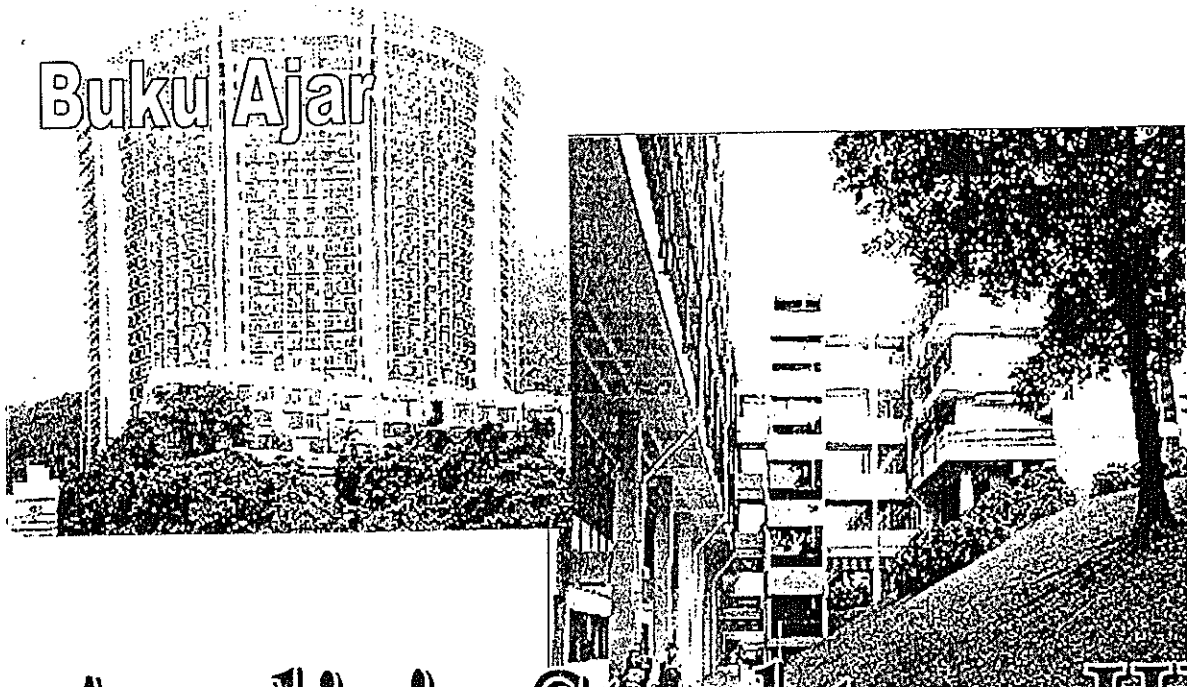


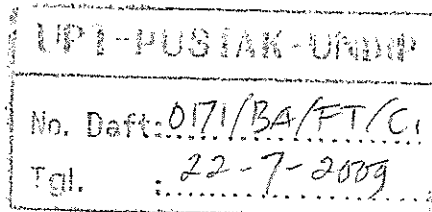
Buku Ajar



Analisis Struktur - III

Oleh:

Ir. Himawan Indarto, MS



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

DAFTAR ISI

PENDAHULUAN

BAB I. STRUKTUR TEKNIK SIPIL

BAB II. PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

BAB III. STRUKTUR RANGKA

BAB IV. ANALISIS STRUKTUR DENGAN KOMPUTER

PENDAHULUAN

Bidang Teknik Sipil memang tidak berada di garis depan perkembangan teknologi, tetapi pada kenyataannya, tidak ada teknologi di bidang apapun yang tidak memerlukan dukungan dari disiplin ilmu Teknik Sipil. Bidang-bidang ilmu pengetahuan yang berada di garis depan teknologi seperti bidang elektronika, informatika, energi, bioteknologi, kedokteran, serta bidang-bidang teknologi tinggi lainnya, jelas memerlukan dukungan dari berbagai disiplin ilmu Teknik Sipil, paling tidak berupa penyediaan sarana dan prasarana. Sarana fisik seperti bangunan gedung, bangunan industri, instalasi pengolahan air bersih dan limbah, instalasi pembangkit tenaga, sarana transportasi berupa jalan dan jembatan, memerlukan penerapan bidang rekayasa Teknik Sipil, khususnya disiplin ilmu rekayasa struktur/konstruksi. Perkembangan rekayasa struktur dari berbagai dekade hingga penghujung abad ini, diyakini terus bergerak ke arah kemajuan. Meskipun perkembangan disiplin ilmu Teknik Sipil tidak secepat bidang informatika maupun kedokteran, namun pada umumnya sampai saat ini rekayasa struktur sudah mencapai perkembangan yang cukup pesat dan canggih, sehingga keadaan yang sekarang ini telah dicapai, kemungkinan tidak akan terlalu banyak berubah di masa depan. Perubahan yang ada barangkali hanya dalam bentuk penyempurnaan dari perangkat-perangkat lunak (*software*) ke arah yang lebih sesuai dengan aplikasi di lapangan.

Berbagai metode baru dalam rekayasa struktur terus dikembangkan sebagai “jawaban” atas tuntutan persaingan global, yang tidak lagi mengenal batas-batas wilayah antar negara. Memasuki abad 21, rekayasa struktur akan semakin maju, sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi informatika. Kemampuan rekayasa struktur nasional yang masih tertinggal dibandingkan negara maju, dituntut untuk ditingkatkan dan dibenahi dengan segera. Jika tidak, intervensi tenaga ahli struktur asing yang memang sudah berlangsung beberapa tahun terakhir ini, akan semakin banyak menyedot devisa nasional.

Krisis ekonomi tidak boleh membuat praktisi dan akademisi *melempem* dalam mengikuti perkembangan teknologi. Berbagai usaha untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan harus tetap dan terus diupayakan. Perekonomian nasional pasca pemulihan, diperkirakan terus akan berkembang terutama ke arah agro industri, industri jasa, perdagangan, transportasi, informatika dan pariwisata, di mana kemampuan yang tinggi akan rekayasa struktur modern akan tetap dibutuhkan sebagai sarana pendukung.

Peningkatan jumlah penduduk terutama di kawasan perkotaan yang demikian pesat, sementara ruang dan daya dukung alam demikian terbatas, akan terus berkembang menjadi persoalan baru melalui isu lingkungan hidup. Tentu saja, semua ini akan terkait erat dengan kebutuhan dan kemampuan rekayasa struktur, yakni menjadikan industri jasa konstruksi nasional sebagai “pemain utama” dalam pengembangan sarana perumahan, kawasan perkotaan, jaringan transportasi, pelabuhan, serta infrastruktur lainnya.

Dalam perkembangan lebih lanjut, pemanfaatan ruang bawah tanah yang sampai saat ini masih terabaikan, pada masa mendatang akan menjadi kebutuhan. Bangunan di bawah tanah dapat menggunakan ruang di bawah gedung, jalan dan taman-taman kota, untuk dimanfaatkan bagi fasilitas perkotaan, seperti perkantoran, parkir dan sarana transportasi.

REKAYASA STRUKTUR

Jika ditelusuri kebelakang, ilmu Teknik Sipil sebenarnya merupakan bidang ilmu pengetahuan yang sudah sangat tua, setua umur peradaban manusia itu sendiri. Hal ini dapat dilihat dengan banyaknya bangunan kuno seperti Piramida di Mesir, Candi Borobudur di Indonesia, Tembok Besar di Cina, serta masih banyak lagi bangunan-bangunan lainnya yang bersifat monumental peninggalan masa lampau, yang merupakan hasil rekayasa sipil dari manusia kuno.

Meskipun ilmu Teknik Sipil meliputi bidang permasalahan yang sangat luas, tetapi perkembangan dari ilmu Teknik Sipil sendiri khususnya rekayasa struktur, sangat lamban dibandingkan dengan bidang-bidang ilmu lainnya. Hal ini disebabkan karena keterbatasan dari manusia pada masa lalu, untuk dapat melakukan analisis permasalahan yang ada di bidang Teknik Sipil, yang pada umumnya dimodelkan dan disusun dalam bentuk persamaan matematika.

Rekayasa struktur di bidang Teknik Sipil menjelang abad 21 pada era modern dewasa ini, berkembang dengan sangat pesat. Hal ini dimungkinkan dengan diaplikasikannya ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek) yang modern dan canggih. Ilmu pengetahuan dan teknologi hanyalah alat untuk mencapai tujuan, sedangkan peranan sumber daya manusia yang bermoral, yang memiliki iman dan taqwa (Imtaq) yang tinggi, merupakan faktor pendorong yang paling utama, bagi perkembangan keahlian rekayasa struktur yang andal dan ramah lingkungan (*eco-labelling*). Beberapa teknologi yang mendasari perkembangan dari rekayasa struktur modern adalah : teknologi peralatan dan metode pelaksanaan konstruksi, teknologi bahan atau material, dan teknologi informatika atau komputer.

Dengan menggunakan teknologi peralatan yang modern, dimungkinkan untuk membangun struktur-struktur berskala besar (*mega structures*) pada medan yang sulit, dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sebagai contoh dari penggunaan teknologi peralatan yang canggih adalah : pembuatan terowongan bawah laut, pembuatan jembatan antar pulau, pembuatan gedung pencakar langit, dan pembuatan bangunan lepas pantai. Landas putar bebas hambatan Sosrobahu merupakan salah satu contoh dari pemanfaatan teknologi peralatan dan metode pelaksanaan yang inovatif pada bidang rekayasa struktur di Indonesia.

Teknologi pelaksanaan yang baru akan merubah cara manajemen dan teknik pelaksanaan konstruksi bangunan. Perancangan struktur secara optimum, karena mahalnnya harga bahan, akan menyebabkan struktur bangunan harus dilaksanakan secara akurat. Elemen-elemen dari struktur bangunan dirancang dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga pelaksanaannya memerlukan cara yang lebih teliti dari pada biasanya. Banyak bagian dari bangunan dilaksanakan dengan peralatan baru dan menggunakan robot yang mampu bekerja dengan tingkat akurasi, dan kecepatan yang tinggi. Teknologi di bidang informatika seperti *Expert Systems* dan *Artificial Intelligence (AI)*, akan melakukan banyak pekerjaan dari manajemen dan pengendalian pekerjaan pelaksanaan konstruksi.

Di bidang teknologi bahan, saat ini sudah banyak digunakan material konstruksi dengan karakteristik kekuatan yang tinggi. Di Indonesia, khususnya di kota-kota besar, Beton Kinerja Tinggi (*High Performance Concrete*) dengan kuat tekan 60-80 MPa, sudah banyak digunakan pada struktur bangunan gedung tinggi dan struktur jalan layang. Perkembangan ilmu bahan yang sangat mengagumkan pada teknologi beton, telah terjadi di berbagai tempat dalam waktu 10 tahun terakhir ini. Penggunaan dari berbagai bahan tambahan kimia (*Chemical Additive*), dapat mereduksi nilai rasio air/semen dalam adukan beton sampai sekitar 0.25-0.35, tanpa mengurangi *slump* adukan. Penggunaan rasio air/semen yang rendah mengakibatkan meningkatnya kekuatan tekan beton. Penggunaan bahan tambahan, dibarengi dengan teknik perawatan beton yang baru, telah menghasilkan beton dengan kuat tekan mencapai 100 MPa.

Penambahan berbagai serat alami maupun sintetik, telah dapat meningkatkan daya tarik beton, sehingga beton akan lebih tahan terhadap retak dan lentur. Pada saat ini telah dapat dihasilkan beton dengan kekuatan yang tinggi, lebih padat dan lebih lentur. Penggunaan bahan beton berkinerja tinggi ini, akan mengurangi dimensi dari elemen-elemen struktur yang saat ini telah biasa di buat. Ini berarti dapat menghemat jumlah bahan yang digunakan.

Teknologi komputer membawa perubahan yang sangat mendasar pada metode rancang bangun struktur, khususnya pada prosedur analisis dan desain struktur. Di bidang rekayasa struktur, penggunaan teknologi komputer dimanfaatkan untuk proses perhitungan numerik dan perancangan grafik.

Teknologi yang berbasis pada komputer untuk melakukan proses perhitungan numerik dan perancangan grafik adalah : Teknologi CAE (*Computer Aided Engineering*) dan Teknologi CAD (*Computer Aided Design*).

Metode Numerik merupakan metode komputasi yang saat ini banyak digunakan di bidang rekayasa struktur. Metode ini merupakan metode komputasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan matematika dari yang sederhana sampai yang berbentuk kompleks. Metode Numerik baru berkembang pesat sejak diperkenalkannya teknologi komputer. Metode numerik yang berbasis pada teknologi komputer, telah mendorong munculnya metode-metode baru pada rancang bangun struktur. Salah satu metode numerik yang saat ini sangat populer dan banyak diaplikasikan di bidang Teknik Sipil adalah Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Software-software untuk keperluan analisis dan desain struktur yang canggih seperti SAP dan ETABS, menggunakan metode ini sebagai dasar perhitungannya.

Pada awalnya, Metode Elemen Hingga ini digunakan untuk memecahkan masalah-masalah yang berkaitan dengan mekanika kontinum atau mekanika benda padat, yang banyak kaitannya dengan mekanika struktur. Pada tahap perkembangan berikutnya, Metode Elemen Hingga digunakan juga untuk melakukan berbagai kegiatan analisis dan perhitungan pada permasalahan-permasalahan di bidang Teknik Sipil, antara lain : mekanika tanah dan mekanika batuan, mekanika fluida, perambatan panas dan perambatan gelombang, mekanika bahan dan distribusi tegangan, mekanika retak, interaksi struktur dan tanah, mekanika getaran dan analisis dinamik, stabilitas dan analisis non linier struktur. Metode Elemen Hingga merupakan prosedur analisis standar yang digunakan pada *software* struktur.

REKAYASA STRUKTUR MODERN - STAGE OF THE ART

Dengan diaplikasikannya teknologi-teknologi modern seperti teknologi peralatan, teknologi bahan, serta teknologi komputer yang meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), memberikan dampak yang sangat positif di bidang rekayasa struktur. Beberapa keuntungan yang didapatkan dari pemanfaatan teknologi-teknologi ini antara lain adalah : meningkatnya produktifitas kerja, meningkatnya kemampuan untuk dapat

menyelesaikan permasalahan yang kompleks dengan lebih akurat dan andal, meningkatnya kemampuan untuk dapat melakukan rancang bangun struktur dengan cara *state of the art*.

Rekayasa struktur modern tidak hanya menghasilkan struktur yang kuat dan kaku, tetapi juga canggih dan indah. Di kawasan Eropa dan Amerika, nilai arsitektur bangunan Teknik Sipil memegang peran yang sangat kuat, yang merupakan bagian dari kebudayaan manusia.

BAB I. STRUKTUR TEKNIK SIPIL

I. KLASIFIKASI STRUKTUR

Struktur teknik sipil dapat mempunyai berbagai macam bentuk, dari struktur dengan bentuk yang paling sederhana, misal balok di atas dua tumpuan, sampai dengan struktur besar yang berbentuk kompleks dengan geometrik tiga dimensi. Selain itu struktur teknik sipil dapat terbuat oleh hanya satu jenis material saja, atau tersusun oleh beberapa macam jenis material yang bekerja bersama-sama memikul beban (struktur komposit).

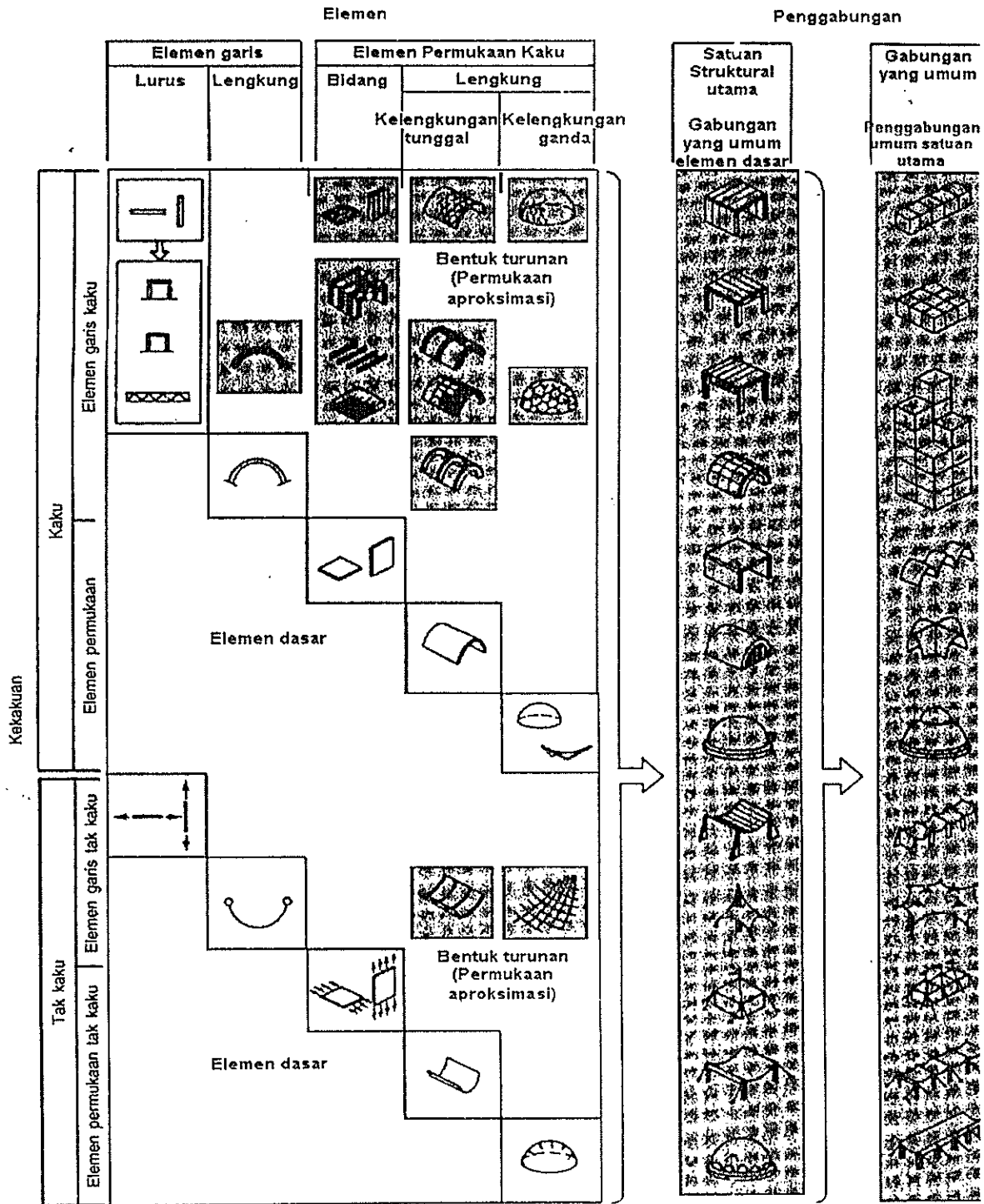
Pengetahuan mengenai kriteria bentuk dasar dari sistem struktur dan sifat dari masing-masing elemen struktur sangat penting dipahami sebelum melakukan analisis dan desain struktur. Dari pola pengklasifikasian struktur, dapat dinyatakan secara tidak langsung bahwa sistem struktur yang kompleks, sebenarnya hanya merupakan hasil dari penggabungan atau penambahan elemen-elemen struktur yang lebih sederhana. Yang penting dari penggabungan elemen-elemen struktur membentuk suatu sistem struktur yang lebih kompleks adalah bahwa, elemen-elemen tersebut harus ditempatkan sedemikian rupa dan saling berhubungan agar sistem struktur mempunyai kemampuan untuk dapat menahan beban tertentu yang bekerja di atasnya. Pengklasifikasian dari struktur teknik sipil dapat ditinjau dari berbagai macam aspek yaitu : bentuk atau geometri, kekakuan, sistem struktur satu arah (2D) atau sistem struktur dua arah (3D), material.

GEOMETRI

Berdasarkan aspek geometri, bentuk struktur yang ditunjukkan pada Gambar 1 sebelah kiri, dapat secara umum diklasifikasikan sebagai sistem struktur yang disusun oleh elemen-elemen berbentuk garis/batang (*frame element*). Bentuk dari elemen batang dapat dibedakan sebagai batang berbentuk lurus atau lengkung. Kebanyakan dari struktur teknik sipil berbentuk struktur rangka (*frame structure*) yang tersusun oleh elemen-elemen batang. Sebagai contoh, struktur bangunan gedung atau struktur jembatan merupakan struktur rangka dengan elemen-elemen frame sebagai penyusunnya. Selain berbentuk garis, struktur teknik sipil dapat juga berbentuk masif, misalnya struktur pelat, cangkang dan kubah, dimana elemen-elemen penyusunnya berbentuk elemen permukaan/bidang (*shell element*).

Pada kenyataannya tidak ada yang dapat disebut sebagai elemen garis atau elemen permukaan, karena elemen-elemen struktur memiliki ukuran atau ketebalan. Namun, untuk pengklasifikasian, akan selalu bermanfaat mengelompokkan elemen yang panjang dan langsing, misalnya kolom dan balok sebagai elemen garis. Demikian juga halnya dengan

Elemen permukaan misalnya pelat atau dinding, juga memiliki ketebalan, tetapi ketebalannya kecil dibandingkan dengan ukuran panjangnya.



Gambar 1. Klasifikasi struktur berdasarkan bentuk atau geometris

Istilah elemen "garis" dan "permukaan" hanya untuk memudahkan pembuatan model struktur untuk keperluan analisis struktur. Apakah suatu elemen struktur disebut berbentuk

garis atau permukaan, akan sangat tergantung dari bahan dan/atau metode konstruksi. Banyak bahan yang secara alami sudah berbentuk garis. Kayu, misalnya, sudah mempunyai sifat garis karena kayu memang tumbuhnya sudah begitu. Bagaimanapun juga, kita dapat membuat elemen berbentuk permukaan dari kayu, contohnya papan plywood. Bahkan kita dapat membuat permukaan yang cukup luas dengan menggabungkan elemen-elemen yang lebih banyak. Bahan-bahan lain, misalnya beton, bisa juga dibuat bentuk garis (balok dan kolom) atau bentuk permukaan (pelat dan dinding) dengan mudah. Baja yang pada dasarnya sudah berbentuk elemen garis (profil baja), dapat juga dibuat sebagai elemen-elemen dengan bentuk permukaan (pelat lantai baja).

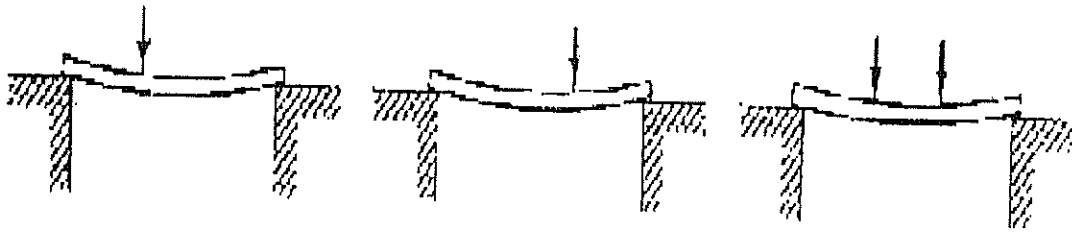
KEKAKUAN

Gambar 2 menunjukkan pengklasifikasian beberapa jenis struktur berdasarkan karakteristik kekakuan elemen struktur. Perbedaan yang utama di sini yaitu apakah elemen tersebut merupakan elemen yang kaku atau tidak kaku/fleksibel. Elemen kaku biasanya berbentuk batang, dan tidak mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang cukup besar di bawah pengaruh gaya, atau pada perubahan gaya yang diakibatkan oleh pengaruh pembebanan (Gambar 2-a).

Elemen struktur tidak kaku atau fleksibel, misalnya elemen kabel, cenderung mempunyai bentuk tertentu pada suatu kondisi pembebanan, dan bentuk tersebut bisa berubah secara drastis apabila pembebanan berubah (Gambar 2b). Struktur fleksibel mempertahankan keutuhan fisiknya meskipun bentuknya berubah-ubah.

Apakah suatu elemen struktur termasuk kaku atau fleksibel tergantung 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 atau fleksibel. Contoh yang baik dari bahan baja yang kaku adalah balok profil baja. Elemen struktur ini tidak mengalami perubahan besar dalam bentuknya bila bebannya berubah-ubah. Kabel baja atau rantai baja, yang bersifat fleksibel, selalu mempunyai bentuk yang tergantung pada kondisi pembebanan. Kabel baja akan berubah bentuk jika pembebanan berubah.

Banyak struktur yang biasanya diklasifikasikan sebagai struktur kaku, namun sesungguhnya struktur tersebut akan kaku hanya pada beberapa kondisi pembebanan, atau dengan variasi kondisi pembebanan yang tidak terlalu berpengaruh terhadap struktur tersebut. Ketika pembebanan berubah secara drastis, struktur dengan tipe ini akan menjadi tidak stabil dan kemungkinan besar akan roboh.



Gambar 2a. Struktur kaku

Struktur kaku misalnya balok, tidak mengalami perubahan bentuk yang berarti jika bebannya berubah



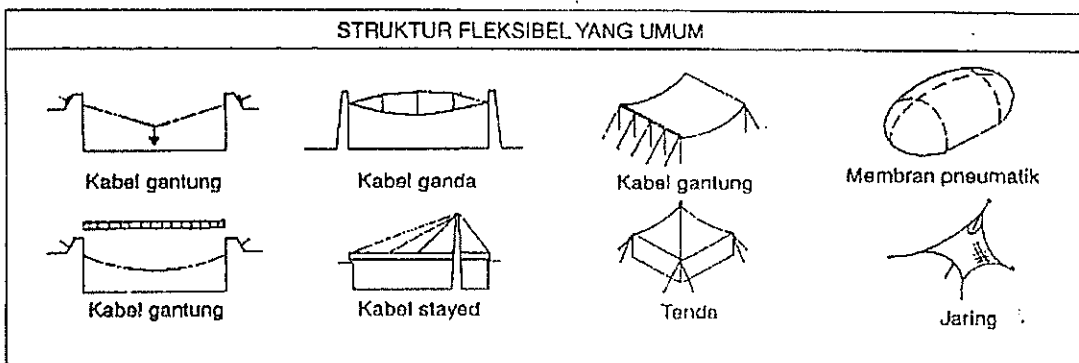
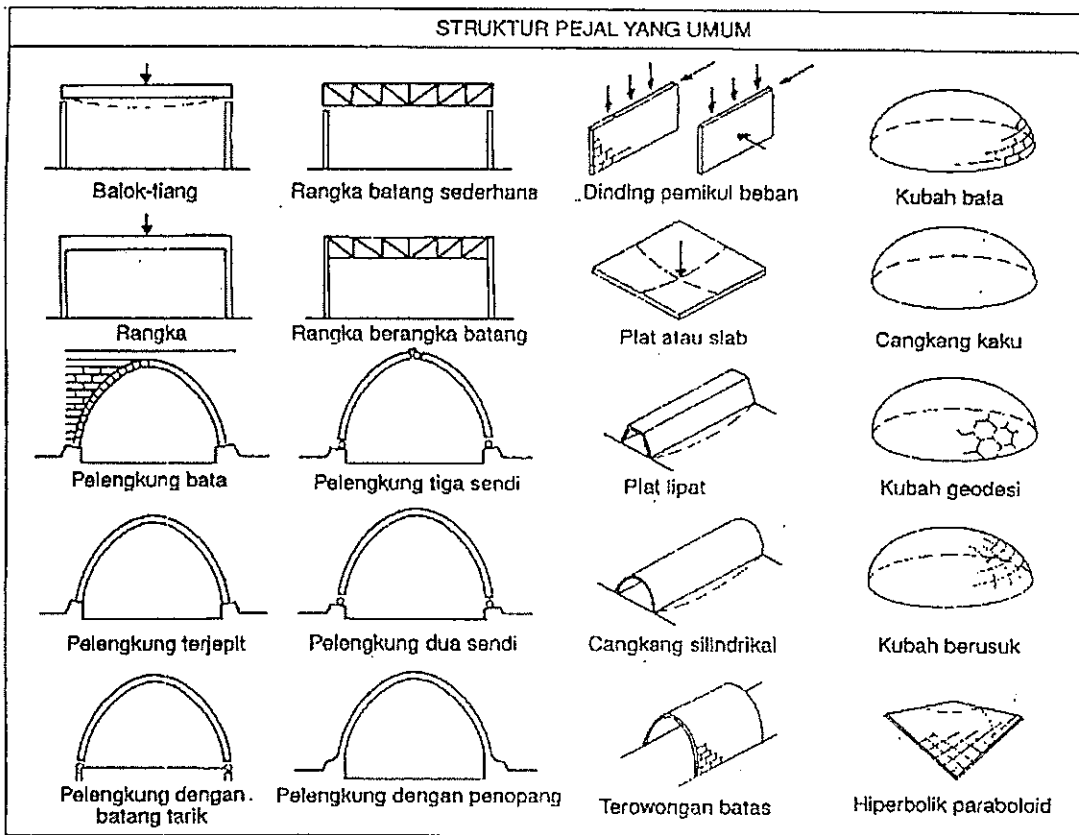
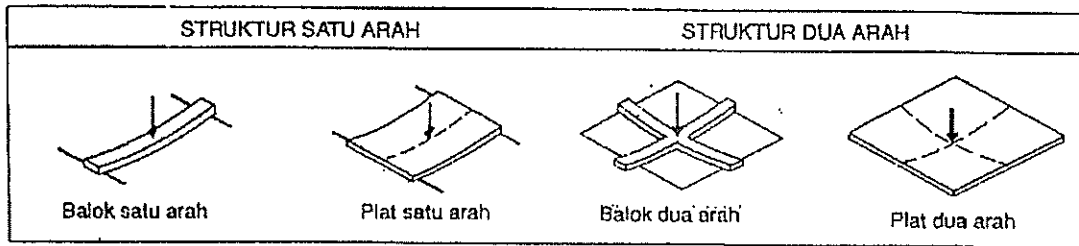
Gambar 2b. Struktur tidak kaku

Struktur tidak kaku misalnya kabel, bentuk struktur berubah tergantung pada kondisi pembebanan

SISTEM STRUKTUR SATU ARAH DAN STRUKTUR DUA ARAH

Suatu cara yang paling mendasar untuk membedakan jenis struktur untuk keperluan analisis struktur adalah menurut susunannya di dalam ruang tumpuan yang digunakan, serta hubungan antara struktur dengan tumpuan yang ada. Dua sistem pemodelan struktur yang penting di sini adalah sistem struktur satu arah dan sistem struktur dua arah. Perbedaan utama antara aksi struktural satu arah dan dua arah sangat penting di dalam konteks analisis struktur. Model struktur satu arah menghasilkan analisis struktur yang lebih sederhana, sedangkan model struktur dua arah menghasilkan penghematan penggunaan bahan.

Pada struktur yang dimodelkan sebagai sistem satu arah, mekanisme transfer beban yang bekerja pada struktur ke tumpuan atau tanah dasar, merupakan aksi satu arah saja. Model struktur ini sering disebut sebagai model struktur dua dimensi (2D). Pada struktur yang dimodelkan sebagai sistem dua arah, mekanisme transfer beban yang bekerja pada struktur ke tumpuan, lebih rumit. Model struktur ini sering disebut sebagai model struktur tiga dimensi (3D).



Gambar 3. Jenis-jenis elemen struktural

Suatu balok yang membentang di antara dua titik tumpuan adalah contoh dari sistem satu arah. Suatu sistem dengan dua buah balok bersilangan yang terletak di atas dua titik tumpuan dan tidak terletak di atas garis yang sama serta keduanya bekerja sama memikul beban, adalah contoh dari sistem dua arah (Gambar 3, bagian atas). Suatu plat datar yang berbentuk bujur sangkar, terletak tertumpun di tepi-tepinya, juga merupakan sistem dua arah. Suatu beban luar yang bekerja di atas pelat, tidak dapat disalurkan hanya di kedua sisi tumpuannya saja.

MATERIAL

Selain beberapa kriteria yang sudah disebutkan di atas, pendekatan yang mudah untuk mengklasifikasikan struktur teknik sipil adalah berdasarkan jenis bahan atau material yang digunakan, misalnya struktur kayu, struktur baja, atau struktur beton bertulang. Pengklasifikasian yang tepat berdasarkan bahan yang digunakan pada struktur, kadang-kadang dapat menimbulkan kerancuan, karena suatu sistem struktur dapat tersusun dari gabungan beberapa elemen struktur dengan material yang berbeda, misalnya struktur komposit, yang terdiri dari beton dan profil baja.

Pada proses analisis dan desain struktur, sangat penting untuk mengetahui sifat atau karakteristik dari material yang digunakan. Hal ini disebabkan karena adanya hubungan yang erat antara sifat bahan dengan deformasi struktur dan kekuatan struktur. Struktur teknik sipil pada umumnya didesain berdasarkan kriteria kekakuan (*stiffness*) dan kriteria kekuatan (*strength*). Kriteria kekakuan adalah kriteria desain dengan cara membatasi terjadinya perubahan bentuk (deformasi) yang berlebihan pada struktur akibat pembebanan, sedangkan kriteria kekuatan adalah kriteria desain dengan cara membatasi terjadinya tegangan-tegangan yang berlebihan pada elemen-elemen struktur.

Sebagai contoh, besarnya modulus elastisitas (E) dan angka poisson (μ) dari bahan yang digunakan pada suatu sistem struktur, akan menentukan besar-kecilnya deformasi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan. Demikian juga pengetahuan mengenai tegangan ijin (f_a) dan tegangan leleh (f_y) dari suatu bahan, akan dapat digunakan sebagai kriteria untuk menentukan kekuatan dari suatu elemen atau sistem struktur.

Bahan baja dapat digunakan sebagai bahan struktural untuk memikul pengaruh gaya tekan dan gaya tarik, karena bahan baja mempunyai kekuatan tekan dan kekuatan tarik yang sama besar. Bahan beton mempunyai kekuatan tekan yang cukup besar, sehingga mampu menahan pengaruh gaya tekan yang besar. Tetapi bahan beton mempunyai kekuatan tarik

yang sangat kecil sehingga untuk memikul pengaruh tarik akibat pembebanan, perlu diberi penulangan (beton bertulang).

II. ELEMEN STRUKTUR

Elemen struktur kaku yang sering digunakan pada sistem struktur teknik sipil adalah elemen balok, kolom, pelat, pelengkung, atau cangkang (*shell*). Sedangkan elemen struktur yang termasuk elemen tidak kaku atau fleksibel adalah elemen kabel dan membran. Selain itu, ada pula jenis-jenis elemen lain yang dapat dibentuk dari elemen-elemen tersebut, misalnya elemen rangka (*frame*), rangka batang (*truss*), kubah (*dome*), dan jaring. Pemberian nama pada suatu elemen yang mempunyai karakteristik kekakuan dan geometri tertentu dilakukan hanya untuk memudahkan saja. Penamaan elemen dengan cara tersebut kadang kala tidak berguna, karena apabila dua elemen yang berbeda digabungkan, maka cara memikul bebannya juga akan berubah pula.

Oleh karena itu, hal penting yang perlu diketahui agar dapat melakukan analisis dan desain struktur secara benar adalah, memahami sifat dasar dari masing-masing elemen di dalam memikul beban, serta memahami mekanisme pelimpahan beban pada sistem struktur.

BALOK DAN KOLOM

Sistem struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal (balok) di atas elemen kaku vertikal (kolom) seperti terlihat Gambar 3 adalah sistem struktur yang sering dijumpai, misalnya pada struktur jembatan dan struktur gedung. Elemen balok yang memikul beban pada bentangnya, akan melimpahkan beban tersebut ke kolom yang menumpunya. Kolom-kolom struktur tersebut kemudian akan melimpahkan beban tersebut ke tanah dasar melalui pondasi. Karena balok melentur sebagai akibat dari beban yang bekerja secara transversal, maka balok sering disebut sebagai elemen lentur. Ide mengenai lenturan yang terjadi pada balok yang dibebani adalah salah satu hal yang penting di bidang rekayasa struktur.

Jika balok hanya diletakkan begitu saja pada kolom-kolom struktur tanpa adanya sambungan yang monolit diantara kedua elemen, maka kolom tidak akan melentur ataupun melendut, oleh karena itu pada Struktur Balok-Kolom ini kolom-kolom pada umumnya hanya mengalami gaya aksial tekan saja.

RANGKA KAKU

Sistem Rangka Kaku (*Frame*) atau sering disebut sebagai Struktur Portal seperti terlihat pada Gambar 3, banyak digunakan pada bangunan gedung. Struktur Portal sepintas memiliki konfigurasi bentuk yang sama dengan jenis Struktur Balok-Kolom, tetapi sebenarnya mempunyai aksi struktural yang berbeda karena adanya titik hubung atau sambungan yang kaku antara elemen balok dan elemen kolom. Adanya sambungan ini memberikan kestabilan struktur terhadap gaya lateral.

