

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Pengertian yang paling sederhana tentang struktur dalam hubungannya dengan bangunan adalah bahwa struktur merupakan sarana untuk menyalurkan beban akibat penggunaan dan atau kehadiran bangunan kedalam tanah. Studi tentang struktur menyangkut pemahaman prinsip-prinsip dasar yang menunjukkan dan menandai perilaku objek-objek fisik yang dipengaruhi oleh gaya. Lebih mendasar, struktur juga menyangkut penentuan apa gaya itu sendiri karena menyangkut kajian suatu konsep yang agak abstrak seperti hubungan suatu bangunan dengan ruang dan ukuran. Kata “ukuran, skala, bentuk, proporsi dan morfologi” merupakan istilah yang biasa ditemukan dalam perbendaharaan kata perancangan struktur.

Salah satu cara untuk memulai mempelajari struktur dengan memahami pengertian diatas masih terlalu dini untuk dapat mengerti tentang susunan dan karakteristik suatu struktur, karena kita belum dapat mengetahui sarana apa yang dipakai dan bagaimana beban tersebut disalurkan kedalam tanah. Sehingga dengan demikian struktur dapat didefinisikan sebagai suatu entitas fisik yang memiliki sifat keseluruhan yang dapat dipahami sebagai suatu organisasi unsur- unsur pokok yang ditempatkan dalam ruang yang di dalamnya karakter keseluruhan itu mendominasi interelasi bagian-bagiannya.

Defenisi diatas menjelaskan bahwa suatu struktur adalah objek fisik yang nyata, bukan gagasan abstrak atau pokok persoalan yang menarik sehingga bukan sesuatu yang hanya diperdebatkan melainkan sesuatu yang harus dibangun dengan demikian struktur harus ditangani sesuai dengan kebutuhannya. Dan sarana fisik harus disediakan untuk mencapai tujuan yang diinginkan yang sesuai dengan prinsip-prinsip dasar tentang perilaku objek-objek fisik.

Dalam pengertian yang lebih luas juga dijelaskan bahwa struktur berfungsi sebagai keseluruhan. Hal ini merupakan masalah yang penting secara mendasar dan yang mudah dilupakan jika menghadapi bangunan yang khas yang tersusun dari sejumlah balok dan kolom yang seperti tak terhingga banyaknya. Dalam hal itu, terdapat kecenderungan yang langsung menganggap bahwa struktur hanya sebagai gabungan unsur-unsur kecil yang sendiri-sendiri di mana setiap unsur itu melaksanakan fungsi yang terpisah. Tetapi dalam kenyataannya adalah bahwa semua struktur pertama-tama dirancang untuk berfungsi sebagai suatu kesatuan secara keseluruhan dan hanya yang kedua sebagai serangkaian unsur yang berbeda-beda.

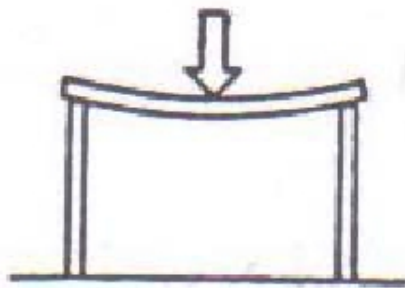
Sesuai dengan pengertian diatas maka kita dapat mengerti bahwa unsur-unsur tersebut tanpa terkecuali ditempatkan dan diinterelasikan dengan cara tertentu agar seluruh struktur mampu berfungsi secara keseluruhan dalam memikul beban, baik yang beraksi secara horizontal maupun vertikal kedalam tanah. Dengan berbagai cara, beberapa unsur ditempatkan dan digabungkan satu dengan yang lain tetapi jika resultannya dan hubungan timbal-balik diantara semua unsur tidak berfungsi sebagai unit keseluruhan dalam menyalurkan semua jenis beban yang diantisipasi kedalam tanah maka susunan itu tidak dapat disebut suatu struktur.

Acuan terhadap jenis-jenis beban yang diperkirakan dalam pernyataan diatas disertakan untuk menampilkan pentingnya kenyataan bahwa struktur itu biasanya dirancang terhadap sekumpulan kondisi beban tertentu dan hanya berfungsi sebagai struktur terhadap kondisi-kondisi itu. Struktur sering kali rapuh terhadap kondisi-kondisi yang tidak diantisipasi, sehingga tidak dimungkinkan untuk mengubah fungsi suatu struktur dalam hal pelayanannya terhadap beban yang tidak sesuai dengan kondisi rancangan awal.

Merancang suatu struktur adalah tindakan menempatkan unsur-unsur pokok dan merumuskan hubungan-hubungan timbal-baliknya dengan tujuan menanamkan karakter yang diinginkan pada entitas struktur sebagai resultannya. Gagasan bahwa unsur-unsur itu ditempatkan dan bahwa hubungan-hubungan itu ada diantara unsur-unsur itu merupakan dasar konsep merancang struktur.

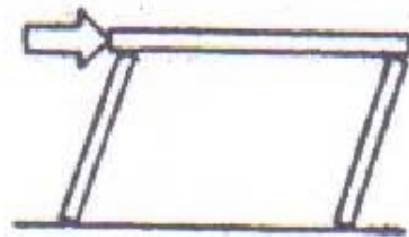
Sebagai contoh, gambar 2.1 (a) melukiskan struktur sederhana dengan kolom-kolom dan sebuah balok yang ditempatkan untuk memikul beban vertikal. Balok itu hanya bertumpu diatas kolom tanpa ikatan yang kaku (jenis hubungan ini menunjukkan jenis hubungan tertentu diantara dua batang). Jika pemasangan yang sama tiba-tiba harus memikul beban lateral seperti yang biasa terjadi karena angin yang bertiup kesamping bangunan , maka pasangan ini tidak akan berfungsi lagi sebagai suatu struktur dalam arti tidak dapat menyalurkan beban kedalam tanah. Ia akan ambruk seperti yang dilukiskan dalam gambar 2.1 (b). Dipandang dari sudut perancangan, kesulitan yang dialami oleh pemasangan ini ialah unsur- unsur yang digunakan tidak dipasang dengan tepat, tidak dihubungkan dengan tepat, atau keduanya. Pemasangan ini dapat dirancang kembali menjadi struktur yang tangguh terhadap beban lateral dengan mengubah hubungan- hubungan yang ada diantara

unsur-unsurnya dan atau mengubah penempatannya. Contoh mengubah hubungan-hubungan yang ada diantara unsur-unsurnya biasa berupa penggunaan hubungan yang kaku alih-alih hubungan yang sederhana diantara unsur-unsur itu, seperti yang terlihat dalam gambar 2.1 (c). Sambungan yang kaku pada hakekatnya berperilaku seperti kesatuan yang monolitik. Maka pemasangan itu memperoleh stabilitas dengan cara yang sangat mirip dengan cara meja memperoleh stabilitas dari hubungan yang kaku yang terdapat diantara daun meja dan kaki-kakinya. Kemungkinan yang lain adalah unsur-unsur pemasangan itu diubah penempatannya dengan cara yang diperlihatkan dalam gambar 2.1 (d), yaitu salah satu unsurnya berfungsi sebagai penopang yang memindahkan beban lateral itu kedalam tanah.



Gambar 2.1 (a)

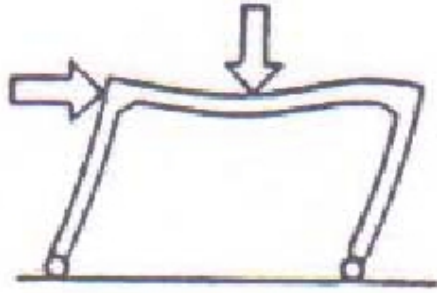
Susunan kolom dan balok untuk memikul beban vertikal. Susunan ini menunjukkan kemampuan untuk memalurkan beban ke tanah, jadi dapat disebut sebagai struktur.



