pembuatan pondasi dengan mencor beton pada lubang disebut sebagai pondasi tiang cor setempat. Sedang pondasi tiang yang dipasang dengan menanam bahan pondasi jadi disebut sebagai pondasi tiang bor.

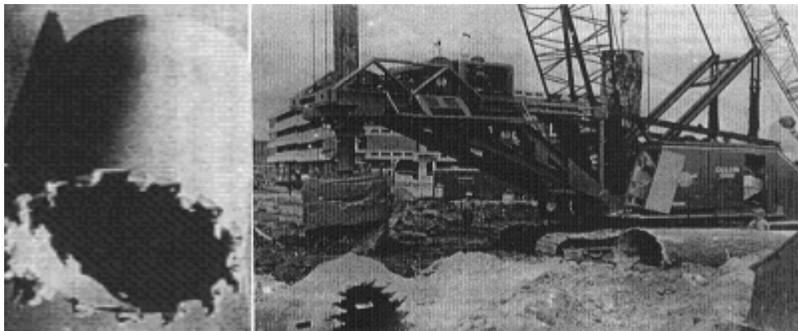
Untuk menyambung dengan kolom, pondasi tiang ganda dilakukan dengan membuat plat kaki kolom. Plat tersebut berfungsi pula sebagai pengikat antar pondasi tiang. Tipikal pemasangan pondasi tiang ditunjukkan pada Gambar 5.19.



**Gambar 5.19: Plat kaki kolom di atas pondasi tiang**

Sumber: Allen, 1999

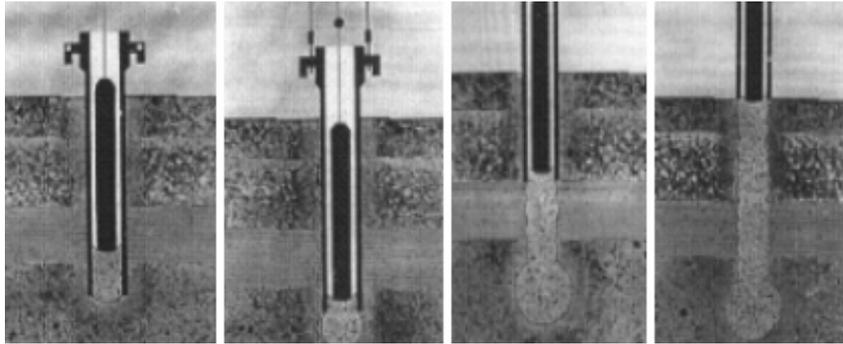
Untuk penyelenggaraan pondasi sumuran diperlukan ukuran bor yang lebih besar dari ukuran yang digunakan untuk pondasi tiang. Pondasi sumuran ini dapat berbentuk silinder penuh maupun berbentuk cincin dengan mengisi tanah di dalamnya. Peralatan untuk penyelenggaraan pondasi sumuran ditunjukkan pada gambar 5.20.



**Gambar 5.20: Peralatan boring pondasi tiang – sumuran**

Sumber: Allen, 1999

Bentuk pondasi lain adalah pondasi tiang sistem cor setempat dengan ujung pondasi dibesarkan. Pelaksanaan pembuatan pondasi tersebut dilakukan dengan cara menuang adukan beton dalam lubang pondasi. Sebelum beton mengeras, dilakukan pemberian tekanan melalui tumbukan. Dengan tumbukan tersebut adukan beton akan menekan tanah dan membuat tampang ujung pondasi tiang menjadi lebih besar. Pondasi tiang ini dikenal dengan sistem *Frankie*. Tahapan pembuatannya ditunjukkan pada Gambar 5.21.



**Gambar 5.21. Tahapan pembuatan sistem pondasi Frankie**

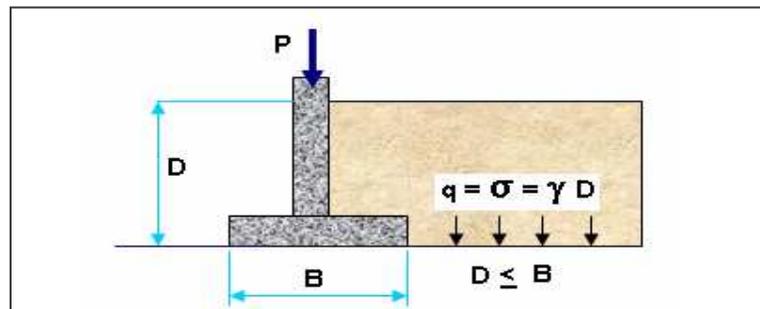
Sumber: Allen, 1999

Cara lain pemasangan pondasi dapat dilakukan dengan cara memancang langsung, tanpa dibor, dalam tanah. Pondasi ini disebut sebagai pondasi tiang pancang (*driven pile*).