Pengaruh dari sifat sambungan antara elemen balok dan kolom akan mempengaruhi distribusi atau pelimpahan pembebanan yang bekerja pada struktur. Karena balok dan kolom mempunyai sambungan yang kaku, maka kolom-kolom pada Struktur Portal akan melentur, sehingga pada kolom-kolom struktur selain mengalami gaya aksial tekan juga harus memikul momen lentur.

RANGKA BATANG

Struktur Rangka Batang (*Truss*) adalah struktur yang dibuat dengan menyusun elemen-elemen struktur yang relatif pendek dan lurus menjadi pola-pola berbentuk segi tiga, dimana sambungan antara elemen struktur merupakan sambungan yang dapat berperilaku sebagai sendi atau engsel. Struktur Rangka Batang merupakan struktur yang cukup kaku dan kuat, karena pada struktur ini pengaruh momen lentur dan gaya geser dapat dihilangkan.

Meskipun Struktur Rangka Batang ini secara keseluruhan akan melentur jika dibebani, akan tetapi karena sambungan antara elemen dapat berperilaku sebagai sendi / engsel, maka masing-masing elemen struktur tidak akan melentur. Elemen-elemen struktur hanya memikul gaya tekan atau gaya tarik. Dengan demikian sistem Struktur Rangka Batang ini merupakan struktur yang cukup ekonomis. Untuk mendapatkan Struktur Rangka Batang yang lebih ekonomis, maka pola struktur yang berbentuk segitiga harus diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan bentuk sistem struktur dimana jumlah elemen struktur yang tertarik lebih banyak dari pada elemen struktur yang tertekan.

Berbagai bentuk dari Struktur Rangka Batang seperti misalnya pola bujur sangkar, tidak memberikan stabilitas dan kekakuan struktur yang cukup, kecuali jika sambungan antara elemen struktur dirancang sebagai sambungan jepit yang kaku.

PELENGKUNG

Struktur Pelengkung (*Arch*) adalah struktur yang dibentuk oleh elemen garis yang melengkung dan membentang di antara dua titik. Struktur Pelengkung umumnya terdiri atas

potongan-potongan kecil elemen yang mempertahankan posisinya akibat adanya tekanan dari beban. Bentuk dari pelengkung dan perilaku beban yang bekerja di atasnya adalah hal yang menentukan, apakah susunan tersebut stabil atau tidak. Apabila bentuk pelengkung diperoleh dengan menumpuk elemen bata, maka struktur yang dihasilkannya hanya berfungsi dan stabil apabila dibebani gaya-gaya pada bidang, yang menyebabkan struktur tersebut mempunyai gaya tekan merata. Struktur demikian tidak dapat memikul beban yang menimbulkan perpanjangan atau lenturan kesamping karena tumpukan bata tersebut akan mudah berantakan.

Struktur Pelengkung yang sering digunakan dalam bangunan-bangunan modern, adalah bentuk struktur yang dinamakan Pelengkung Kaku (*Rigid Arch*). Bentuknya hampir sama dengan pelengkung bata, tetapi terbuat dari material kaku, biasanya baja atau beton bertulang yang dibentuk melengkung. Apabila bentuk lengkung yang bersifat kaku ini dibuat dengan baik, maka struktur semacam ini dapat memikul beban aksial tanpa terjadi lendutan atau bengkokan pada elemen strukturnya. Bentuk pelengkung kaku ini lebih baik kemampuannya dalam hal memikul beban yang bervariasi dibandingkan dengan pelengkung bata yang terbuat dari tumpukan bagian kecil-kecil elemen.

DINDING DAN PELAT

Dinding (*Wall*) dan Pelat (*Plate*) adalah struktur kaku yang membentuk permukaan. Suatu dinding pemikul beban (*load bearing wall*) biasanya dapat memikul baik beban yang bekerja dalam arah vertikal maupun beban arah lateral seperti beban angin, gempa, tekanan tanah, dan tekanan air. Kekuatan dari dinding bata terhadap beban yang bekerja tegak lurus pada bidangnya adalah sangat terbatas. Suatu pelat datar pada umumnya digunakan sebagai elemen horisontal yang memikul beban ke arah vertikal.

Beban-beban vertikal pada pelat yang biasanya merupakan beban mati dan beban hidup, akan menyebabkan pelat melentur. Tergantung dari perbandingan antara lebar dan panjang pelat serta kondisi tumpuan yang ada, pelat dapat dibedakan menjadi pelat satu arah (*one way slab*) atau pelat dua arah (*two way slab*). Pada bangunan gedung, Struktur Pelat digunakan untuk meneruskan beban-beban yang didukungnya ke balok-balok atau kolom-kolom struktur. Struktur Dinding sering digunakan sebagai elemen pengaku horisontal dari bangunan gedung tinggi. Pengaruh goyangan kesamping dari bangunan gedung akibat gaya gempa horisontal dapat diminimalkan dengan memasang beberapa Dinding Geser (*Shear Wall*) sebagai bagian dari sistem struktur bangunan gedung.

Pelat beton yang umumnya mempunyai ketebalan sekitar 10 sampai 15cm, dapat juga digunakan pada bentang-bentang horisontal yang panjang dengan cara membuat bidang-bidang horisontal pelat dilipat. Pelat Lipat (*Folding Plate*) mempunyai kekuatan dan kekakuan yang cukup besar, sehingga lenturan yang terjadi relatif kecil.

CANGKANG SILINDRIS DAN TEROWONGAN

Cangkang Silindris dan Terowongan adalah contoh-contoh dari Struktur Pelat dengan satu lengkungan. Struktur Cangkang Silindris mempunyai bentang longitudinal, dan lengkungannya tegak lurus terhadap diameter bentang. Jika bentangnya cukup panjang, maka Struktur Cangkang akan berperilaku seperti balok yang penampang melintangnya berbentuk lengkungan. Struktur-struktur berbentuk cangkang pada umumnya selalu dibuat dari material kaku, misalnya beton bertulang atau baja. Sebaliknya terowongan adalah struktur berkelengkungan tunggal yang membentang secara transversal. Terowongan dapat dipandang sebagai pelengkung menerus.

KUBAH DAN CANGKANG BOLA

Dewasa ini banyak struktur dengan bentuk permukaan lengkungan ganda digunakan. Termasuk di dalamnya adalah struktur kubah dengan bentuk permukaan hiperbola atau parabola. Struktur dengan bentuk permukaan lengkungan ganda yang paling umum digunakan adalah cangkang berbentuk bola yang terbuat dari beton bertulang. Struktur yang berbentuk cangkang bola dapat dipandang sebagai struktur dengan permukaan lengkungan yang diputar (asisimetris). Tetapi, kadang kala asumsi asisimetris ini tidak selalu tepat. Khususnya jika beban yang bekerja pada struktur tersebut tidak simetris. Struktur Kubah dapat pula dibuat dari tumpukan bata sebagai alternatif dari material kaku seperti beton. Struktur berbentuk cangkang dan kubah adalah struktur yang sangat efisien untuk digunakan pada bentang-bentang besar, karena penggunaan material yang relatif sedikit. Struktur berbentuk kubah dapat juga dibuat dari elemen-elemen kaku berbentuk garis dengan pola berulang. Contoh dari struktur yang demikian adalah Kubah Geodesik.

KABEL

Kabel merupakan elemen struktur yang fleksibel. Bentuknya sangat tergantung pada besar dan perilaku beban yang bekerja di atasnya. Apabila kabel ditarik pada kedua ujungnya saja, maka bentuknya akan menjadi lurus. Jenis kabel demikian ini disebut *tie-rod*. Jika kabel digunakan pada bentang antara dua titik dan memikul beban titik eksternal, maka bentuk kabel

akan berupa segmen-segmen garis. Jika yang dipikul oleh kabel adalah beban terbagi, maka kabel akan mempunyai bentuk lengkungan. Berat kabel sendiri dapat menyebabkan bentuk lengkung tersebut.

Kabel dapat digunakan sebagai sistem struktur untuk bentang yang panjang. Biasanya kabel digunakan pada jembatan gantung yang memikul dek jalan raya beserta lalu lintas di atasnya. Karena beban lalu lintas selalu menyebabkan kabel utama mengalami perubahan bentuk akibat berubah-ubahnya posisi beban, maka dek jembatan harus dibuat kaku sehingga permukaan jalan pada dasarnya tetap datar, dan beban yang diterima oleh kabel pada dasarnya konstan. Kabel juga dapat digunakan untuk memikul permukaan atap gedung, khususnya pada situasi bentang yang besar.

MEMBRAN, TENDA, DAN JARING.

Membran adalah lembaran tipis dan fleksibel. Tenda biasanya dibuat dari permukaan membran. Bentuk yang sederhana maupun yang kompleks dapat dibuat dengan menggunakan membran-membran ini. Untuk permukaan berkelengkungan ganda seperti permukaan bola, permukaan aktual harus dibuat sebagai susunan segmen yang jauh lebih kecil karena kebanyakan membran hanya tersedia dalam bentuk lembaran datar. Pemanfaatan selanjutnya membran fleksibel yang dipakai pada permukaan yaitu dengan menggantungkannya pada sisi cembung berarah ke bawah, ataupun jika menggunakan sisi cembung berarah ke atas, harus ditambah dengan mekanisme tertentu agar membran dapat mempertahankan bentuknya. Jenis terakhir ini misalnya adalah struktur yang dikembangkan dengan udara (*air-inflated*). Bentuk membran dipertahankan oleh tekanan udara internal di dalam struktur.

Mekanisme lain untuk mempertahankan bentuk dari Struktur Membran adalah dengan menggunakan gaya *jacking* eksternal (pra-tarik) yang menarik membran agar mempunyai bentuk tertentu. Berbagai Struktur Membran yang diberi tegangan permukaan (*skin-stressed*) adalah jenis struktur tersebut. Sekalipun demikian, penggunaan pra-tarik pada Struktur Membran mempunyai banyak pembatasan pada bentuk yang akan dibuat. Sebagai contoh, untuk Struktur Membran dengan bentuk permukaan bola sangat sulit dilakukan pra-tarik oleh gaya *jacking* eksternal, sedangkan untuk permukaan berbentuk hiperbola atau-parabola cukup mudah.

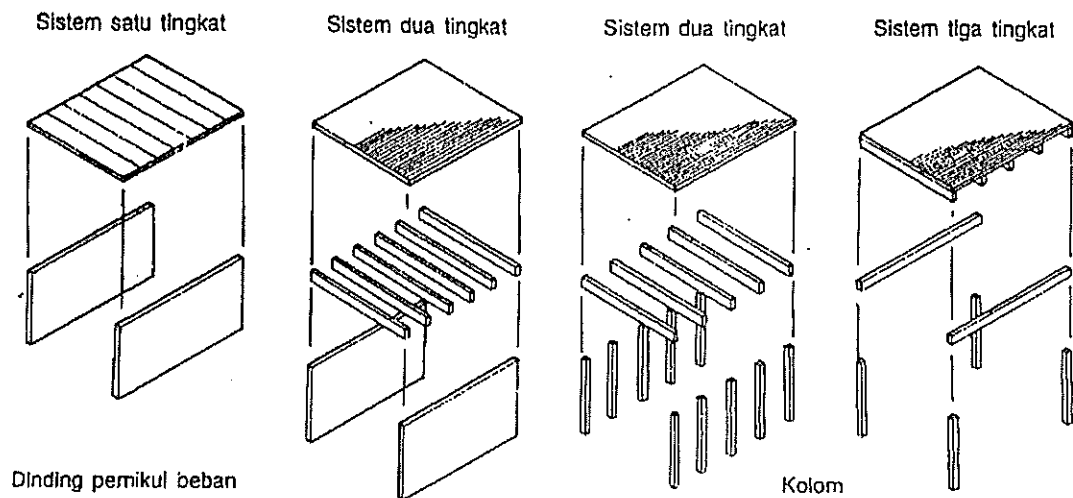
Jaring adalah permukaan tiga dimensi yang terbuat dari sekumpulan kabel yang saling melintang. Jaring mempunyai analogi dengan kulit membran. Dengan memungkinkan adanya lobang saringan untuk variasi sesuai dengan keperluan, sangat banyak bentuk permukaan jaring yang dapat diperoleh. Keuntungan penggunaan kabel melintang adalah bahwa, penempatan kabel tersebut dapat mencegah atap dari getaran akibat tekanan dan isapan angin.

III. SATUAN STRUKTURAL UTAMA

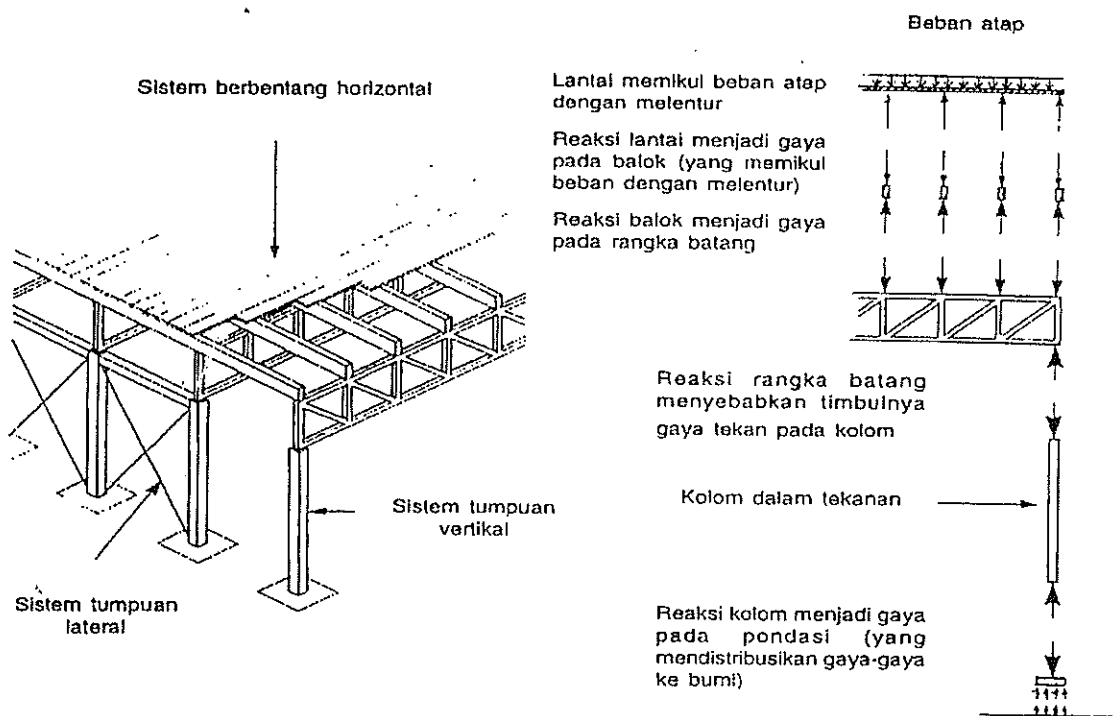
Satuan struktural utama dapat terdiri atas kombinasi beberapa elemen struktur. Untuk satuan selular yang biasa dijumpai, perlu dibedakan antara sistem struktur yang membentang secara horisontal, yang membentang secara vertikal, dan sistem tumpuan. Untuk permukaan datar, sistem yang membentang secara horisontal dapat terdiri atas satu atau dua elemen yang membentang. Untuk sistem yang terdiri atas elemen-elemen yang membentang secara vertikal, seringkali terdapat hirarki konfigurasi struktur dan pembebanan. Sebagai contoh, papan pembentuk permukaan yang terbentang pendek, pada jarak-jarak tertentu ditumpu oleh balok-balok sekunder (balok anak) yang berjarak dekat satu sama lain, yang pada gilirannya akan dipikul oleh balok lain. Beban-beban yang bekerja pada permukaan tersebut, misalnya beban mati dan beban hidup, mula-mula dipikul oleh lantai untuk selanjutnya disalurkan ke balok-balok anak. Balok-balok anak tersebut akan menyalurkan beban ke sistem pemikul vertikal.

Gaya-gaya disalurkan dari satu elemen ke elemen lainnya melalui gaya-gaya reaksi yang terdapat di tumpuan elemen. Dengan demikian, beban beserta gaya-gaya dalam yang berkaitan, akan semakin besar pada elemen-elemen yang terletak pada hirarki lebih rendah, sehingga elemen-elemen ini harus lebih besar dan lebih kaku dari elemen lainnya. Hirarki dapat terdiri atas dua, tiga lapis, atau lebih, tetapi hirarki tiga lapis yang sering dipakai (Gambar 4). Pada situasi bentang pendek, sistem lantai dan balok lebih sering digunakan. Untuk bentang yang lebih besar, rangka batang atau kabel dapat digunakan sebagai elemen primer dan sekunder. Tentu saja sistem lain, misalnya pelengkung dan cangkang, dapat juga digunakan.

Sistem plat dan girder (balok) dapat pula digunakan sebagai elemen struktur yang membentang secara horisontal. Untuk bentang yang pendek, biasanya hanya digunakan hirarki satu tingkat saja. Untuk bentang struktur yang lebih besar, digunakan sistem hirarki dua atau tiga tingkat.



Gambar 4. Jenis-jenis umum sistem struktur yang membenteng horizontal yang digunakan bersama dinding pemikul beban dan sistem tumpuan vertikal



Gambar 5. Mekanisme transfer beban pada suatu sistem struktur

Penjelasan Gambar 5 :

Susunan elemen struktur yang umum. Lantai ditumpu oleh sistem rangka sekunder yang terdiri atas balok-balok berjarak dekat, yang pada gilirannya ditumpu oleh sistem primer yang terdiri atas Struktur Rangka Batang yang berjarak relatif lebih jauh.

Lantai menyalurkan beban atap ke balok sekunder. Balok-balok akan menyalurkan beban ke rangka batang, yang pada gilirannya meneruskan beban tersebut ke kolom. Kolom-kolom menyalurkan beban tersebut ke pondasi. Transfer gaya ini terjadi melalui adanya gaya-gaya reaksi antara elemen-elemen dan pada level yang lebih rendah akan semakin besar.

IV. MASALAH DALAM ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR

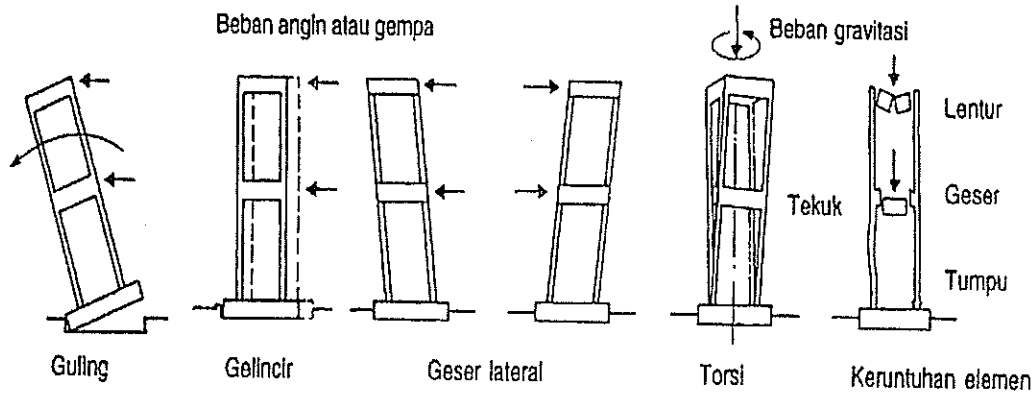
Sebelum ini telah dibahas sifat-sifat dan konfigurasi dari struktur Teknik Sipil secara garis besar. Struktur dengan konfigurasi tertentu dapat terguling secara keseluruhan, atau runtuh secara internal, apabila mengalami pembebanan tertentu. Atau, dapat pula komponen strukturnya mengalami kegagalan atau perubahan bentuk. Beban atau gaya luar (*external forces*) yang menyebabkan terguling atau gagal suatu sistem struktur dapat berasal dari keadaan tertentu, misalnya beban horisontal akibat angin dan gempa, atau akibat beban vertikal yang disebabkan oleh penggunaan atau berat sendirinya. Beban-beban yang bekerja pada struktur akan menimbulkan gaya dalam (*internal forces*) pada elemen-elemen struktur, tegangan pada bahannya, dan pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan. Ada beberapa cara dasar penyebab kegagalan dari suatu struktur.

Masalah pertama adalah yang berkaitan dengan kestabilan struktur secara menyeluruh. Sebagai satu kesatuan yang utuh, suatu struktur dapat terguling, tergelincir, atau terpuntir relatif terhadap dasarnya atau pondasinya, terutama apabila mengalami beban horisontal seperti angin dan gempa. Struktur yang relatif tinggi, dan/atau mempunyai bidang dasar yang kecil, lebih mempunyai potensi untuk terguling. Gaya-gaya akibat gempa cenderung menyebabkan aksi guling dan gelincir pada struktur. Besarnya gaya gempa tergantung pada berat struktur, karena gaya gempa adalah gaya inersia yang besarnya dipengaruhi oleh percepatan tanah dasar akibat gempa dan massa dari bangunan.. Momen guling tidak selalu disebabkan oleh gaya horisontal. Ketidakseimbangan terhadap berat sendiri juga dapat menyebabkan terjadinya guling. Penggunaan pondasi kaku yang lebar dapat mencegah tergulingnya struktur, juga penggunaan dari elemen-elemen pondasi seperti tiang-tiang yang mampu memikul gaya tarik, dapat mencegah terjadinya guling.

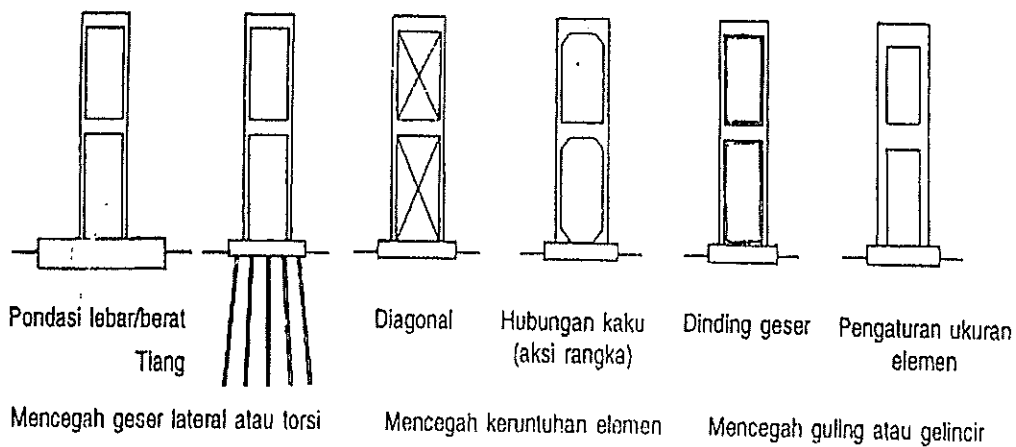
Masalah kedua adalah yang berkaitan dengan kestabilan hubungan atau *internal*. Apabila bagian-bagian dari struktur tidak tersusun atau terhubung dengan baik, maka struktur secara keseluruhan dapat runtuh secara internal. Keruntuhan demikian selalu disertai dengan perubahan bentuk atau perpindahan di dalam struktur itu sendiri. Suatu susunan elemen dapat stabil untuk kondisi pembebanan tertentu, tapi tidak untuk kondisi lainnya.

Masalah ketiga adalah yang berkaitan dengan kekuatan dan kekakuan dari elemen-elemen struktur. Ada banyak masalah struktural di sekitar kekuatan komponen struktur. Keruntuhan komponen dapat berupa keruntuhan akibat gaya tarik, tekan, lentur, geser, torsi, dan gaya tumpu, atau deformasi berlebihan, yang timbul secara internal di dalam struktur sebagai akibat dari adanya beban. Bersamaan dengan gaya, juga timbul tegangan-tegangan

pada material. Dengan mendesain komponen-komponen struktur secara hati-hati, keadaan tegangan tersebut dapat diatur agar berada dalam taraf yang aman.



JENIS-JENIS KERUNTUHAN



RESPON STRUKTURAL UNTUK MENEGAH RUNTUH

Gambar 6. Jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada struktur dan cara pencegahannya

KESTABILAN STRUKTUR

Tinjauan dasar dalam merencanakan struktur akan menjamin kestabilan pada segala kondisi pembebanan yang mungkin terjadi selama umur rencana dari struktur. Semua struktur akan mengalami perubahan bentuk/deformasi (*deformation*) tertentu apabila dibebani. Pada struktur yang stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban luar pada umumnya kecil (*small deformation*), sehingga gaya-gaya dalam yang timbul di dalam elemen-elemen struktur masih bersifat elastis (*elastic*), yaitu elemen-elemen struktur yang dibebani mempunyai kecenderungan untuk kembali ke bentuknya yang semula apabila bebannya dihilangkan.

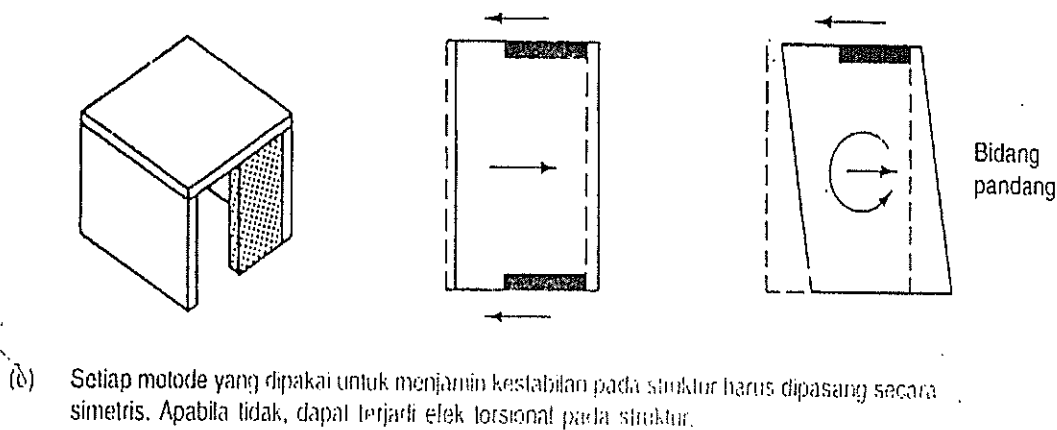
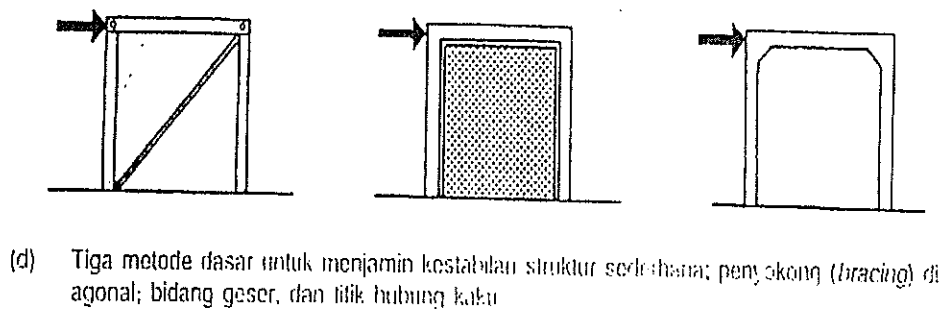
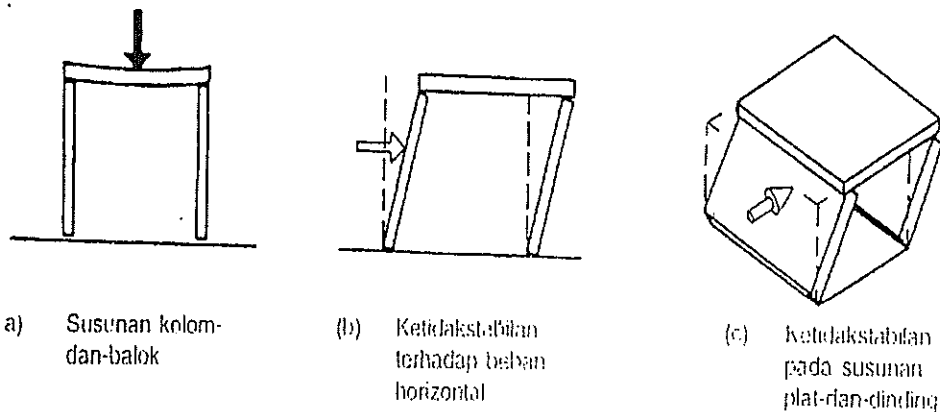
Pada struktur yang tidak stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban luar pada umumnya mempunyai kecenderungan untuk terus bertambah selama struktur tersebut dibebani. Struktur yang tidak stabil cenderung bersifat tidak elastis (*inelastic*), sehingga struktur mempunyai kecenderungan tidak dapat kembali ke bentuknya yang semula apabila bebannya dihilangkan. Struktur yang tidak stabil mudah mengalami keruntuhan (*collapse*) secara menyeluruh, dan seketika begitu dibebani. Tanggung jawab perencana strukturlah untuk menjamin agar struktur mempunyai konfigurasi yang stabil.

Stabilitas sering kali merupakan hal yang sulit di dalam perencanaan struktur yang merupakan gabungan dari elemen-elemen diskrit. Sebagai contoh, berdasarkan teori, struktur tiang dan balok pada Gambar 7(a) stabil. Akan tetapi, untuk suatu perubahan sedikit dalam kondisi pembebanan, misalnya apabila ada gaya horisontal pada struktur, dapat terjadi deformasi seperti terlihat pada Gambar 7(b). Jelaslah bahwa struktur tersebut tidak mempunyai kapasitas untuk menahan beban horisontal, juga tidak mempunyai mekanisme apa pun yang mengembalikannya ke bentuk semula apabila beban horisontal tersebut dihilangkan. Perubahan besar pada sudut yang terjadi di antara elemen struktur menunjukkan ketidakstabilan struktur, yaitu merupakan awal terjadinya *collapse*. Struktur tiang-dan-balok ini akan *collapse* apabila dibebani. Dengan demikian, pola elemen struktur seperti ini disebut *mekanisme runtuh (collapse)*. Hubungan dan pola lain antara elemen struktur juga ada yang membentuk mekanisme runtuh.

Ada beberapa cara dasar untuk mengubah struktur berdiri sendiri yang bentuk umumnya seperti terlihat pada Gambar 7(b) menjadi konfigurasi stabil. Ini diilustrasikan pada Gambar 7(d). Yang pertama adalah dengan menambah elemen struktur *diagonal* pada struktur. Dengan demikian, struktur tidak dapat mengalami deformasi menjadi jajaran genjang seperti terlihat pada Gambar 7(b) tanpa adanya perubahan besar pada panjang elemen diagonal. Perubahan besar ini tidak akan terjadi kalau elemen diagonal dirancang cukup untuk memikul beban tersebut. Metode lain untuk menjamin kestabilan adalah dengan menggunakan dinding geser. Elemennya berupa elemen permukaan bidang kaku, yang tentu saja dapat menahan deformasi akibat beban horisontal tersebut. Beton bertulang atau dinding bata dapat digunakan sebagai dinding geser. Baik dinding penuh maupun sebagian, dapat digunakan. Ukuran dinding tersebut tergantung pada besar gaya yang bekerja padanya.

Metode sederhana lain untuk menjamin kestabilan struktur adalah dengan mengubah hubungan antara elemen struktur sedemikian rupa sehingga perubahan sudut yang terjadi berharga konstan untuk suatu kondisi pembebanan tertentu. Hal ini dilakukan dengan membuat titik hubung kaku di antara elemen struktur. Titik hubung demikian sangat umum

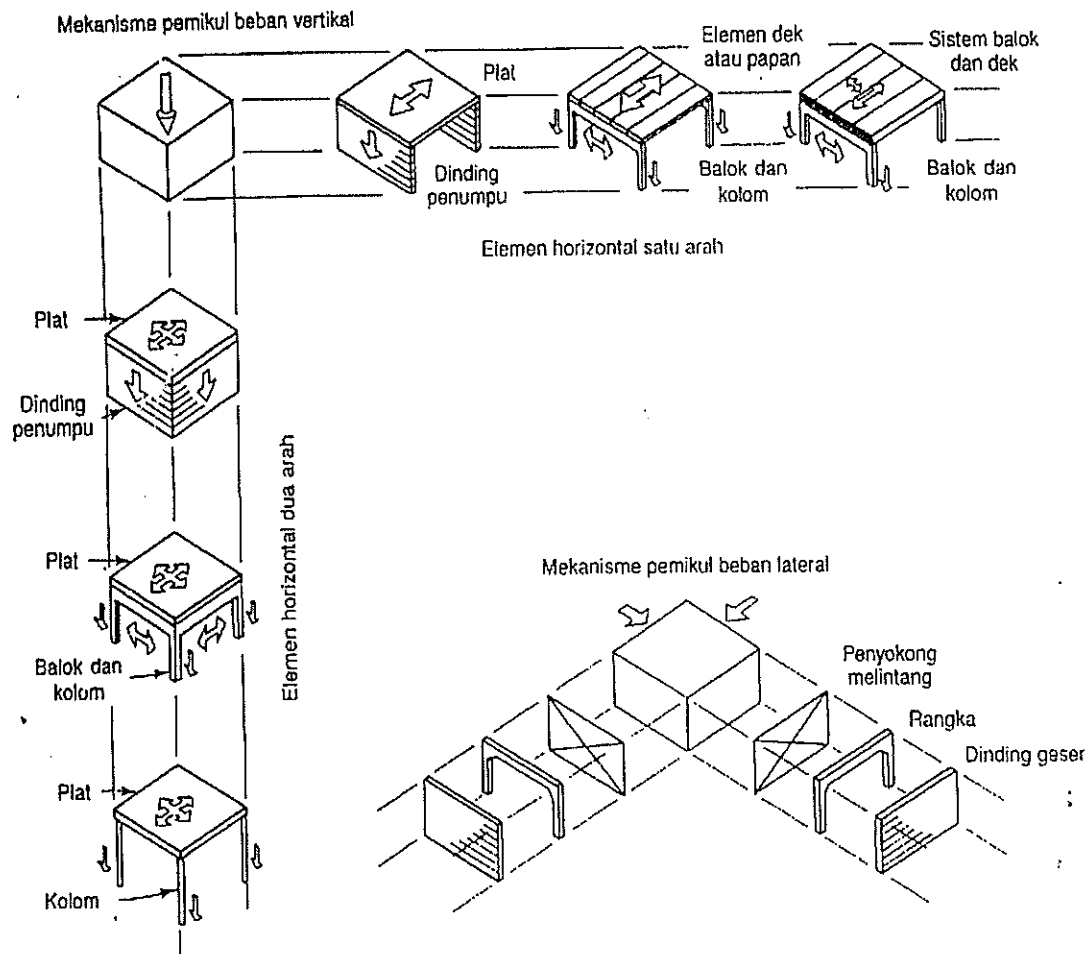
digunakan. Sebagai contoh, meja adalah struktur stabil karena adanya titik hubung kaku di antara setiap kaki meja dengan permukaan meja, yang menjamin hubungan sudut konstan di antara elemen-elemen tersebut. Struktur yang menggunakan titik hubung kaku untuk menjamin kestabilan sering disebut sebagai Struktur Rangka Kaku (*Frame Structure*).



Gambar 7. Kestabilan struktur

Tentu saja ada berbagai cara untuk menjamin kestabilan struktur. Dapat pula menggunakan gabungan dari cara dasar yang telah disebutkan sebelum ini, misalnya elemen struktur dihubungkan secara kaku dan mempunyai elemen diagonal. Hal ini tentu saja memperbesar derajat kestatik-taktentuannya.

Dengan memperhatikan rakitan komponen struktur yang ada dalam Gambar 8, salah satu atau lebih komponen penjamin kestabilan harus digunakan agar struktur tidak runtuh secara lateral. Satu elemen volumetrik dapat didesain dengan menggunakan satu jenis penjamin stabilitas untuk satu arah lateral, dan satu jenis penjamin stabilitas lain untuk arah yang lainnya.