Gambar 2.1 (b)

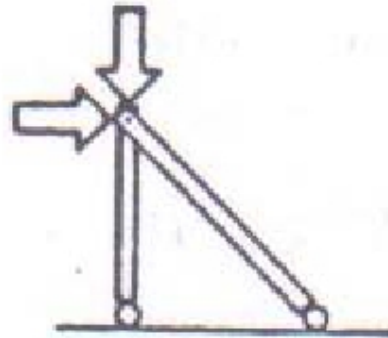
Susunan kolom dan balok dan beban horizontal. Susunan ini berfungsi sebagai struktur apabila bebannya berarah vertikal, tetapi cenderung runtuh jika dibebani horizontal

[Daniel L. Schodek, 1998]



Gambar 2.1 (c)

Hubungan antar elemen diubah; susunan struktur yang diperlihatkan pada (b) dapat diubah menjadi struktur yang mampu memikul beban vertikal maupun lateral dengan mengatur hubungan antar elemen vertikal dan horizontal. Dalam hal ini perubahan yang dilakukan adalah menjadikan hubungan itu kaku sehingga struktur tersebut stabil.



Gambar 2.1 (d)

Perubahan posisi antara elemen-elemen susunan yang diperlihatkan pada (b) dapat juga diubah menjadi struktur yang mampu memikul beban vertikal maupun horizontal dengan memilih dua elemen dan penyusunnya kembali

[Daniel L. Schodek, 1998]

2.2 Kelas-kelas Umum Struktur

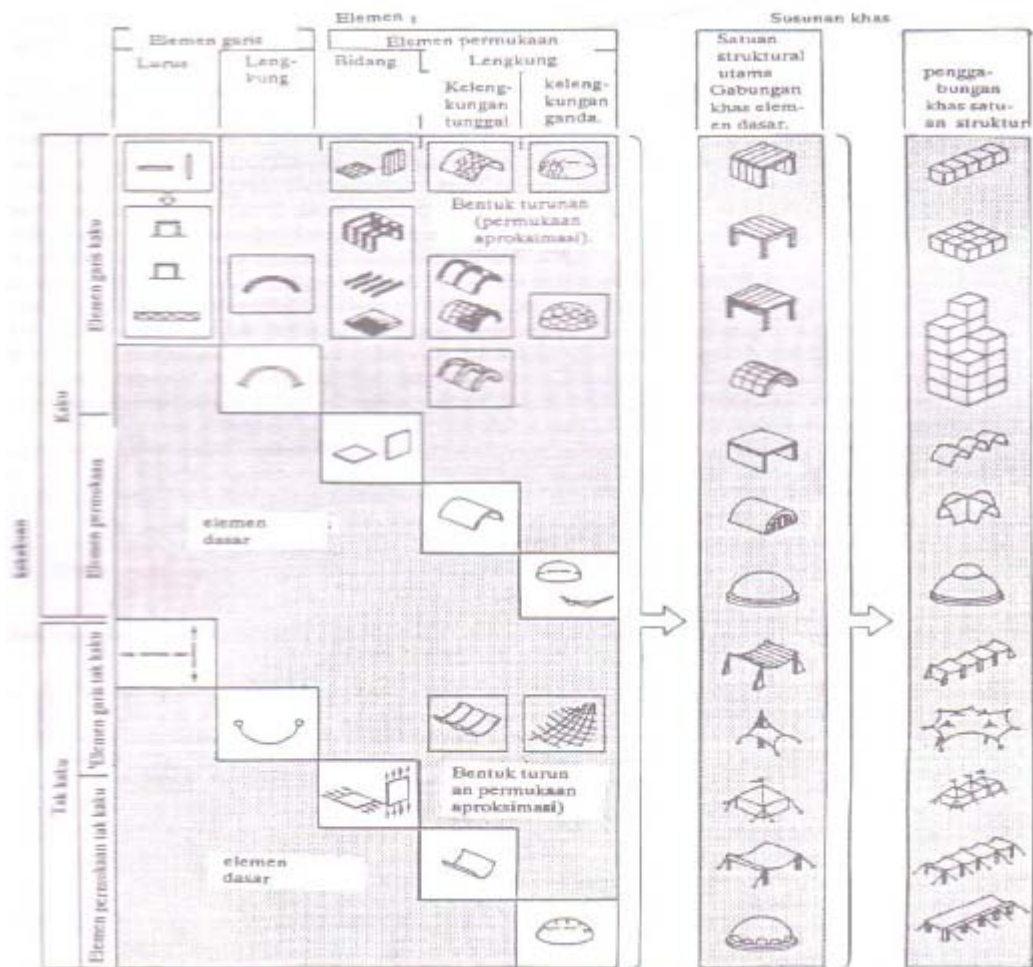
2.2.1 Struktur Utama

Dasar untuk memahami suatu bidang ilmu adalah dengan mengetahui bagaimana pengelompokan di dalam bidang tersebut secara sistematis seperti pemberian nama, urutan dan perbedaan satu bagian dengan bagian lainnya. Pengetahuan mengenai kriteria atau perkiraan pertalian yang membentuk dasar untuk mengklasifikasikan setiap jenis sangatlah penting. Dalam gambar 2.2.1 dapat kita lihat suatu metode umum untuk mengklasifikasikan elemen struktur dan sistem yang hanya menurut bentuk dan sifat fisik dasar dari suatu konstruksi.

Dari pola klasifikasi tersebut dapat dinyatakan secara tidak langsung bahwa struktur yang kompleks hanya merupakan hasil dari penambahan elemen- elemen yang lebih sederhana. Yang penting dari penambahan tersebut adalah penambahan perilaku elemen dan yang penting pada struktur adalah bahwa elemen-elemen itu ditempatkan dan saling berhubungan dengan maksud supaya struktur mempunyai sifat dapat menahan beban tertentu.

Seperti terlihat pada gambar 2.2.1, bentuk geometri secara umum dari suatu struktur tertentu adalah bentuk geometris dasar yang digambarkan pada bagian sebelah kiri dari gambar atau berasal dari beberapa kombinasi atau kesatuan dari beberapa bentuk ini. Sesuai dengan bentuk-bentuk dasar ini adalah sekumpulan elemen struktur primer yang memiliki sifat fisik tertentu.

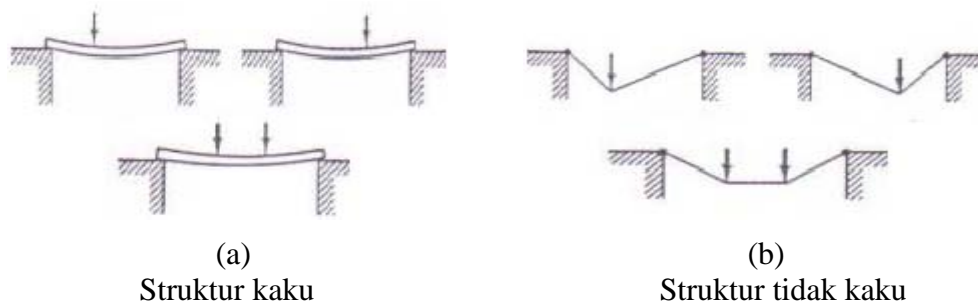
Berdasarkan geometri dasar, bentuk struktur yang ditunjukkan dalam gambar 2.2.1 dapat secara umum diklasifikasikan sebagai salah satu bentuk elemen garis atau sebagai bentuk elemen permukaan. Bentuk elemen garis dapat dibedakan sebagai garis lurus atau garis lengkung. Bentuk elemen-elemen permukaan bisa berbentuk datar atau lengkung . Elemen permukaan lengkung bias berupa lengkung tunggal atau lengkung ganda.



*Gabungan ini hanya merupakan contoh, karena banyak sekali gabungan lain yang mungkin.

Gambar 2.2.1 Klasifikasi dari elemen struktur dasar menunjukkan geometris dan sifat-sifat fisik utama. [Daniel L. Schodek, 1998]

Kekakuan juga melukiskan pengklasifikasian dasar kedua berdasarkan karakteristik kekakuan elemen struktur. Perbedaan yang utama disini adalah apakah elemen itu kaku atau fleksibel. Elemen kaku biasanya sebagai batang, tidak mengalami perubahan bentuk yang cukup besar dibawah pengaruh gaya atau pada perubahan gaya yang diakibatkan oleh beban-beban seperti terlihat pada gambar 2.2.2-a. Struktur tersebut akan selalu melendut jika dibebani walaupun dengan beban yang kecil.