### 5.3.3. Daya Dukung Tanah untuk Pondasi Dangkal

Syarat penyelenggaraan pondasi harus memenuhi persyaratan kestabilan untuk menahan beban bangunan di atasnya termasuk penurunan (*settlement*) akibat mampatnya tanah di bawah pondasi. Dengan kata lain tanah harus memiliki daya dukung yang cukup aman untuk menerima beban bangunan di atasnya.

Daya dukung tanah umumnya dinyatakan dalam besaran tegangan:  $\text{ton/m}^2$  atau  $\text{kg/cm}^2$ . Besar daya dukung sangat dipengaruhi kuat geser tanah – sudut geser, perilaku keruntuhan, berat isi tanah / kepadatan tanah dan angka rekatan. Ilustrasi untuk perhitungan daya dukung pondasi dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 5.22.



**Gambar 5.22. Data-data untuk perhitungan daya dukung pondasi**

**Pondasi Telapak Memanjang.** Besarnya daya dukung tanah paling tinggi ultimate ( $q_u$ ) untuk pondasi telapak memanjang (*wall footing*) dapat didekati dengan menggunakan formula sebagai berikut, dan grafik faktor daya dukung seperti pada Gambar 5.22.

$$q_u = c N_c + q N_q + 0.5 \gamma_b B N_\gamma \quad (5.9)$$

Dimana:  $q_u$  = daya dukung ultimate (ton/m<sup>2</sup> atau kg/cm<sup>2</sup>)  
 $c$  = angka rekatan/ kohesi tanah ((ton/m<sup>2</sup> atau kg/cm<sup>2</sup>)  
 $q$  = tegangan akibat tanah di atas tanah dasar pondasi  
 =  $\gamma_a \cdot Z$  (ton/m<sup>2</sup> atau kg/cm<sup>2</sup>)  
 $Z$  = kedalaman pondasi (m, cm)  
 $\gamma_b$  = berat isi tanah dibawah pondasi ((ton/m<sup>3</sup> atau kg/cm<sup>3</sup>)  
 $B$  = lebar pondasi memanjang / strip (m, cm)  
 $N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor daya dukung (Tabel 6.9)

**Tabel 5.9. Besarnya Faktor Daya Dukung**

Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

$\phi, \text{deg}$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.7*	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
34	52.6	36.5	36.0
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5

Untuk bentuk pondasi umpak atau *footing* setempat formula tersebut harus dikalikan faktor bentuk pondasi setempat. Besaran faktor bentuk ( $\xi$ ) dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.10.

**Tabel 5.10. Besaran Faktor Bentuk Pondasi dangkal**

Sumber: Allen, 1999

Bentuk (Dasar) Pondasi	$\xi_c$	$\xi_q$	$\xi_\gamma$
Persegi Panjang	$1 + (B/L) (N_q/N_c)$	$1 + (B/L) \tan \theta$	$1 - 0.4 B/L$
Persegi / bujur sangkar	$1 + (N_q/N_c)$	$1 + \tan \theta$	0.6
Lingkaran	$1 + (N_q/N_c)$	$1 + \tan \theta$	0.6