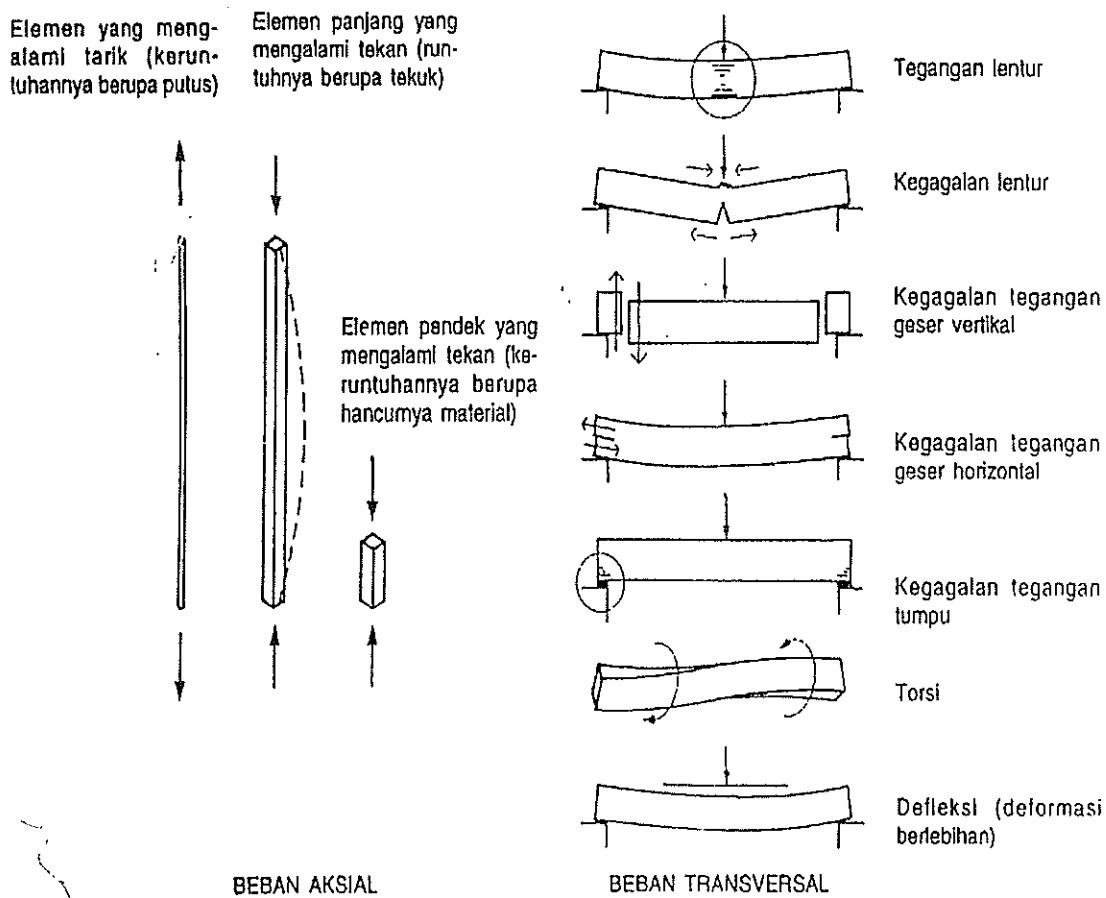


Gambar 8. Konfigurasi struktur yang umum digunakan

TARIK, TEKAN, LENTUR, GESER, TORSI, DAN TUMPU

Aksi gaya eksternal yang bekerja pada struktur akan menyebabkan timbulnya gaya internal di dalam elemen-elemen struktur. Gaya internal di dalam elemen yang paling umum terjadi adalah berupa tarik, tekan, lentur, geser, torsi, dan tumpu (Gambar 9). Yang berkaitan dengan gaya-gaya internal adalah timbulnya tegangan dan regangan internal. Tegangan (*stress*) adalah ukuran intensitas gaya per satuan luas, dimana satuannya adalah lb/in^2 atau N/mm^2 (Mpa), dan regangan (*strain*) adalah ukuran deformasi, dimana satuannya adalah $in./in.$ atau mm/mm .

Gaya tarik (*tension*) mempunyai kecenderungan untuk menarik elemen hingga putus. Kekuatan elemen tarik tergantung pada luas penampang elemen dan material yang digunakan. Elemen yang mengalami tarik dapat mempunyai kekuatan tinggi, misalnya pada kabel yang digunakan untuk struktur terbentang panjang. Kekuatan elemen tarik umumnya tergantung pada panjangnya. Tegangan tarik terdistribusi merata pada penampang elemen, besarnya tegangan tarik adalah gaya persatuan luas.



Gambar 9. Tekan, tarik, lentur, geser, tumpu, torsi, dan defleksi.

Gaya tekan (*compression*) cenderung akan menyebabkan kehancuran atau tekuk pada elemen. Elemen yang pendek cenderung hancur, dan mempunyai kekuatan relatif setara dengan kekuatan elemen tersebut apabila mengalami tarik. Sebaliknya, kapasitas pikul beban elemen tekan semakin kecil untuk elemen yang semakin panjang. Elemen tekan panjang dapat menjadi tidak stabil, dan dapat secara tiba-tiba menekuk pada taraf beban kritis. Ketidakstabilan tiba-tiba yang menyebabkan elemen tidak dapat memikul beban tambahan sedikitpun, bisa terjadi tanpa terjadi kelebihan tegangan pada material. Fenomena ini disebut

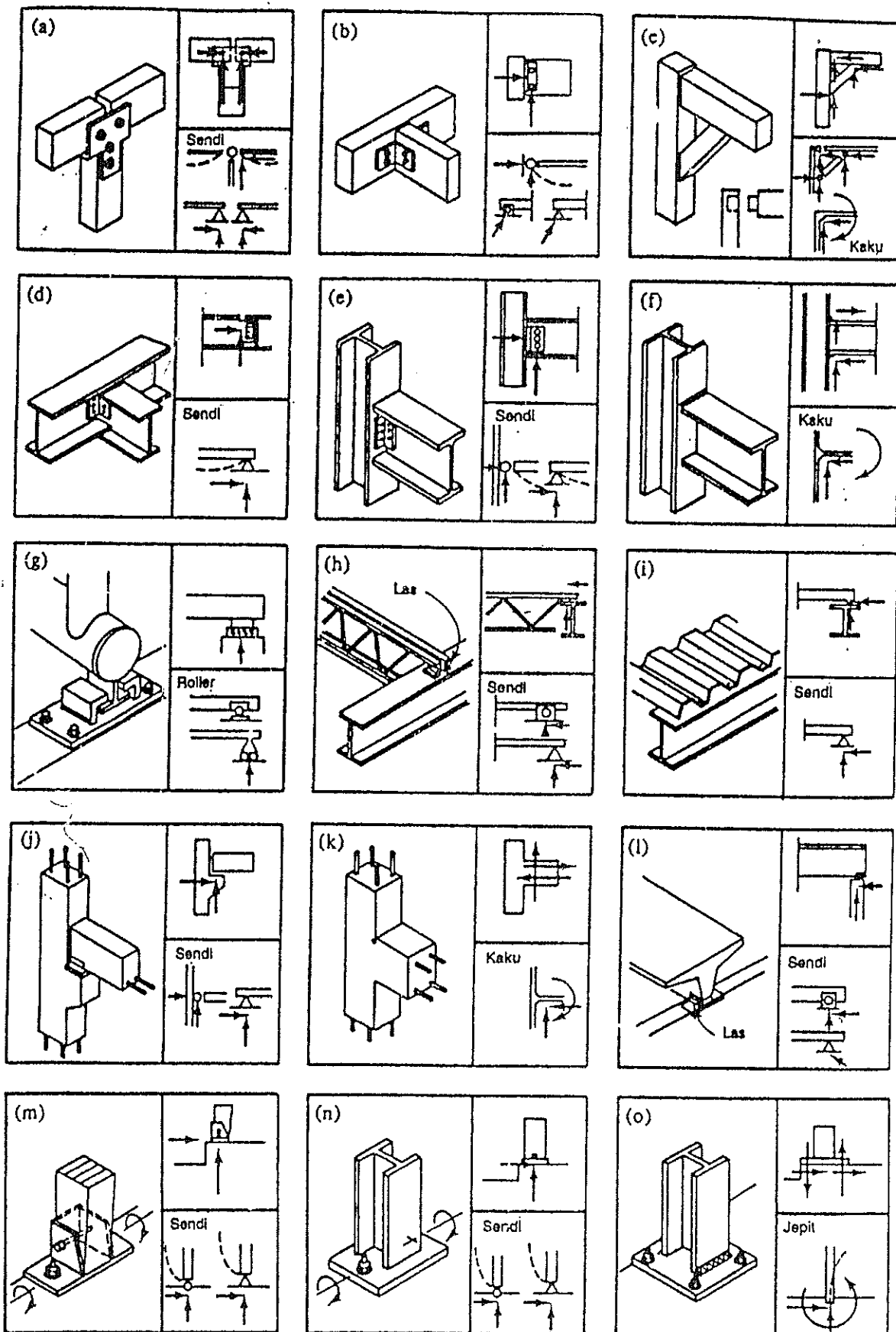
tekuk (*buckling*). Karena adanya fenomena tekuk ini, maka elemen tekan yang panjang tidak dapat memikul beban yang sangat besar.

Lentur (*bending*) adalah keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen. Biasanya lentur terjadi pada elemen balok sebagai akibat dari adanya beban transversal. Aksi lentur menyebabkan serat-serat pada satu muka elemen memanjang, mengalami tarik, dan serat pada muka lainnya mengalami tekan. Jadi, baik tarik maupun tekan terjadi pada satu penampang yang sama. Keadaan gaya yang kompleks ini tidak dapat hanya dinyatakan dengan tegangan yang besarnya sama dengan gaya dibagi luas penampang.

Tegangan tarik dan tegangan tekan ini bekerja dalam arah tegak lurus permukaan penampang. Kekuatan elemen yang mengalami lentur tergantung pada distribusi material pada penampang, juga jenis materialnya. Sebagai respon atas adanya lentur, penampang mempunyai bentuk-bentuk khusus, misalnya profil sayap lebar dari baja, atau penampang beton bertulang yang menggunakan tulangan baja sebagai pemikul tarik.

Geser (*shear*) adalah keadaan gaya yang berkaitan dengan aksi gaya-gaya berlawanan arah, yang menyebabkan satu bagian struktur tergelincir terhadap bagian di dekatnya. Tegangan yang timbul disebut sebagai tegangan geser, yang bekerja dalam arah tangensial permukaan gelincir. Tegangan geser umum terjadi pada balok. Torsi (*torsion*) adalah puntir. Baik tegangan tarik maupun tekan terjadi pada elemen yang mengalami torsi.

Tegangan tumpu (*bearing stress*) terjadi antara bidang muka dua elemen apabila gaya-gaya disalurkan dari satu elemen ke elemen lainnya. Sebagai contoh, tegangan tumpu pada ujung-ujung balok yang terletak di atas dinding atau kolom. Tegangan-tegangan yang terjadi mempunyai arah tegak lurus permukaan elemen. Defleksi (*deflection*) yang diakibatkan beban pada elemen harus dibatasi pada taraf yang diijinkan. Tegangan dan interaksi tegangan dapat saja terjadi pada elemen struktur.



Gambar 10. Beberapa bentuk sambungan antar elemen struktur model idealisasinya

BAB. II PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

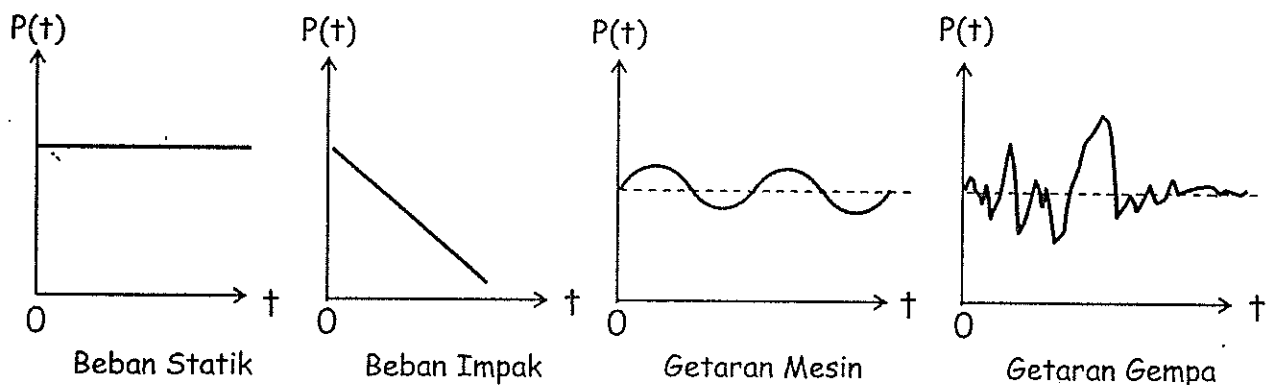
Dalam menjalankan fungsinya, setiap sistem struktur akan menerima pengaruh dari luar yang perlu dipikul. Selain pengaruh dari luar, sistem struktur yang terbuat dari material bermassa, juga akan memikul beratnya sendiri akibat pengaruh gravitasi.

Selain pengaruh dari luar yang dapat diukur sebagai besaran gaya, seperti berat sendiri struktur, beban akibat hunian atau penggunaan struktur, pengaruh angin atau getaran gempa, tekanan tanah atau tekanan hidrostatis air, terdapat juga pengaruh luar yang tidak dapat diukur sebagai gaya. Sebagai contoh adalah pengaruh penurunan pondasi pada struktur bangunan, atau pengaruh temperatur/suhu pada elemen-elemen struktur.

Secara umum, beban luar yang bekerja pada struktur Teknik Sipil dapat dibedakan menjadi beban statik dan beban dinamik.

- Jika perubahan dari intensitas beban bervariasi secara cepat terhadap waktu, maka beban tersebut disebut sebagai beban dinamik (*dynamic load*).
- Jika perubahan dari intensitas beban berjalan cukup perlahan sedemikian rupa sehingga pengaruh dari waktu tidak dominan, maka beban tersebut disebut sebagai beban statik (*static load*).

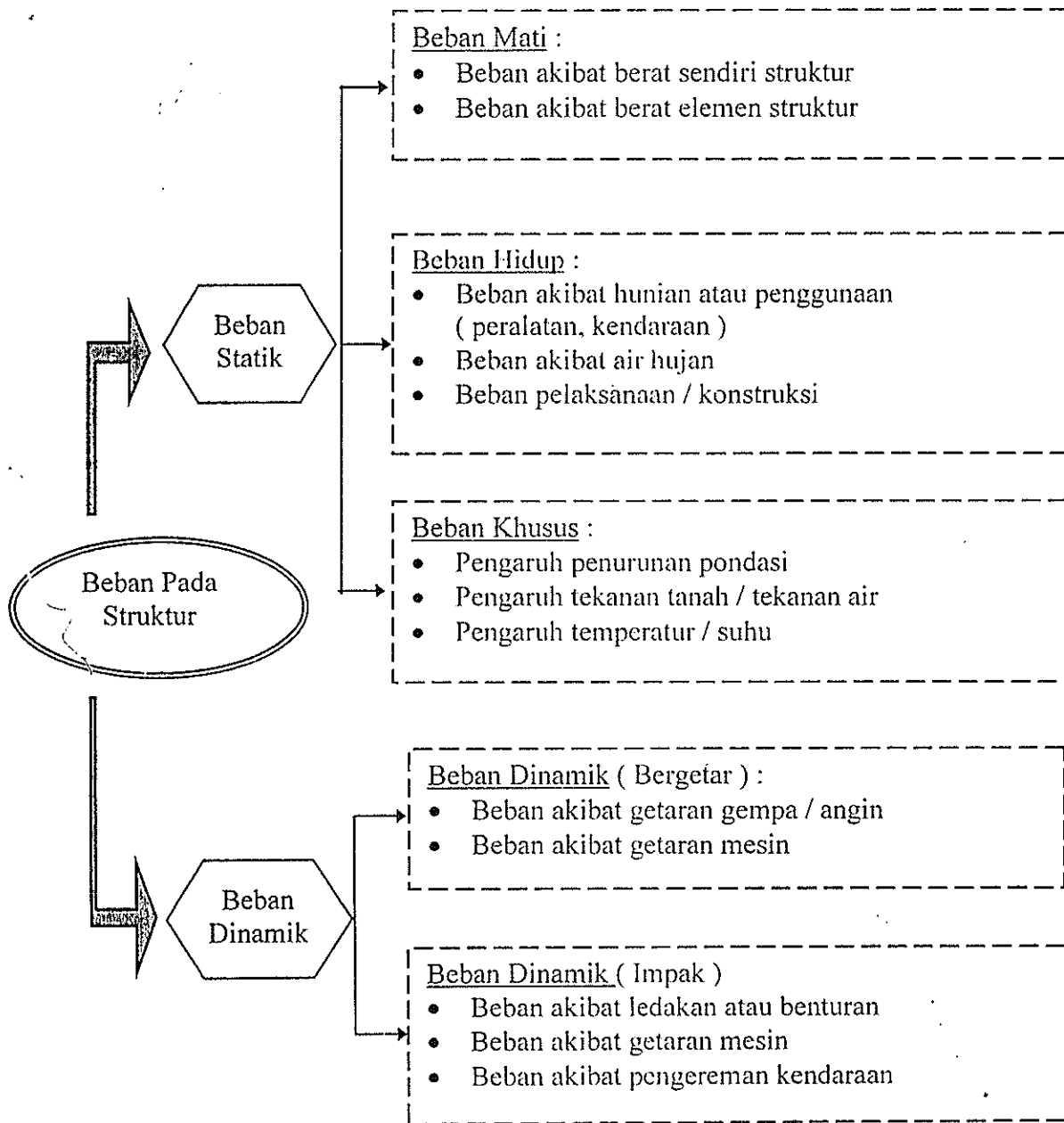
Pengaruh beban statik dan dinamik pada struktur, dapat digambarkan pada Diagram Beban (P) – Waktu (t), sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Beban - Waktu

Beban statik dapat dianggap sebagai beban dinamik dengan intensitas beban yang tetap dari waktu ke waktu. Getaran mesin merupakan beban dinamik yang periodik karena mempunyai intensitas beban dan frekuensi getar yang berulang. Bentuk dari getaran yang ditimbulkan mesin pada umumnya berbentuk sinusoidal.

Getaran gempa merupakan beban dinamik dengan intensitas dan frekuensi getar yang acak dari waktu ke waktu. Meskipun terjadi dalam waktu yang singkat, tetapi getaran gempa dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan. Skema pembebanan pada struktur diperlihatkan pada gambar di bawah :



Gambar 2. Beberapa jenis beban yang dapat bekerja pada struktur

Untuk memudahkan prosedur analisis struktur, sering dilakukan memperlakukan beban bergerak sebagai beban statik dengan titik tangkap yang bervariasi. Pengaruh yang ditimbulkan

oleh pergerakan beban, diperhitungkan dengan mengalikan intensitas beban dengan suatu faktor pembesaran yang dinamakan faktor kejut.

Untuk keperluan desain, sampai dengan tingkat intensitas beban tertentu serta batasan dari kondisi struktur bangunan tertentu, beban dinamik yang bekerja pada struktur, dapat diasumsikan sebagai beban statik ekuivalen. Sebagai contoh, analisis struktur bangunan terhadap getaran gempa dapat dilakukan dengan metode analisis statik yang sederhana, yaitu Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen jika bangunan mempunyai bentuk yang simetris dengan ketinggian bangunan tidak lebih dari 40 m. Untuk bangunan dengan bentuk yang tidak beraturan atau bangunan dengan ketinggian lebih dari 40 m, analisis harus dilakukan secara dinamik.

KOMBINASI PEMBEBANAN

Di Indonesia, pada umumnya umur rencana dari suatu struktur bangunan adalah 30 sampai 50 tahun. Oleh karena itu selama umur rencananya, struktur bangunan harus mampu menerima berbagai macam kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi.

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan, dapat berupa kombinasi dari beberapa kasus pembebanan beban (*load case*) yang terjadi secara bersamaan. Untuk memastikan bahwa suatu struktur bangunan dapat bertahan selama umur rencananya, maka pada proses perancangan dari struktur, perlu ditinjau beberapa kombinasi pembebanan (*load combination*) yang mungkin terjadi pada struktur. Sebagai contoh, pada buku Tatacara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung – SNI 03-2847-1992, disebutkan bahwa kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan pada perancangan struktur beton adalah :

Kombinasi Pembebanan Tetap

Pada kombinasi pembebanan tetap ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah :

$$U = 1,2.D + 1,6.L$$

Kombinasi Pembebanan Sementara

Pada kombinasi pembebanan sementara ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah :

$$U = 1,05.D + 0,6.L \pm 1,05.E$$

$$U = 0,90 (D \pm E)$$

$$U = 0,75 (1,2.D + 1,6.L + 1,6.W)$$

$$U = 0,9.D + 1,3.W$$

dimana : D = Beban mati, L = Beban hidup, W = Beban angin

E = Beban gempa, Lr = Beban hidup tereduksi

Koefisien 1,2 , 1,6 , 1,3 , 1,05 , dan 0,9 merupakan faktor pengali dari beban, yang disebut Faktor Beban (*Load Factor*).

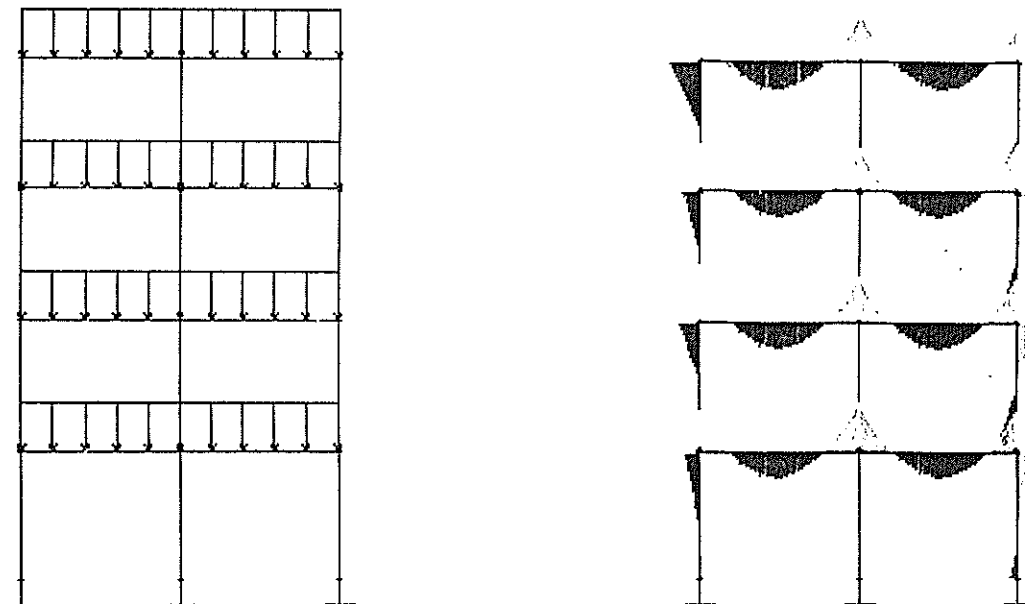
Sistem struktur harus diperhitungkan terhadap kombinasi Pembebanan Tetap dan Pembebanan Sementara. Momen lentur (M_u), momen torsi / puntir (T_u), gaya geser (V_u), dan gaya normal (P_u) yang terjadi pada elemen-elemen struktur akibat kedua kombinasi pembebanan yang ditinjau, dipilih yang paling besar harganya, untuk selanjutnya digunakan pada proses desain.

Beberapa kombinasi pembebanan yang sering dijumpai di dalam analisis struktur diperlihatkan pada contoh-contoh di bawah :

1. Struktur Portal Dengan Dua Kombinasi Pembebanan.

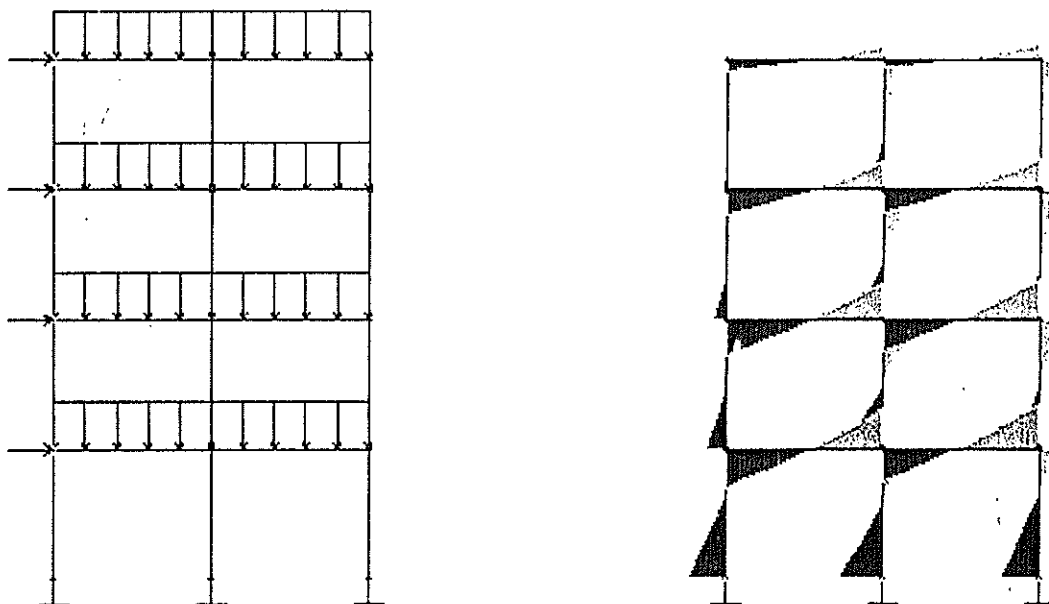
Untuk keperluan desain, perlu dilakukan perhitungan mekanika teknik dari portal beton dengan kombinasi pembebanan tetap dan sementara, sbb. :

a. Pembebanan Tetap : $U = 1,2.D + 1,6.L$



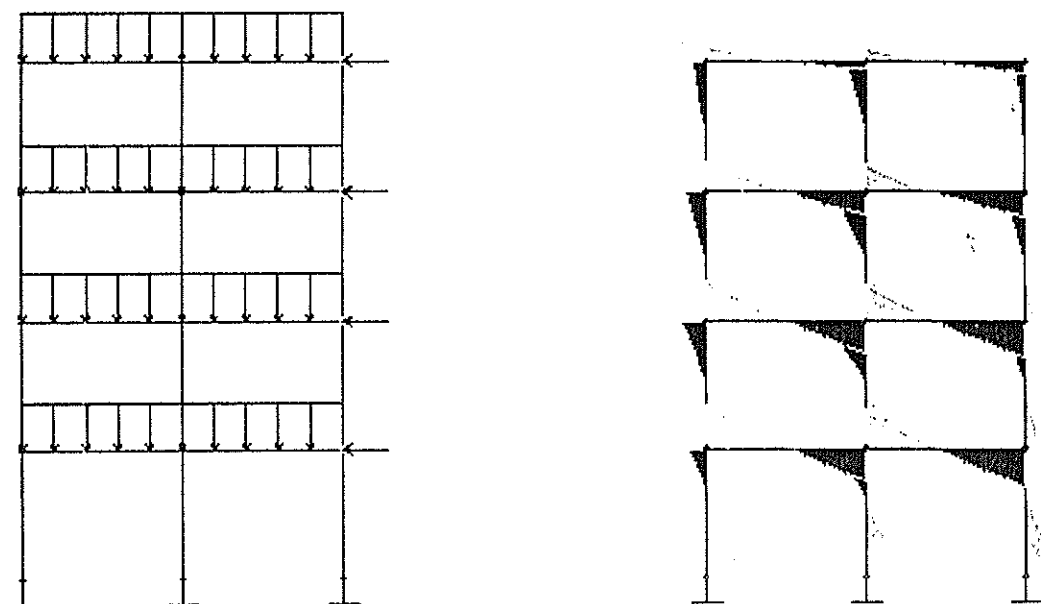
Gambar 3. Pembebanan tetap dan momen lentur yang terjadi pada struktur

b. Pembebanan Sementara 1 : $U = 1,05.D + 0,6.L + 1,05.E$ (gempa dari kanan)



Gambar 4. Pembebanan sementara dan momen lentur yang terjadi pada struktur

c. Pembebanan Sementara 2 : $U = 1,05.D + 0,6.L + 1,05.E$ (gempa dari kiri)



Gambar 5. Pembebanan sementara dan momen lentur yang terjadi pada struktur

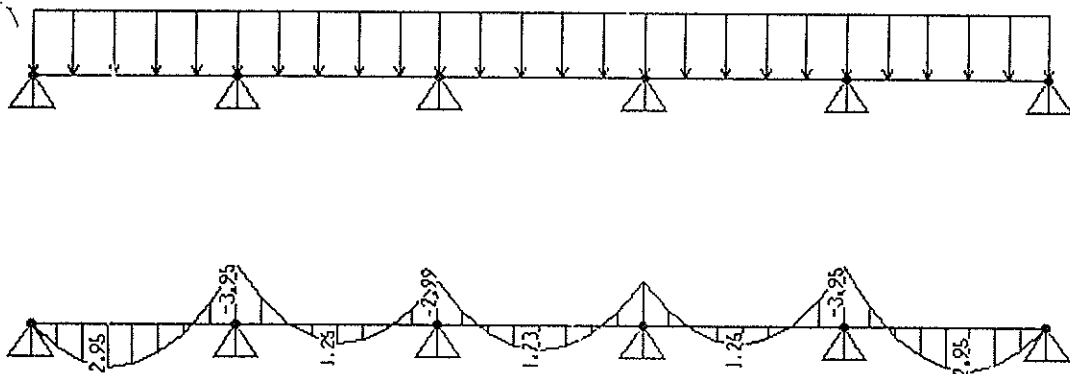
Beban mati dan beban hidup selalu berarah ke bawah karena merupakan beban gravitasi, sedangkan beban angin atau beban gempa merupakan beban yang berarah horisontal. Akibat kombinasi pembebanan, pada elemen balok akan bekerja momen lentur yang berarah bolak-balik. Penampang balok harus dirancang agar kuat menahan momen-momen ini.

Akibat beban gempa atau beban angin yang berarah horisontal, pada elemen-elemen kolom dari struktur, akan bekerja momen lentur yang berarah bolak-balik. Penampang kolom harus dirancang agar kuat menahan momen-momen ini. Untuk memikul momen lentur yang berubah arah ini, pada umumnya untuk elemen kolom dipasang tulangan simetris.

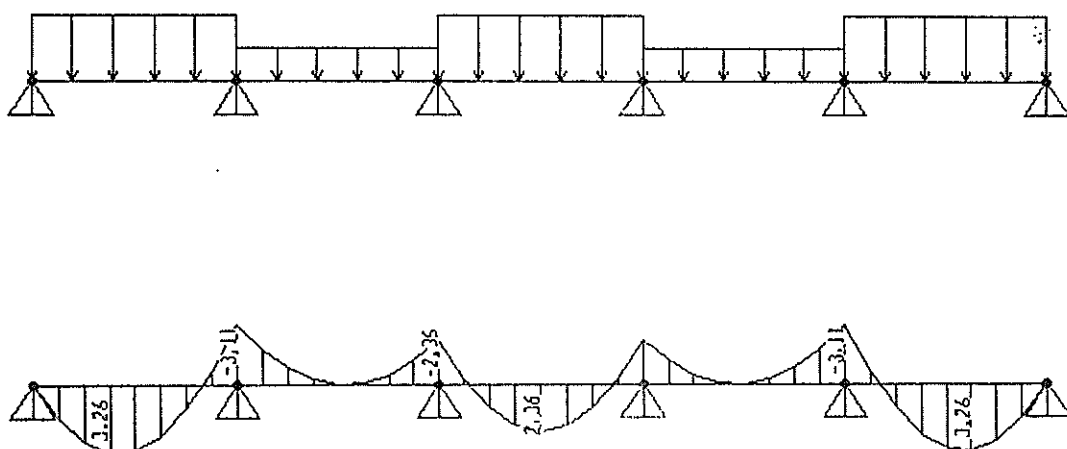
2. Struktur Balok Menerus

Pada struktur balok dengan beberapa bentang yang menerus di atas tumpuan, untuk mendapatkan momen lapangan dan momen tumpuan yang maksimum, posisi dari beban mati dan beban hidup perlu ditempatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan pengaruh yang paling tidak menguntungkan. Untuk mendapatkan pengaruh momen tumpuan dan momen lapangan yang maksimum pada balok, penempatan beban di lakukan sbb. :

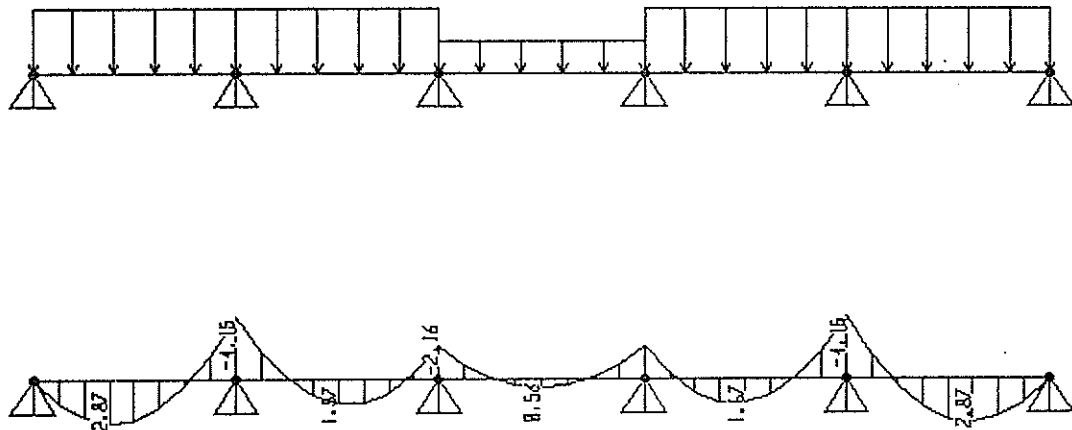
- a. Beban mati dan beban hidup dipasang diseluruh bentang-bentang balok



- b. Beban mati dipasang diseluruh bentang balok, dan beban hidup dipasang berselang setiap satu bentang.



- c. Beban mati dipasang diseluruh bentang balok, dan beban hidup dipasang berselang setiap satu bentang.



Gambar 6. Pembebanan papan catur dan momen lentur yang terjadi pada struktur

Momen lapangan yang maksimum akan terjadi pada balok, jika beban hidup diletakkan berselang untuk setiap satu bentang. Sedangkan momen tumpuan yang maksimum terjadi jika beban hidup diletakkan berdampingan pada dua bentang. Pada struktur beton, kombinasi pembebanan seperti ini disebut pembebanan papan catur.

KARAKTERISTIK BEBAN

Kekuatan dan staoilitas material baja dipengaruhi oleh temperatur. Pada temperatur 550°C tegangan leleh baja menurun sampai 50%. Kondisi ini tentunya sangat berpengaruh pada struktur bangunan pada saat terjadi kebakaran. Akibat panas yang tinggi, tulangan baja didalam beton dapat mengalami tekuk (*buckling*) akibat tegangan tekan pada temperatur tinggi.

Didalam peraturan pembebanan yang berlaku di Indonesia, hanya dicantumkan perlunya memperhitungkan pengaruh kemungkinan naik turunnya suhu sebesar 10°C pada struktur bangunan gedung, yang diakibatkan oleh selisih suhu udara luar. Pengaruh temperatur tinggi pada struktur, misalnya pada saat struktur terbakar, tidak dicantumkan.

BEBAN MATI

Untuk keperluan desain struktur, besarnya beban mati harus ditaksir atau ditentukan terlebih dahulu. Besarnya beban mati pada struktur dapat ditentukan berdasarkan ukuran atau dimensi dari elemen struktur, dan berat jenis material yang digunakan. Berat mati atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat ditentukan dari

peraturan yang berlaku di Indonesia. Tujuan utama dari rancang bangun struktur adalah untuk menyediakan ruang agar dapat digunakan bagi berbagai macam fungsi atau keperluan. Contoh dari pemanfaatan struktur antara lain adalah :

- Struktur bangunan gedung (*building*) yang digunakan untuk tempat hunian atau beraktifitas,
- Struktur jembatan (*bridge*) atau terowongan (*tunnel*) yang digunakan untuk menghubungkan suatu tempat dengan tempat lainnya.
- Struktur bendungan, yang digunakan untuk penampungan dan pengelolaan / pemanfaatan air, dan masih banyak lagi bentuk struktur.

Karena struktur dibuat dari bahan yang bermassa, maka struktur akan dipengaruhi oleh beratnya sendiri. Berat sendiri dari struktur atau elemen-elemen struktur disebut sebagai beban mati (*dead load*). Selain beban mati, struktur dipengaruhi juga oleh beban-beban yang terjadi akibat penggunaan ruangan. Beban ini disebut sebagai beban hidup (*live load*). Selain itu, struktur dipengaruhi juga oleh pengaruh luar akibat kondisi-kondisi alam seperti pengaruh angin, salju, gempa, atau dipengaruhi oleh perbedaan temperatur, serta kondisi lingkungan yang merusak, misalnya pengaruh bahan kimia, kelembaban, atau pengkaratan. Dalam meninjau suatu beban, kita tidak boleh hanya menentukan intensitasnya saja, tetapi juga harus meninjau dalam kondisi bagaimana beban tersebut diterapkan pada struktur.

Sehubungan dengan sifat elastisitas dari bahan-bahan struktur, setiap sistem atau elemen struktur akan berdeformasi jika dibebani, dan akan kembali kebentuknya yang semula jika beban yang bekerja dihilangkan. Oleh karena itu struktur mempunyai kecenderungan untuk bergoyang kesamping (*sidesway*), atau melentur ke bawah (*deflection*) jika dibebani.