(a) Struktur kaku
 (b) Struktur tidak kaku
 Gambar 2.2.2 Struktur kaku dan struktur tidak kaku
 [Daniel L. Schodek, 1999]

Elemen tidak kaku atau fleksibel seperti kabel cenderung mempunyai bentuk tertentu untuk suatu kondisi beban dan bentuk tersebut bisa berubah secara drastis apabila pembebanan berubah seperti gambar 2.2.2-b. Struktur fleksibel mempertahankan keutuhan fisiknya meskipun bentuknya berubah-ubah.

Untuk kedua jenis struktur tersebut diatas akibat yang umum dari pembebanan adalah deformasi yang terjadi pada struktur. Umumnya deformasi yang terjadi bisa memanjang atau memendek. Pada struktur fleksibel yang terjadi hanyalah gaya tarik sehingga deformasinya selalu berupa perpanjangan. Apabila kita meninjau struktur kaku yang melendut keadaan memanjang dan memendek itu dapat terjadi pada potongan melintang yang sama dari elemen tersebut.

Suatu elemen dapat diketahui kaku atau fleksibel tergantung juga pada bahan konstruksi yang digunakan pada elemen tersebut. Banyak bahan, seperti kayu, sudah bersifat kaku. Bahan lain seperti baja bisa digunakan untuk membuat batang kaku maupun fleksibel. Contoh yang baik dari bahan baja kaku adalah balok karena elemen ini tidak mengalami perubahan besar dalam bentuknya bila beban berubah-ubah. Kabel baja atau rantai baja yang bersifat fleksibel selalu mempunyai bentuk yang bergantung pada pembebanan. Kabel baja akan berubah bentuk jika pembebanan berubah. Suatu struktur dapat dinyatakan kaku atau fleksibel bergantung pada karakteristik bahan yang ada juga pada mikro susunan bahan pada elemen tersebut.

Biasanya, pendekatan yang mudah dalam mengklasifikasikan struktur adalah berdasarkan jenis bahannya misalnya kayu, baja atau struktur beton bertulang. Walaupun demikian pengklasifikasian berdasarkan bahan kadang sulit juga dilakukan karena suatu elemen bisa terdiri atas beberapa elemen yang berbeda misalnya kayu dan batang baja. Dan bila kita tinjau lebih dalam lagi maka kita akan menemukan bahwa bahan sangat berperan penting. Karena adanya hubungan yang erat antara penyebab struktur berdeformasi sebagai akibat dari beban luar, material serta metode konstruksi pada struktur. Baja bisa digunakan pada semua kondisi nyata, beton tidak bertulang hanya bisa digunakan pada situasi beton hanya menerima gaya tekan dan beton akan retak dan pecah jika diberi gaya tarik akibat terjadinya perpanjangan. Dengan demikian bahan dan juga strukturnya itu kaku hanya pada suatu kondisi beban tertentu. Beton bertulang dengan baja dapat digunakan pada situasi dimana suatu gaya menyebabkan bahan tersebut memanjang karena baja tersebut bisa dirancang untuk memikul gaya tersebut.

2.2.2 Elemen-elemen struktur utama

Elemen kaku yang umum digunakan termasuk balok, kolom, pelengkung, flat-plate, plat berkelengkungan tunggal dan cangkang mempunyai kelengkungan yang berbeda-beda. Yang termasuk elemen tidak kaku atau fleksibel adalah kabel, membran (bidang, berkelengkungan tunggal maupun ganda). Selain itu ada jenis-jenis elemen yang lain yang diturunkan dari elemen-elemen tersebut misalnya rangka (frame), rangka batang, kubah dan jaring. Pemberian nama pada suatu elemen yang mempunyai karakteristik kekakuan dan geometri tertentu dilakukan hanya untuk memudahkan saja.

2.2.2.1 Balok dan Kolom

Struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horizontal diatas elemen kaku vertikal adalah struktur yang umum dijumpai . Elemen horizontal atau yang lebih sering disebut balok memikul beban yang bekerja secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke elemen vertikal atau kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok kemudian mentransfer beban tersebut ke tanah. Balok yang melentur sebagai akibat dari beban yang bekerja secara transversal tersebut maka balok sering disebut memikul beban secara melentur. Ide mengenai lentur pada elemen struktural adalah salah satu yang terpenting. Kolom yang menumpu balok tidak melentur ataupun melendut karena kolom pada umumnya mengalami gaya aksial tekan saja.

Balok telah dipergunakan sejak dulu untuk mentransver beban vertical secara horizontal. Sistem *post-and-beam* yaitu dengan meletakkan elemen struktur horizontal secara sederhana diatas dua elemen struktur vertikal merupakan konstruksi dasar yang digunakan sejak dulu. Pada sistem tersebut, secara sederhana balok dipergunakan sebagai sistem penting dalam konstruksi. Meskipun dianggap sederhana balok memiliki karakteristik internal yang rumit dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya seperti rangka batang maupun kabel.

Sebutan masalah lentur diartikan pada studi mengenai tegangan dan deformasi yang timbul pada elemen yang mengalami aksi gaya (umumnya tegak lurus pada sumbu elemen) sehingga salah satu tepi serat mengalami perpanjangan dan tepi serat lainnya mengalami perpendekan.

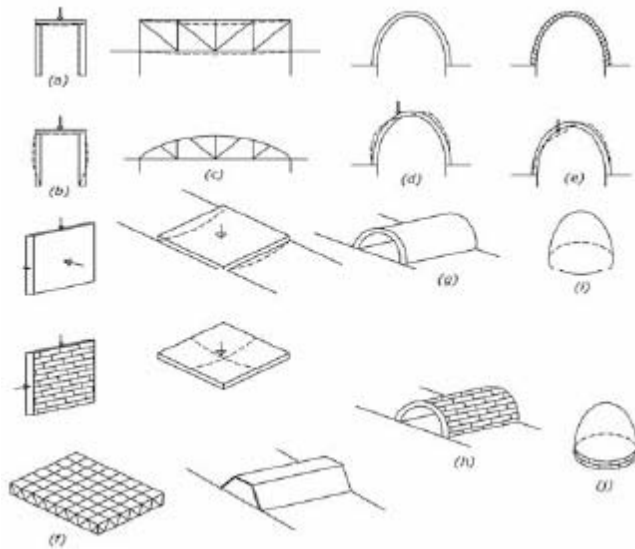
Selain dinding pemikul beban (*load-bearing-walls*), kolom juga merupakan elemen vertikal yang sangat banyak dipergunakan. Bahkan dinding pemikul beban itu sebenarnya dapat dipandang sebagai kolom yang diperluas di satu bidang. Kolom tidak selalu harus berarah vertikal. Meskipun suatu elemen struktur bisa berarah miring, asalkan memenuhi defenisi kolom yaitu beban aksial hanya diberikan di ujung-ujungnya dan tidak ada beban transversal, elemen struktur dapat disebut kolom. Dengan demikian kolom tidak mengalami lentur secara langsung (tidak ada beban tegak lurus terhadap sumbunya).

Kolom dapat dikategorikan berdasarkan panjangnya. Kolom pendek adalah jenis kolom yang kegagalannya adalah berupa kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material). Kolom panjang adalah kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), jadi kegagalannya adalah kegagalan ketidakstabilan bukan karena kekuatan. Pada kolom panjang, dimensi dalam arah memanjang jauh lebih besar dibandingkan dengan dimensi pada arah lateral. Karena adanya potensi menekuk pada jenis kolom ini, maka kapasitas pikul bebannya menjadi lebih kecil.