#### 5.4. Dinding Penahan (*Retaining Wall*): Tekanan Lateral Tanah dan Struktur Penahan Tanah

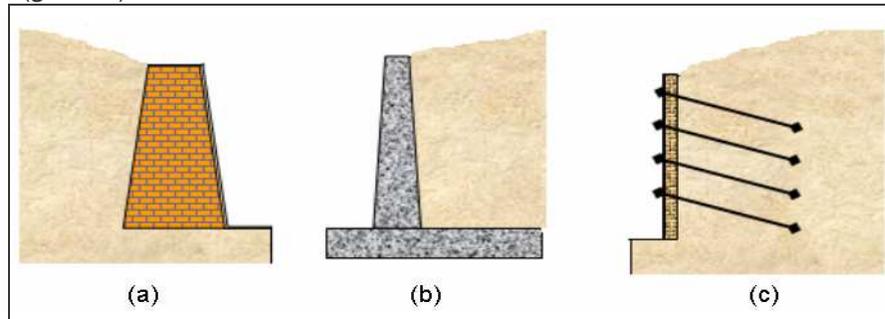
Dinding penahan tanah merupakan komponen struktur bangunan penting utama untuk jalan raya dan bangunan lingkungan lainnya yang berhubungan tanah berkontur atau tanah yang memiliki elevasi berbeda. Secara singkat dinding penahan merupakan dinding yang dibangun untuk menahan massa tanah di atas struktur atau bangunan yang dibuat.

Bangunan dinding penahan umumnya terbuat dari bahan kayu, pasangan batu, beton hingga baja. Bahkan kini sering dipakai produk bahan

sintetis mirip kain tebal sebagai dinding penahan tanah. Produk bahan ini sering disebut sebagai *geo textile* atau *geo syntetic*.

#### 5.4.1. Klasifikasi Dinding Penahan

Berdasarkan bentuk dan penahanan terhadap tanah, dinding penahan dapat klasifikasikan ke dalam tiga bentuk, yakni: (1) dinding gravity, (2) dinding semi gravity dan (3) dinding non gravity. Dinding gravity merupakan dinding penahan tanah yang mengandalkan berat bahan sebagai penahan tanah umumnya berupa pasangan batu atau bronjong batu (*gabion*).



Gambar 5.23: Macam-macam bahan dan bentuk struktur dinding penahan tanah : (a) *gravity*, (b) *cantilever*, (c) dinding dengan jangkar

Sumber: Allen, 1999

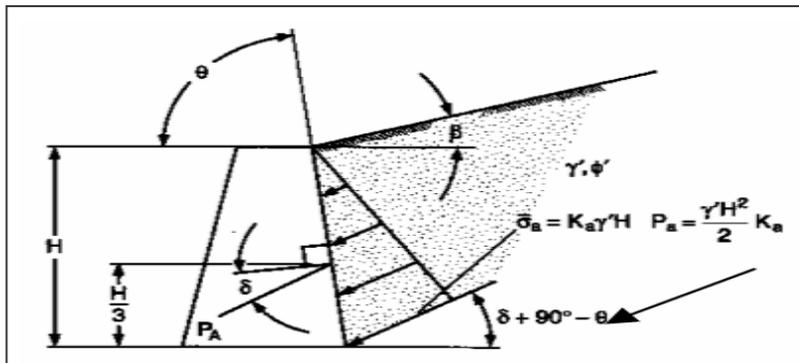
Dinding semi *gravity* selain mengandalkan berat sendiri, memanfaatkan berat tanah tertahan untuk kestabilan struktur. Sedangkan dinding non *gravity* mengandalkan konstruksi dan kekuatan bahan untuk kestabilan.

#### 5.4.2. Tekanan Lateral Tanah

Untuk dapat memperkirakan dan menghitung kestabilan dinding penahan, diperlukan menghitung tekanan ke arah samping (*lateral*). Karena massa tanah berupa butiran, maka saat menerima tegangan normal ( $\sigma$ ) baik akibat beban yang diterima tanah maupun akibat berat kolom tanah di atas kedalaman atau duga tanah yang kita tinjau, akan menyebabkan tekanan tanah ke arah tegak lurus atau ke arah samping. Tegangan inilah yang disebut sebagai tegangan tanah lateral (*lateral earth pressure*). Tegangan tanah akibat kolom tanah tersebut merupakan besaran tegangan efektif ( $\sigma_{eff}$ ) yang sebanding dengan  $\gamma H$ . Pengetahuan tentang tegangan lateral ini diperlukan untuk pendekatan perancangan kestabilan.