Waktu yang diperlukan oleh struktur untuk melakukan suatu goyangan lengkap, disebut periode getar struktur. Suatu struktur biasanya mempunyai sejumlah periode, dimana periode yang terpanjang disebut periode dasar (*fundamental period*). Pada umumnya bangunan-bangunan Teknik Sipil mempunyai kekakuan lateral yang beraneka ragam, sehingga mempunyai periode getar yang berlainan. Periode getar bangunan Teknik Sipil berkisar antara 0,2 detik untuk bangunan yang rendah atau kaku, sampai 9 detik untuk bangunan yang lebih tinggi atau fleksibel.

Jika suatu beban diterapkan pada suatu struktur dalam jangka waktu yang lebih lama dari pada periode dasarnya, maka beban tersebut dikatakan bekerja secara statik (*statically*) pada struktur, dengan demikian beban tersebut harus ditentukan berdasarkan intensitas, arah dan posisinya. Tekanan angin yang bekerja mulai dari nol sampai ke harga maksimumnya dalam

waktu 3 detik, merupakan suatu gaya statik untuk struktur yang kaku dengan periode getar struktur < 3 detik.

Jika waktu bekerjanya beban adalah lebih pendek dibandingkan dengan periode dasar struktur, maka beban ini dikatakan bekerja secara dinamik (*dynamically*). Beban-beban dinamik harus ditentukan berdasarkan intensitasnya yang maksimum dan variasi waktunya.

Suatu beban yang mencapai intensitas maksimumnya secara sangat cepat disebut beban bentur (*impact load*), dan besarnya dapat dianggap sama dengan suatu beban statik dengan intensitas yang lebih besar. Contoh dari beban bentur pada struktur adalah pengaruh benturan / tumbukan atau pengaruh ledakan. Suatu beban yang intensitasnya bertambah dan berkurang menurut waktu secara konstan, disebut beban bergetar (*oscillatory load*). Contoh dari beban bergetar pada struktur adalah pengaruh getaran mesin atau pengaruh gempa.

Beban dinamik yang bergetar dapat sangat berbahaya apabila periode getarannya berimpit dengan salah satu dari periode getar struktur. Jika periode getar beban berimpit dengan periode getar struktur, maka hal ini dapat menyebabkan terjadinya resonansi pada struktur. Resonansi pada struktur dapat menyebabkan deformasi yang besar, sehingga dapat menyebabkan kerusakan atau keruntuhan struktur. Sebagai contoh, mesin-mesin seperti turbin, pompa, mesin tumbuk yang bergetar, dapat menyebabkan terjadinya resonansi pada struktur pendukungnya. Pada prosedur desain dari struktur yang mendukung mesin-mesin, perlu ditinjau pengaruh resonansi ini.

Berat dari sebuah elevator / lift yang berhenti secara tiba-tiba, akan menyebabkan beban bentur pada penyangganya yang besarnya dapat sama dengan dua kali dari berat elevator. Beban bentur yang bekerja ini mengalami pembesaran dua kali, atau dikatakan beban ini mempunyai faktor pembesaran dinamik (*dynamic magnification factor*) sebesar 2. Faktor pembesaran dinamik dapat digunakan untuk menyederhanakan perhitungan desain struktur yang memikul beban-beban dinamik, misalnya getaran mesin.

Beban-beban dinamik pada struktur yang dihasilkan oleh gerakan-gerakan yang cepat dari tanah seperti pengaruh gempa, sangat tergantung dari kekakuan dan berat struktur. Beban akibat gempa merupakan beban yang paling sulit diprediksi besar, arah, dan datangnya.

Perbedaan temperatur antar elemen-elemen struktur, dapat menyebabkan pemuaian atau penyusutan relatif. Jika pemuaian ini dicegah sebagian atau seluruhnya, maka akan menimbulkan beban pada struktur yaitu bertambahnya tegangan pada bahan. Pengaruh temperatur yang tinggi, misalnya pada kasus terbakarnya bangunan, dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan stabilitas struktur, disebabkan oleh berkurangnya kekuatan dan modulus elastisitas bahan.

Kuat tekan beton akan sangat berkurang pada temperatur di atas 300⁰ C. Secara umum beton merupakan material bangunan yang memiliki ketahanan yang baik terhadap api/panas, material lainnya. Hal ini disebabkan karena beton merupakan penghantar panas yang lemah, sehingga dapat membatasi kedalaman penetrasi panas.

Berat jenis beberapa material konstruksi :

- Baja = 7850 kg/m³
- Beton = 2200 kg/m³
- Batu belah = 1500 kg/m³
- Beton bertulang = 2400 kg/m³
- Kayu = 1000 kg/m³
- Pasir kering = 1600 kg/m³
- Pasir basah = 1800 kg/m³
- Pasir kerikil = 1850 kg/m³
- Tanah = (1700-2000) kg/m³

Berat beberapa komponen bangunan :

- Atap genting, usuk, dan reng = 50 kg/m²
- Plafon dan penggantung = 20 kg/m²
- Atap seng gelombang = 10 kg/m²
- Adukan / spesi lantai per cm tebal = 21 kg/m²
- Penutup lantai / ubin per cm tebal = 24 kg/m²
- Pasangan bata setengah batu = 250 kg/m²
- Pasangan batako berlubang = 200 kg/m²
- Aspal per cm tebal = 15 kg/m²

BEBAN HIDUP

Fungsi dari elemen struktur khususnya pelat lantai, adalah untuk mendukung beban-beban hidup yang dapat berupa berat dari orang-orang, perabot, mesin-mesin, peralatan, timbunan-timbunan barang. Beban hidup yang bekerja pada struktur dapat sangat bervariasi, sebagai contoh seseorang dapat berdiri di mana saja dalam suatu ruangan, dapat berpindah-

pindah, dapat berdiri dalam satu kelompok. Perabot atau barang dapat berpindah-pindah dan diletakkan dimana saja di dalam ruangan.

Dari penjelasan ini, jelas tidak mungkin untuk meninjau secara terpisah semua kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Oleh karena itu dipakai suatu pendekatan secara statistik untuk menetapkan beban hidup ini, sebagai suatu beban statik terbagi merata yang secara aman akan ekuivalen dengan berat dari pemakaian terpusat maksimum yang diharapkan untuk suatu pemakaian tertentu. Besarnya beban hidup terbagi merata ekuivalen yang harus diperhitungkan pada struktur bangunan gedung, umumnya dapat ditentukan berdasarkan standar yang berlaku.

Beban hidup pada bangunan gedung :

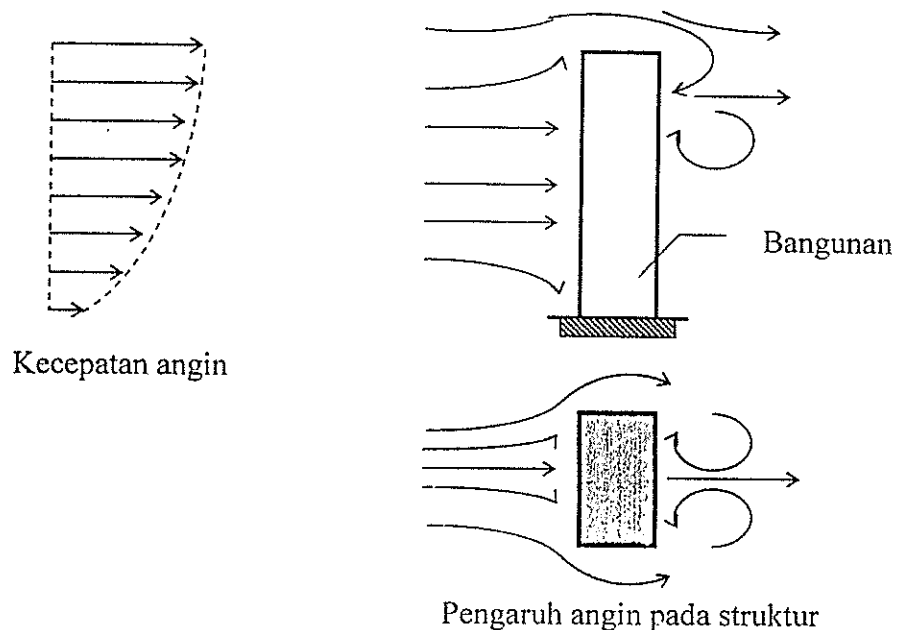
- Beban hidup pada atap = 100 kg/m^2
- Lantai rumah tinggal = 200 kg/m^2
- Lantai sekolah, perkantoran, hotel, asrama, pasar, rumah sakit = 250 kg/m^2
- Panggung penonton = 500 kg/m^2
- Lantai ruang olah raga, lantai pabrik, bengkel, gudang = 400 kg/m^2
- Tempat orang berkumpul, perpustakaan, toko buku = 400 kg/m^2
- Masjid, gereja, bioskop, ruang alat atau mesin = 400 kg/m^2
- Balkon, tangga = 300 kg/m^2
- Lantai bawah gedung parkir = 800 kg/m^2
- Lantai atas gedung parkir = 400 kg/m^2

Pada suatu bangunan bertingkat banyak, adalah kecil kemungkinannya semua lantai akan dibebani secara penuh oleh beban hidup. Demikian juga kecil kemungkinannya suatu struktur menahan beban maksimum akibat pengaruh angin atau gempa yang bekerja secara bersamaan. Desain struktur dengan meninjau beban-beban maksimum yang mungkin bekerja secara bersamaan, adalah tidak ekonomis. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur rencana bangunan, adalah sangat kecil, maka pedoman-pedoman pembebanan mengijinkan untuk melakukan reduksi terhadap beban hidup terbagi merata yang dipakai. Reduksi beban dapat dilakukan dengan mengalikan beban hidup dengan koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada penggunaan bangunan. Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perencanaan portal, ditentukan sebagai berikut :

- Perumahan, rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit = 0,75
- Gedung pendidikan, sekolah, ruang kuliah = 0,90
- Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran = 0,90
- Ruang dansa, ruang pertunjukan = 0,90
- Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,60
- Gedung perdagangan, toko, toserba, pasar, gudang = 0,80
- Ruang arsip, perpustakaan = 0,80
- Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,90
- Bangunan industri : pabrik, bengkel = 1,00

BEBAN ANGIN

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur tergantung dari kecepatan angin, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau isapan pada bangunan.



Gambar 7. Pengaruh angin pada bangunan

Untuk memperhitungkan pengaruh angin pada struktur, pedoman yang berlaku di Indonesia mensyaratkan beberapa hal sbb. :

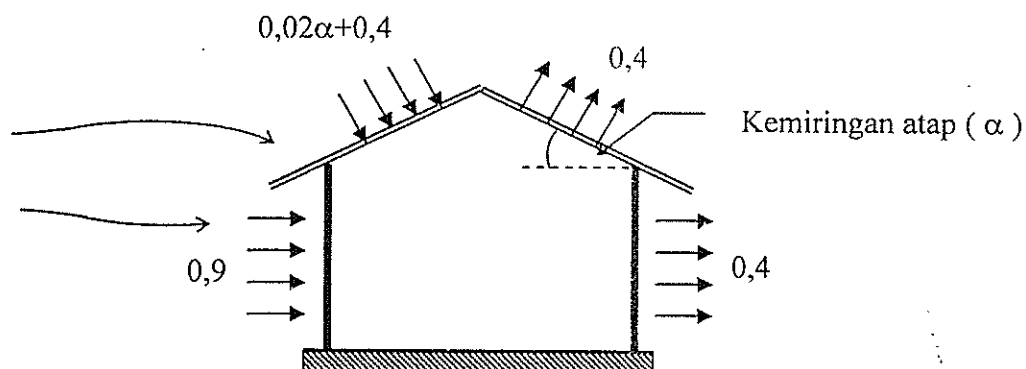
- Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2
- Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km. dari pantai, diambil minimum 40 kg/m^2

Untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar. Tekanan tiup angin (p) dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$p = V^2/16 \text{ (kg/m}^2 \text{)}$$

dimana V adalah kecepatan angin (m/detik)

Berhubung beban angin akan menimbulkan tekanan dan isapan, maka berdasarkan percobaan-percobaan telah ditentukan koefisien-koefisien bentuk tekan dan isap untuk berbagai tipe bangunan dan atap. Tujuan dari penggunaan koefisien-koefisien ini adalah untuk menyederhanakan analisis. Sebagai contoh, pada bangunan gedung tertutup, selain dinding bangunn, struktur atap bangunan juga akan mengalami tekanan dan isapan angin, dimana besarnya tergantung dari bentuk dan kemiringan atap.



Gambar 8. Koefisien angin untuk tekanan dan isapan pada bangunan

- Pada gedung tertutup dan rumah tinggal dengan tinggi tidak lebih dari 16 m, dengan lantai-lantai dan dinding-dinding yang memberikan kekakuan yang cukup, struktur utamanya (portal) tidak perlu diperhitungkan terhadap angin

BEBAN GEMPA

Beban gempa merupakan beban yang sangat tidak dapat diperkirakan baik besarnya maupun arahnya. Besarnya beban gempa sangat ditentukan oleh perilaku dari sistem struktur. Gaya horisontal dan gaya vertikal, yang terjadi pada struktur akibat getaran gempa, sangat

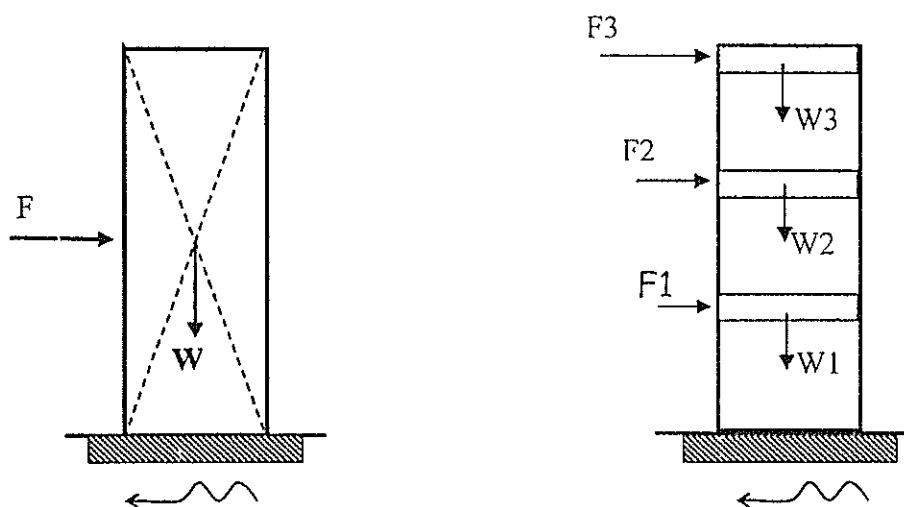
tergantung dari kekakuan dan massa struktur. Gempa merupakan salah satu peristiwa alam yang dapat menyebabkan bencana, yang umumnya terjadi akibat rusak dan runtuhnya gedung-gedung atau bangunan-bangunan buatan manusia. Aspek rekayasa gempa sangat perlu diterapkan pada rekayasa struktur, agar bangunan mempunyai ketahanan yang baik terhadap pengaruh gempa.

Pada saat bangunan bergetar akibat pengaruh getaran gempa, maka akan timbul gaya-gaya di dalam struktur, karena adanya kecenderungan dari massa struktur untuk mempertahankan posisinya dari pengaruh gerakan tanah. Beban gempa yang terjadi pada struktur merupakan gaya inersia, yang besarnya tergantung dari beberapa faktor, yaitu : massa struktur, kekakuan struktur, waktu getar struktur, kondisi tanah dasar, dan wilayah kegempaan dimana bangunan tersebut didirikan.

Massa dari struktur merupakan faktor yang sangat penting, karena beban gempa merupakan gaya inersia yang bekerja pada pusat massa, yang menurut hukum gerak dari Newton besarnya adalah : $F = m.a = (W/g).a$, dimana a adalah percepatan pergerakan yang terjadi pada bangunan akibat getaran gempa, dan m adalah massa bangunan yang besarnya adalah berat bangunan (W) dibagi dengan percepatan gravitasi (g).

Gaya gempa horisontal $F = W.(a/g) = W.C$, dimana $C=a/g$ disebut sebagai koefisien gempa. Dengan demikian gaya gempa merupakan gaya yang didapat dari perkalian antara berat struktur dengan suatu koefisien.

Pada bangunan gedung bertingkat, massa dari struktur dianggap terpusat pada lantai-lantai bangunan, dengan demikian beban gempa akan terdistribusi pada setiap lantai tingkat. Selain tergantung dari massa setiap tingkat, besarnya gaya gempa pada suatu tingkat tergantung juga pada ketinggian tingkat tersebut dari permukaan tanah.



Gambar 8. Distribusi beban gempa pada struktur bangunan

Berdasarkan pedoman yang berlaku di Indonesia, besarnya beban gempa horisontal F pada struktur, dinyatakan sbb. :

$$F = C.I.K.Z.W_i$$

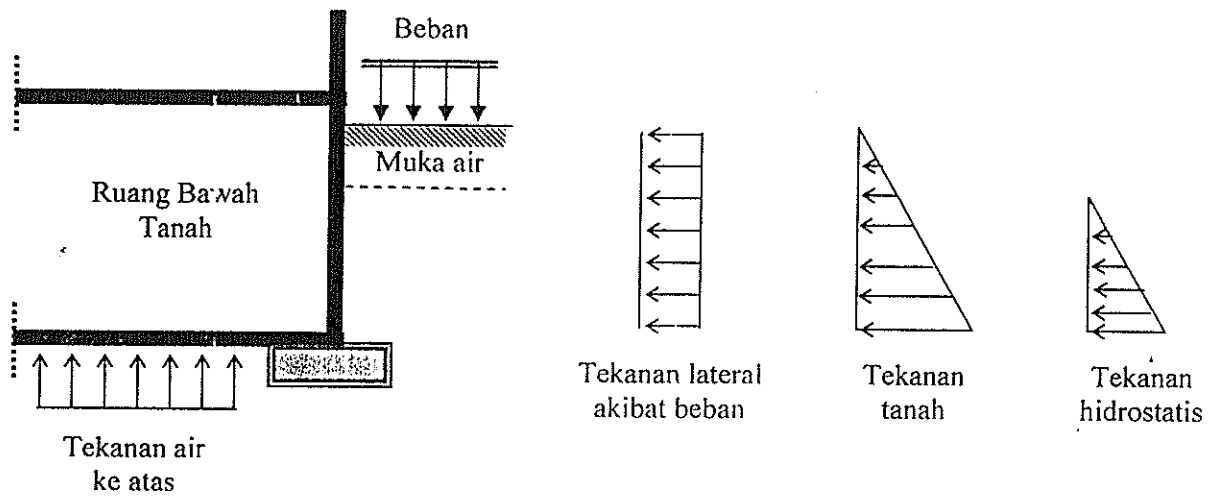
- C : Koefisien gempa, yang besarnya tergantung dari periode getar struktur.
Harga C pada umumnya ditentukan dari Diagram Spektrum Respon.
- I : Faktor keutamaan / kepentingan struktur
- K : Faktor jenis struktur
- Z : Faktor wilayah kegempaan (Indonesia dibagi menjadi 6 zona gempa)
- W_i : Kombinasi dari beban mati dan beban hidup yang direduksi

Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perhitungan besarnya beban pada struktur, ditentukan sebagai berikut :

- Perumahan / penghunian : rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit = 0,30
- Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah = 0,50
- Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop = 0,50
- Restoran, ruang dansa, ruang pertunjukan = 0,50
- Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,30
- Gedung perdagangan, toko, toserba, pasar, gudang = 0,80
- ruang arsip, perpustakaan = 0,80
- Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,50
- Bangunan industri : pabrik, bengkel = 0,90

BEBAN TEKANAN TANAH DAN AIR

Struktur struktur di bawah tanah seperti dinding penahan tanah, terowongan, ruang bawah tanah (*basement*), perlu dirancang untuk menahan tekanan tanah lateral. Jika struktur-struktur ini tenggelam sebagian atau seluruhnya di dalam air, maka perlu juga diperhitungkan tekanan hidrostatik dari air pada struktur. Sebagai ilustrasi, di bawah ini diberikan pembebanan yang bekerja pada dinding dan lantai ruang bawah tanah.



Gambar 9. Gaya-gaya yang bekerja pada basement

Akibat tanah dan air, pada dinding *basement* akan mendapat tekanan lateral berupa tekanan tanah dan tekanan hidrostatik. Sedangkan pada pelat lantai *basement* akan mendapat pengaruh tekanan air ke atas (*uplift pressure*). Jika pada permukaan tanah di sekitar dinding *basement* tersebut dimuati, misalnya oleh kendaraan-kendaraan, maka akan terdapat tambahan tekanan lateral akibat beban kendaraan pada dinding.

III. STRUKTUR RANGKA

Struktur adalah sarana untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja pada bangunan ke tanah dasar melalui pondasi. Pada umumnya sistem struktur merupakan gabungan dari beberapa elemen yang saling berhubungan, yang bekerja sebagai suatu kesatuan di dalam memikul beban. Struktur Teknik Sipil harus memenuhi persyaratan keseimbangan statis, ini berarti bahwa struktur Teknik Sipil harus dalam kondisi statis atau diam. Selain itu struktur Teknik Sipil harus berdiri kokoh di atas tanah.

Elemen-elemen struktur Teknik Sipil dapat terdiri dari elemen yang terbuat dari bahan beton (*concrete*), baja (*steel*), kayu (*wood*), atau bahan komposit (*composite*). Secara umum, elemen-elemen dari struktur Teknik Sipil dapat dikelompokkan menjadi elemen pelat, balok, kolom, dan pondasi.

Analisis struktur secara umum dapat didefinisikan sebagai proses untuk menentukan gaya-gaya dalam (*internal force*) yang bekerja pada elemen struktur. Selain itu analisis struktur bertujuan juga untuk menentukan perubahan bentuk (*deformation*) dari struktur akibat beban-beban luar (*external force*) yang bekerja pada sistem struktur.

Penentuan gaya-gaya dalam dimaksudkan untuk menentukan atau mendesain kekuatan dari elemen-elemen struktur, sedangkan perhitungan deformasi dimaksudkan untuk meninjau kekakuan dari struktur. Jadi pada prinsipnya, struktur Teknik Sipil harus dirancang agar memenuhi persyaratan kekuatan (*strength*) dan persyaratan kekakuan (*stiffness*).

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa tujuan analisis dan desain struktur meliputi dua aspek, yaitu :

1. Menentukan gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya geser, gaya normal, momen torsi dan/atau tegangan-tegangan) yang terjadi pada elemen-elemen struktur, menentukan reaksi-reaksi tumpuan, dan menentukan deformasi struktur akibat pembebanan yang bekerja pada struktur.
2. Menentukan atau memeriksa dimensi / ukuran dari elemen-elemen struktur, agar mampu menahan gaya-gaya dalam yang bekerja (pemeriksaan tegangan dan/atau pendimensian elemen struktur).

Struktur-struktur Teknik Sipil dapat berbentuk Struktur Statis Tertentu atau Struktur Statis Tak Tentu. Analisis Struktur Statis Tertentu dapat dianalisis hanya dengan menggunakan persamaan keseimbangan statis, yaitu :

$$\Sigma M = 0, \quad \Sigma K_H = 0, \quad \Sigma K_V = 0$$

- $\Sigma M = 0$: Jumlah momen (aksi dan reaksi) yang bekerja pada sistem struktur sama dengan nol.
- $\Sigma K_H = 0$: Jumlah gaya horisontal (aksi dan reaksi) yang bekerja pada sistem struktur sama dengan nol
- $\Sigma K_V = 0$: Jumlah gaya vertikal (aksi dan reaksi) yang bekerja pada sistem struktur sama dengan nol.

Untuk menganalisis Struktur Statis Tak Tentu, selain digunakan persamaan keseimbangan statis, diperlukan juga persamaan-persamaan lainnya yang didapatkan dari perubahan bentuk atau deformasi dari struktur.

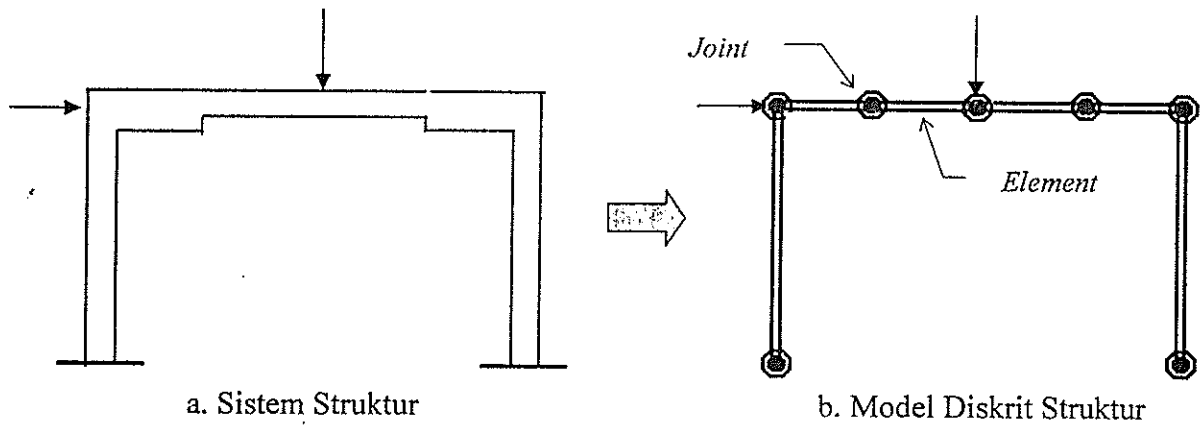
MODEL DISKRIT STRUKTUR

Pada hakekatnya sistem struktur merupakan sistem yang terdiri dari titik bermateri yang tersusun secara menerus dan berkesinambungan. Dengan demikian, terdapat tak terhingga penampang sebagai lokasi dimana gaya-gaya dalam perlu dianalisis. Untuk menyederhanakan analisis, perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan model diskrit yang dipilih untuk mempresentasikan sistem yang sebenarnya. Model diskrit sistem struktur berbentuk rangka adalah suatu model yang diperoleh dengan membagi sistem struktur menjadi beberapa bagian elemen (*element*) yang satu dengan lainnya dihubungkan oleh titik simpul (*joint*).

Penempatan titik simpul dapat diambil disembarang tempat, tapi pada umumnya dipilih pada titik-titik pertemuan batang, pada tempat dimana terjadi perubahan geometrik penampang, pada tempat-tempat bekerjanya beban terpusat, dan pada perletakan. Dengan cara ini sistem struktur terbagi menjadi bagian-bagian kecil yang dinamakan elemen (*element*) atau batang, yang umumnya berupa segmen lurus yang dibatasi oleh dua titik simpul sebagai ujung.

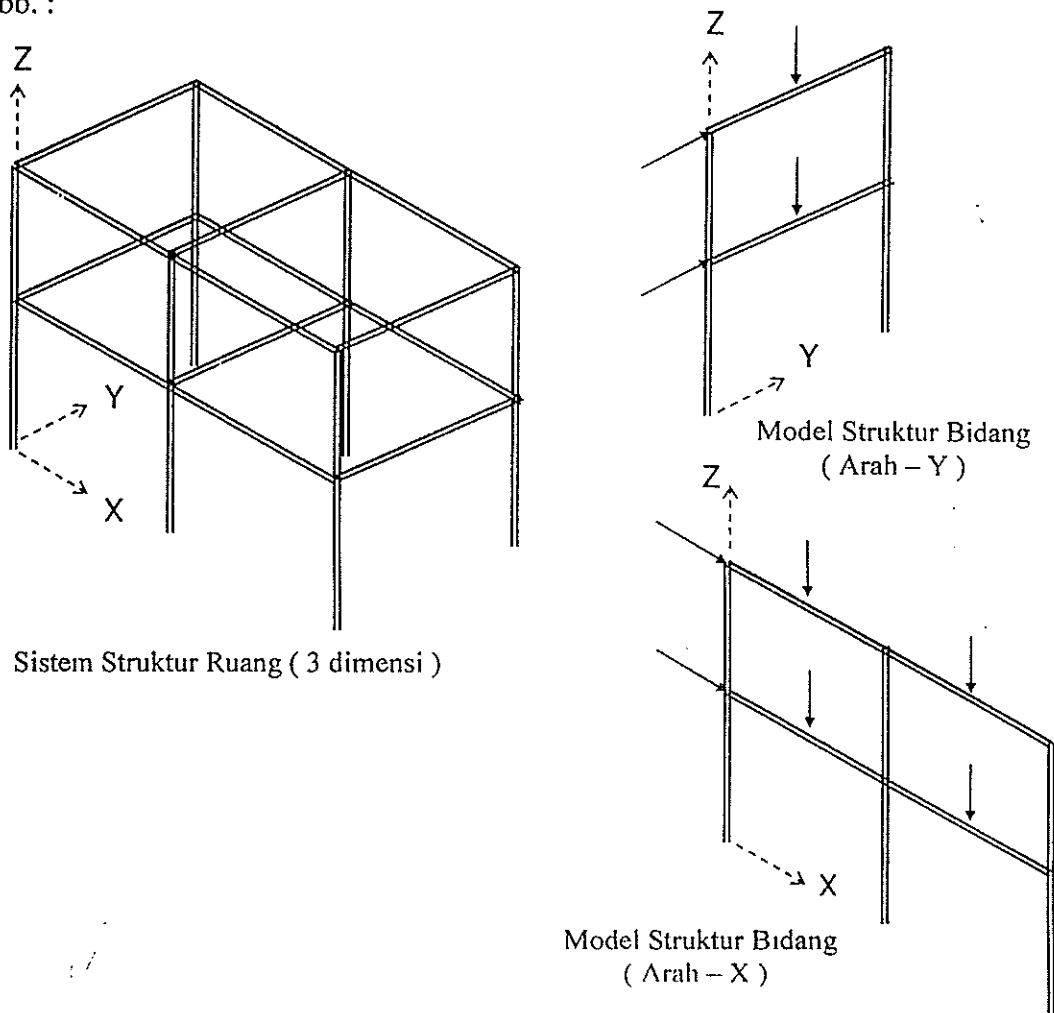
Contoh di bawah ini menunjukkan suatu struktur dengan penampang balok yang tidak prismatis. Agar struktur dapat dianalisis dan lendutan di tengah bentang balok dapat dihitung, maka perlu dilakukan diskritisasi pada elemen balok, dengan cara memecah balok menjadi 4 elemen, dimana masing-masing elemen dibatasi oleh joint-joint. Letak joint dipilih pada

tempat-tempat dimana terjadi perubahan geometrik penampang, dan ditempat dimana bekerja beban terpusat.



Gambar 1. Model Diskrit Struktur Rangka Kaku (Frame)

Model diskrit dari sistem struktur dapat dibedakan menjadi Sistem Satu Arah dan Sistem Dua Arah, sbb. :



Gambar 2. Pemodelan Struktur Ruang 3D menjadi Struktur Bidang 2D

1. Sistem Satu Arah; merupakan sistem struktur dimana mekanisme transfer beban yang ada pada struktur untuk menyalurkan beban luar ke tanah dasar, hanya ada pada satu arah saja. Sistem struktur semacam ini sering disebut sebagai model Struktur Ddua Ddimensi (2D) atau model Struktur Bidang.
2. Sistem Dua Arah; merupakan sistem struktur dimana mekanisme transfer beban lebih rumit, karena ditinjau pada kedua arah struktur. Sistem struktur dua arah sering disebut sebagai model Struktur Tiga Dimensi (3D) atau model Struktur Ruang. Meskipun model struktur tiga dimensi lebih sulit dianalisis, tetapi model ini lebih efisiensi dalam hal penggunaan bahan, dibandingkan model struktur dua dimensi.

KARAKTERISTIK STRUKTUR RANGKA

Sistem struktur berbentuk rangka, merupakan struktur yang paling banyak digunakan di bidang rekayasa struktur. Pertimbangan yang mendasar dari penggunaan sistem rangka sebagai sistem struktur adalah masalah efisiensi dari pemanfaatan dan penggunaan bahan. Suatu sistem struktur yang berbentuk rangka (*frame structure*) dapat tersusun dari satu jenis elemen, atau tersusun oleh kombinasi dari sejumlah elemen dengan karakteristik yang berbeda.

Untuk keperluan analisis struktur secara modern dengan menggunakan Metode Matrix atau Metode Elemen Hingga, suatu sistem struktur perlu terlebih dahulu didefinisikan elemen-elemen penyusunnya. Program-program komputer untuk analisis struktur, pada umumnya menggunakan Metode Elemen Hingga di dalam prosedur perhitungannya.

Pada struktur Teknik Sipil, dua jenis elemen yang sering dijumpai di dalam praktek rekayasa struktur berbentuk rangka adalah elemen *truss* dan elemen *frame*. Elemen *truss* adalah elemen struktur, dimana gaya dalam yang bekerja pada elemen hanya berupa gaya normal tekan atau normal tarik. Pada elemen *truss* tidak bekerja momen lentur, gaya geser atau momen puntir. Elemen *frame* adalah elemen struktur, dimana gaya dalam yang bekerja pada elemen dapat berupa momen lentur, gaya geser, gaya normal dan momen puntir / torsi.

Berdasarkan elemen-elemen penyusunnya, suatu sistem struktur yang berbentuk rangka dapat dibedakan menjadi :

1. Struktur Rangka Kaku (*Frame Structure*), adalah struktur yang elemen-elemen penyusunnya terdiri dari elemen *frame*.
2. Struktur Rangka Batang (*Truss Structure*), adalah struktur yang elemen-elemen penyusunnya terdiri dari elemen *truss*.

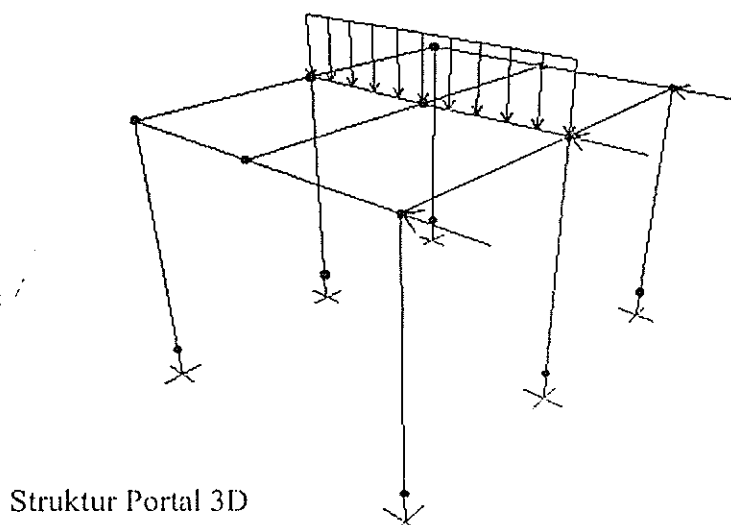
3. Struktur Komposit (*Composite Structure*), adalah struktur yang elemen-elemen penyusunnya terdiri dari gabungan antara elemen *frame* dan elemen *truss*.

STRUKTUR RANGKA KAKU (FRAME STRUCTURE)

Struktur Rangka Kaku (*Frame Structure*) adalah sistem struktur dimana hubungan antara elemen-elemen penyusunnya pada titik-titik hubung (*joint*), bersifat kaku (*rigid*) atau monolit. Struktur rangka kaku banyak dijumpai pada struktur portal dan struktur balok menerus dari beton bertulang, atau pada struktur baja yang menggunakan las sebagai alat penyambungannya. Sebagai contoh dari struktur *frame* adalah struktur portal dua atau tiga dimensi, struktur *grid*, struktur balok menerus, dan struktur berbentuk pelengkung,

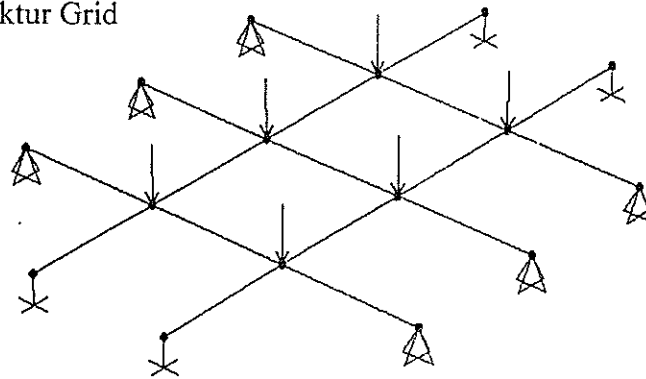
Pada umumnya struktur rangka kaku merupakan struktur statis tak tentu, sehingga secara manual perhitungan mekanika gaya dan perhitungan perubahan bentuk atau deformasi dari struktur akibat beban yang bekerja, sangat sulit dilakukan.

Beban-beban yang bekerja pada struktur rangka kaku, dapat berupa beban-beban terpusat yang bekerja pada *joint* struktur (*joint load*). Selain beban terpusat, pada struktur dapat pula bekerja beban-beban terbagi merata dan juga beban-beban terpusat yang bekerja pada elemen-elemen struktur (*element load*). Elemen-elemen penyusun dari sistem struktur rangka kaku disebut elemen *frame*. Akibat pengaruh dari beban luar yang bekerja pada struktur, pada setiap elemen *frame* yang ada pada sistem struktur akan timbul reaksi yang berupa gaya-gaya dalam elemen (*internal forces*). Gaya dalam yang bekerja pada elemen, dapat berupa momen lentur, gaya geser/lintang, gaya normal, dan momen puntir/ torsi.