2.2.2.2 Rangka Kaku

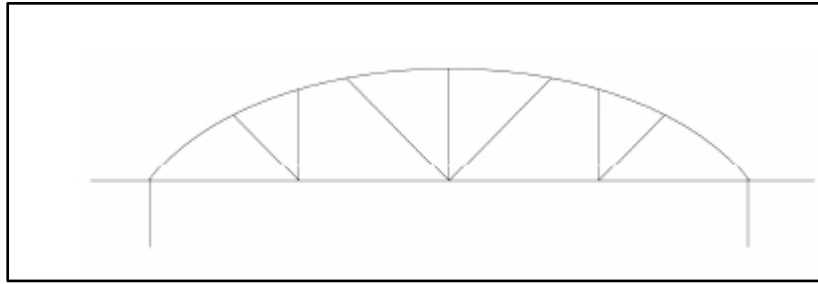
Jenis rangka yang akhir-akhir ini digunakan seperti terlihat pada gambar 2.2.3-b sepintas lalu sama saja dengan jenis balok-tiang (*post-and-beam*) tetapi sebenarnya mempunyai aksi struktural berbeda karena adanya titik hubung kaku antara elemen vertikal dan elemen horizontal. Kekakuan titik hubung ini memberikan banyak kestabilan terhadap gaya lateral. Kekakuan titik simpul yang demikian adalah salah satu dari berbagai jenis hubungan yang ada diantara berbagai elemen struktur. Pada sistem rangka, baik balok maupun kolom akan melentur sebagai akibat adanya aksi beban pada struktur (lihat gambar 2.2(3)-b). Seperti pada struktur *post-and-*

beam, panjang setiap elemen pada struktur rangka juga terbatas. Dengan demikian Elemen struktur pada sistem rangka biasanya dibuat dengan pola berulang apabila dipakai pada gedung.



Gambar 2.2.3 Struktur kaku yang umum
[Daniel L. Schodek, 1998]

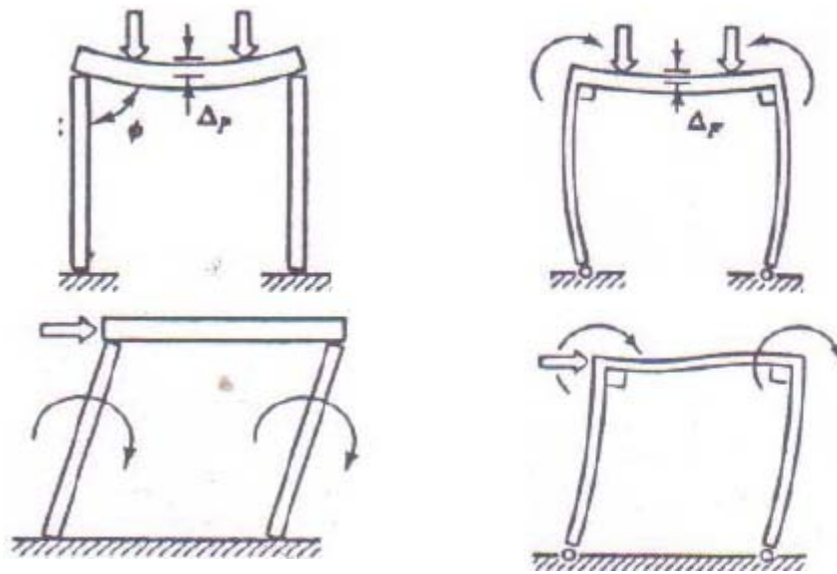
Rangka batang (trusses) adalah struktur yang dibuat dengan menyusun batang yang relatif pendek dan lurus dengan pola-pola segitiga seperti terlihat pada gambar 2.2.4. Struktur yang demikian secara eksak memang kaku karena setiap elemen garis pada struktur tersebut mempunyai posisi relatif tertentu. Berbagai pola lain (misalnya pola bujursangkar) tidak memberikan struktur kaku kecuali apabila titik hubungannya dirancang hingga seperti pada struktur rangka. Perlu diketahui bahwa rangka batang yang terdiri atas elemen-elemen diskrit melendut secara keseluruhan apabila dibebani dengan cara serupa dengan balok yang dibebani transversal, akan tetapi setiap batang tidak melentur karena hanya mengalami gaya tarik atau tekan.



Gambar 2.2.4 Rangka batang

Struktur rangka kaku (rigid frame) adalah struktur yang terdiri dari atas elemen-elemen linier, umumnya balok dan kolom yang saling dihubungkan pada ujung-ujungnya oleh *joints* (titik hubung) yang dapat mencegah rotasi relative diantara elemen struktur yang dihubungkannya. Dengan demikian elemen struktur ini menerus pada titik hubung tersebut. Seperti halnya pada balok menerus, struktur rangka kaku adalah statis tak tentu.

Banyak struktur rangka kaku yang tampaknya sama dengan sistem *post-and-beam* tetapi pada kenyataannya memiliki perilaku yang sangat berbeda karena adanya kekakuan titik hubung pada rangka kaku sehingga memungkinkan kemampuan untuk memikul beban lateral pada rangka yang kita ketahui beban demikian tidak dapat bekerja pada struktur *post-and-beam* tanpa adanya tambahan *bracing* (pengekang). Pada gedung juga telah banyak dipergunakan sistem struktur rangka kaku. Untuk mempelajari dan memahami perilaku struktur rangka sederhana dapat dilakukan dengan membandingkan perilakunya terhadap beban vertikal maupun horizontal dengan struktur *post-and-beam*. Perilaku keduanya berbeda dalam hal titik hubung yaitu titik hubung yang bersifat kaku pada rangka dan tidak kaku pada struktur *post-and-beam* seperti yang terlihat pada gambar 2.2.5.



Gambar 2.2.5 Struktur *Post-and-Beam* dan struktur rangka kaku
[Daniel L. Schodek, 1998]

Apabila mengalami beban vertikal, balok pada struktur *post-and-beam* akan memikul beban tersebut kemudian menyalurkannya ke kolom selanjutnya diteruskan ke tanah. Pada jenis ini balok terletak bebas diatas kolom dengan demikian pada saat beban menyebabkan timbulnya 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. Hal ini berarti tidak ada momen yang dapat diteruskan ke kolom oleh karena itu kolom hanya memikul gaya aksial.

Apabila suatu struktur rangka kaku mengalami beban vertikal seperti halnya pada struktur *post-and-beam* diatas maka beban tersebut juga dipikul oleh balok kemudian diteruskan ke kolom dan akhirnya diterima oleh tanah. Beban itu menyebabkan balok tersebut cenderung berotasi, akan tetapi pada jenis struktur rangka ini karena ujung atas kolom dan ujung balok berhubungan secara kaku maka rotasi bebas pada ujung balok tidak terjadi. Adanya hubungan kaku tersebut

mengandung arti kolom cenderung mencegah rotasi bebas balok. Hal ini menyebabkan hal-hal penting seperti salah satunya adalah balok tersebut lebih bersifat mendekati balok berujung jepit-jepit (bukan terletak sederhana). Dengan hal tersebut kita peroleh keuntungan-keuntungan seperti bertambahnya kekuatan struktur, berkurangnya defleksi, dan berkurangnya momen lentur internal. Hal lain yang penting dalam hubungan kaku ini adalah bahwa ujung kolom cenderung memberikan tahanan rotasionalnya, maka kolom menerima momen lentur juga selain tentu saja menerima gaya aksial sehingga desain kolom menjadi relative lebih rumit dibandingkan dengan desain kolom yang hanya memikul beban aksial.

Terhadap beban horizontal struktur *post-and-beam* dengan struktur rangka kaku sangat berbeda. Struktur *post-and-beam* dapat dikatakan tidak mempunyai kemampuan sama sekali untuk memikul beban horizontal. Adanya sedikit kemampuan pada umumnya hanyalah karena berat sendiri elemen tiang (*post*), atau adanya kontribusi elemen lain misalnya dinding penutup yang secara tidak langsung berfungsi sebagai *bracing* (pengekang). Dan perlu diingat bahwa kemampuan memikul beban horizontal pada struktur *post-and-beam* ini sangat kecil, oleh karena itu struktur rangka *post-and-beam* tidak adapat digunakan untuk memikul beban horizontal seperti beban gempa dan beban angin.