Tekanan tanah lateral dibedakan menjadi tekanan tanah lateral aktif dan tekanan lateral pasif. Tekanan lateral aktif adalah tekanan lateral yang ditimbulkan tanah secara aktif pada struktur yang kita selenggarakan. Sedangkan tekanan lateral pasif merupakan tekanan yang timbul pada tanah saat menerima beban struktur yang kita salurkan pada secara lateral. Besarnya tekanan tanah sangat dipengaruhi oleh fisik tanah, sudut geser,

dan kemiringan tanah terhadap bentuk struktur dinding penahan. Ilustrasi tekanan tanah dapat ditunjukkan pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24: Ilustrasi untuk Perhitungan Tekanan Lateral Tanah  
Sumber: Bowles, 1997

Besaran tekanan tanah lateral sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.24 dapat di selesaikan menurut persamaan 5.10.

$$P = \gamma H^2 K / 2 \quad (5.10)$$

Dimana: P = Besaran gaya lateral dalam (Kips/ft atau Ton/m)  
 $\gamma$  = Berat isi tanah ( kips/ft<sup>3</sup> atau ton/m<sup>3</sup>)  
 H = Ketinggian dinding (ft atau m)  
 K = Koefisien tekanan tanah aktif atau pasif

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi)}{\sin^2 \theta \sin(\theta - \delta) [1 + \sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta) / \sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \beta)}]^2}$$

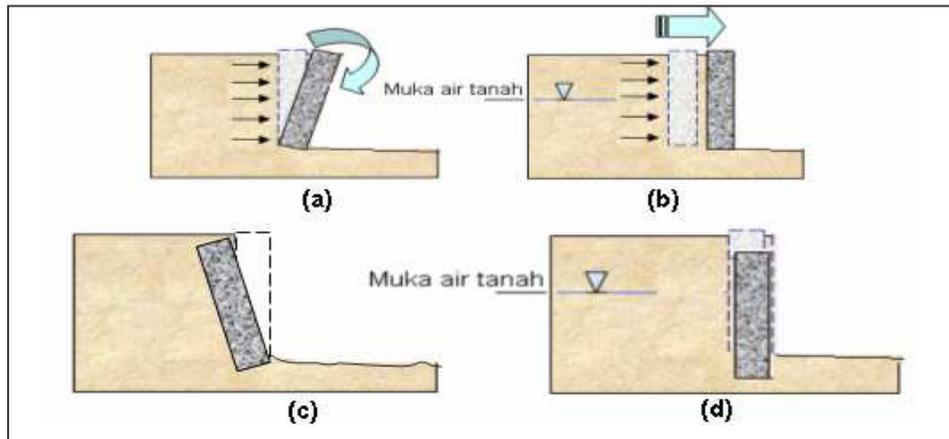
$$K_p = 1 / K_a$$

Tabel 5.11: Koefisien Tekanan lateral Tanah Aktif untuk Gambar 5.23  
Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

		ALPHA = 90					BETA = 0				
$\delta$	$\phi$	26	28	30	32	34	36	38	40	42	
0		0.390	0.361	0.333	0.307	0.283	0.260	0.238	0.217	0.198	
16		0.349	0.324	0.300	0.278	0.257	0.237	0.218	0.201	0.184	
17		0.348	0.323	0.299	0.277	0.256	0.237	0.218	0.200	0.183	
20		0.345	0.320	0.297	0.276	0.255	0.235	0.217	0.199	0.183	
22		0.343	0.319	0.296	0.275	0.254	0.235	0.217	0.199	0.183	
		ALPHA = 90					BETA = 5				
$\delta$	$\phi$	26	28	30	32	34	36	38	40	42	
0		0.414	0.382	0.352	0.323	0.297	0.272	0.249	0.227	0.206	
16		0.373	0.345	0.319	0.295	0.272	0.250	0.229	0.210	0.192	
17		0.372	0.344	0.318	0.294	0.271	0.249	0.229	0.210	0.192	
20		0.370	0.342	0.316	0.292	0.270	0.248	0.228	0.209	0.191	
22		0.369	0.341	0.316	0.292	0.269	0.248	0.228	0.209	0.191	
		ALPHA = 90					BETA = 10				
$\delta$	$\phi$	26	28	30	32	34	36	38	40	42	
0		0.443	0.407	0.374	0.343	0.314	0.286	0.261	0.238	0.216	
16		0.404	0.372	0.342	0.315	0.289	0.265	0.242	0.221	0.201	
17		0.404	0.371	0.342	0.314	0.288	0.264	0.242	0.221	0.201	
20		0.402	0.370	0.340	0.313	0.287	0.263	0.241	0.220	0.201	
22		0.401	0.369	0.340	0.312	0.287	0.263	0.241	0.220	0.201	