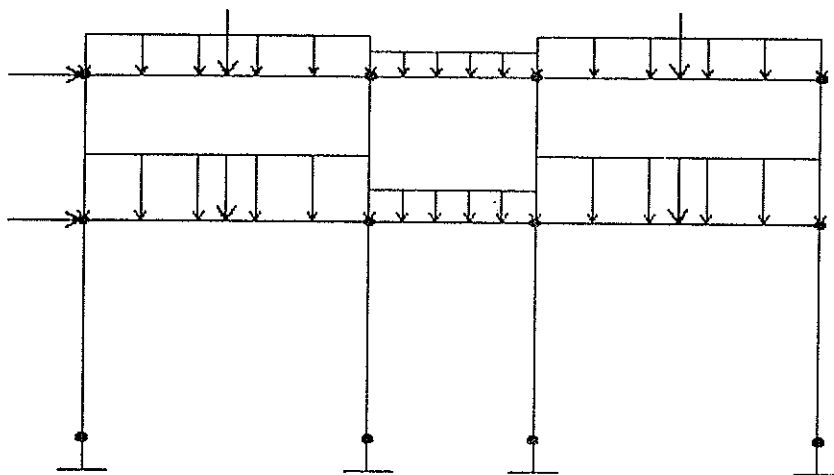


Struktur Portal 3D

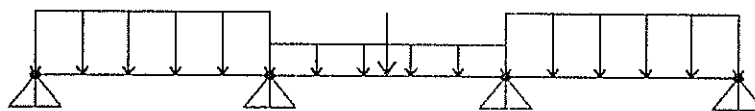
Struktur Grid



Struktur Portal 2D



Struktur Balok Menerus

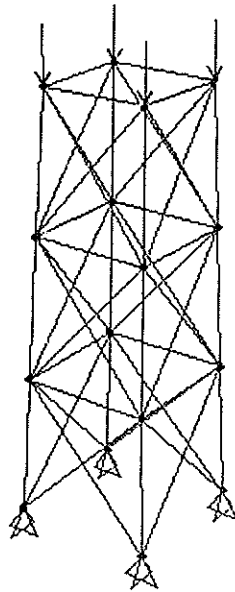


Gambar 3. Beberapa bentuk Struktur Rangka Kaku

STRUKTUR RANGKA BATANG (TRUSS STRUCTURE)

Struktur rangka batang adalah struktur dimana hubungan antara elemen-elemen penyusun struktur pada *joint*, bersifat sendi atau engsel. Dengan demikian hubungan antar elemen pada suatu *joint* relatif tidak kaku, karena setiap elemen yang berhubungan pada suatu *joint* dapat saling berotasi. Struktur rangka batang banyak dijumpai pada struktur rangka baja atau rangka kayu yang menggunakan baut sebagai alat penyambungannya. Struktur rangka batang dapat berupa struktur statis tertentu maupun struktur statis tak tentu, tetapi pada

Struktur Rangka (Truss) Menara 3 Dimensi



Gambar 4. Beberapa bentuk Struktur Rangka Batang

STRUKTUR KOMPOSIT (COMPOSITE STRUCTURE)

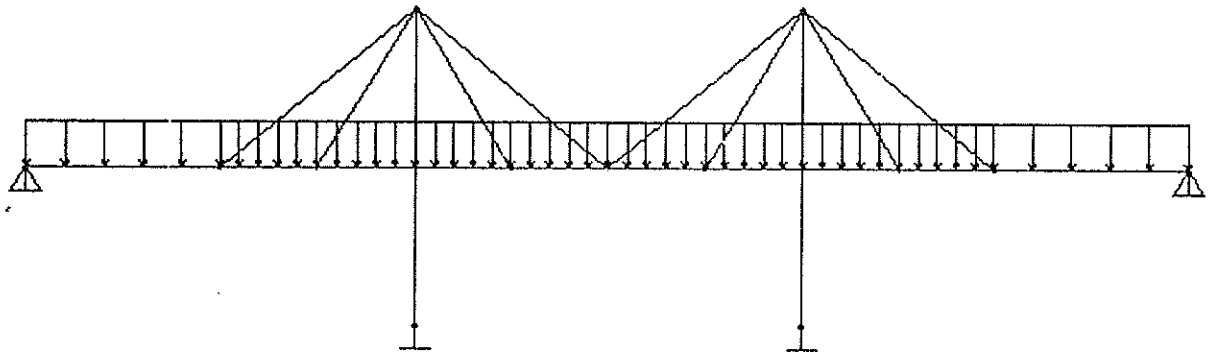
Struktur komposit merupakan struktur gabungan, dimana elemen-elemen penyusun struktur terdiri dari elemen *frame* dan elemen *truss*. Hubungan antara elemen *frame* dan elemen *truss* pada suatu *joint* pada umumnya bersifat sendi. Struktur komposit (*composite structure*) pada umumnya merupakan struktur statis tak tentu. Beberapa contoh dari struktur komposit antara lain adalah Struktur Jembatan Kabel dan Struktur Portal Dengan Pengaku / *Bracing*.

Pada struktur jembatan kabel, digunakan elemen-elemen kabel sebagai penggantung untuk mendukung balok-balok dari jembatan, sedangkan pilar-pilar dari jembatan berfungsi sebagai penambat dari kabel-kabel penggantung. Untuk keperluan perhitungan mekanika rekayasa, elemen-elemen kabel penggantung dimodelkan sebagai elemen-elemen *truss*, sedangkan balok dan pilar / kolom jembatan dimodelkan sebagai elemen *frame*.

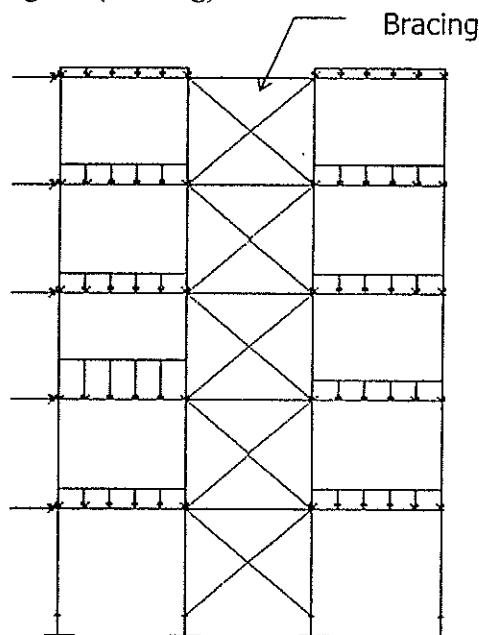
Pada struktur portal dengan pengaku, sebagai elemen pengaku digunakan profil-profil baja yang dipasang pada kolom-kolom struktur. Pengaku (*bracing*) ini berfungsi untuk memberikan kekakuan lateral pada struktur portal. Untuk keperluan perhitungan mekanika rekayasa, elemen-elemen *bracing* dimodelkan sebagai elemen-elemen *truss*, sedangkan balok dan kolom bangunan dimodelkan sebagai elemen *frame*.

Bracing

Struktur Jembatan Kabel



Struktur Portal Dengan Pengaku (Bracing)

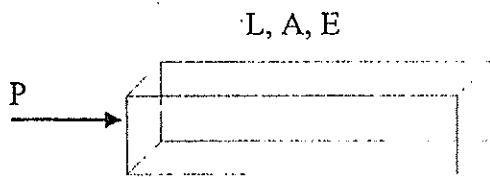


PEMODELAN ELEMEN STRUKTUR RANGKA

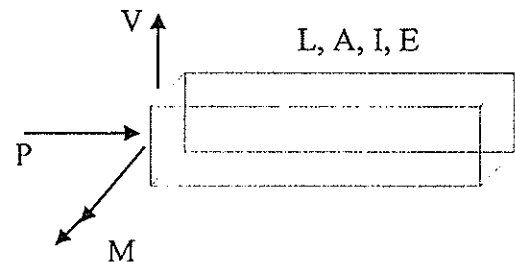
Untuk keperluan analisis dari struktur yang berbentuk rangka, karakteristik dari elemen-elemen penyusun struktur dapat dimodelkan sebagai elemen *frame* atau elemen *truss* yang saling berhubungan pada *joint-joint* struktur. Karakteristik dari suatu elemen terdiri, dari karakteristik penampang (*section properties*) dan karakteristik bahan (*material properties*). Karakteristik penampang dari suatu elemen dapat berupa, panjang elemen (L), luas penampang (A), luas geser penampang (A_{s3} dan A_{s2}), momen inersia penampang terhadap lentur (I_3 dan I_2), dan momen inersia penampang terhadap puntir / kekakuan torsi (J). Sedangkan karakteristik bahan dari suatu elemen dapat berupa, berat jenis bahan (γ), modulus elastisitas (E), modulus geser (G), dan Angka *Poisson* (ν).

Gaya-gaya dalam yang bekerja pada model diskrit elemen *truss* dan elemen *frame* dari struktur truss atau struktur frame dua dan tiga dimensi, dapat dipresentasikan sbb. :

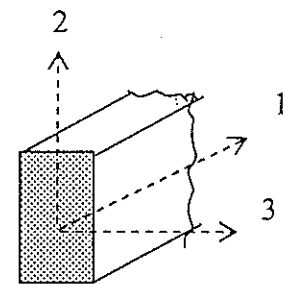
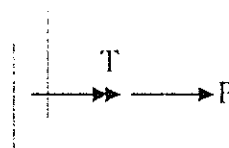
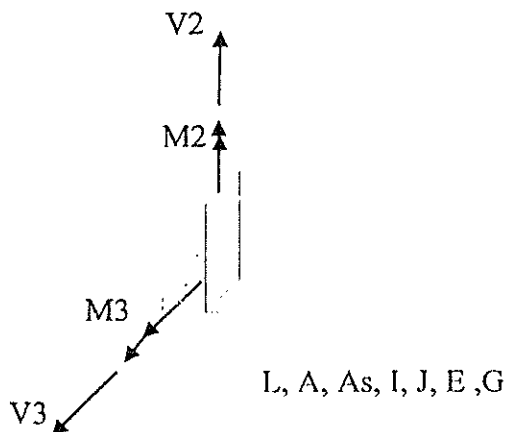
1. Elemen Truss 2D / 3D :



2. Elemen Frame 2D :



3. Elemen Frame 3D :



Sumbu Lokal Elemen

Pada elemen struktur yang dimodelkan sebagai elemen *Truss 2D* atau *Truss 3D*, gaya dalam elemen yang bekerja hanya berupa gaya aksial / normal P (bekerja searah sumbu lokal 1 elemen).

Pada elemen struktur yang dimodelkan sebagai elemen *Frame 2D*, gaya dalam yang bekerja pada elemen berupa gaya aksial P (bekerja searah sumbu lokal 1 elemen), gaya geser V_2 atau V_3 (bekerja pada arah sumbu lokal 2 atau sumbu lokal 3 dari elemen), dan momen lentur M_3 atau M_2 (berputar pada sumbu lokal 3 atau sumbu lokal 2 elemen).

Pada elemen struktur yang dimodelkan sebagai elemen *Frame 3D*, selain P , V_2 , V_3 , M_2 , dan M_3 , terdapat juga momen puntir / torsi T (berputar pada sumbu lokal 1 elemen).

Modulus geser bahan (G) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$G = \frac{E}{2(1 + U)}$$

Untuk keperluan analisis dan desain, besarnya modulus elastisitas baja adalah : $E_s = 2,1 \cdot 10^6$ kg/cm² ($2,1 \cdot 10^5$ MPa). Sedangkan modulus elastisitas beton, besarnya dapat ditentukan dengan rumus : $E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$ (MPa), dimana f_c' adalah kuat tekan beton yang disyaratkan, yang didapat dari percobaan tekan benda uji berbentuk silinder (satuan MPa). Angka *Poisson* (U) untuk baja dapat diambil sebesar 0,30 dan untuk beton ditentukan sebesar (0,20 - 0,25).

IV. ANALISIS STRUKTUR DENGAN KOMPUTER

Meskipun komputer telah digunakan di dalam profesi rekayasa struktur selama lebih kurang dua puluh lima tahun, tetapi di Indonesia, baru sepuluh tahun terakhir ini, pemanfaatan teknologi komputer di bidang rekayasa sipil, berkembang dengan sangat pesat. Hal ini disebabkan dengan semakin meluasnya penggunaan komputer personal (*Personal Computer/PC*) di masyarakat. Kemampuan dari perangkat komputer yang semakin meningkat dari hari ke hari, semakin murah harga komputer, serta semakin banyaknya program komputer yang tersedia untuk berbagai macam keperluan, menyebabkan teknologi komputer menjadi teknologi alternatif yang perlu dikuasai dan dimanfaatkan untuk membantu menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada.

Perkembangan yang pesat dari teknologi komputer yang meliputi teknologi perangkat keras (*hardware*) dan teknologi perangkat lunak/program (*software*), memberikan banyak keuntungan serta dampak positif di bidang rekayasa sipil. Beberapa keuntungan ini antara lain adalah : meningkatnya produktifitas kerja, meningkatnya kemampuan untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dengan lebih akurat, serta meningkatnya kemampuan untuk dapat melakukan prosedur analisis dan desain struktur dengan cara *state of the art*.

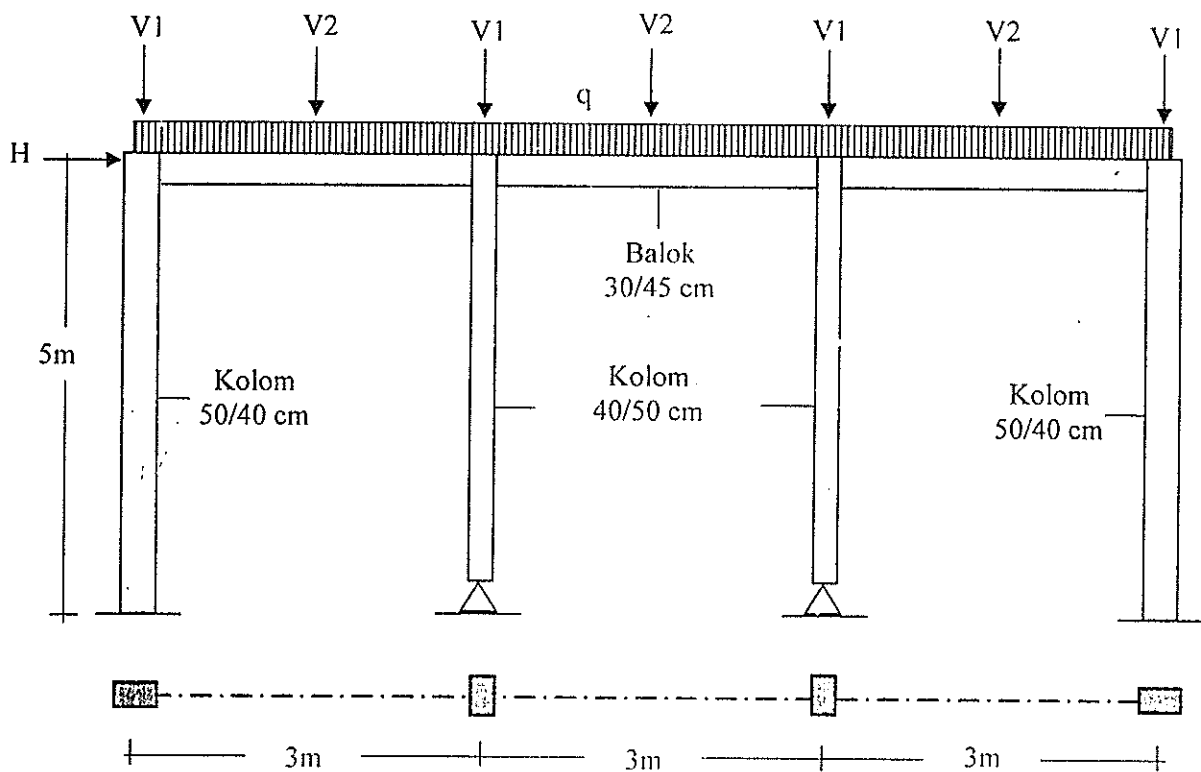
Munculnya teknologi komputer membawa perubahan mendasar pada prosedur analisis dan desain struktur. Selain rekayasa struktur, teknologi komputer mendasari pula perkembangan dari metode-metode modern atau metode-metode yang baru di bidang rekayasa sipil, yang berorientasi pada perhitungan numerik dengan aplikasi komputer.

Dengan menggunakan teknologi komputer, seorang perencana struktur dapat dengan mudah melakukan pemodelan struktur, analisis dan desain struktur, serta mengambil keputusan dengan cepat.

Dibawah ini diberikan beberapa contoh analisis struktur dengan menggunakan Program SAP 2000. Analisis struktur dengan program komputer memerlukan adanya pemodelan struktur dan pemodelan beban yang baik dan benar sebagai data masukan (*input software*). Hasil yang didapat (*output*) dari analisis struktur dengan komputer, sangat tergantung dari data masukannya. Jika data yang dimasukkan ke dalam *software* keliru, maka hasil analisis yang didapat juga otomatis akan salah. Dalam dunia komputasi hal ini dikenal dengan istilah *garbage in, garbage out*. Untuk itu sebelum menggunakan *software* struktur, pengguna harus terlebih dahulu mempunyai pengetahuan yang cukup mengenai prosedur analisis dan desain struktur.

Latihan 1 : ANALISIS STRUKTUR PORTAL 2D

Suatu model struktur portal (*frame structure*) dua dimensi dari beton bertulang, mempunyai konfigurasi (ukuran struktur dan penempatan elemen balok/kolom) dan pembebanan, seperti pada Gambar 1. Tumpuan dari struktur terdiri dari tumpuan sendi dan jepit. Arah pemasangan dari kolom-kolom tepi berbeda dengan kolom-kolom tengah dari struktur. diperlihatkan seperti pada gambar



Gambar 1. Konfigurasi struktur dan pembebanan

Karakteristik bahan beton :

- Modulus elastisitas = $200000 \text{ kg/cm}^2 = 2000000 \text{ ton/m}^2$
- Angka Poisson = 0,25

Beban pada balok (*frame load*) :

- Beban merata disepanjang bentang : $q = 2,5 \text{ ton/m}$
(Beban ini sudah termasuk berat sendiri dari balok)
- Beban terpusat ditengah bentang : $V2 = 5 \text{ ton}$

Beban terpusat pada joint (*joint load*) :

- Beban vertikal : $V1 = 6 \text{ ton}$
- Beban horisontal : $H = 4 \text{ ton}$

Dengan menggunakan Program SAP2000, tentukan :

1. Gaya-gaya dalam pada elemen-elemen struktur (momen lentur, gaya geser / lintang, dan gaya normal)
2. Perubahan bentuk (deformasi) dari struktur,
3. Reaksi-reaksi tumpuan

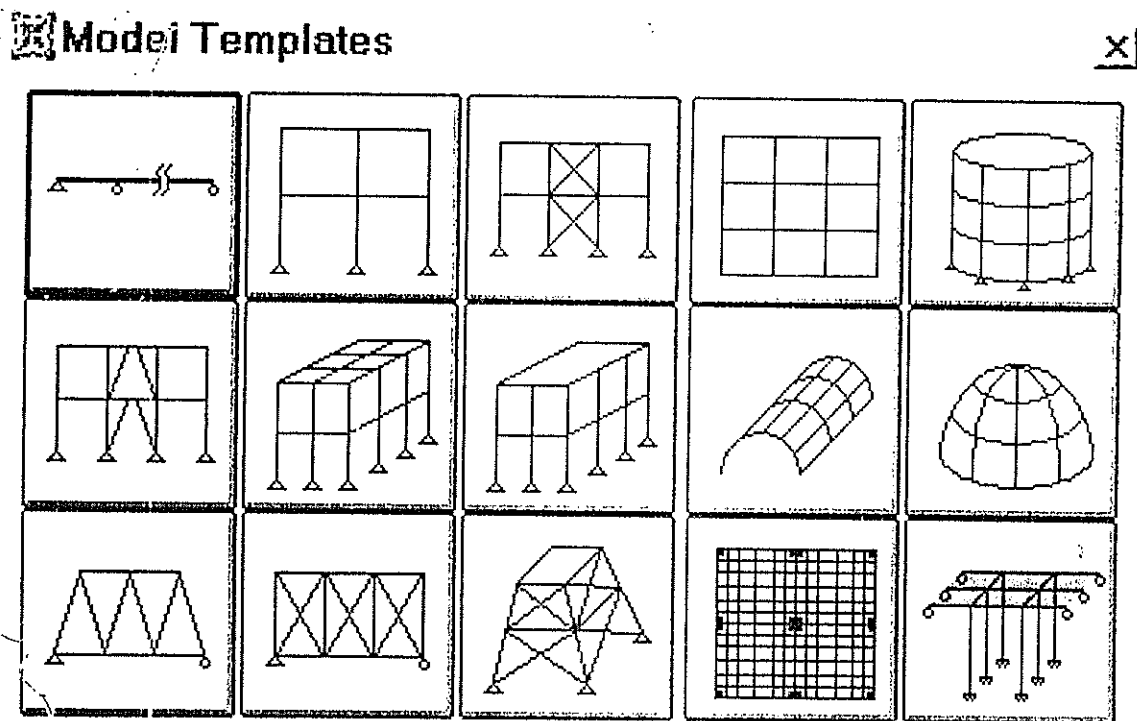
Penyelesaian :

1. Memilih Sistem Satuan

Pada kotak sistem satuan yang tersedia, pilih sistem satuan yang akan digunakan di dalam analisis struktur (untuk perhitungan digunakan sistem satuan : ton-m).

2. Memilih Bentuk Stuktur

Dari menu **File**, pilih *New Model From Template*. Pada kotak dialog *Model Template* (Gambar 2), pilih/klik bentuk struktur yang diinginkan (pilih gambar *Portal Frame*).



Gambar 2. Beberapa bentuk model struktur

Pada kotak *Portal Frame* ketikkan data-data dari konfigurasi struktur sbb. :

- Number of Stories = 1
- Number of Bays = 3
- Story Height = 5
- Bay Width = 3
- Klik *OK*.

3. Mendefinisikan Karakteristik Material

Dari menu **Define**, pilih *Material*, Pada kotak dialog *Define Material*, pilih **CONC**, klik *Modify/Show Material*. Pada kotak *Material Property Data* masukkan data material :

Mass per unit Volume = 0
Weight per unit Volume = 0
Modulus of Elasticity = 2000000
Poisson Ratio = 0.25
Coeff of Thermal Expansion = 0
Klik **OK**.

Catatan :

Karena berat sendiri dari elemen struktur sudah diperhitungkan bersama dengan beban luar yang bekerja, maka data material untuk *Weight per unit Volume* (berat jenis bahan) diisi sama dengan 0.

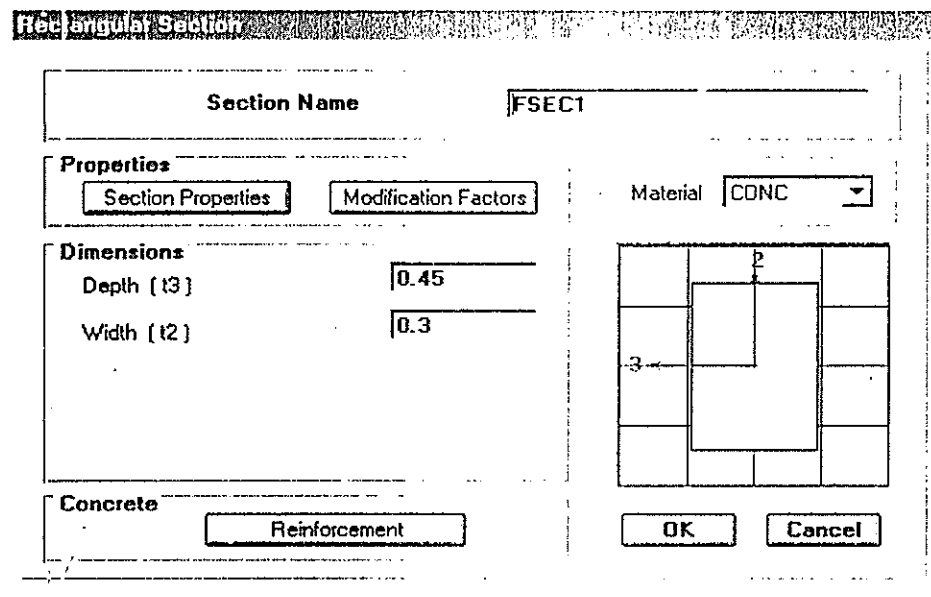
The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in a software application. The dialog box is titled 'Material Property Data' and contains several sections for defining material properties. The 'Material Name' field is set to 'CONC'. Under 'Type of Material', the 'Isotropic' radio button is selected. Under 'Type of Design', the 'Design' dropdown menu is set to 'Concrete'. The 'Analysis Property Data' section includes input fields for: Mass per unit Volume (0), Weight per unit Volume (0), Modulus of Elasticity (2000000), Poisson's Ratio (0.25), Coeff of Thermal Expansion (0), and Shear Modulus (1054604.5). The 'Design Property Data' section includes input fields for: Reinforcing yield stress, fy (40000), Concrete strength (Cylinder), fc (2500), Shear steel yield stress, fys (24000), and Concrete shear strength, fcs (2500). At the bottom of the dialog box, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 3. Data masukan untuk material beton (concrete)

4. Mendefinisikan Dimensi Elemen

Dari menu **Define**, pilih *Frame Sections* untuk menampilkan kotak dialog *Define Frame Section*. Pada kotak *Frame Section*, klik *Modify/Show Section*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data untuk elemen balok (45/30 cm), sbb. :

Section Name : FSEC1
Dimension : - Depth = 0.45
 : - Width = 0.30
Material : CONC
Klik **OK**.



Gambar 4. Data masukan untuk penampang balok (rectangular section)

Untuk mendefinisikan elemen kolom tepi (50/40 cm), dilakukan dengan cara sbb. :

- Pada kotak dialog *Frame Section*, pilih *Add 1 / Wide Flange*, kemudian klik *Add Rectangular*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data-data untuk elemen kolom tepi dari struktur, sbb. :

Section Name : FSEC2
 Dimension : - Depth = 0.50
 : - Width = 0.40
 Material : CONC
 Klik *OK*.

Untuk mendefinisikan elemen kolom tengah (40/50 cm), dilakukan dengan cara sbb. :

- Pada kotak dialog *Frame Section*, pilih *Add 1 / Wide Flange*, kemudian klik *Add Rectangular*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data-data untuk elemen kolom tengah dari struktur, sbb. :

Section Name : FSEC3
 Dimension : - Depth = 0.40
 : - Width = 0.50
 Material : CONC
 Klik *OK*.

5. Penempatan Elemen Pada Sistem Struktur

Untuk mendefinisikan penempatan elemen-elemen yang digunakan pada sistem struktur, dilakukan dengan cara sbb. :

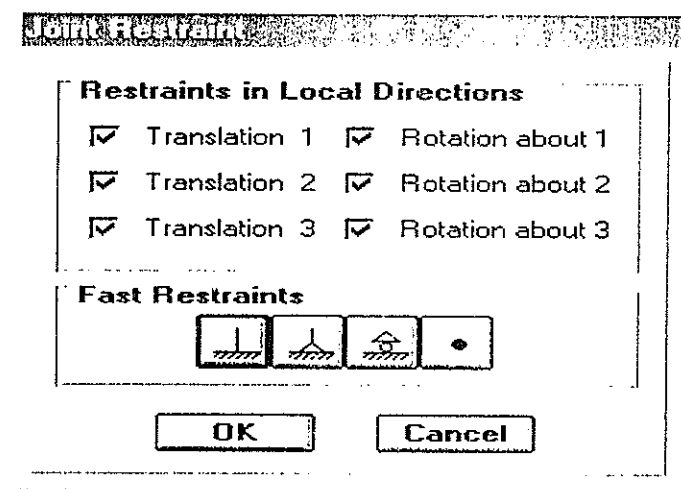
- Klik elemen-elemen balok dari struktur. Pilih menu *Assign*, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih *FSECT*, kemudian klik *OK*.

- Klik elemen-elemen kolom tepi dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC2, kemudian klik *OK*.
- Klik elemen kolom tengah dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC3, kemudian klik *OK*.

6. Mendefinisikan Jenis Tumpuan

Untuk mendefinisikan jenis tumpuan yang digunakan pada struktur, dilakukan dengan cara sbb. :

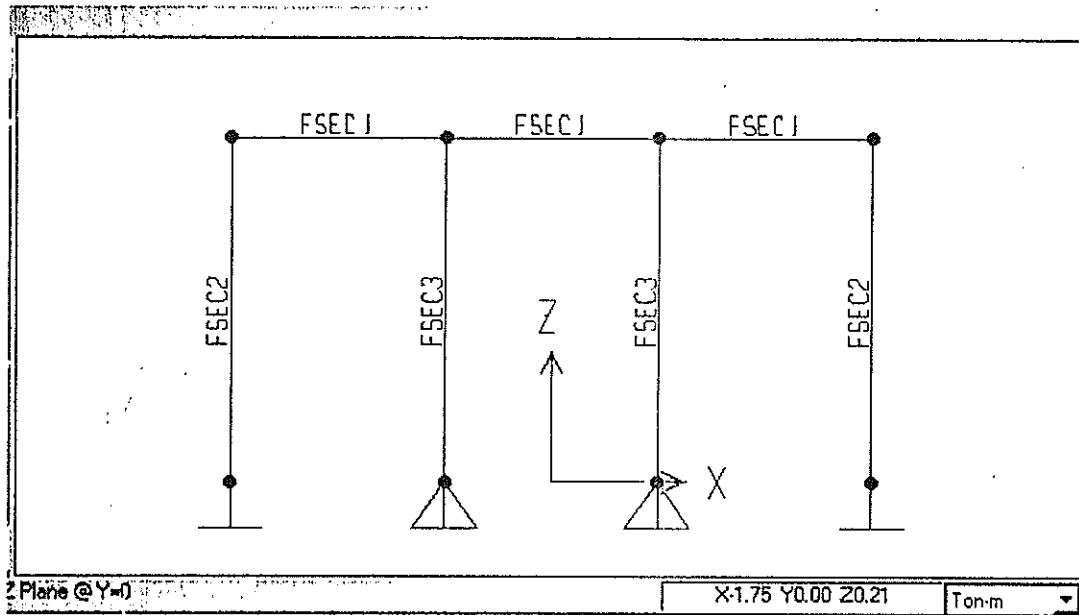
- Klik joint-joint yang merupakan tumpuan jepit pada struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint* dan *Restraints*. Di dalam kotak *Joint Restraints*, pada *Fast Joint Restraints*, klik tombol gambar tumpuan jepit, kemudian klik *OK*.
- Klik joint-joint yang merupakan tumpuan sendi pada struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint* dan *Restraints*. Di dalam kotak *Joint Restraints*, pada *Fast Joint Restraints*, klik tombol gambar tumpuan sendi, kemudian klik *OK*.



Gambar 5. Data masukan untuk tumpuan jepit

Untuk menampilkan penempatan elemen-elemen pada sistem struktur (Gambar 6), dilakukan dengan cara :

- Dari menu **View**, pilih *Set Element*. Pada kotak *Frame*, klik *Section* , kemudian klik *OK*.



Gambar 6. Penempatan elemen-elemen pada sistem struktur

7. Mendefinisikan Beban Pada Struktur

Beban pada struktur dapat berupa beban yang bekerja di elemen dan/atau beban yang bekerja di joint. Untuk memasukkan data dari beban-beban yang bekerja pada struktur, dilakukan sbb :

A. Beban Pada Elemen (Frame Load)

Klik elemen-elemen yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data-data beban sbb. :

| | |
|-------------------------|------------------------|
| Load Case Name | : LOAD1 |
| Load Type and Direction | : Forces |
| Direction | : Global Z |
| Options | : Add to existing Load |

Pada *Point Load* pilih *Absolute Distance from End 1*, kemudian masukkan data untuk beban terpusat yang bekerja ditengah bentang balok yaitu : *Distance 1* = 1.5, dan *Load* = -5. Untuk beban merata di balok, masukkan data : *Uniform Load* = -2.5, kemudian klik *OK*.

B. Beban Pada Joint (Joint Load)

Klik joint-joint pada struktur yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces* masukkan data beban sbb. :

| | |
|----------------|------------------------|
| Load Case Name | : LOAD1 |
| Load | : Forces Global Z = -6 |
| Options | : Add to existing Load |

Klik *OK*.

Untuk memasukkan data dari beban horizontal yang bekerja pada joint, dilakukan dengan

cara yang sama, yaitu klik joint dimana beban akan bekerja. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces* masukkan data beban sbb. :

Load Case Name : LOAD1
 Load : Forces Global X = 4
 Options : Add to existing Load
 Klik OK.

| Point Loads | | | | |
|-------------|-----|----|----|----|
| | 1. | 2. | 3. | 4. |
| Distance | 1.5 | 0 | 0 | 0 |
| Load | -5 | 0 | 0 | 0 |

Gambar 7. Data masukan untuk beban terpusat dan beban merata pada balok

Gambar 8. Data masukan untuk beban terpusat vertikal pada joint

Gambar 9. Data masukan untuk beban terpusat horisontal pada joint

8. Menyimpan File Data Masukan

Setelah semua data yang diperlukan untuk perhitungan struktur dimasukkan di dalam program, kemudian dapat dilakukan analisis. Sebelum melakukan analisis struktur, file data masukan (*input data*) perlu terlebih dahulu disimpan. Penyimpanan data masukan dilakukan dengan cara :

- Pilih menu **File**, kemudian klik *Save As*.
- Pada kotak dialog *Save Model File As*, ketikkan nama file, misal FRAME-2D, kemudian klik *Save*. Dengan cara ini, *input file* akan disimpan dalam bentuk grafis dengan nama FRAME-2D.SDB.

Untuk menyimpan file data masukan dalam bentuk tulisan/text dilakukan dengan cara :

- Pilih menu **File**, klik *Export*. Kemudian SAP2000.S2k
- Pada kotak dialog *Save Export File As*, ketikkan nama file, misal FRAME-2D, kemudian klik *Save*. Dengan cara ini *input file* akan disimpan dalam bentuk tulisan/text dengan nama FRAME-2D.S2K.

9. Melakukan Analisis Struktur

Untuk melakukan analisis struktur, pilih menu **Analyze**, kemudian *Run*.

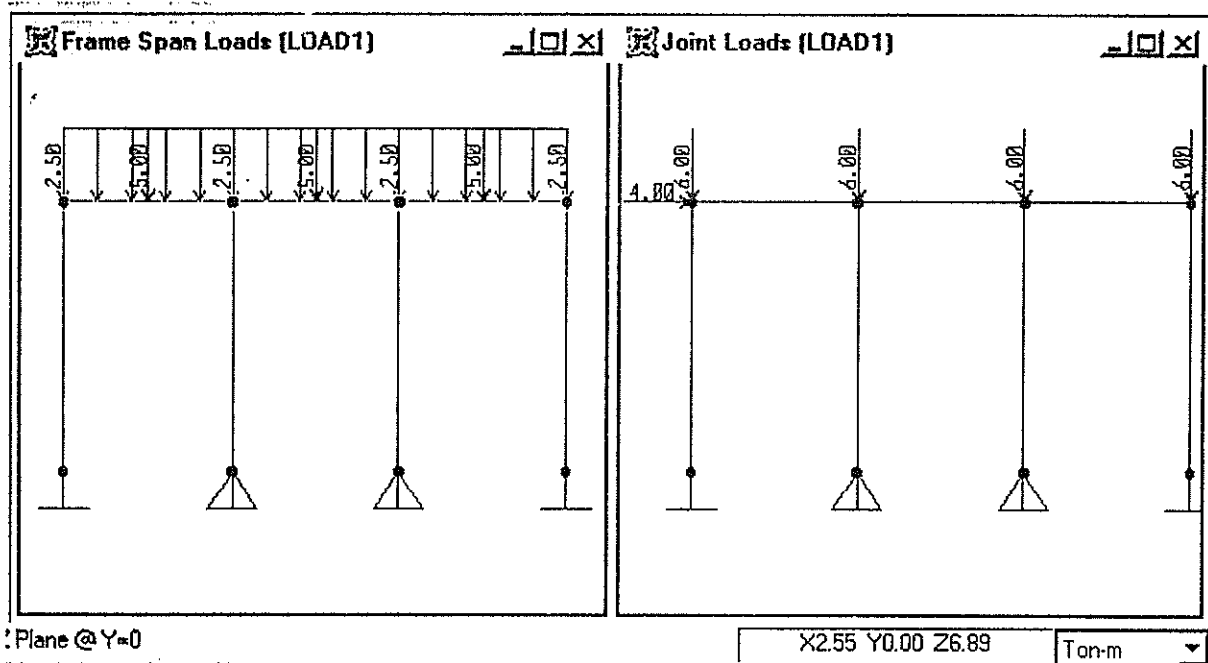
10. Menampilkan Hasil Analisis Struktur

Untuk menampilkan beban-beban yang bekerja pada struktur (Gambar 10), dilakukan sbb. :

- Dari menu **Display**, klik *Show Loads*, kemudian klik *Frame*
- Pada kotak *Show Frame Loads*, klik *Show Loading Value*, kemudian klik *OK*.