2.2.3. Satuan Struktural Utama

Satuan struktural utama adalah struktur minimum yang layak digunakan pada konteks gedung dan yang dapat digunakan baik secara individual maupun secara berulang. Sebagai contoh, empat kolom beserta permukaan bidang kaku yang ditumpu olehnya adalah satuan utama. Satuan seperti ini dapat ditumpuk maupun dapat diletakkan bersebelahan sehingga membentuk sekumpulan satuan volume yang

tergabung. Jika diletakkan bersebelahan, kolom-kolom biasanya digunakan bersama oleh masing-masing satuan. Satuan utama sering berupa peralihan antara sekumpulan elemen diskret (misalnya balok dan kolom) dan seluruh gedung. Bagaimana elemen diskret dapat digabungkan menjadi satuan merefleksikan bagaimana gedung tersebut secara aktual dilaksanakan, meskipun hal itu tidak selalu demikian. Kegunaan pemikiran mengenai struktur yang dinyatakan sebagai satuan-satuan seperti ini sangat terasa pada tahap pra-rencana. Mamfaatnya adalah dimensi satuan selalu berkaitan dengan persyaratan gedung yang ditinjau. Sebagai contoh, sebagian besar gedung dapat dipandang terdiri atas kumpulan satuan volumetrik yang ukurannya dengan penggunaan yang direncanakan.

2.3 Analisis dan Desain Struktur

Metode pengklasifikasian struktur telah memberikan tinjauan dasar sehubungan dengan bentuk geometris elemen struktur atau susunannya dan sifat fisik utamanya. Tepatnya, system klasifikasi deskriptif tersebut tidak merefleksikan hubungan yang harus ada diantara bagian-bagian yang berhubungan pada susunan struktur agar struktur dapat berfungsi sebagai satu kesatuan. Secara mudah struktur disebutkan sebagai elemen-elemen yang digabung. Akan tetapi, setiap struktur nyata harus berfungsi sebagai satu kesatuan dalam memikul beban untuk disalurkan ke tanah. Setiap penggabungan elemen tidak menjamin secara implisit bahwa strukturnya dapat berlaku demikian. Keharusan suatu struktur berfungsi sebagai satu kesatuan dalam memikul beban dapat diilustrasikan dengan menggunakan *stabilitas* dasar dari struktur yang dibebani. Ide mengenai *stabilitas* ini dijelaskan sebagai berikut.

2.3.1 Kestabilan struktur

Tinjauan dasar dalam merencanakan struktur adalah dengan menjamin adanya kestabilan pada segala kondisi pembebanan yang mungkin. Semua struktur mengalami perubahan bentuk tertentu apabila dibebani. Pada struktur stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban pada umumnya kecil dan gaya internal Yang timbul di dalam struktur mempunyai kecenderungan mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula apabila bebannya dihilangkan. Pada struktur tidak stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban pada umumnya mempunyai kecenderungan untuk terus bertambah selama struktur tersebut dibebani. Struktur yang tidak stabil tidak memberikan gaya-gaya internal yang mempunyai kecenderungan mengembalikan struktur ke bentuk semula. Struktur yang tidak stabil mudah mengalami *collapse* (runtuh) secara menyeluruh dan seketika begitu dibebani.

Ada beberapa cara dasar untuk mengubah struktur berdiri-sendiri menjadi konfigurasi stabil. Yang pertama adalah dengan menambah elemen struktur *diagonal* pada struktur. Dengan demikian struktur tidak dapat mengalami deformasi menjadi jajaran genjang. Metode lain untuk menjaga kestabilan adalah dengan menggunakan *dinding geser*. Elemen ini berupa elemen permukaan bidang kaku yang tentu saja dapat menahan deformasi akibat beban horizontal tersebut. Beton bertulang atau dinding bata dapat digunakan sebagai dinding geser. Baik dinding penuh maupun sebagian dapat digunakan padanya. Metode sederhana lain untuk memperoleh kestabilan adalah dengan mengubah hubungan antara elemen struktur sedemikian rupa sehingga perubahan sudut yang terjadi berharga konstan untuk kondisi pembebanan tertentu. Hal ini dilakukan dengan membuat titik hubung kaku diantara elemen struktur. Sebagai contoh, meja adalah struktur stabil karena adanya titik

hubung kaku diantara setiap kaki meja dengan permukaan meja, yang menjamin hubungan sudut konstan diantara elemen- elemen tersebut. Struktur yang menggunakan titik hubung kaku untuk menjamin kestabilan sering disebut sebagai rangka (*frame*).

2.3.2 Gaya dalam : Tarik, Tekan dan Lentur

Ada dua keadaan gaya internal fundamental yang timbul di dalam struktur sebagai akibat dari aksi sistem gaya eksternal yaitu *tarik* dan *tekan*. Apabila sistem gaya eksternal benar-benar bekerja di sepanjang sumbu memanjang batang, maka akan timbul gaya tekan atau tarik merata di dalam batang, bergantung pada gaya luar yang bekerja. Aksi umum gaya-gaya ini menyebabkan terputusnya atau hancurnya material. Bergantung pada apakah gaya yang ada berupa tarik atau tekan. Kapasitas pikul beban batang tarik umumnya bergantung pada jenis material yang dipakai dan pada luas penampang batang. Faktor-faktor tersebut juga menentukan kapasitas pikul batang tekan. Akan tetapi, kapasitas pikul beban batang tekan yang relatif panjang mempunyai kecenderungan berkurang apabila batang semakin panjang. Batang tekan yang panjang cenderung tidak stabil apabila dibebani dan menekuk tiba-tiba pada taraf beban tertentu yang disebut beban kritis. Ketidakstabilan tiba-tiba biasanya terjadi tanpa adanya kehancuran material. Sekalipun demikian, apabila ini terjadi struktur tersebut tetap dalam keadaan berdeformasi karena tidak dapat member gaya internal untuk mengembalikan struktur ke bentuk semula. Apabila dibebani terus maka akhirnya elemen struktur tersebut mengalami kegagalan dengan melentur. Fenomena demikian disebut tekuk (*bukling*).

Ada jenis keadaan lain yang melibatkan kombinasi gaya tarik dan tekan internal. Apabila suatu elemen struktur memikul beban eksternal yang bekerja transversal terhadap sumbu memanjang elemen tersebut (tidak dalam arah sumbu memanjang terhadap elemen struktur), aksi gaya-gaya eksternal menyebabkan terjadinya lenturan. Apabila suatu elemen melentur karena dibebani maka terjadi perubahan bentuk seperti yang terlihat dalam gambar 2.3.1. Jenis deformasi ini mempunyai ciri adanya sebagian serat yang mengalami perpanjangan dan sebagian lagi mengalami perpendekan. Pada gambar 2.3.1 terlihat bahwa pemanjangan dan perpendekan elemen struktur dapat terjadi pada penampang yang sama. Sehubungan dengan fenomena tersebut tentu ada gaya tarik dan tekan. Elemen struktur dapat melentur dibebani transversal adalah karena tarik dan tekan tersebut. Dengan demikian ada gaya tarik dan tekan internal pada penampang yang sama dan disebut momen lentur (*bending*). Elemen struktur yang mengalami lentur demikian umumnya disebut balok.



Gambar 2.3.1 Kondisi gaya internal: tarik, tekan dan lentur
[Daniel L. Schodek, 1998]

Pengenalan mengenai adanya perbedaan kapasitas pikul beban suatu elemen struktur terhadap tarik, tekan dan lentur adalah hal mendasar dalam merencanakan struktur yang efisien. Tujuan umum desain struktural sering kali berupa minimisasi lentur pada struktur. Teknik untuk melakukan hal ini sangat bervariasi tetapi prinsipnya selalu sama. Tujuan desain lainnya adalah minimisasi penggunaan batang tekan panjang. Elemen yang lebih diinginkan adalah elemen struktur tarik murni atau elemen struktur tekan pendek. Prinsip desain lainnya adalah kesesuaian jenis keadaan gaya yang ada dan pemilihan material yang cocok sehingga karakteristik material dapat dimanfaatkan dengan baik.

2.4 Prinsip-prinsip Mekanika

Mekanika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan terapan yang berhubungan dengan gaya dan gerak, dan dasar ilmu ini adalah *keseimbangan*. Sebutan *statika* digunakan untuk menunjukkan bagian dari mekanika yang khusus berhubungan dengan gaya-gaya yang bekerja pada benda tegar (*rigid bodies*) yang berada dalam keseimbangan dan diam. Sebutan *dinamika* menunjukkan bagian mekanika yang berhubungan dengan benda tegar yang bergerak. Apabila gaya *inersia* juga diperhitungkan, maka benda yang bergerak dapat juga dipandang berada dalam keseimbangan.