### 5.4.3. Kestabilan Dinding Penahan Tanah

Besaran tekanan lateral ini menjadi salah satu faktor utama yang diperhitungkan untuk perancangan kestabilan dinding penahan tanah. Tekanan lateral tersebut dapat menyebabkan dinding penahan terguling (*overturning*) atau bergeser (*sliding*). Selain besaran tekanan lateral kestabilan dinding penahan dipengaruhi pula oleh bentuk struktur dan faktor pelaksanaan konstruksi. Buruknya pemadatan tanah tertahan di belakang dinding penahan merupakan penyebab keruntuhan *undermining*. Ilustrasi kestabilan yang perlu diperiksa untuk dinding penahan ditunjukkan pada Gambar 5.25.



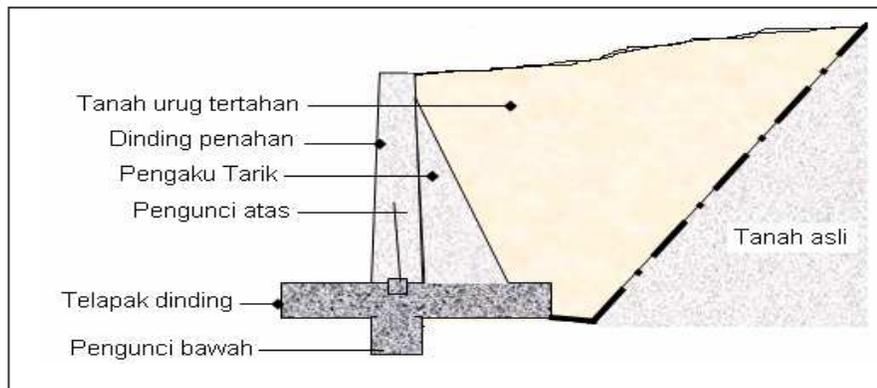
Gambar 5.25: Keruntuhan dinding penahan : (a) Guling, (b) Geser, (c) Penurunan lateral, (d) Penurunan vertikal

Sumber: Allen, 1999

### 5.4.4. Kestabilan Geser Dinding Penahan

Untuk memberikan kekuatan yang cukup melawan geseran horisontal, dasar dinding penahan harus memiliki kedalaman minimum 3 ft (1m) di bawah muka tanah. Untuk dinding permanen, kekuatan tersebut harus stabil tanpa adanya struktur penahan pasif di bagian kaki dinding.

Jika syarat kekuatan diatas tak mencukupi, dapat ditambahkan pengunci geser di bawah telapak pondasi atau tiang pancang untuk menahan geseran. Selain persyaratan kekuatan tersebut, harus dipertimbangkan pula adanya kemungkinan bahaya erosi akibat aliran maupun pengaruh hujan. Bagian-bagian utama dari struktur dinding penahan terhadap geser dapat ditunjukkan pada gambar 5.26.

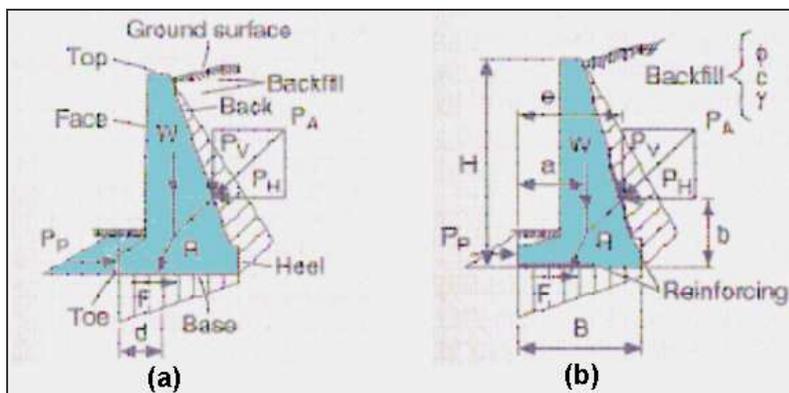


**Gambar 5.26. Bagian struktur dinding penahan tanah**

Sumber: Allen, 1999

#### 5.4.5. Kestabilan terhadap Guling

Untuk pendekatan keamanan terhadap bahaya guling dari dinding penahan yang mengandalkan berat (*gravity wall*) dan *semi gravity wall*, dapat digunakan kriteria sebagaimana ditunjukkan Gambar 5.27.