Untuk menampilkan beban yang bekerja pada joint-joint struktur, dilakukan sbb. :

- Dari menu **Display**, klik *Show Loads*, kemudian klik *Joint*
- Pada kotak *Show Joint Loads*, klik *Show Loading Value*, kemudian klik *OK*.



Gambar 10. Beban pada elemen dan beban pada joint

Untuk menampilkan perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan (Gambar 11), dilakukan sbb. :

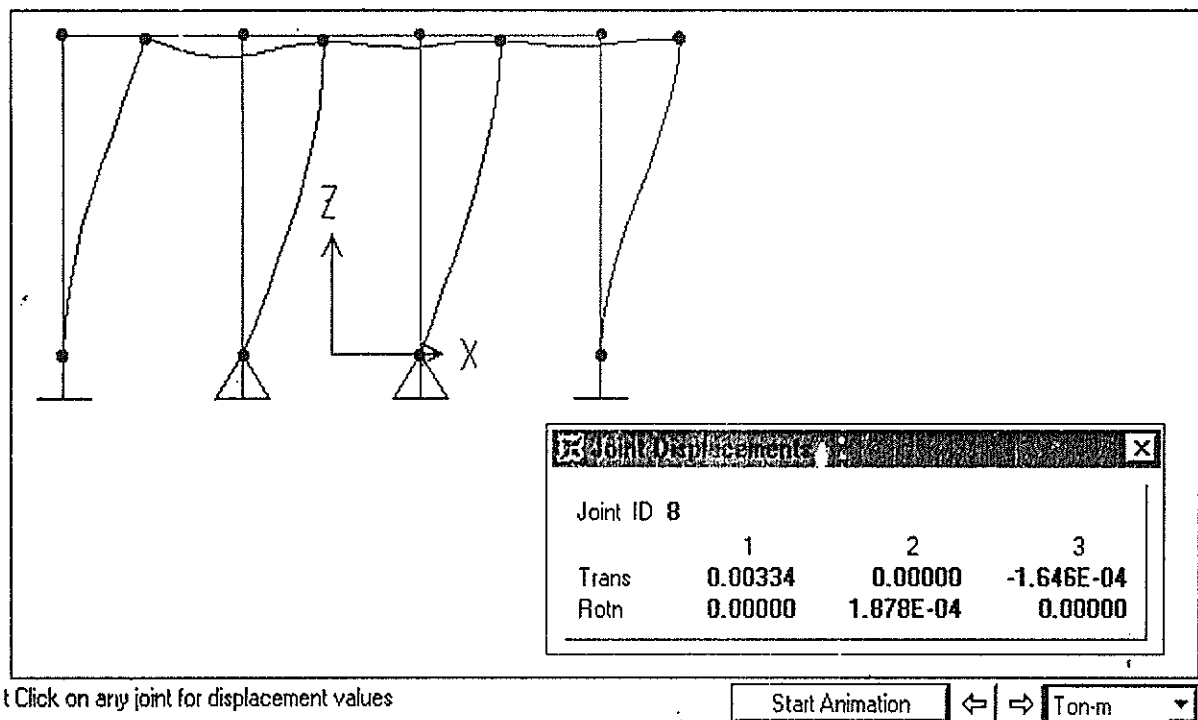
- Dari menu **Display**, klik *Show Deformed Shape*
- Pada kotak *Deformed Shape*, ketikkan data-data :

Load : LOAD1 Load Case
 Scaling : Auto
 Option : Wire Shadow
 : Cubic Curve

Klik *OK*.

Besarnya perpindahan (*displacement*) yang terjadi pada suatu joint, dapat diketahui dengan cara :

- Klik kanan dari joint yang akan ditampilkan perpindahannya.
- Besarnya perpindahan yang berupa translasi dan rotasi dari joint, akan ditampilkan pada kotak *Joint Displacement* (Gambar 11).



Gambar 11. Deformasi struktur dan perpindahan pada joint 8

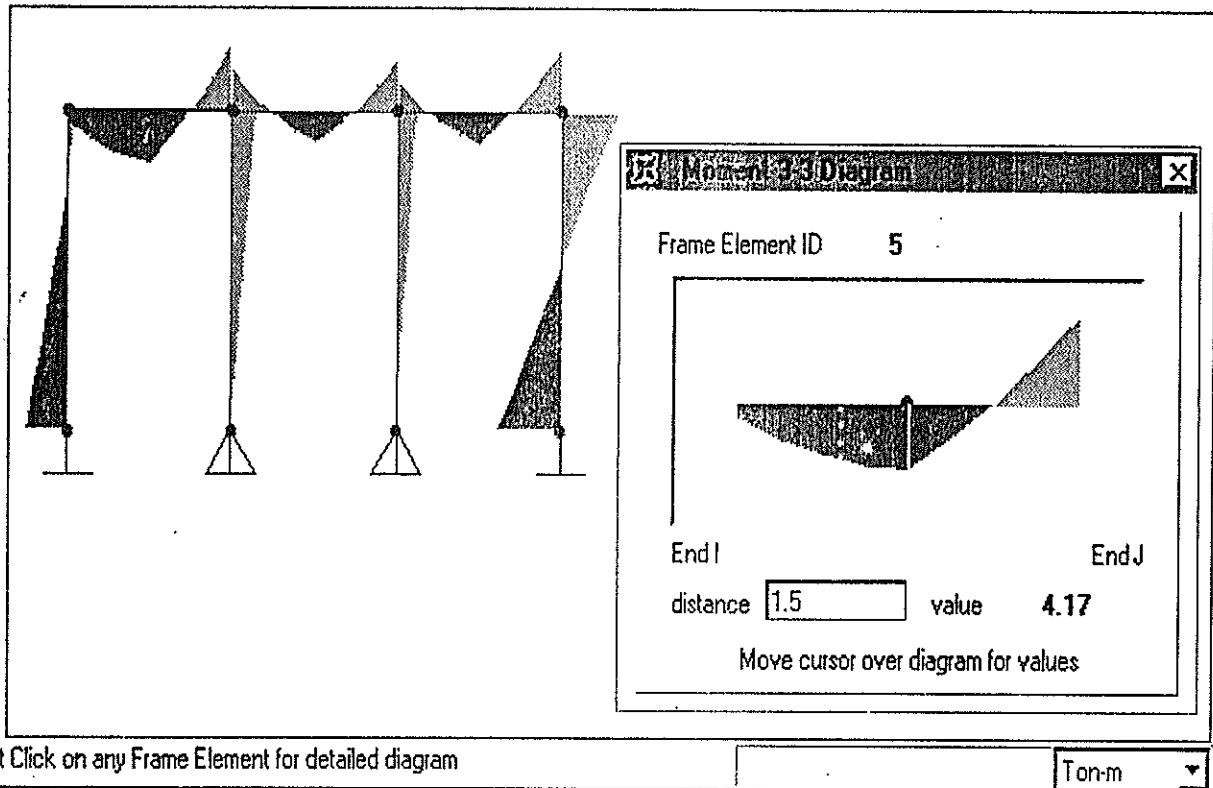
Untuk menampilkan diagram momen lentur (*Moment 3-3*) yang terjadi pada elemen-elemen struktur, dilakukan sbb. :

- Dari menu **Display**, klik *Show Element Forces / Stresses*, kemudian klik *Frames*
- Pada kotak *Member Force Diagram for Frame*, ketikkan :
 - Load : LOAD1 Load Case
 - Component : Moment 3-3
 - Scaling : Auto
- Pilih *Fill Diagram* untuk menampilkan diagram momen lentur, atau pilih *Show Values on Diagram* untuk menampilkan harga-harga dari momen lentur pada diagram. Klik *OK*.

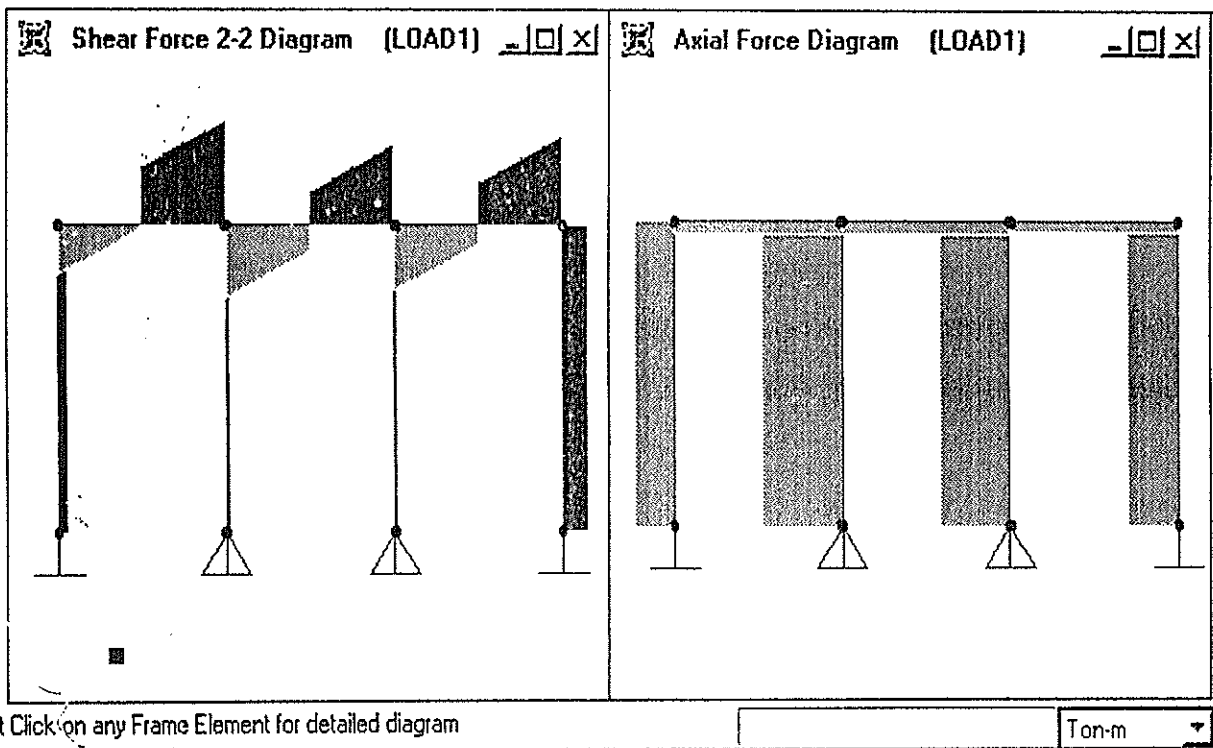
Besarnya momen lentur yang terjadi disepanjang bentang dari suatu elemen, dapat diketahui dengan cara :

- Klik kanan dari elemen yang akan ditampilkan detail diagram momen lenturnya.
- Diagram momen lentur dari elemen, akan ditampilkan pada kotak *Moment 3-3 Diagram*.
- Besarnya harga momen lentur disepanjang bentang dari elemen, dapat diketahui dengan menggerakkan kursor pada diagram (Gambar 12).

Untuk menampilkan diagram gaya geser (*Shear 2-2*), atau gaya normal (*Axial Force*) yang terjadi pada elemen-elemen struktur, dapat dilakukan dengan cara yang sama, seperti pada diagram momen lentur (Gambar 13).



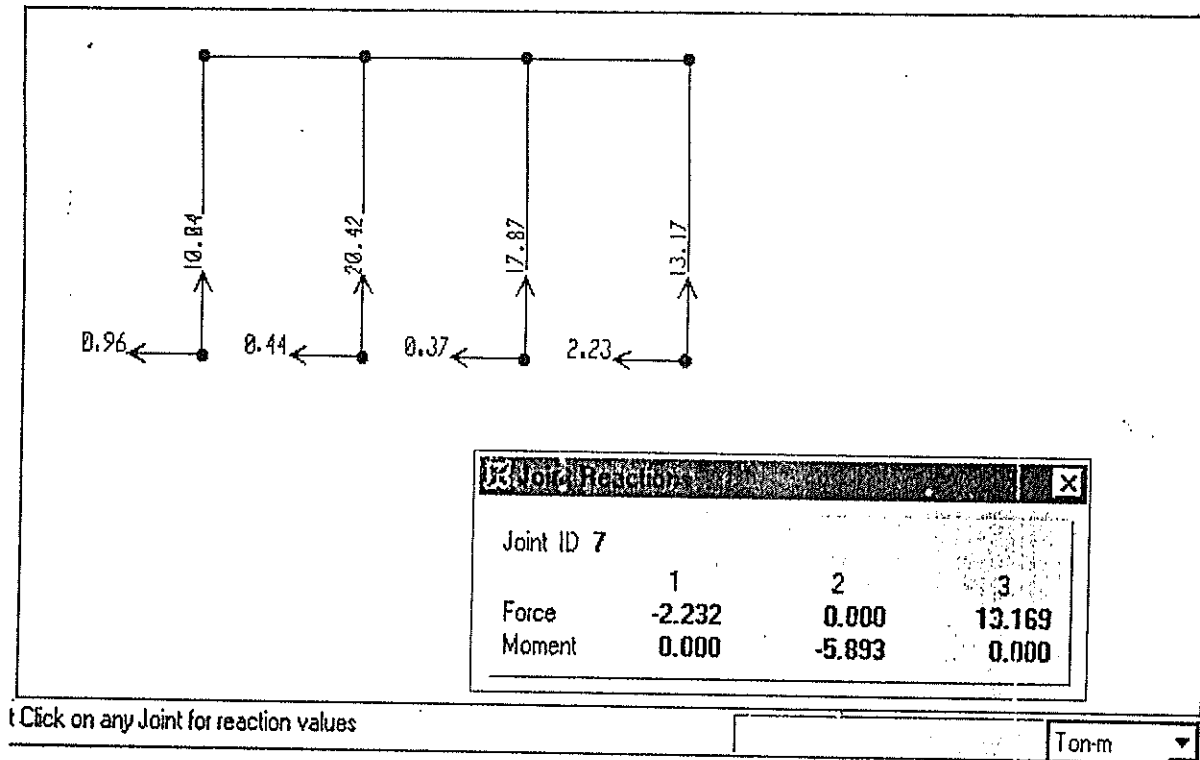
Gambar 12. Diagram momen pada struktur dan momen lentur pada elemen 5



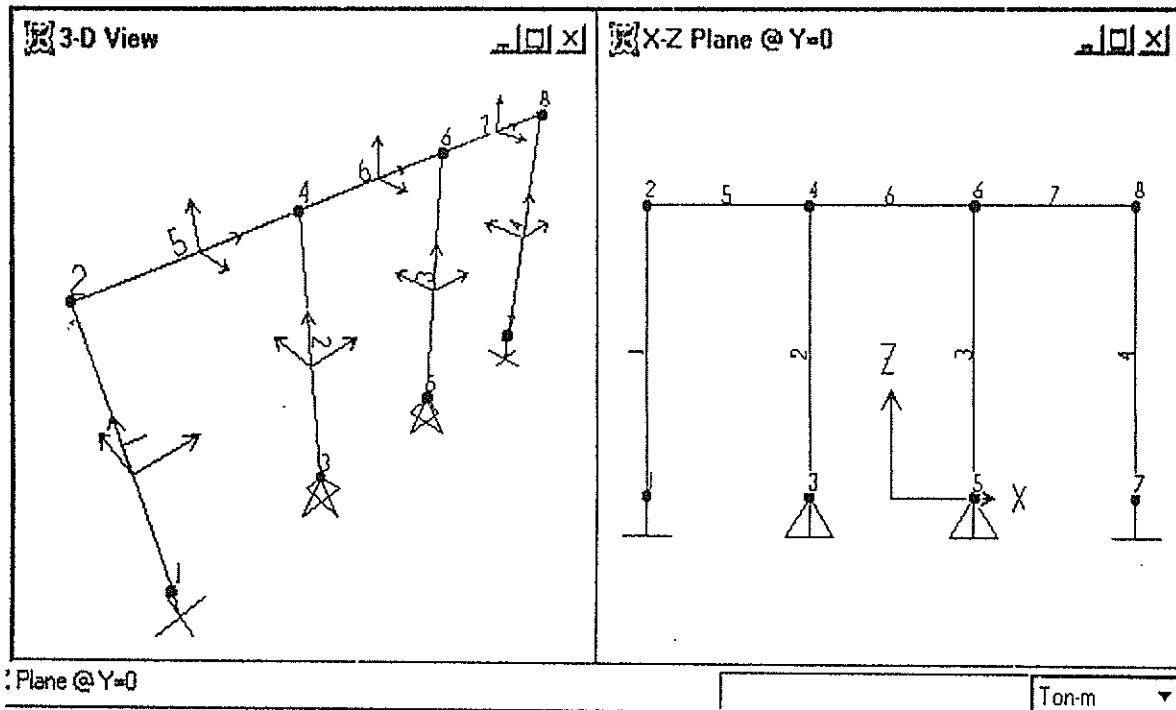
Gambar 13. Diagram gaya geser dan gaya normal pada struktur

Untuk menampilkan reaksi-reaksi tumpuan (Gambar 14), dilakukan sbb. :

- Dari menu **Display**, klik *Show Element Forces / Stresses*, kemudian klik *Joints*
- Pada kotak *Joint Reaction Forces*, klik *Reaction*, kemudian klik *OK*.
- Klik kanan joint 7, untuk menampilkan reaksi-reaksi tumpuan pada joint 7.
- Besarnya reaksi-reaksi tumpuan akan ditampilkan pada kotak *Joint Reactions*.



Gambar 14. Reaksi tumpuan pada joint 7.



Gambar 15. Sumbu lokal elemen dan penomoran joint/eleman pada struktur

11. Menampilkan / Mencetak Output File

Hasil analisis struktur yang berupa perpindahan joint (*joint displacement*), reaksi tumpuan (*reaction*), serta gaya-gaya dalam elemen (*frame forces*), dapat disimpan pada suatu file, dan untuk selanjutnya dapat dicetak. Untuk menyimpan hasil analisis struktur pada suatu file (*output file*), dilakukan dengan cara sbb. :

- Pilih menu **File**, kemudian klik *Print Output Tables*.
- Pada kotak *Type of Analysis Result*, pilih *Displacement*, *Reaction*, dan *Frame Forces*.
- Klik *Select Load*, kemudian klik *LOAD1 Load Case*, dan klik *OK*.
- Klik *Print to File* dan klik *File Name*, kemudian tuliskan nama dari file, misal ANALISIS. Klik *Save*, kemudian klik *OK*.

Untuk menampilkan *Output File*, dilakukan sbb. :

- Pilih menu **File**, kemudian pilih *Display Input / Output Text Files* untuk menampilkan kotak *Display Text File*.
- Pada *Files of type*, pilih *All Files (*.*)*
- Pada *File Name*, ketikkan ANALISIS, kemudian klik *Open*.

Tampilan dari hasil analisis struktur yang tersimpan pada file ANALISIS sbb. :

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

| JOINT | LOAD | UX | UY | UZ | RX | RY | RZ |
|-------|-------|-----------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1 | LOAD1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | LOAD1 | 3.431E-03 | 0.0000 | -1.255E-04 | 0.0000 | 8.796E-04 | 0.0000 |
| 3 | LOAD1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.022E-03 | 0.0000 |
| 4 | LOAD1 | 3.397E-03 | 0.0000 | -2.553E-04 | 0.0000 | -1.625E-05 | 0.0000 |
| 5 | LOAD1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 9.583E-04 | 0.0000 |
| 6 | LOAD1 | 3.368E-03 | 0.0000 | -2.234E-04 | 0.0000 | 9.593E-05 | 0.0000 |
| 7 | LOAD1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | LOAD1 | 3.343E-03 | 0.0000 | -1.646E-04 | 0.0000 | 1.878E-04 | 0.0000 |

J O I N T R E A C T I O N S

| JOINT | LOAD | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 1 | LOAD1 | -0.9568 | 0.0000 | 10.0397 | 0.0000 | -3.8579 | 0.0000 |
| 3 | LOAD1 | -0.4431 | 0.0000 | 20.4230 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | LOAD1 | -0.3680 | 0.0000 | 17.8686 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | LOAD1 | -2.2322 | 0.0000 | 13.1687 | 0.0000 | -5.8933 | 0.0000 |

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

| FRAME | LOAD | LOC | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|-------|------|--------|-----------|------|------|------|------------|
| 1 | LOAD1 | 0.00 | -10.04 | 9.568E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.86 |
| | | 2.50 | -10.04 | 9.568E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.47 |
| | | 5.00 | -10.04 | 9.568E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -9.260E-01 |
| 2 | LOAD1 | 0.00 | -20.42 | 4.431E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2.50 | -20.42 | 4.431E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -1.11 |
| | | 5.00 | -20.42 | 4.431E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -2.22 |
| 3 | LOAD1 | 0.00 | -17.87 | 3.680E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2.50 | -17.87 | 3.680E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -9.199E-01 |
| | | 5.00 | -17.87 | 3.680E-01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -1.84 |
| 4 | LOAD1 | 0.00 | -13.17 | 2.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.89 |
| | | 2.50 | -13.17 | 2.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.129E-01 |
| | | 5.00 | -13.17 | 2.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -5.27 |

| | | | | | | | | |
|---|-------|---------|-------|-------|------|------|------|------------|
| 5 | LOAD1 | 0.00 | -3.04 | -4.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.260E-01 |
| | | 7.5E-01 | -3.04 | -2.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.25 |
| | | 1.50 | -3.04 | 4.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.17 |
| | | 2.25 | -3.04 | 6.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -6.282E-02 |
| | | 3.00 | -3.04 | 8.46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -5.70 |
| 6 | LOAD1 | 0.00 | -2.60 | -5.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -3.49 |
| | | 7.5E-01 | -2.60 | -4.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.795E-01 |
| | | 1.50 | -2.60 | 2.79 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.64 |
| | | 2.25 | -2.60 | 4.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -1.515E-01 |
| | | 3.00 | -2.60 | 6.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -4.35 |
| 7 | LOAD1 | 0.00 | -2.23 | -5.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -2.51 |
| | | 7.5E-01 | -2.23 | -3.46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.839E-01 |
| | | 1.50 | -2.23 | 3.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.67 |
| | | 2.25 | -2.23 | 5.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -5.941E-01 |
| | | 3.00 | -2.23 | 7.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -5.27 |

12. Menampilkan / Mencetak Input File

Untuk menampilkan *Input File*, dilakukan sbb. :

- Pilih menu **File**, kemudian pilih *Display Input / Output Text Files* untuk menampilkan kotak *Display Text File*.
- Pada *Files of type*, pilih *Input Files (*.S2K,*.S2K)*
- Pada *File Name*, ketikkan **FRAME-2D**, kemudian klik *Open*.

Tampilan dari data masukan untuk analisis struktur yang tersimpan pada file **FRAME-2D.S2K**, sbb. :

```
File C:\Computers and Structures\FRAME-2D.S2k : in Ton-m
SYSTEM
DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ LENGTH=m FORCE=Ton PAGE=SECTIONS
JOINT
1 X=-4.5 Y=0 Z=0
2 X=-4.5 Y=0 Z=5
3 X=-1.5 Y=0 Z=0
4 X=-1.5 Y=0 Z=5
5 X=1.5 Y=0 Z=0
6 X=1.5 Y=0 Z=5
7 X=4.5 Y=0 Z=0
8 X=4.5 Y=0 Z=5
RESTRAINT
ADD=1 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=3 DOF=U1,U2,U3
ADD=5 DOF=U1,U2,U3
ADD=7 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
PATTERN
NAME=DEFAULT
```

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S W=7.85
T=0 E=2.1E+07 U=.3 A=0 FY=24000
NAME=CONC IDES=C
T=0 E=2000000 U=.25 A=0
NAME=OTHER IDES=N M=.2448012 W=2.402616
T=0 E=2531051 U=.2 A=.0000099

FRAME SECTION

NAME=FSEC1 MAT=CONC SH=R T=.45,.3 A=.135 J=.002377
I=2.278125E-03,.0010125 AS=.1125,.1125
NAME=FSEC2 MAT=CONC SH=R T=.5,.4 A=.2 J=5.474167E-03
I=4.166667E-03,2.666667E-03 AS=.1666667,.1666667
NAME=FSEC3 MAT=CONC SH=R T=.4,.5 A=.2 J=5.474167E-03
I=2.666667E-03,4.166667E-03 AS=.1666667,.1666667

FRAME

1 J=1,2 SEC=FSEC2 NSEG=2 ANG=0
2 J=3,4 SEC=FSEC3 NSEG=2 ANG=0
3 J=5,6 SEC=FSEC3 NSEG=2 ANG=0
4 J=7,8 SEC=FSEC2 NSEG=2 ANG=0
5 J=2,4 SEC=FSEC1 NSEG=4 ANG=0
6 J=4,6 SEC=FSEC1 NSEG=4 ANG=0
7 J=6,8 SEC=FSEC1 NSEG=4 ANG=0

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1 CSYS=0
TYPE=FORCE
ADD=2 UX=4 UZ=-6
ADD=4 UZ=-6
ADD=6 UZ=-6
ADD=8 UZ=-6
TYPE=CONCENTRATED SPAN
ADD=5 RD=.5 UZ=-5
ADD=6 RD=.5 UZ=-5
ADD=7 RD=.5 UZ=-5
TYPE=DISTRIBUTED SPAN
ADD=5 RD=0,1 UZ=-2.5,-2.5
ADD=6 RD=0,1 UZ=-2.5,-2.5
ADD=7 RD=0,1 UZ=-2.5,-2.5

OUTPUT

; No Output Requested

END

Latihan 2 : KOMBINASI PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

I. Kombinasi Pembebanan

Di Indonesia, pada umumnya umur rencana dari suatu struktur bangunan rata-rata adalah 50 tahun. Oleh karena itu selama umur rencananya, struktur bangunan harus mampu menerima berbagai macam kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi.

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan, dapat berupa kombinasi dari beberapa kasus pembebanan beban (*load case*) yang terjadi secara bersamaan. Untuk memastikan bahwa suatu struktur bangunan dapat bertahan selama umur rencananya, maka pada proses perancangan dari struktur, perlu ditinjau beberapa Kombinasi Pembebanan (*Load Combination*) yang mungkin terjadi pada struktur.

Pada standar Tatacara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung – SNI 03-2847-1992, disebutkan bahwa kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan pada perancangan struktur beton adalah :

1. Kombinasi Pembebanan Tetap

Pada kombinasi pembebanan tetap ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah :

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

2. Kombinasi Pembebanan Sementara

Pada kombinasi pembebanan sementara ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah :

$$\begin{aligned}U &= 1,05 (D + 0,6 L \pm E) \\U &= 0,90 (D \pm E) \\U &= 0,75 (1,2 D + 1,6 L \pm 1,6 W) \\U &= 0,9 D \pm 1,3 W\end{aligned}$$

dimana : D = Beban Mati, L = Beban Hidup, W = Beban Angin
E = Beban Gempa, Lr = Beban Hidup Tereduksi

Koefisien 1,2 , 1,6 , 1,3 , 1,05 , dan 0,9 merupakan faktor pengali dari beban, yang disebut sebagai Faktor Beban (*Load Factor*).

Sedangkan menurut Rancangan Standar Nasional Indonesia untuk peraturan struktur beton yang baru (SNI Eerton 2003) yang merupakan revisi dari SNI 03-2847-1992, kombinasi pembebanan yang harus ditinjau pada analisis struktur beton untuk bangunan gedung adalah :

- Kombinasi Pembebanan Tetap :

$$\begin{aligned}U &= 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \\U &= 1,4 D\end{aligned}$$

- Kombinasi Pembebanan Sementara :

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 D + 1,0 L^* \pm 1,0 E \\
 U &= 0,90 D \pm 1,0 E \\
 U &= 1,2 D + 1,0 L^* \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \\
 U &= 1,4 (D + F) \\
 U &= 1,2 (D + T) + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)
 \end{aligned}$$

Pada kombinasi pembebanan di atas, A : beban atap, R : beban hujan, F : tekanan fluida, T : pengaruh dari perbedaan penurunan pondasi, atau perbedaan suhu. Faktor beban untuk L* boleh direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan, dan semua ruangan yang beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m²

Untuk struktur baja, kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan pada analisis struktur, tergantung dari konsep desain yang digunakan. Ada 2 macam konsep desain yang saat ini digunakan di dalam praktek rekayasa struktur baja, yaitu metode *Load Resistance Factor Design* (LRFD) dan metode *Allowable Stress Design* (ASD). Kombinasi pembebanan yang harus ditinjau pada analisis struktur baja untuk metode *Allowable Stress Design* (ASD) adalah :

- Kombinasi Pembebanan Tetap :

$$\begin{aligned}
 U &= D \\
 U &= D + L
 \end{aligned}$$

- Kombinasi Pembebanan Sementara :

$$\begin{aligned}
 U &= D \pm W \\
 U &= D \pm W \\
 U &= D + L \pm W \\
 U &= D + L \pm E
 \end{aligned}$$

Pada standar Tatacara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung – SNI 03-1729-2000, disebutkan bahwa kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan pada analisis struktur baja dengan metode *Load Resistance Factor Design* (LRFD) adalah :

- Kombinasi Pembebanan Tetap :

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \\
 U &= 1,4 D
 \end{aligned}$$

- Kombinasi Pembebanan Sementara :

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 D + 1,0 L^* \pm 1,0 E \\
 U &= 0,90 D \pm 1,0 E \\
 U &= 1,2 D + 1,0 L^* \pm 1,3 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \\
 U &= 0,9 D \pm 1,3 W
 \end{aligned}$$

Elemen dan sistem struktur harus diperhitungkan terhadap Kombinasi Pembebanan Tetap dan

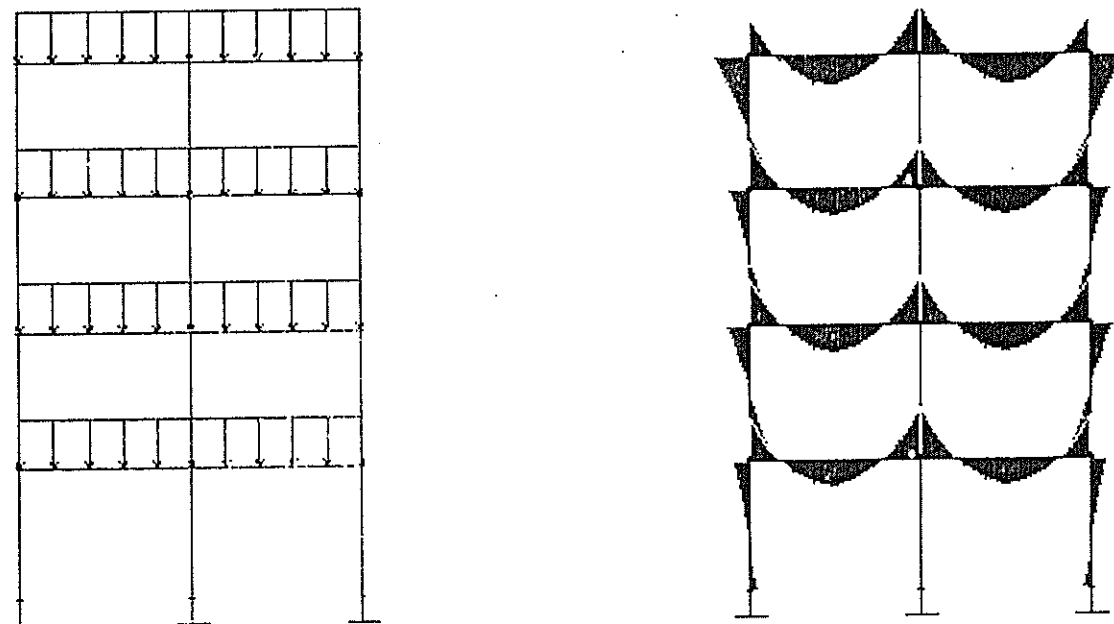
Kombinasi Pembebanan Sementara. Momen lentur (M_u), momen torsi / puntir (T_u), gaya geser (V_u), dan gaya normal (P_u) yang terjadi pada elemen-elemen struktur akibat kedua kombinasi pembebanan yang ditinjau, dipilih yang paling besar harganya, untuk selanjutnya digunakan pada proses desain.

Untuk struktur-struktur yang simetris, peninjauan beban gempa dapat dilakukan hanya pada satu arah saja. Sedangkan untuk struktur-struktur yang tidak simetris, peninjauan beban gempa harus dilakukan dua arah bolak-balik.

II. Struktur Portal Dengan 2 Kombinasi Pembebanan

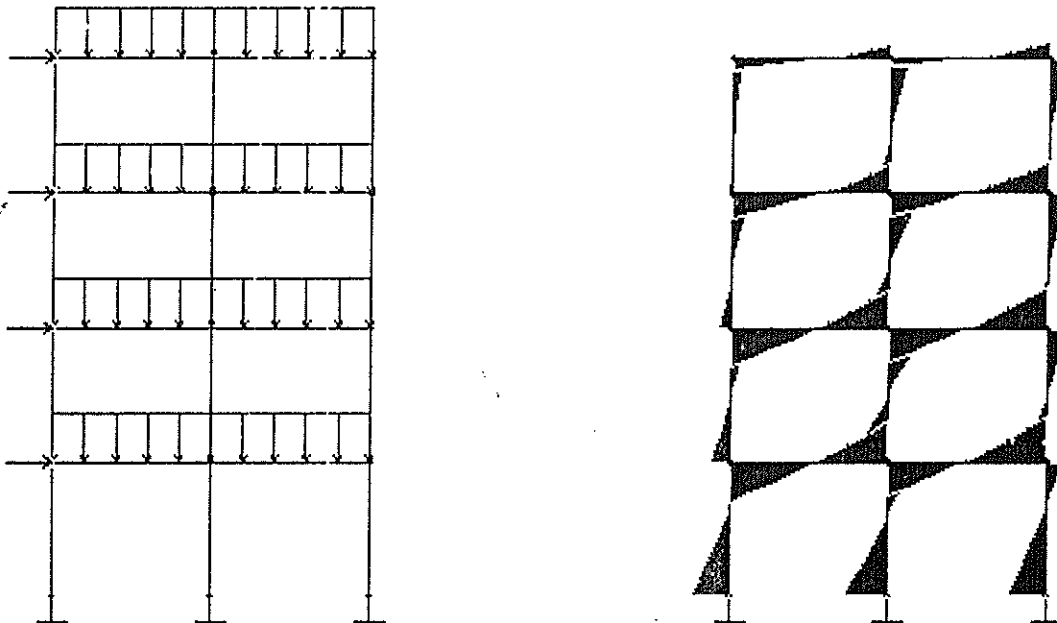
Untuk keperluan desain dari struktur portal, perlu dilakukan analisis struktur untuk Kombinasi Pembebanan Tetap dan Kombinasi Pembebanan Sementara. Sebagai contoh di bawah ini ditunjukkan bidang momen lentur yang terjadi pada struktur portal 2D yang didapat dari analisis struktur untuk kedua kombinasi pembebanan.