2.4.1 Gaya dan Momen

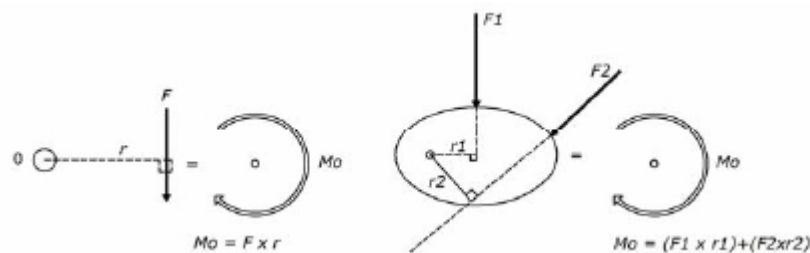
2.4.1.1 Gaya

Dasar mekanika adalah konsep gaya-gaya dan komposisi serta resultan gaya. Gaya adalah interaksi antara benda-benda. Interaksi gaya mempunyai pengaruh terhadap bentuk atau gerak, atau keduanya pada benda yang terlibat. Ditinjau dari perspektif riwayatnya pada mulanya tidak ada sesuatu pun yang jelas mengenai gaya

dan karakteristik gaya yang dinyatakan dalam besaran, arah dan efeknya. Formulasi secara tepat mengenai konsep tersebut membutuhkan uraian yang cukup panjang dipandang dari derajat abstraksi yang dilibatkan. Pada abad pertengahanlah baru mulai jelas perbedaan antara gaya dengan berat dalam arti arahnya. Nama *Jordanus de Nemore* sering dihubungkan dengan timbulnya konsep-konsep ini. Bila gaya telah dipahami secara vektorial maka dapat digunakan untuk mencari komponen gaya dan komposisi gaya resultannya. Ini dikembangkan oleh beberapa ilmuawan seperti *Leonardo da Vinci*, *Steven*, *Roberval*, dan *Galileo Galilei*. Masalah demikian sering disebut sebagai *masalah dasar* di dalam statika yang akhirnya berhasil dipecahkan dengan tuntas oleh *Varginon* dan *Newton*.

2.4.1.2 Momen

Setiap gaya yang bekerja pada suatu benda akan menyebabkan benda tersebut mengalami translasi dalam arah gaya itu. Bergantung pada titik tangkapnya, gaya itu juga dapat menyebabkan terjadinya rotasi yang disebut *momen* dari gaya tersebut (lihat gambar 2.4.1). Terhadap suatu titik atau suatu garis, besar putaran atau rotasi ini sama dengan hasil kali besar gaya dengan jarak tegak lurus dari garis kerja gaya ke titik atau garis yang ditinjau. Momen M akibat gaya P terhadap titik O dapat dengan mudah disebut $M_o = F \times r$ di mana r adalah jarak tegak lurus dari garis kerja gaya F ke titik O . r sering disebut sebagai *lengan momen* dari suatu gaya. Momen mempunyai satuan gaya kali jarak misalnya ft-lb dan N-m).



Gambar 2.4.1 Momen
[Daniel L. Schodek, 1998]

Efek rotasional total yang diakibatkan oleh beberapa gaya terhadap satu titik atau garis yang sama adalah jumlah aljabar dari momen masing-masing gaya terhadap titik atau garis tersebut. Dengan demikian :

$$M_o = (F_1 \times r_1) + (F_2 \times r_2) + (F_3 \times r_3) + \dots + (F_n \times r_n)$$

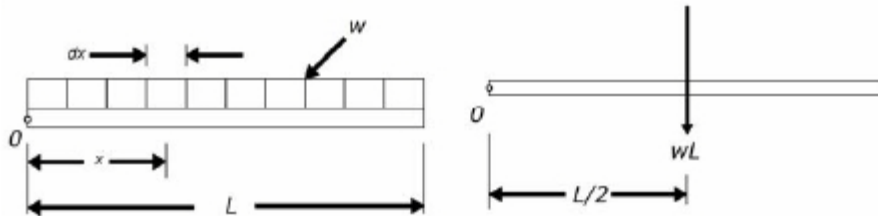
Efek rotasional terhadap benda tegar (*rigid body*) yang diakibatkan oleh banyak gaya yang bekerja terhadap suatu titik atau garis, tetapi tidak sebidang sama dengan yang diakibatkan apabila gaya-gaya tersebut sebidang.

Kopel adalah sistem gaya yang terdiri atas dua gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah dan garis kerjanya sejajar dan tidak terletak pada satu garis lurus. (⇐) Kopel hanya mengakibatkan efek rotasional (tidak ada translasional) terhadap benda. Momen akibat kopel didapat dari hasil kali antara satu gaya dan jarak tegak lurus antara kedua gaya tersebut. Dapat dibuktikan bahwa momen akibat suatu kopel tidak bergantung pada titik referensi yang dipilih sebagai pusat momen. Besar efek rotasional yang dihasilkan oleh kopel terhadap suatu benda juga tidak bergantung pada titik tangkap kopel pada benda tersebut.

Dalam analisis struktur sering kali harus menghitung momen akibat suatu bentuk beban terdistribusi yang bekerja pada suatu benda. Seperti yang terlihat dalam gambar 2.4.2(a) dimana terdapat beban terdistribusi yang besarnya konstan sebesar w lb/ft atau kN/m . Suatu bagian kecil dari beban tersebut, $w \, dx$, mengakibatkan momen terhadap titik O sebesar $(x) \, w \, dx$. Dengan demikian momen total akibat seluruh beban terhadap titik O adalah :

$$M_o = \int_0^L wx \, dx = \frac{wl^2}{2}$$

Perhatikan bahwa momen yang sama juga diperoleh dengan mengubah momen terdistribusi tersebut dengan satu beban yang ekuivalen dengan beban tadi, yang bekerja pada pusat massa beban terdistribusi. Untuk kasus diatas, beban terpusat ekivalennya adalah wL yaitu $w(\text{lb/ft}) \times L(\text{ft}) = wL \text{ lb}$ yang bekerja di $L/2$. Momen akibat sistem gaya ekuivalen ini adalah $M_o = (wL) (L/2) = wL^2/2$ yang sama dengan momen yang diperoleh dari $M_o = \int_0^L wx \cdot dx$. Teknik pemodelan beban terdistribusi menjadi terpusat sangat berguna dalam mencari reaksi pada struktur kompleks dan sering digunakan dalam analisa struktur.



(a) Beban terdistribusi merata

$$M_o = \int_0^L wx \cdot dx = \frac{wl^2}{2}$$

(b) Model ini menghasilkan momen

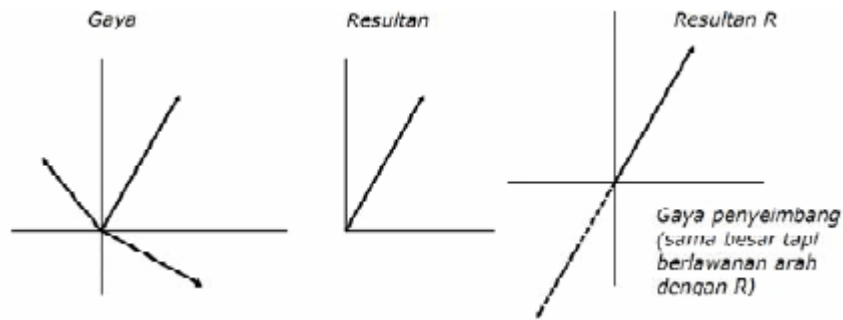
rotasi yang sama terhadap titik 0 dengan momen terdistribusi pada gambar (a)

Gambar 2.4.2 Momen akibat beban terdistribusi

2.4.2 Keseimbangan

2.4.2.1 Keseimbangan suatu partikel

Suatu benda berada dalam keseimbangan apabila sistem gaya yang bekerja pada tersebut tidak menyebabkan translasi maupun rotasi pada benda tersebut. Keseimbangan akan ada dari sistem gaya konkuren yang bekerja pada titik atau partikel apabila resultan sistem gaya konkuren tersebut sama dengan nol. Suatu sistem gaya konkuren yang mempunyai gaya resultan dapat dijadikan seimbang dengan memberikan suatu gaya yang disebut penyeimbang yang sama besar dan berlawanan arah dengan resultan tersebut.