**Gambar 5.27. Kestabilan dinding penahan: (a) gravity dan (b) semi gravity**

Sumber: Bowles, 1997

#### Kestabilan untuk dinding penahan *gravity* dan *semigravity*

Letak resultan Momen pada daerah telapak (*toe*)

$$D = Wa + Pve - PH b / (W + PV)$$

Asumsi  $P_p$  (tekanan tanah pasif) di sebelah kiri diabaikan

Guling pada dinding *gravity* dan *semi gravity*

Momen pada daerah telapak

$$F_s = Wa / (PH b - P_v e) \geq 1.50$$

$F_s$  = Faktor keamanan / Factor of Safety

Abaikan bahaya guling jika diagram resultan (R) jatuh pada daerah sepertiga tengah dasar telapak

$$F_s = (W + P_v) \tan \delta + C_a B / P_H > 1.50$$

$$F_s = (W + P_v) \tan \delta + C_a B + P_p / P_H > 1.50$$

$C_a$  = Adhesi antara tanah dengan dasar bahan dinding dengan tanah

$\tan \delta$  = kuat geser tanah

$W$  = berat dinding termasuk tanah pada dinding

Data tanah relevan untuk pendekatan perhitungan tekanan tanah lateral dan kestabilan dinding penahan dapat ditunjukkan pada Tabel 5.11 tentang Properti tanah untuk perhitungan tekanan tanah aktif Rankine dan Tabel 5.12, tentang Faktor gesek untuk perhitungan dinding penahan.

**Tabel 5.12. Properti tanah untuk perhitungan tekanan tanah aktif Rankine**

Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

No	Deskripsi Tanah	Symbol	Koef. Lateral Rankine $K_a$	Berat Isi Tanah		Sudut Gesek $\phi$ (°)
				$\gamma$ (Lb/ft <sup>3</sup> )	(ton/m <sup>3</sup> )	
1	Pasir dan gravel sedikit / tanpa tanah halus	GW, GP, SP	0.25	120	1.92	37
2	Pasir dan gravel bercampur lanau	GM-GPGM-GW, SM-SP, SM-SW	0.29	120	1.92	33
3	Pasir dan gravel bercampur lanau dan lempung	GM,GC, SM, SC	0.45	100	1.60	22
4	Lanau dan lempung	ML, MH, CL, CH	0.80	125	2.02	0
5	Lempung jenuh	CL, CH	1.00	120	1.92	0

**Tabel 5.13: Faktor gesek untuk perhitungan dinding penahan**

Sumber: Gaylord Jr, dkk, 1997

No	Bahan tanah	Adhesi $C_a$	
		(lb/ft <sup>2</sup> )	(Ton/m <sup>2</sup> )
1.	Tanah kohesif sangat lunak	0 - 250	0 - 1.221
2.	Tanah kohesif lunak	250 - 500	1.221 - 2.441
3.	Tanah kohesif kau sedang	500 - 750	2.441 - 3.662
4.	Tanah kohesif kaku	750 - 950	3.662 - 4.638
5.	Tanah kohesif sangat kaku	950 - 1300	4.638 - 6.347