- a. Pembebanan Tetap : $U = 1,2.D + 1,6.L$



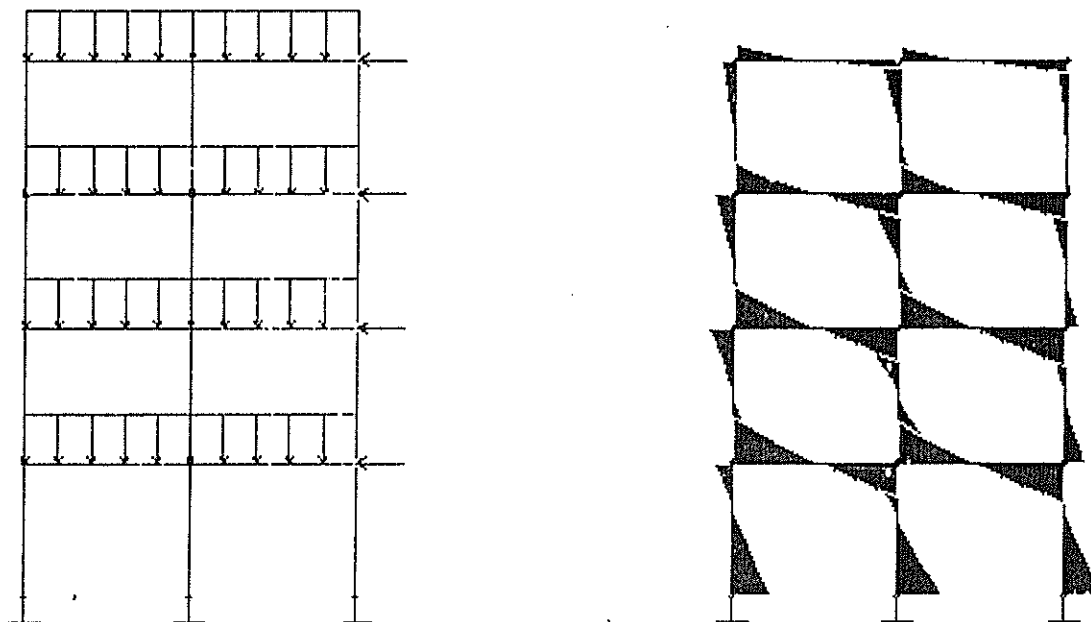
Gambar 1. Bidang momen pada portal akibat pembebanan tetap

- b. Pembebanan Sementara 1 : $U = 1,05.D + 0,6.L + 1,05.E$ (Gempa Dari Kanan)



Gambar 2. Bidang momen pada portal akibat pembebanan sementara

- c. Pembebanan Sementara 2 : $U = 1,05.D + 0,6.L - 1,05.E$ (Gempa Dari Kiri)



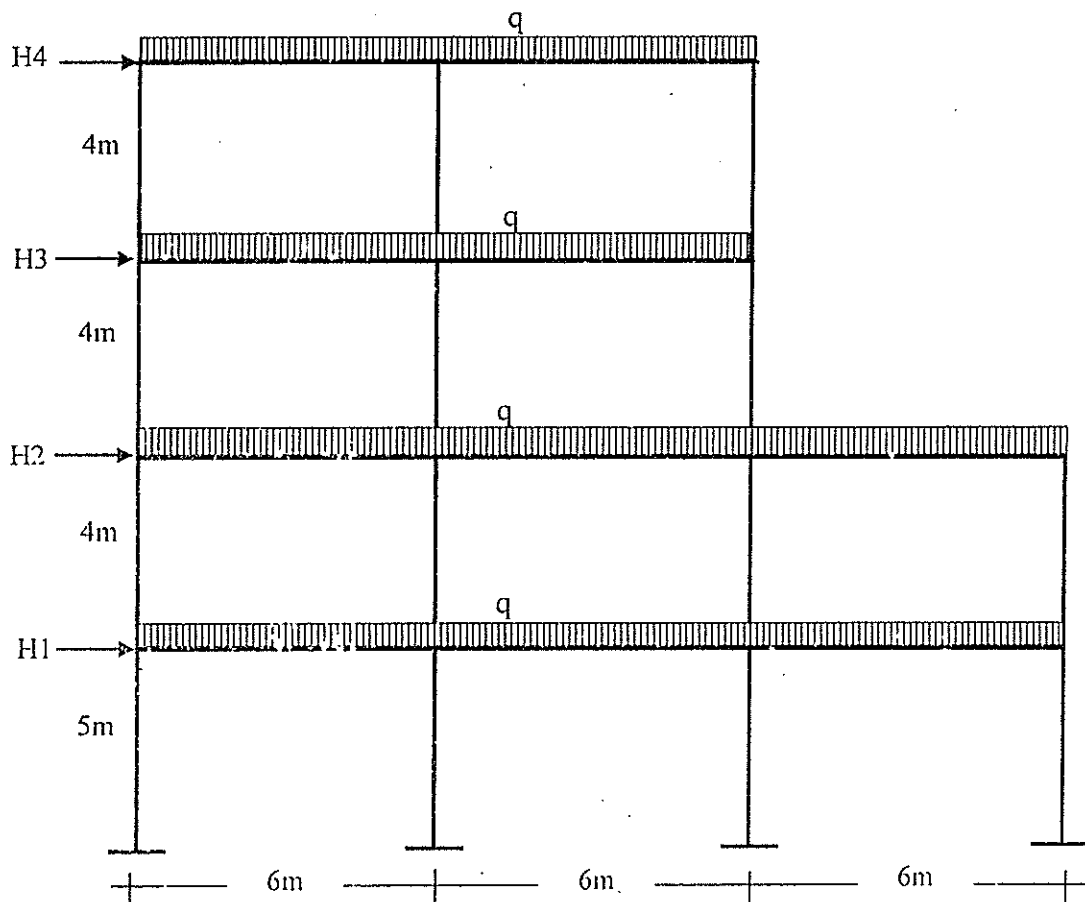
Gambar 3. Bidang momen pada portal akibat pembebanan sementara

Beban mati dan beban hidup selalu berarah ke bawah karena merupakan beban gravitasi, sedangkan beban angin atau beban gempa merupakan beban yang berarah horisontal. Akibat kombinasi pembebanan yang bekerja, pada elemen balok akan bekerja momen lentur yang berarah bolak-balik. Oleh karena itu, penampang balok harus dirancang agar kuat menahan momen-momen ini.

Akibat beban gempa atau beban angin yang berarah horisontal, pada elemen-elemen kolom dari struktur, akan bekerja momen lentur yang berarah bolak-balik. Penampang kolom harus dirancang agar kuat menahan momen-momen ini. Untuk memikul momen lentur yang berubah arah ini, pada umumnya untuk elemen kolom dipasang tulangan lsimetris.

III. Contoh Analisis Pembebanan Pada Struktur

Suatu model struktur portal 2D bangunan gedung 4 lantai dari beton bertulang, mempunyai konfigurasi dan sistem pembebanan seperti pada gambar. Untuk analisis struktur digunakan program SAP2000.



Gambar 4. Konfigurasi struktur dan pembebanan

Dimensi Elemen Dan Karakteristik Bahan

Ukuran kolom lantai 1 dan 2 = 40/40 cm, kolom lantai 3 dan 4 = 35/35 cm, dan ukuran semua balok = 55/30 cm.

Modulus elastisitas beton = 2350000 ton/m², Angka Poisson beton = 0,20

Berat jenis (*weight per unit volume*) beton = 2,4 ton/m³,

Pembebanan Pada Struktur

Beban merata disepanjang bentang balok :

- Beban mati (D) : q = 1,5 ton/m
- Beban hidup (L) : q = 0,5 ton/m

Beban gempa horisontal (E) :

- H1 = 6 ton, H2 = 8,5 ton, H3 = 5 ton, H4 = 3 ton.

Kombinasi Pembebanan Yang Ditinjau Pada Analisis (menurut SNI '92) :

- Pembebanan Tetap : U = 1,2 D + 1,6 L
- Pembebanan Sementara 1 : U = 1,05 D + 0,63 L + 1,05 E (Gempa dari kanan)
- Pembebanan Sementara 2 : U = 1,05 D + 0,63 L - 1,05 E (Gempa dari kiri)

Penyelesaian :

1. Memilih Sistem Satuan

Pada kotak sistem satuan, pilih sistem satuan yang akan digunakan : Ton-m.

2. Menyusun Konfigurasi Struktur

– Dari menu **File**, pilih *New Model From Template*. Pada kotak *Model Templates*, klik gambar portal 2 dimensi. Pada kotak *Portal Frame* ketikkan data-data struktur :

Number of Stories = 4

Number of Bays = 3

Story Height = 4

Bay Width = 6

Klik *OK*.

– Untuk mendapatkan konfigurasi struktur seperti yang direncanakan, klik elemen balok dan kolom yang akan dihapus. Pilih menu **Edit**, kemudian *Cut*.

– Untuk merubah tinggi tingkat lantai 1, klik semua joint tumpuan struktur. Pilih menu **Edit**, kemudian *Move*. Pada kotak *Move Selected Points*, masukkan data Delta Z = -1, klik *OK*.

3. Mendefinisikan Karakteristik Material

– Dari menu **Define**, pilih *Material* untuk menampilkan kotak dialog *Define Material*. Pilih **CONC**, kemudian klik tombol *Modify/Show Material*. Pada kotak *Material Property Data* masukkan data-data material :

Design Type : Concrete

Analysis Property Data :

Mass per unit Volume = 0
Weight per unit Volume = 2.4
Modulus of Elasticity = 2350000
Poisson Ratio = 0.20
Coeff of Thermal Expansion = 0
Klik *OK*

4. Mendefinisikan Dimensi Elemen

- Dari menu **Define**, pilih *Frame Sections* untuk menampilkan kotak dialog *Define Frame Section*. Pada kotak *Frame Section*, klik *Modify/Show Section*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data-data untuk elemen balok :

Section Name : FSEC1
Dimension : - Depth = 0.55
 : - Width = 0.30
Material : CONC
Klik *OK*.

- Pada kotak *Frame Section*, pilih *Add I / Wide Flange*, kemudian klik *Add Rectangular*. Pada *Rectangular Section*, masukkan data kolom lantai 1 dan 2 :

Section Name : FSEC2
Dimension : - Depth = 0.40
 : - Width = 0.40
Material : CONC
Klik *OK*.

- Pada kotak dialog *Frame Section*, pilih *Add I / Wide Flange*, kemudian klik *Add Rectangular*. Pada *Rectangular Section*, masukkan data kolom lantai 3 dan 4 :

Section Name : FSEC3
Dimension : - Depth = 0.35
 : - Width = 0.35
Material : CONC
Klik *OK*.

5. Penempatan Elemen Pada Sistem Struktur

Untuk mendefinisikan elemen-elemen pada sistem struktur, dilakukan dengan cara :

- Klik semua elemen balok dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame dan Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC1, kemudian klik *OK*.
- Klik semua kolom lantai 1 dan 2 dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame dan Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC2, kemudian klik *OK*.
- Klik semua kolom lantai 3 dan 4 dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame dan Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC3, kemudian klik *OK*.

6. Mendefinisikan Jenis Tumpuan

Untuk mendefinisikan jenis tumpuan pada struktur, dilakukan dengan cara :

- Klik joint-joint tumpuan dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint* dan *Restraints*. Pada kotak *Fast Joint Restraints*, klik tumpuan jepit, kemudian klik *OK*.

7. Mendefinisikan Kasus Pembebanan

Untuk mendefinisikan 4 kasus pembebanan beban (*load case*) yang bekerja pada struktur, dilakukan sbb. :

- Dari menu **Define**, pilih *Static Load Case* untuk menampilkan kotak *Static Load Case Name*. Pada kotak ini masukkan data-data :

Load = LOAD1
 Type = DEAD
 Self Weight Multiplier = 1

Load = LOAD2
 Type = LIVE
 Self Weight Multiplier = 0
 Klik *Add New Load*

Load = LOAD3
 Type = QUAKE
 Self Weight Multiplier = 0
 Klik *Add New Load*

Load = LOAD4
 Type = QUAKE
 Self Weight Multiplier = 0
 Klik *OK*.

8. Mendefinisikan Kasus Beban Dan Kombinasi Pembebanan

- Dari menu **Define**, pilih *Load Combination* kemudian klik *Add New Combo*. Pada kotak dialog *Load Combination Data* masukkan data-data :

Load Combination Name : COMB 1

Title : TETAP

Case Name : LOAD1 Load Case
 Scale Factor : 1.2

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD2 Load Case
 Scale Factor : 1.6

Klik *OK*.

Klik *Add New Combo*

Load Combination Name : COMB 2

Title : SEMENTARA1

Case Name : LOAD1 Load Case
 Scale Factor : 1.05

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD2 Load Case
Scale Factor : 0.63

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD3 Load Case
Scale Factor : 1.05

Klik *Add Load Case*

Klik *OK*.

Klik *Add New Combo*

Load Combination Name : COMB 3

Title : SEMENTARA2

Case Name : LOAD1 Load Case
Scale Factor : 1.05

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD2 Load Case
Scale Factor : 0.63

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD4 Load Case
Scale Factor : 1.05

Klik *Add Load Case*

Klik *OK*.

9. Mendefinisikan Beban-beban Yang Bekerja Pada Struktur.

Beban Mati Pada Elemen

- Klik elemen-elemen yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data-data untuk beban mati :

Load Case Name : LOAD1
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

- Untuk beban merata pada elemen, masukkan data : *Uniform Load* = -1.5, klik *OK*.

Beban Hidup Pada Elemen

- Klik elemen-elemen yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data-data untuk beban hidup :

Load Case Name : LOAD2
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

- Untuk beban merata pada elemen, masukkan data : *Uniform Load* = -0.5, kemudian klik *OK*.

Beban Gempa Pada Joint (Gempa Dari Kanan)

- Klik joint pada struktur yang akan dibebani beban $H1 = 6$ ton. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak dialog *Joint Forces* masukkan data beban :

Load Case Name : LOAD3
 Load : Forces Global X = 6
 Options : *Add to existing Load*

Klik *OK*.

Catatan :

Untuk memasukkan data beban gempa lainnya yaitu $H2 = 8.5$ ton, $H3 = 5$ ton, dan $H4 = 3$ ton, dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas.

Beban Gempa Pada Joint (Gempa Dari Kiri)

- Klik joint pada struktur yang akan dibebani beban $H1 = 6$ ton. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak dialog *Joint Forces* masukkan data beban :

Load Case Name : LOAD4
 Load : Forces Global X = -6
 Options : *Add to existing Load*

Klik *OK*.

Catatan :

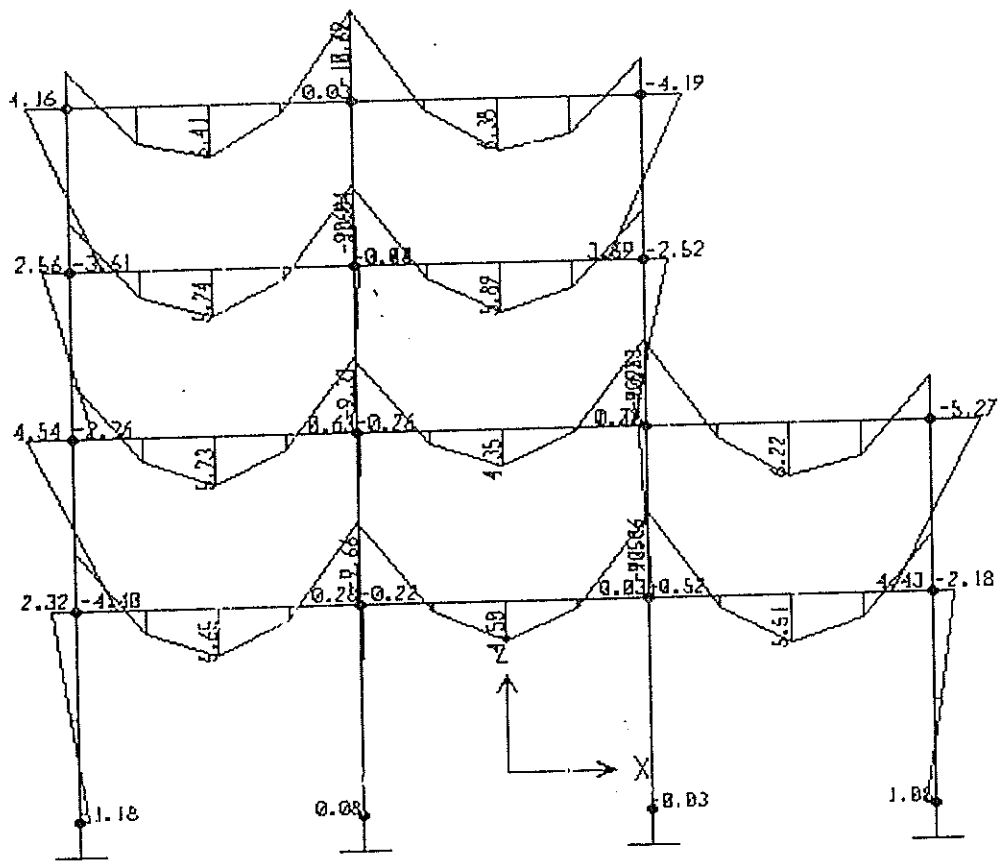
Untuk memasukkan data beban gempa lainnya yaitu $H2 = 8,5$ ton, $H3 = 5$ ton, dan $H4 = 3$ ton, dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas.

10. Menyimpan File Data Masukan Dan Melakukan Analisis

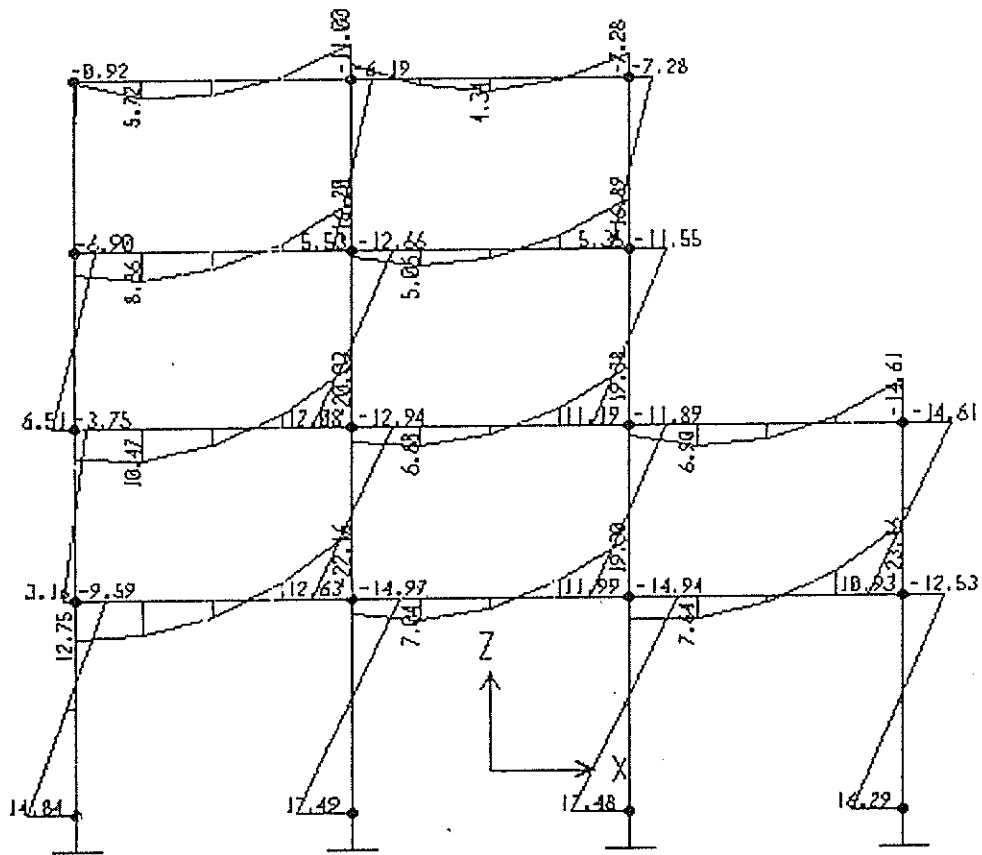
Sebelum melakukan analisis dan desain struktur, file data masukan perlu terlebih dahulu disimpan. Penyimpanan data masukan dilakukan sbb. :

- Pilih menu **File**, kemudian klik *Save As*.
- Pada kotak *Save Model File As*, ketikkan nama file PORTAL-2D, kemudian klik *Save*. Dengan cara ini file akan disimpan dengan nama PORTAL-2D.SDB
- Untuk melakukan analisis struktur, pilih menu **Analyze**, kemudian klik *Run*.

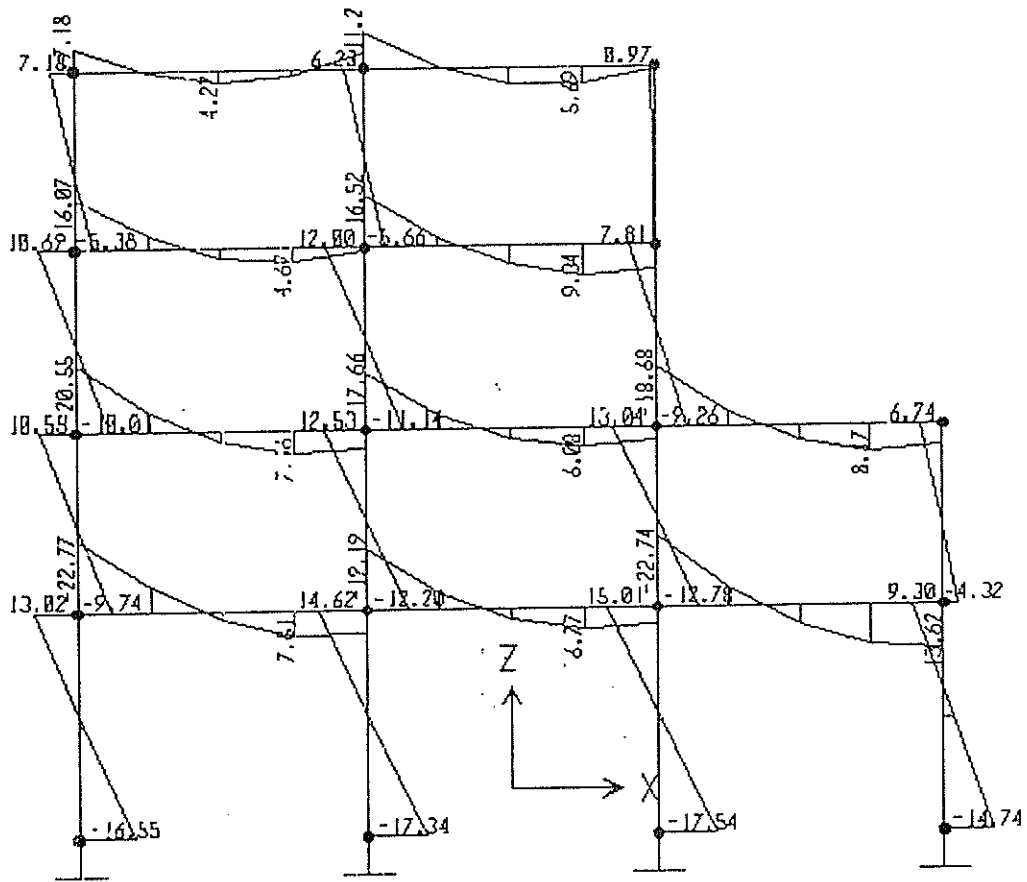
Momen lentur yang terjadi pada struktur untuk beberapa kombinasi pembebanan yang ditinjau, diperlihatkan pada gambar di bawah.



Gambar 5. Bidang momen untuk Kombinasi Pembebanan Tetap,
 $U = 1,2 D + 1,6 L$



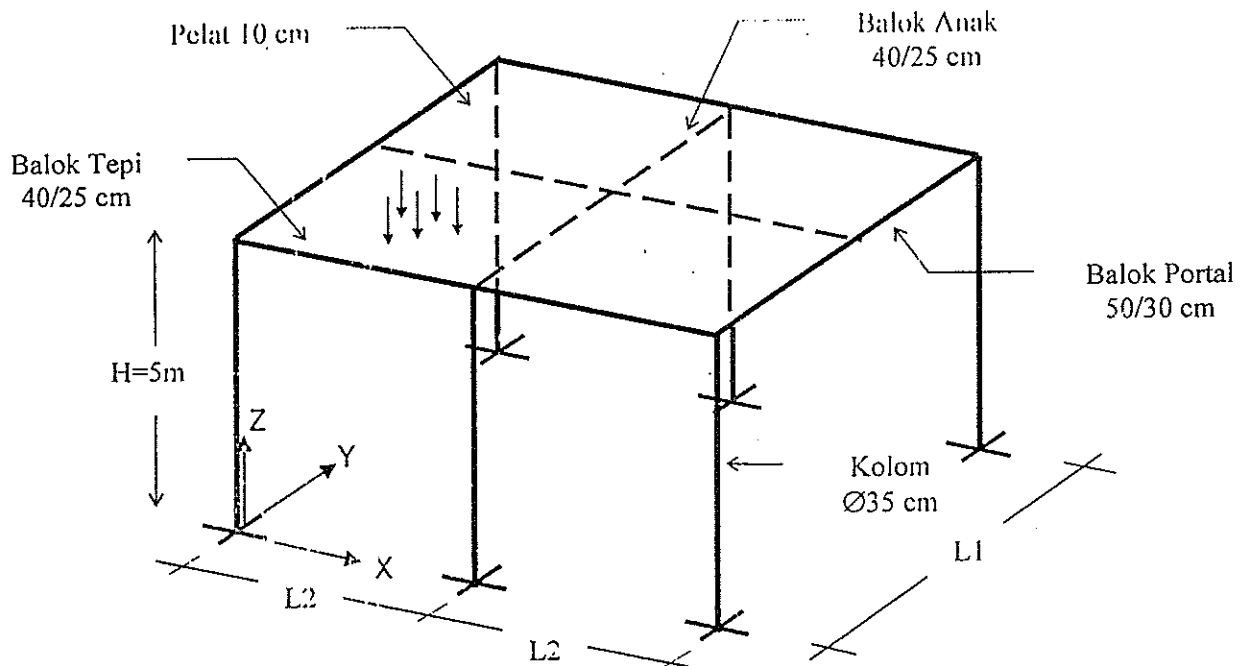
Gambar 6. Bidang momen untuk Kombinasi Pembebanan Sementara 1,
 $U = 1,05 D + 0,63 L + 1,05 E$



Gambar 7. Bidang Momen untuk Kombinasi Pembebanan 2,
 $U = 1,05 D + 0,63 L - 1,05 E$

Latihan 3 : ANALISIS STRUKTUR PORTAL 3D

Struktur portal beton dengan konfigurasi seperti pada gambar di bawah. Di atas pelat bekerja beban hidup terbagi merata sebesar $q = 250 \text{ kg/m}^2$. Kombinasi pembebanan yang ditinjau bekerja pada struktur adalah Pembebanan Tetap yaitu : $U = 1,2.D + 1,6.L$ ($D =$ beban mati, $L =$ beban hidup)



Gambar 1. Konfigurasi struktur portal 3D

Data-data untuk perhitungan :

$L1 = 6\text{ m}$, $L2 = 4\text{ m}$, $H = 5\text{ m}$. Tebal pelat : $t = 10\text{ cm}$.

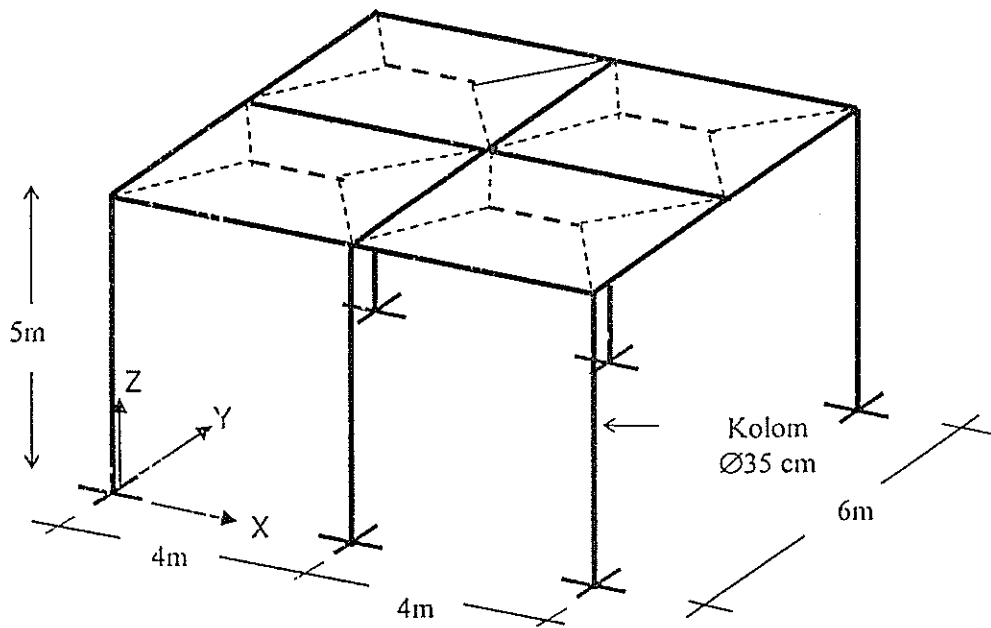
Diameter semua kolom struktur : 35 cm
Ukuran balok pada portal arah sumbu X : 30/50 cm
Ukuran balok pada portal arah sumbu Y : 25/40 cm

Modulus elastisitas beton : $E = 4700 \sqrt{20} = 21019 \text{ MPa}$,
Angka poisson beton : $U = 0,25$
Berat jenis beton : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$

Beban terbagi merata pada pelat akibat beban mati : $q_D = (0,1 \times 2400) = 240 \text{ kg/m}^2$
dan beban hidup : $q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

Dengan menggunakan SAP2000, tentukan :

- Deformasi struktur
- Gaya-gaya dalam pada elemen
- Reaksi-reaksi tumpuan



Gambar 2. Pelimpahan Beban Pada Balok-balok Struktur

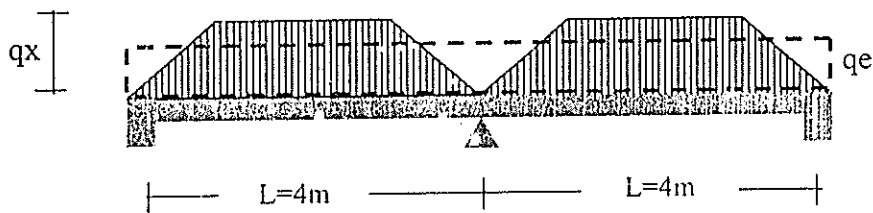
Pembebanan Pada Balok - Arah Sumbu Y

1. Balok Anak

Pelimpahan beban merata pada balok-balok struktur dilakukan dengan metode amplop. Dengan cara ini, pada balok anak, harus memikul 2 buah beban trapezium. Untuk memudahkan perhitungan, beban trapesium dirubah menjadi beban merata ekuivalen (q_e).

Panjang bentang untuk segmen pelat : $L_x = 3m$ dan $L_y = 4m$.

Beban mati merata akibat berat pelat : $q_x = 0,5 \cdot (q_D) \cdot L_x = 0,5 \cdot (240) \cdot 3 = 360 \text{ kg/m}$



Gambar 3. Beban merata ekuivalen pada balok anak

Beban trapesium dirubah menjadi beban merata ekuivalen dengan rumus, sbb. :

$$\text{Beban merata ekuivalen : } q_e = \frac{q_x \cdot L_y^2 - \frac{4}{3} \cdot q_x \cdot (L_x/2)^2}{L_y^2}$$

Dari rumus di atas, didapat beban mati merata ekuivalen adalah : $q_e = 292,5 \text{ kg/m}$

Beban mati total yang bekerja pada balok anak $qD = 2 \cdot (292,5) = 585 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup merata : $q_x = 0,5 \cdot (qL) \cdot L_x = 0,5 \cdot (250) \cdot 3 = 375 \text{ kg/m}^2$

Beban trapezium dirubah menjadi beban merata ekuivalen : $q_e = 305 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup yang bekerja pada balok anak : $qL = 2 \cdot 305 = 610 \text{ kg/m}^2$

2. Balok Tepi

Balok tepi arah sumbu Y, harus memikul 1 buah beban trapezium. Beban trapesium dirubah menjadi beban terbagi merata ekuivalen (q_e).

Beban mati total yang bekerja pada balok tepi : $qD = 292,5 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup trapezium dirubah menjadi beban merata ekuivalen : $q_e = 305 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup yang bekerja pada balok tengah : $qL = 305 \text{ kg/m}^2$

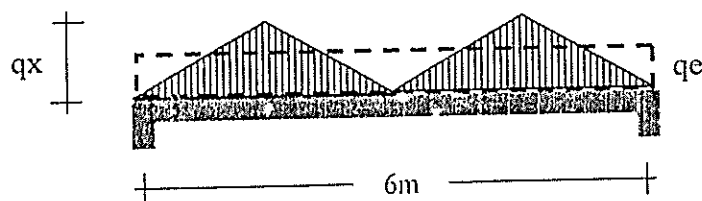
Pembebanan Pada Balok - Arah Sumbu X

1. Balok Portal Tengah

Balok tengah pada arah sumbu X, harus memikul 2 buah beban segi tiga. Untuk memudahkan perhitungan, beban segi tiga dirubah menjadi beban terbagi merata ekuivalen (q_e).

Panjang bentang untuk segmen pelat : $L_x = 3\text{m}$, dan $L_y = 4\text{m}$.

Beban mati merata akibat berat pelat : $q_x = 0,5 \cdot (qD) \cdot L_x = 0,5 \cdot (240) \cdot 3 = 360 \text{ kg/m}^2$



Gambar 4. Beban Merata Ekuivalen Pada Balok Portal

Beban segitiga dirubah menjadi beban merata ekuivalen dengan rumus, sbb. :

$$\text{Beban merata ekuivalen : } q_e = \frac{2 \cdot q_x}{3}$$

Dari rumus di atas, didapat beban mati merata ekuivalen adalah : $q_e = 240 \text{ kg/m}^2$

Beban mati yang bekerja pada balok tengah : $qD = 2 \cdot (240) = 480 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup merata : $q_x = 0,5 \cdot (qL) \cdot L_x = 0,5 \cdot (250) \cdot 3 = 375 \text{ kg/m}^2$

Beban segitiga dirubah menjadi beban merata ekivalen : $q_e = 250 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup yang bekerja pada balok tengah : $q_L = 2 \cdot 250 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}^2$

2. Balok Portal Tepi

Balok tepi arah sumbu X, memikul 1 buah beban segitiga. Untuk memudahkan perhitungan, beban segitiga dirubah menjadi beban merata ekivalen (q_e).

Beban mati yang bekerja pada balok tengah : $q_D = 240 = 240 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup segitiga dirubah menjadi beban merata ekivalen : $q_e = 250 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup yang bekerja pada balok tepi : $q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

ANALISIS STRUKTUR DENGAN SAP 2000

1. Memilih Sistem Satuan

Pada kotak sistem satuan yang tersedia, pilih sistem satuan yang akan digunakan di dalam analisis struktur (untuk perhitungan digunakan sistem satuan : ton-m).

2. Menyusun Bentuk Stuktur

Dari menu **File**, pilih *New Model From Template*. Pada kotak *Model Template*, klik struktur portal 3 dimensi. Pada kotak *Space Frame* ketikkan data struktur :

| | |
|------------------------|-----|
| Number of Stories | = 1 |
| Number of Bays along X | = 1 |
| Number of Bays along Y | = 2 |
| Story Height | = 5 |
| Bay Width along X | = 6 |
| Bay Width along Y | = 4 |

Klik *OK*.

Space Frame

Restraints
 Gridlines

| | |
|------------------------|---|
| Number of Stories | 1 |
| Number of Bays along X | 1 |
| Number of Bays along Y | 2 |
| Story Height | 5 |
| Bay width along X | 6 |
| Bay width along Y | 4 |

OK
Cancel

Gambar 5. Data masukan untuk model Struktur Frame 3 Dimensi

Untuk menempatkan balok anak pada sistem struktur, dilakukan sbb. :

Klik balok-balok portal arah sumbu X dari struktur, kemudian Klik menu **Edit**, dan *Divide Frame*. Pada kotak *Divide Selected Frame*, masukkan data :

Divide into = 2
Last/First ratio = 1
Klik *OK*

Langkah ini akan menyebabkan balok-balok portal pada arah sumbu X, terbagi menjadi 2 bagian yang sama panjang.

Dari menu **Draw**, pilih *Draw Element Frame* untuk menggambar elemen Frame dari balok-balok anak, dengan cara menghubungkan joint-joint yang sudah terbentuk pada struktur.

3. Mendefinisikan Karakteristik Material

Dari menu **Define**, pilih *Material*, kemudian *Define Material*. Pilih **CONC**, kemudian klik tombol *Modify/Show Material*. Pada kotak *Material Property Data* masukkan data dari material :

Mass per unit Volume = 0
Weight per unit Volume = 2.4
Modulus of Elasticity = 2101900
Poisson Ratio = 0.25
Coeff of Thermal Expansion = 0
Klik *OK*.

4. Mendefinisikan Dimensi Elemen

Dari menu **Define**, pilih *Frame Sections* untuk menampilkan kotak dialog *Define Frame Section*. Pada kotak dialog *Frame Section*, klik *Modify/Show Section*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data :

Section Name : FSEC1
Dimension : - Depth = 0.40
 : - Width = 0.25
Material : CONC
Klik *OK*.

Pada kotak dialog *Frame Section*, pilih *Add I / Wide Flange*, kemudian klik *Add Rectangular*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data :

Section Name : FSEC2
Dimension : - Depth = 0.50
 : - Width = 0.30
Material : CONC
Klik *OK*.

Pada kotak dialog *Frame Section*, pilih *Add I / Wide Flange*, kemudian klik *Add Circle*. Pada kotak *Circle Section*, masukkan data :

Section Name : FSEC3
Diameter = 0.35
Material : CONC
Klik OK.

5. Penempatan Elemen Pada Sistem Struktur

Klik elemen balok anak dan balok tepi arah sumbu Y dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC1, kemudian klik OK.

Klik elemen balok-balok portal arah sumbu X dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC2, kemudian klik OK.