Gambar 2.4.3 Hubungan gaya-gaya, gaya resultan dan gaya penyeimbang

Resultan dari sistem gaya kongkuren dapat diperoleh dengan meninjau komponen-komponen gaya dan menggunakan $R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$. Apabila sistem tersebut dalam keadaan seimbang maka resultan ini sama dengan nol ($R=0$), jadi haruslah $\sum F_x = 0$ dan $\sum F_y = 0$. Dengan demikian jumlah aljabar semua komponen gaya yang bekerja pada partikel dalam arah x maupun y haruslah sama dengan nol. x dan y tidak selalu horizontal dan vertikal, tetapi sistem sumbu yang saling tegak lurus, bagaimana pun orientasinya.

Secara lebih umum lagi, $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ dan $\sum F_z = 0$ adalah syarat yang perlu dan cukup untuk menjamin keseimbangan pada sistem gaya yang kongkuren. Suatu sistem gaya yang memenuhi kondisi tersebut tidak akan menyebabkan partikel mengalami translasi, dan rotasi bukan merupakan masalah karena semua gaya bekerja melalui satu titik yang sama pada sistem kongkuren.

2.4.2.2 Keseimbangan benda tegar

Apabila sistem gaya tak-kongkuren bekerja pada suatu benda tegar, maka akan ada potensial untuk mengalami translasi dan rotasi. Agar benda tegar mengalami kesetimbangan, keduanya harus tidak ada. Untuk mencegah translasi, ini mengandung arti yang sama dengan sistem gaya kongkuren, yaitu system resultan

gaya tersebut haruslah sama dengan nol. Untuk mencegah rotasi, maka haruslah jumlah momen yang diakibatkan oleh semua gaya sama dengan nol. Dengan demikian, kondisi keseimbangan benda tegar adalah :

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma F_z = 0$$

$$\Sigma M_x = 0 \quad \Sigma M_y = 0 \quad \Sigma M_z = 0$$

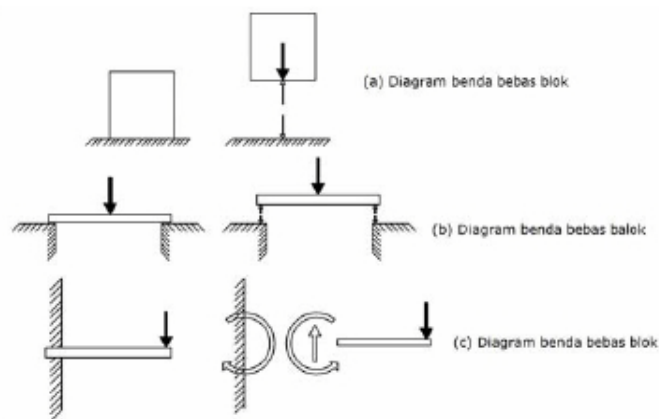
Apabila bekerja dengan sistem gaya umum, perjanjian tanda tidak merupakan masalah. Untuk maksud analisis dan desain struktural, lebih mudah apabila bekerja dengan menggunakan gaya-gaya atau komponennya pada sumbu x dan y. Untuk lebih memudahkan sebaiknya gaya-gaya yang bekerja pada arah x dan y positif akan dipandang positif dan momen yang menyebabkan rotasi berarah berlawanan jarum jam akan dipandang positif. Perjanjian tanda ini hanyalah untuk perhitungan keseimbangan. Perjanjian tanda lainnya untuk gaya dan momen internal pada struktur gaya yang ditinjau akan didefinisikan secara tersendiri.

2.4.3 Gaya Internal dan Eksternal

2.4.3.1 Sistem gaya Eksternal

Gaya dan momen yang bekerja pada suatu benda tegar dapat dibagi kedalam dua jenis utama yaitu yang bekerja dan yang reaktif. Dalam banyak penggunaan istilah teknik, gaya yang bekerja adalah gaya yang bekerja langsung pada struktur misalnya salju. Gaya reaktif adalah yang timbul akibat adanya aksi suatu benda ke benda lain dan dengan demikian umumnya terjadi pada hubungan atau tumpuan. Adanya gaya-gaya reaktif berasal dari hukum *newton ketiga* yang secara umum menyatakan bahwa apabila ada suatu aksi maka akan ada reaksi yang besarnya sama dengan arah yang berlawanan. Secara lebih tepat lagi, hukum ini menyatakan bahwa apabila suatu benda memberikan gaya pada benda lain maka benda kedua akan selalu

memberikan gaya yang sama besar dan berlawanan arah terhadap benda yang pertama. Dalam gambar 2.4.4(b), gaya-gaya pada balok menyebabkan gaya-gaya yang berarah ke bawah pada fondasi sehingga ada reaksi yang berarah keatas. Dengan demikian, ada sepasang gaya aksi dan reaksi yang terdapat pada pertemuan balok dengan fondasi. Dalam banyak hal, momen juga dapat merupakan bagian dari sistem aksi-reaksi seperti yang terlihat dalam gambar 2.4.4(c).



Gambar 2.4.4 Diagram (keseimbangan) benda bebas dan reaksi
[Daniel L. Schodek, 1999]

Sifat gaya-gaya reaksi yang timbul pada benda yang dibebani bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu atau dihubungkan dengan benda lain. Gambar 2.4.5 mengilustrasikan hubungan antara jenis kondisi tumpuan yang ada dan jenis gaya-gaya reaksi yang timbul. Beberapa jenis kondisi tumpuan yang utama diperlihatkan secara khusus, sedangkan jenis lainnya mungkin saja terjadi. Diantaranya yang terpenting adalah tumpuan sendi, tumpuan rol dan tumpuan jepit. Pada *tumpuan sendi*, titiknya memperbolehkan elemen strukturnya berotasi secara bebas tetapi tidak dapat bertranslasi ke arah manapun. Dengan demikian titik tersebut tidak dapat memberikan tahanan momen, tetapi dapat memberi tahanan gaya pada arah mana pun. *Tumpuan rol* juga dapat berotasi dengan bebas dan dapat menahan

translasi tetapi hanya pada arah yang tegak- lurus bidang terhadap tumpuan baik mendekati maupun menjauhi tumpuan. Tumpuan rol ini tidak memberikan tahanan gaya dalam arah sejajar dengan bidang tumpuan. *Tumpuan jepit* dapat menahan rotasi maupun translasi dalam arah manapun, dengan demikian tumpuan ini dapat memberikan tahanan momen dan gaya dalam arah sembarang. Jenis tumpuan lain misalnya *tumpuan kabel* dan *tumpuan sederhana*, tumpuan ini serupa dengan tumpuan rol tetapi tumpuan ini hanya dapat memberikan tahanan satu arah.

Agar suatu struktur stabil maka harus ada sejumlah tertentu tahanan gaya (dan atau momen) yang diberikan oleh tumpuannya. Untuk balok sederhana (*simple beam*) yang dibebani dengan gaya-gaya vertikal maupun horizontal harus ada tiga gaya (hal ini sesuai dengan fakta bahwa pada struktur ini harus terpenuhi kondisi seimbang : $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$, $\Sigma M = 0$). Salah satu cara adalah dengan menggunakan tumpuan jepit. Cara lainnya adalah dengan menggunakan tumpuan sendi pada salah satu ujung dan tumpuan rol pada tumpuan lainnya.

Struktur-struktur yang mempunyai hubungan atau tumpuan yang memberikan lebih banyak daripada jumlah minimum yang diperlukan disebut struktur *statis tak tentu*. Karena ada gaya berupa gaya tahanan/reaksi yang lebih banyak dari banyak persamaan keseimbangan maka dapat dicari besar masing-masing gaya tahanan hanya dengan statika.