#### 5.4.6. Dinding Tanah Distabilisasi secara Mekanis (*Mechanically Stabilized Earth Wall/MSE*)

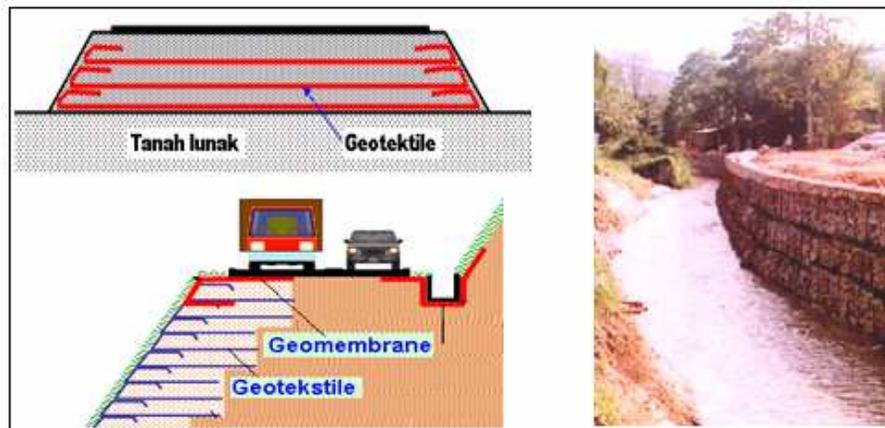
MSE dibuat dari beberapa elemen bahan yang dimaksudkan untuk penguatan dan perbaikan tanah dengan menggunakan plat baja (*steel strip*) atau bahan grid polimer (*polymeric grid*), geotekstil (*geotextile*) yang kuat menahan tarikan dan beban bahan di atasnya.

Keuntungan dinding ini dibandingkan dinding konvensional dari bahan pasangan dan beton bertulang adalah:

1. Fleksibel terhadap adanya kemungkinan penurunan
2. Cukup murah
3. Cukup efisien terhadap waktu pemasangan
4. Kapabilitas yang cukup baik untuk terjadinya drainase (*drainage*)

Terdapat dua macam produk, produk yang dapat mulur (*extensible product*), dan produk yang tak dapat mulur (*inextensible product*). Produk yang dapat meregang memungkinkan berubah bentuk akibat beban tanpa mengalami putus karena kekuatannya telah dirancang melebihi kekuatan tanah.

Dinding ini diselenggarakan untuk keperluan semi permanen dan atau jika lapangan menyulitkan membangun dinding penahan dari bahan pasangan. Kadang bahan ini digunakan sebagai stabilisasi saat pelaksanaan pekerjaan dinding penahan yang lebih permanen. Ilustrasi pemakaian dinding penahan ini ditunjukkan pada Gambar 5.28.



**Gambar 5.28. Pemakaian geotekstil dan gabion pada dinding penahan**

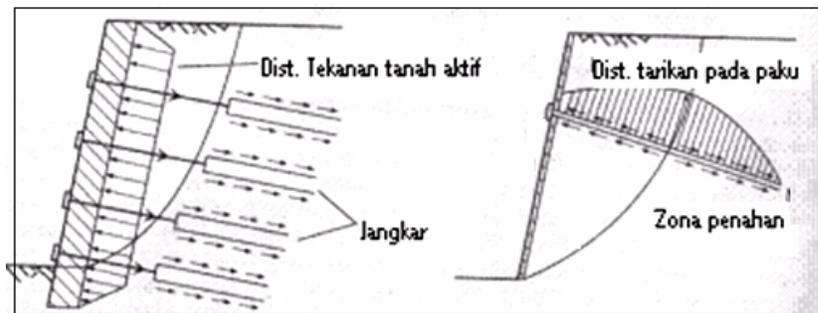
Sumber: Brockenbrough dkk, 2003

#### 5.4.7. Struktur Dinding dengan Paku

Struktur dinding ini diselenggarakan bersama-sama dengan pekerjaan penggalian atau pemotongan tanah (*excavation*). Tanah diperkuat saat dilakukan pemotongan. Perkuatan dengan paku ini menggunakan batang yang ditanam satu dengan yang lain dengan sudut miring ke bawah sebesar  $38^\circ$  dari bidang datar tanah (Gambar 5.29). Penanaman paku dilakukan dari atas ke bawah (Gambar 5.30).

Sedangkan penyelenggaraan dinding yang relatif tipis dilakukan dari bawah ke atas. Kesuksesan pemasangan ini sangat tergantung dari: (1) pemilihan tanah yang cocok untuk penanaman paku, (2) penggunaan bahan yang berkualitas, dan kelengkapan peralatan yang cocok. Tanah yang cocok