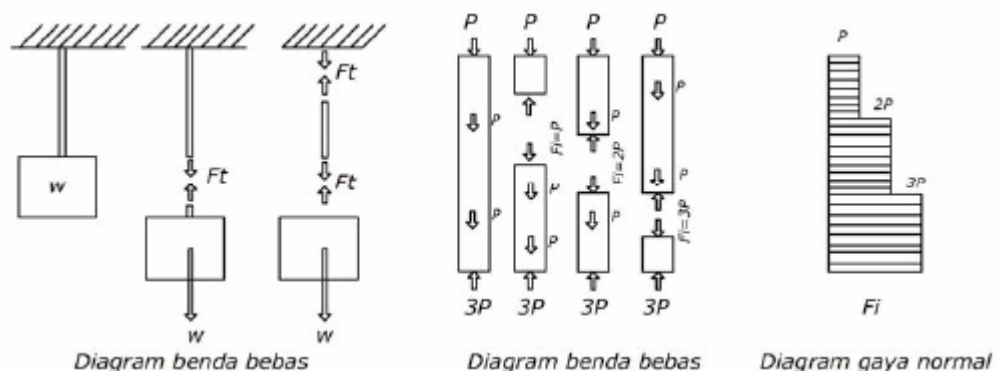
2.4.3.2 Sistem gaya internal

Momen dan gaya internal timbul didalam struktur sebagai akibat adanya sistem gaya eksternal yang bekerja pada struktur dan berlaku bersama-sama sebagai suatu yang mempertahankan keseimbangan partikel atau elemen dari suatu struktur.

Gaya-gaya dan momen yang timbul pada titik hubung antara dua bagian susunan struktur secara konseptual tidak berbeda dengan gaya reaksi yang telah dibahas diatas. Perbedaan yang ada diantara keduanya hanyalah penamaan yang menunjukkan dimana terjadinya. Setiap bagian dari suatu struktur mempunyai reaksi untuk memperahankan keseimbangan bagian tersebut seperti halnya pada struktur yang lebih besar yang mempunyai reaksi untuk mempertahankan keseimbangannya.

Gaya dan momen yang timbul pada titik hubung mengakibatkan gaya reaksi dan momen yang bekerja pada satu bagian yang dihubungkannya sama besar dan berlawanan arah dengan gaya serta momen pada bagian tersambung lainnya.

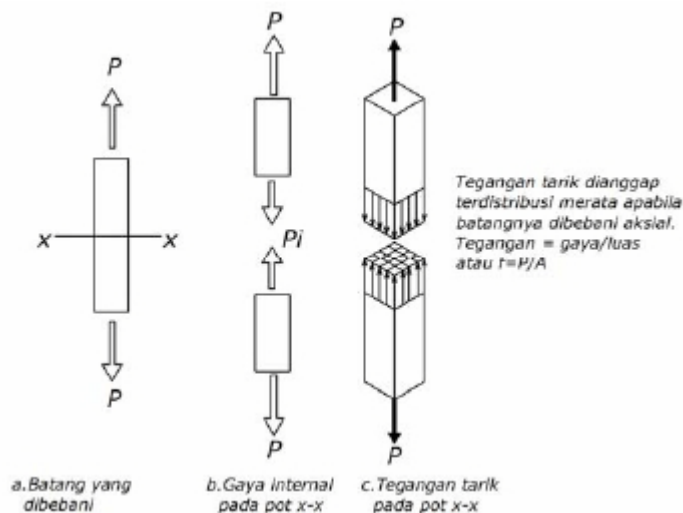
Seperti pembahasan diatas, momen dan gaya internal dapat timbul di dalam serat suatu benda yang mengalami sistem gaya eksternal. Seperti yang terlihat dalam gambar 2.4.5, dengan intuisi jelas bahwa ada gaya tarik yang timbul didalam kabel yang memikul blok yang besarnya sama dengan besar blok. Secara formal, diagram keseimbangan dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 2.4.5. Keseimbangan blok dapat dipertahankan oleh adanya gaya internal F_i di dalam kabel, yang dalam hal ini sama dengan berat blok. Juga jelas bahwa sistem ini dapat diuraikan dengan berbagai cara.



Gambar 2.4.5 Gaya tekan dan tarik internal pada batang [Daniel L. Schodek, 1999]

Gaya internal tentu saja sama dalam hal karakter tetapi berlawanan arti dengan gaya tarik. Gambar 2.4.5 mengilustrasikan batang dengan gaya tekan internal yang bervariasi karena adanya sistem gaya eksternal. Besar dan arah gaya internal yang timbul adalah sedemikian rupa sehingga semua bagian struktur berada dalam keseimbangan, tidak terkecuali pada bagian mana yang ditinjau. Gaya tarik dan tekan yang *koliner* dengan sumbu memanjang batang sering juga disebut *gaya aksial* atau kadang kadang disebut *gaya normal*. Diagram yang diperlihatkan pada gambar 2.4.7 menunjukkan secara grafis tentang variasi gaya aksial internal yang ada di batang.

Tinjauan batang tarik sederhana yang terlihat pada gambar 2.4.6 terlihat bahwa tarik internal yang ada tidak terpusat pada satu titik saja di dalam penampang batang tersebut tetapi terdistribusi di dalam seluruh penampang tiang. Gaya internal total yang diperlukan untuk menjaga keseimbangan gaya eksternal pada batang secara aktual adalah resultan dari gaya yang terdistribusi (atau tegangan) yang bekerja pada penampang melintang.



Gambar 2.4.6 Batang tarik
[Daniel L. Schodek, 1999]

Pada elemen sederhana yang memikul gaya tarik, wajar saja berasumsi bahwa apabila gaya eksternal bekerja di sepanjang sumbu batang dan titik berat atau titik simetri penampang melintang, maka tegangan yang timbul pada penampang mempunyai intensitas merata. Resultannya akan mempunyai garis kerja yang sama dengan garis kerja gaya eksternal yang ada. Jika tegangan terdistribusi merata maka besarnya adalah :

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{gaya}}{\text{luas}} \text{ atau } f = \frac{P}{A}$$

dimana f adalah tegangan (intensitas gaya) persatuan luas, P adalah gaya aksial yang ada dan A adalah luas penampang melintang yang ditinjau. Tegangan demikian disebut *tegangan normal* atau *tegangan aksial*. Apabila gaya eksternal berupa gaya tarik maka tegangannya sama juga dengan di atas, tetapi berupa tegangan normal tarik.

2.5 Jenis-jenis Struktur pada Bangunan Teknik Sipil

2.5.1 Truss (rangka)

Definisi truss (rangka) adalah konstruksi yang tersusun dari batang-batang tarik dan batang-batang tekan saja, umumnya dari baja, kayu, atau paduan ringan guna mendukung atap atau jembatan, umumnya dapat menahan gaya aksial saja.

Truss 2 dimensi adalah truss yang dapat menahan beban pada arah datar saja (sumbu x, y) umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat nodal.

Truss 3 dimensi adalah truss yang dapat menahan beban pada semua arah (sumbu x, y dan z) umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat nodal.

2.5.2. Grid /Grillage (Balok Silang)

Definisi grid (balok silang) adalah kerangka yang terdiri dari dua atau lebih bagian konstruksi yang disambungkan secara kaku (guna stabilitas) pada arah mendatar, umumnya dapat menahan gaya yang bekerja tegak lurus (sumbu y) terhadap bidang datarnya (sumbu x), struktur seperti sistem lantai, sistem atap dan lantai jembatan dapat dianalisis sebagai grid atau balok silang.

2.5.3. Frame (Portal)

Definisi frame (portal) adalah kerangka yang terdiri dari dua atau lebih bagian konstruksi yang disambungkan guna stabilitas, umumnya dapat menahan gaya momen, gaya geser dan aksial.

Frame 2 dimensi adalah frame yang dapat menahan beban pada arah datar saja (sumbu x , y) umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat nodal dan beban batang.

Frame 3 dimensi adalah frame yang dapat menahan beban pada semua arah (sumbu x , y dan z) umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat nodal dan beban batang. Atau dengan kata lain frame 3 dimensi merupakan gabungan frame 2 dimensi dengan grid element.