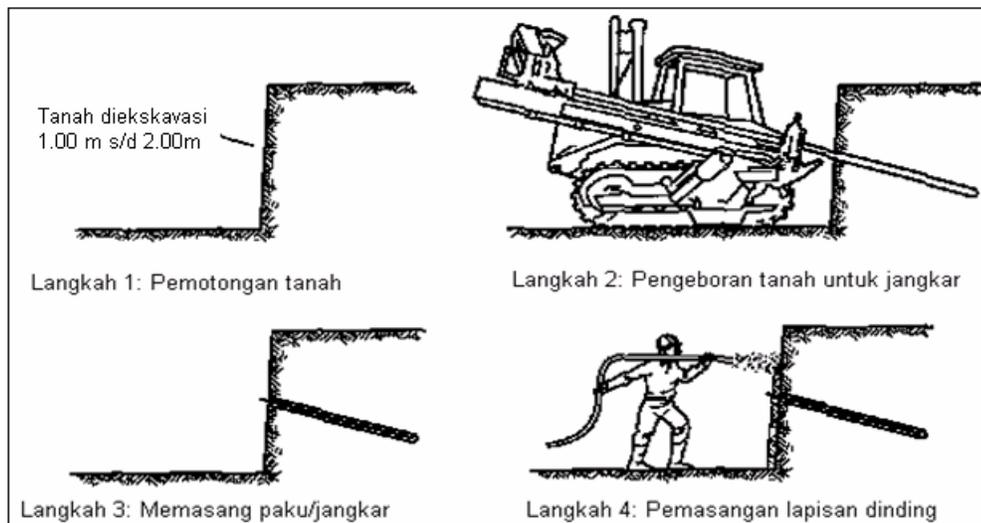
umumnya berupa tanah kohesif, pasir yang diperkeras, atau batu pecah yang dipadatkan.



**Gambar 5.29 Perilaku perkuatan dinding dengan paku.**

Sumber: Allen, 1999

Tahapan pemasangan dinding dengan paku (*nailed Wall*) dilustrasikan seperti sebagaimana gambar 5.30. Pada tahap 1 dilakukan pemotongan tanah. Tinggi pemotongan ini harus diperhitungkan agar pemotongan tidak terlalu tinggi untuk mencegah keruntuhan. Pada tahap 2 dilakukan pengeboran untuk pemasangan paku. Tahap 3 adalah pemasangan paku. Perlu diingat pemasangan disarankan dari atas ke bawah sebagai upaya untuk keamanan pelaksanaan konstruksi, yakni mengindarkan keruntuhan tanah saat pelaksanaan. Pada tahap selanjutnya dilakukan pelapisan dinding, yang disemprotkan untuk kecepatan pelapisan.



**Gambar 5.30. Tahapan Konstruksi dinding dengan paku atau jangkar**

Sumber: Allen, 1999

**Pertanyaan pemahaman:**

18. Sebutkan jenis-jenis tanah menurut perbedaan fisiknya berkaitan untuk kepentingan teknik bangunan?
19. Sebutkan dan jelaskan macam-macam uji tanah yang diperlukan untuk teknik bangunan?
20. Sebutkan dan jelaskan macam-macam jenis pondasi yang banyak digunakan?
21. bagaimanakah menghitung batas daya dukung tanah untuk pondasi dangkal?
22. Apakah fungsi struktur dinding penahan tanah?
23. Sebutkan dan jelaskan macam-macam struktur dinding penahan tanah yang banyak digunakan?

**Tugas pendalaman:**

Cari sebuah contoh hasil pengujian tanah dari sebuah proyek bangunan. Periksa dan hitung kembali tegangan efektif tanah, tegangan tanah, tegangan geser.



## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Edward (1999). *Fundamental of Building Construction: Materials and Methods*. John Willey 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*, 4<sup>th</sup>. McGraw-Hill.
- Gere dan Timoshenko (1994). *Mechanics of Materials Third Edition*. Massachusetts. Cahapman&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 Spoon.
- 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 Cassangrade 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  $\phi$

**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 kedalaman 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 tulangnya.

**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 hubungya 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 bersirip dan tidak berukir

**tulangan ulir** – batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersirip atau berukir

**tulangan spiral** – tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris

**Un-sway Frame** – suatu rangka yang mempunyai respon terhadap gaya horisontal dalam bidang cukup kaku untuk menghindari terjadinya tambahan gaya internal dan momen dari pergeseran horisontal 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 <i>safety plan</i> 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 surfece	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 susunan penulangan 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 $\pi$ - 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 978-979-060-149-9

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. 19.294,00