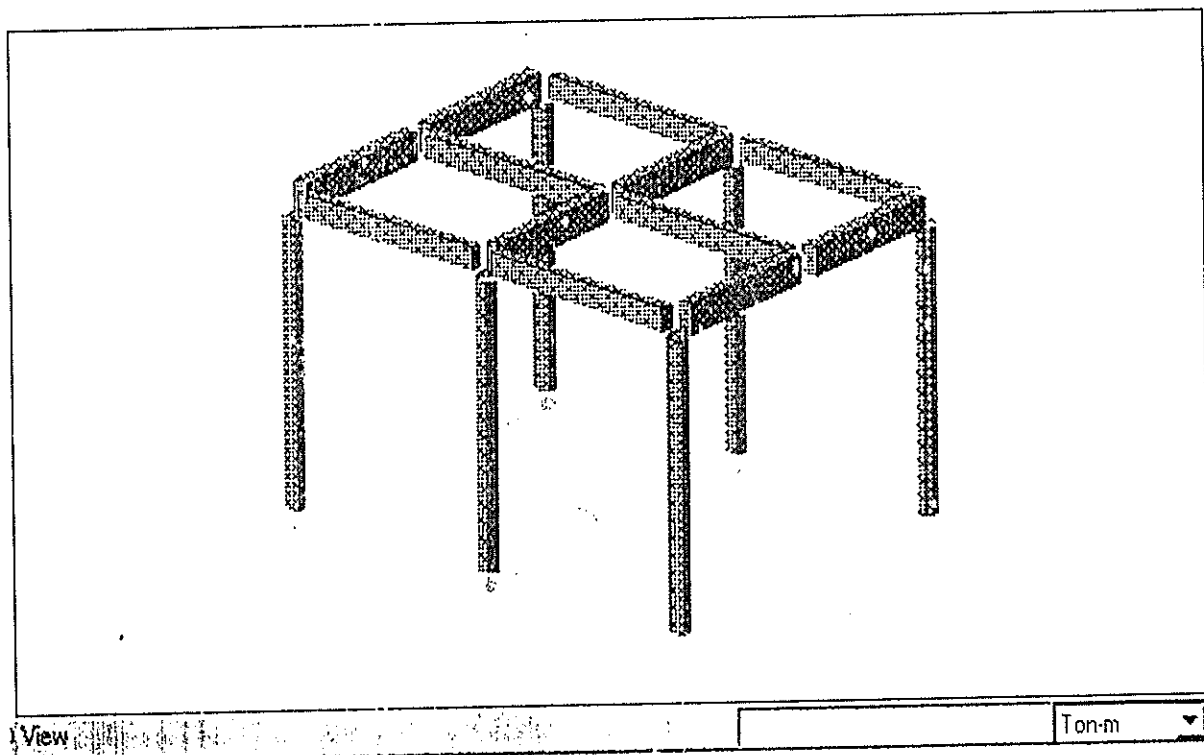
Klik semua elemen kolom struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC3, kemudian klik OK.

6. Mendefinisikan Jenis Tumpuan

Klik joint-joint yang merupakan tumpuan jepit pada struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint* dan *Restraints*. Di dalam kotak *Joint Restraints*, pada *Fast Joint Restraints*, klik tombol tumpuan jepit, kemudian klik OK.

Untuk menampilkan konfigurasi struktur serta bentuk dari elemen-elemen yang digunakan (Gambar 6), dilakukan dengan cara :

- Pilih menu **View**, klik *Set Elements*.
- Pada kotak *Set Elements*, klik *Show Extrusions*, kemudian klik OK.



Gambar 6. Konfigurasi struktur portal 3 dimensi

7. Mendefinisikan Kasus Beban (*Load Case*)

Beban yang bekerja pada struktur adalah kombinasi antara beban mati (kasus beban 1) dan beban hidup (kasus beban 2), dengan faktor beban 1,2 untuk beban mati dan 1,6 untuk beban hidup. Untuk mendefinisikan kasus pembebanan, dilakukan sbb. :

Dari menu **Define**, pilih *Static Load Case* untuk menampilkan kotak *Static Load Case Name*. Pada kotak ini masukkan data :

Load = LOAD1
Type = DEAD
Self Weight Multiplier = 1
Klik *OK*.

Load = LOAD2
Type = LIVE
Self Weight Multiplier = 0
Klik *Add New Load*
Klik *OK*.

8. Mendefinisikan Kombinasi Pembebanan (*Load Combination*)

Dari menu **Define**, pilih *Load Combination* kemudian klik *Add New Combo*. Pada kotak *Load Combination Data* masukkan data :

Load Combination Name : COMB 1

Title : TETAP

Case Name : LOAD1 Load Case

Scale Factor : 1.2

Klik *Add*

Case Name : LOAD2 Load Case

Scale Factor : 1.6

Klik *Add*

Klik *OK*.

9. Mendefinisikan Beban Pada Struktur

a. Beban Mati Pada Elemen

Klik balok-balok anak yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban mati : *Uniform Load* = -0.585, klik *OK*.

Klik balok-balok tepi arah sumbu Y. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban mati : *Uniform Load* = -0.2925, klik *OK*.

Klik balok portal tengah arah sumbu X. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban mati : *Uniform Load* = -0.480, klik *OK*.

Klik balok portal tepi arah sumbu X. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban mati : *Uniform Load* = -0.240, klik *OK*.

b. Beban Hidup Pada Elemen

Klik balok-balok anak yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD2
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban hidup : *Uniform Load* = -0.610, klik *OK*.

Klik balok-balok tepi arah sumbu Y. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD2
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban hidup : *Uniform Load* = -0.305, klik *OK*.

Klik balok portal tengah arah sumbu X. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD2
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban hidup : *Uniform Load* = -0.500, klik *OK*.

Klik balok portal tepi arah sumbu X. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD2
Load Type and Direction : Forces
Direction : Global Z
Options : Add to existing Load

Masukkan data untuk beban hidup : *Uniform Load* = -0.250, klik *OK*.

10. Menyimpan File Data Masukan

Sebelum melakukan analisis struktur, file data masukan perlu terlebih dahulu disimpan. Penyimpanan data masukan dilakukan sbb. :

Pilih menu **File**, kemudian klik *Save As*. Pada kotak *Save Model File As*, ketikkan nama file, yaitu FRAME-3D, kemudian klik *Save*. Dengan cara ini, file data masukan akan disimpan dalam bentuk grafik dengan nama FRAME-3D.SDB.

File data masukan dapat juga disimpan dengan cara :

Pilih menu **File**, klik *Export*, kemudian klik *SAP2000.S2k*. Pada kotak *Save Export File As*, ketikkan nama file, yaitu FRAME-3D, kemudian klik *Save*. Dengan cara ini, file data masukan akan disimpan dalam bentuk tulisan/text dengan nama FRAME-3D.S2K.

11. Melakukan Analisis

Untuk melakukan analisis struktur, pilih menu **Analyze**, kemudian *Run*.

12. Menampilkan Gambar

Untuk menampilkan gambar, seperti pembebanan pada struktur, deformasi struktur, diagram momen lentur, gaya geser, gaya aksial, dan momen puntir/torsi, digunakan menu **Display**. Untuk menampilkan deformasi struktur, dilakukan sbb. :

Pada menu **Display**, pilih *Show Deformed Shape*. Pada kotak *Deformed Shape*, ketikkan data :

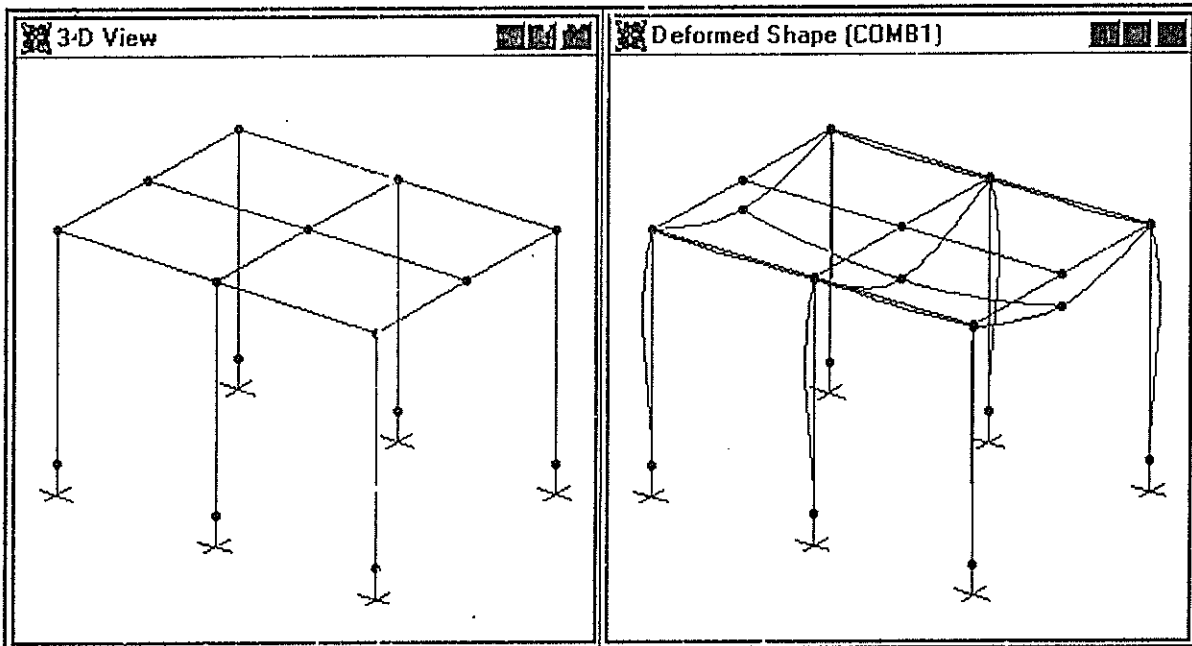
Load : COMB1 Combo
Scaling : Auto
Options : Wire Shadow
: Cubic Curve

Klik *OK*.

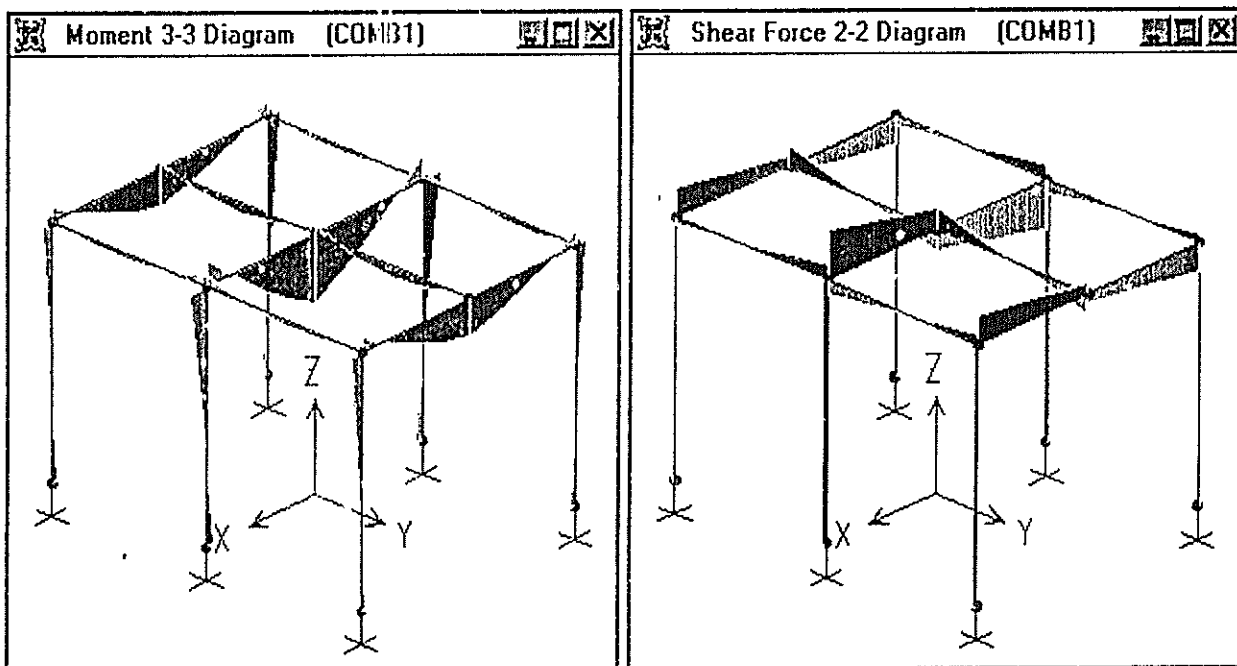
Untuk menampilkan diagram momen lentur, gaya geser, gaya aksial, dan torsi yang terjadi pada elemen-elemen struktur, dilakukan sbb. :

Pada menu **Display**, pilih *Show Element Forces / Stresses*, kemudian klik *Frames*. Pada *Member Forces Diagram for Frames*, pada kotak *Load*, pilih kombinasi pembebanan yang akan ditampilkan, yaitu : COMB1 Combo

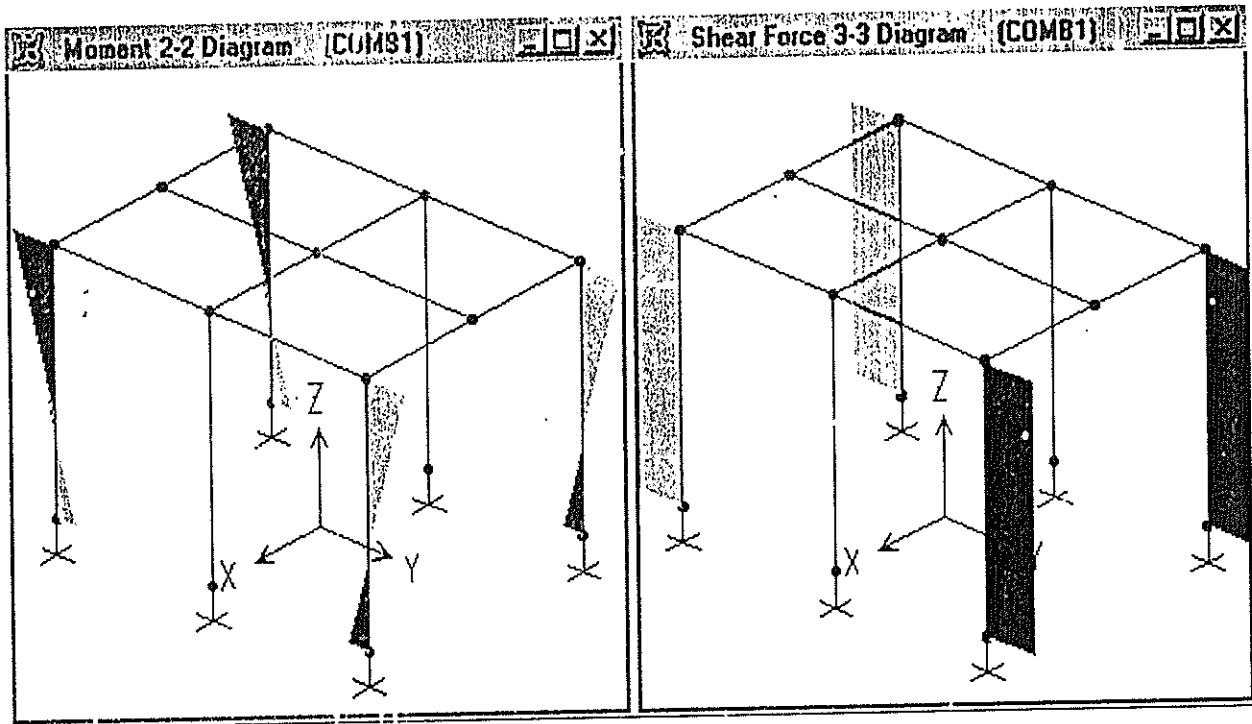
Pada kotak *Component*, pilih salah satu gaya dalam elemen yang akan ditampilkan yaitu : *Moment 3-3*, *Moment 2-2*, *Shear 3-3*, *Shear 2-2*, *Axial Force*, atau *Torsion*, kemudian klik *OK*.



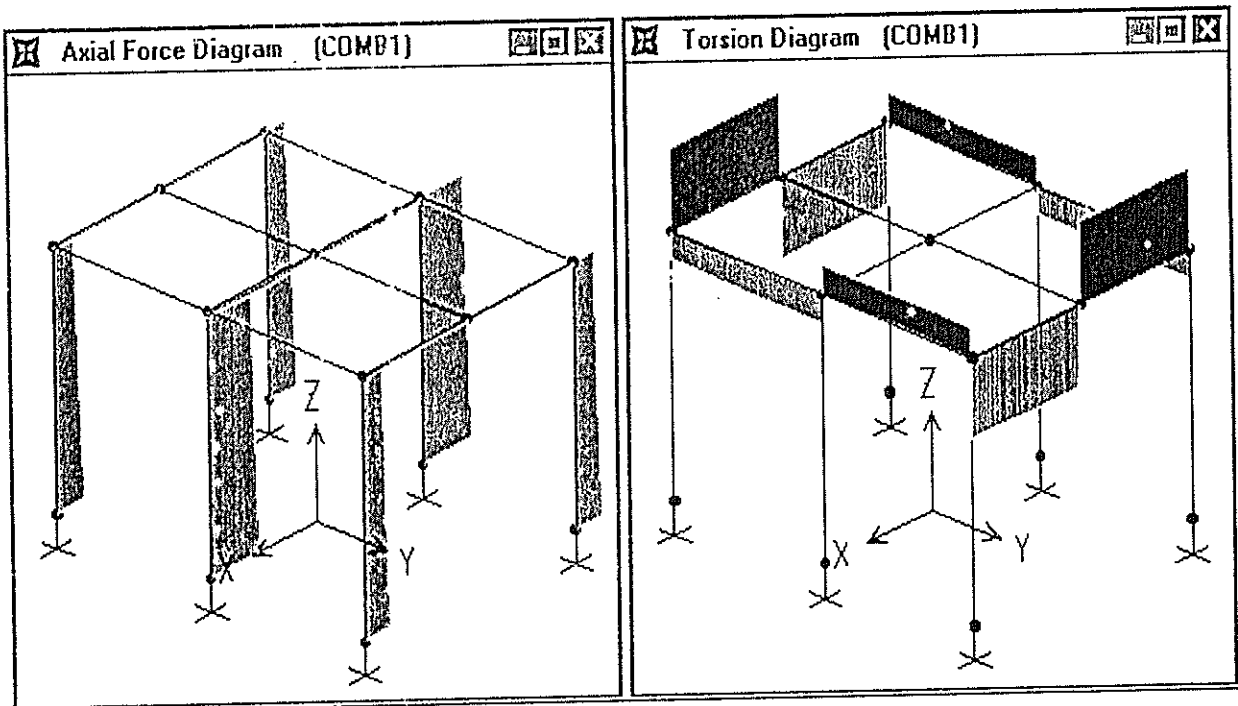
Gambar 7. Konfigurasi struktur sebelum dan sesudah berdeformasi



Gambar 8. Diagram Momen Lentur 3-3 dan Gaya Geser 2-2

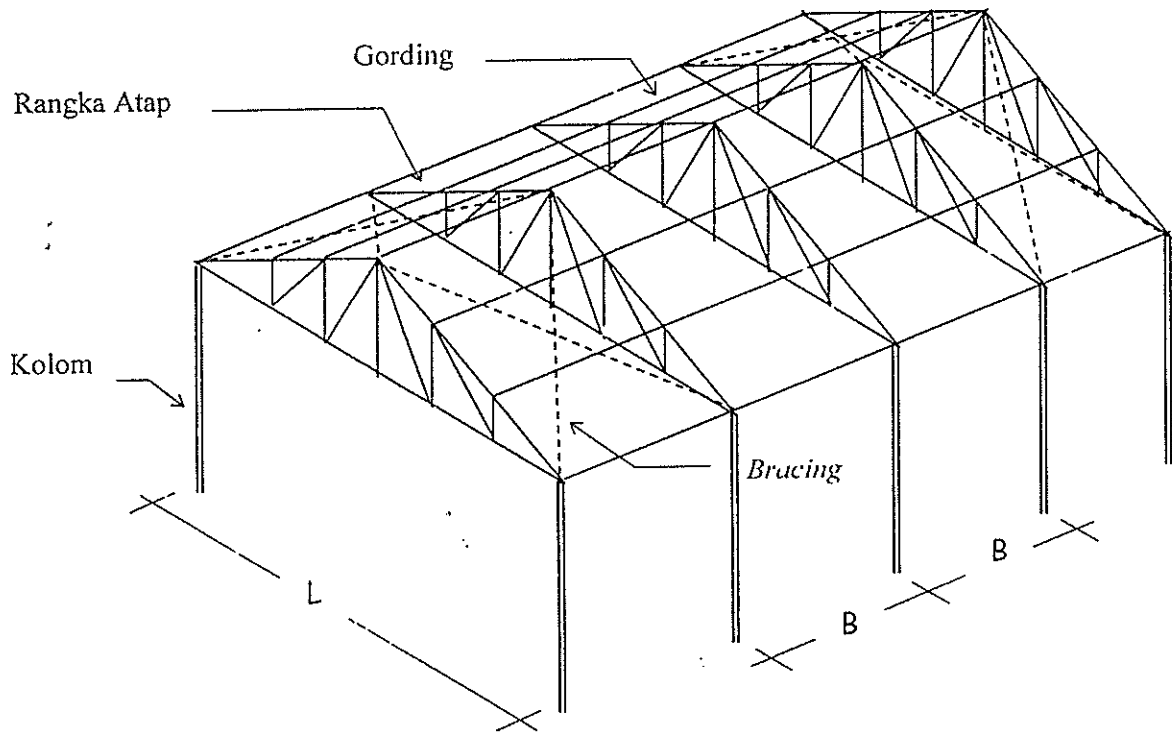


Gambar 9. Diagram Momen Lentur 2-2 dan Gaya Geser 3-3



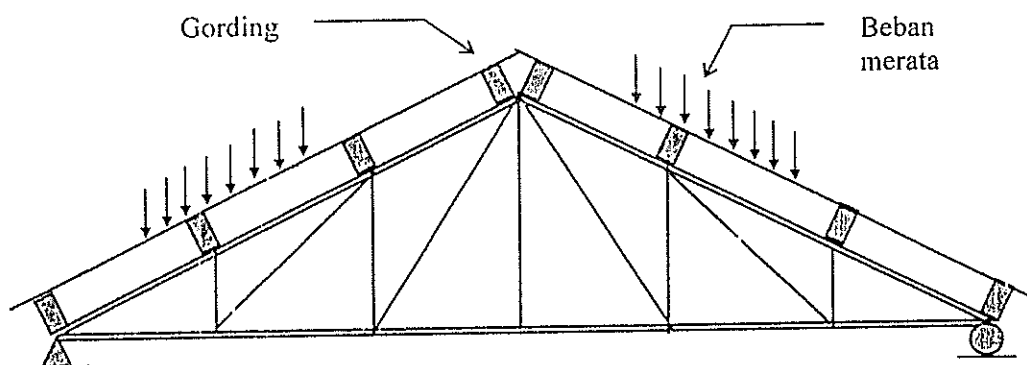
Gambar 10. Diagram Gaya Normal dan Momen Puntir / Torsi

Latihan 4 : STRUKTUR RANGKA ATAP



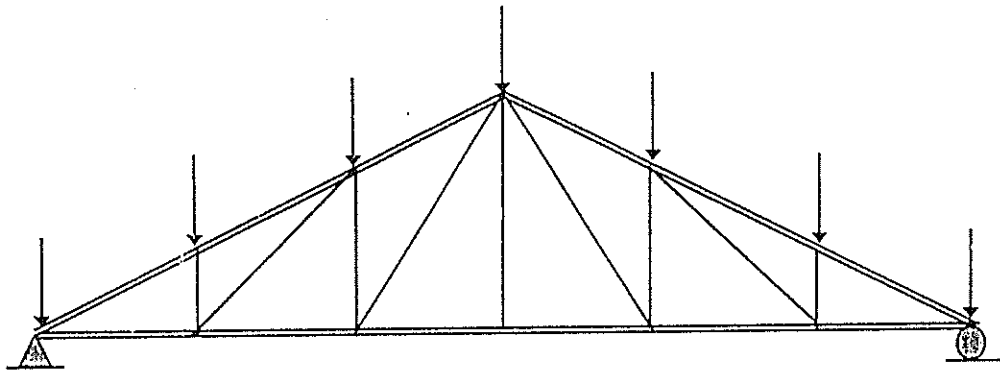
Gambar 1. Struktur Rangka Batang (Rangka Atap Baja)

Agar beban-beban yang bekerja pada Struktur Rangka Batang (*Truss Structure*) dapat terpusat di titik-titik buhul (*joint*), maka perlu adanya elemen struktur yang berfungsi untuk merubah beban merata (q), menjadi beban-beban terpusat (Q). Pada struktur rangka atap, perlu dipasang *gording* untuk merubah beban merata menjadi beban-beban terpusat, agar tidak timbul momen lentur pada sistem struktur. Untuk mendapatkan struktur rangka atap yang ideal, maka gording-gording harus diletakkan pada titik-titik sambungan batang (*joint*).



Gambar 2. Beban merata pada struktur rangka atap

Pada struktur rangka atap, selain beban mati yang berupa berat sendiri dari elemen-elemen konstruksi (berat penutup atap, berat rangka, gording, dll.) dan beban hidup yang diperkirakan akan bekerja pada struktur rangka, perlu diperhitungkan juga pengaruh dari beban angin (tekanan dan hisapan). Dengan adanya gording-gording pada titik buhul, maka beban-beban merata pada struktur atap akan menjadi beban-beban terpusat.

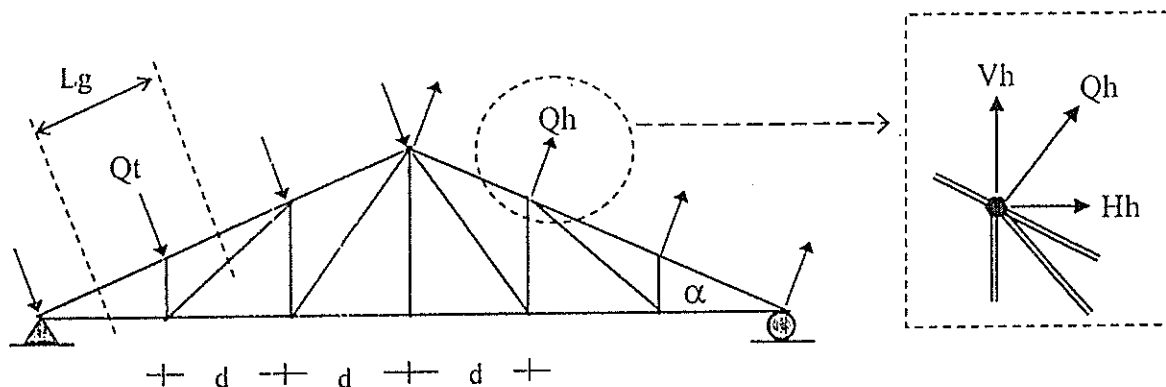


Gambar 3. Beban-bekan terpusat pada struktur rangka atap

Berdasarkan pedoman pembebanan yang berlaku di Indonesia, besarnya tekanan tiup angin yang bekerja pada struktur atap dapat diambil minimum sebesar 25 kg/m^2 . Tekanan angin di laut dan ditepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai, harus diambil minimum 40 kg/m^2 . Berhubung pengaruh angin akan menimbulkan tekanan dan hisapan, maka pada struktur atap juga akan mengalami tekanan dan hisapan angin, dimana besarnya tergantung dari bentuk dan kemiringan atap. Distribusi beban angin menjadi beban-bekan terpusat dijelaskan pada skema di bawah.

Jika diketahui tekanan tiup angin : $q_w = (25-40) \text{ kg/m}^2$, kemiringan atap : α , jarak rangka atap : B, jarak antar gording : L_g , maka besarnya tekanan angin (Q_t) dan hisapan angin (Q_h) adalah :

- Tekanan angin : $Q_t = L_g \cdot B \cdot [(0,02 \cdot \alpha + 0,4) \cdot q_w]$
- Hisapan angin : $Q_h = L_g \cdot B \cdot [(0,4) \cdot q_w]$

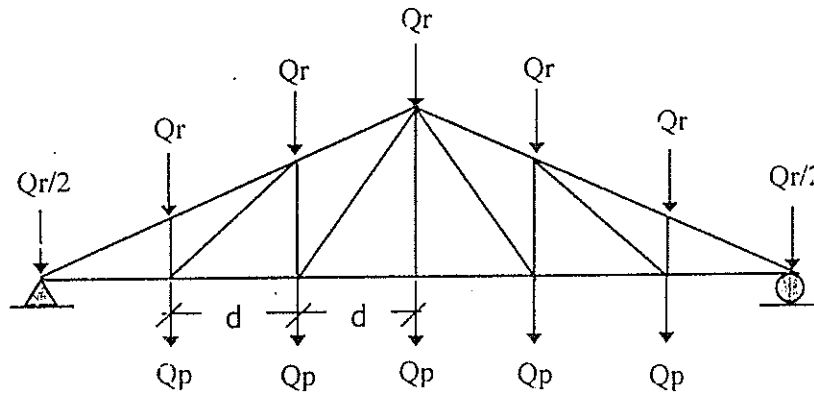


Gambar 4. Penguraian beban angin pada titik buhul (joint)

Untuk keperluan perhitungan, beban terpusat pada titik buhul akibat tekanan angin (Q_t) dan hisapan angin (Q_h), diuraikan menjadi beban yang berarah vertikal (V_h) dan horisontal (H_h) sbb. :

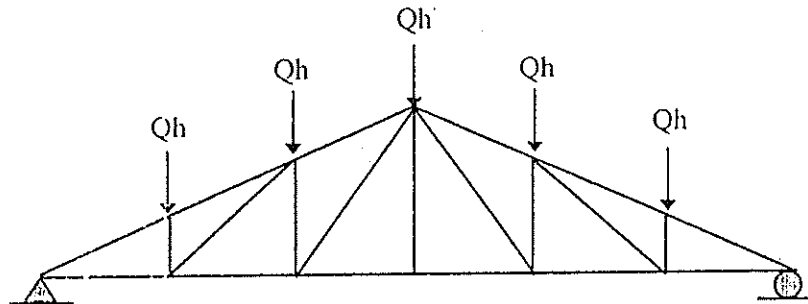
- Tekanan angin (Q_t) : $V_t = Q_t \cdot \cos \alpha$, $H_t = Q_t \cdot \sin \alpha$
- Hisapan angin (Q_h) : $V_h = Q_h \cdot \cos \alpha$, $H_h = Q_h \cdot \sin \alpha$

Beban mati pada struktur rangka atap, dapat terdiri dari berat sendiri rangka, beban penutup atap, usuk, reng, gording, plafond dan penggantung. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1987, besarnya beban-beban di atas adalah : atap genting, usuk, dan reng (q_a) = 50 kg/m^2 , plafond dan penggantung (q_p) = 50 kg/m^2 , sedangkan berat jenis baja = 7850 kg/m^3 . Dengan demikian besarnya beban terpusat pada titik buhul akibat penutup atap : $Q_a = d.B.q_a$, dan akibat plafond $Q_p = d.B.q_p$ (Gambar 5).



Gambar 5. Beban penutup atap dan plafond

Besarnya beban hidup pada atap akibat berat pekerja diperhitungkan sebesar $Q_h = 100 \text{ kg}$. Beban ini ditempatkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan pengaruh yang paling berbahaya pada struktur rangka atap (Gambar 6).



Gambar 6. Penempatan beban hidup pada struktur rangka atap

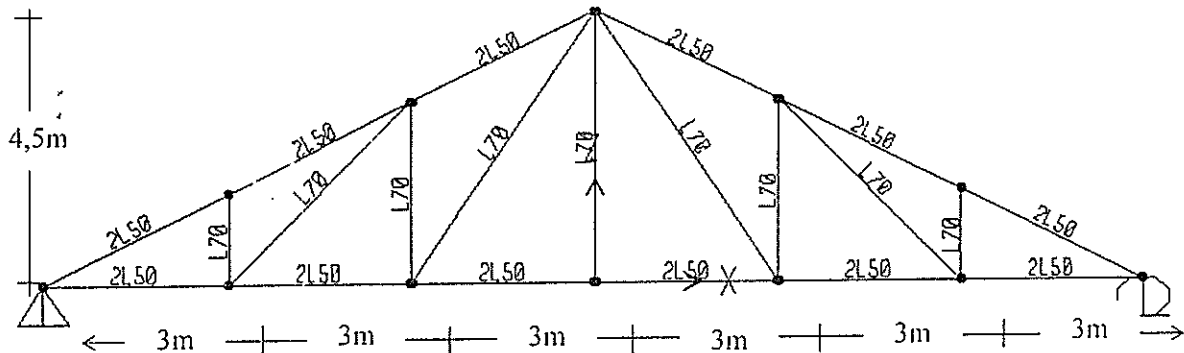
Contoh Analisis Dan Desain Struktur Rangka Atap Baja

Suatu struktur rangka atap dari baja, mempunyai konfigurasi seperti pada gambar di atas. Sambungan antara batang menggunakan baut berdiameter 12 mm dan pelat buhul tebal 10 mm. Panjang bentang dari rangka = 18 m, tinggi rangka = 4,5 m, dan jarak antara rangka atap : $B = 4\text{m}$. Untuk keperluan desain awal, batang tepi atas dan tepi bawah menggunakan profil siku rangkap 2L.50.50.5. Batang vertikal dan batang diagonal menggunakan profil siku tunggal L.70.70.7. Mutu profil baja yang digunakan BJ.37, dengan tegangan leleh (f_y) = 2400 kg/cm^2 .

Beban-beban yang diperhitungkan bekerja pada struktur rangka atap adalah beban angin (q_w) = 25 kg/m^2 , beban penutup atap (q_a) = 50 kg/m^2 , dan beban plafon (q_p) = 20 Kg/m^2 . Berat jenis baja = 7850 kg/m^3 , modulus elastisitas baja $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$, dan angka poisson baja = 0,3.

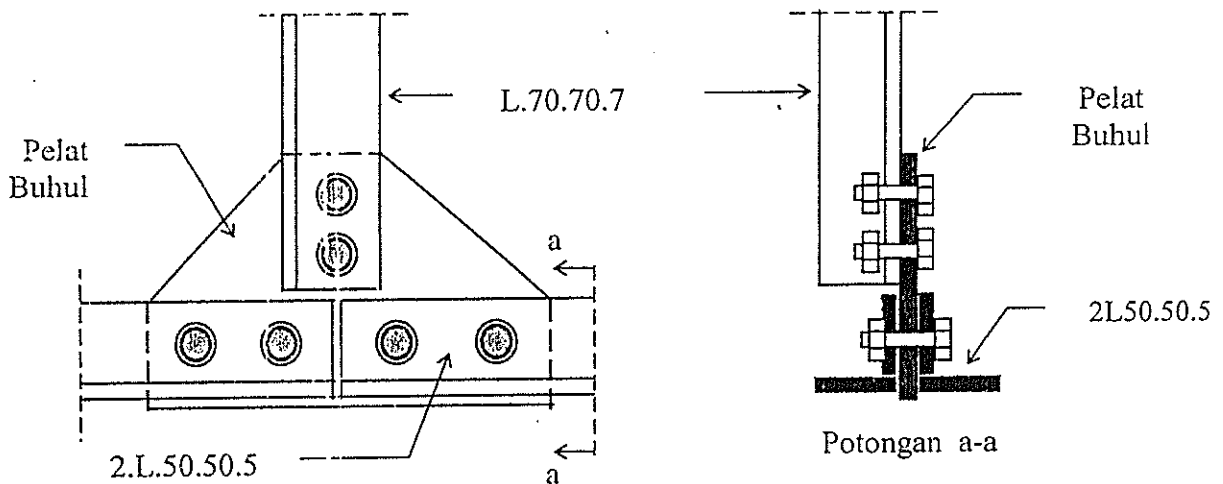
Kombinasi pembebanan yang ditinjau pada analisis struktur adalah :

- Pembebanan Tetap : Beban Mati + Beban Hidup
- Pembebanan Sementara 1 : Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin Kiri
- Pembebanan Sementara 2 : Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin Kanan



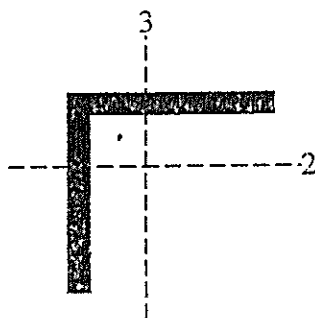
Gambar 7. Konfigurasi struktur dengan profil siku tunggal L70 dan siku rangkap 2L50

Detail sambungan antara elemen batang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Sambungan antara profil siku tunggal L.70.70.7 dan siku rangkap 2.L.50.50.5

Dari Tabel Profil Baja, diketahui lebar dan tebal sayap dari profil siku L.70.70.7 dan 1.50.50.5 adalah :



| | L.70.70.7 | L.50.50.5 |
|---------------|-----------|-----------|
| Lebar sayap = | 7,0 cm | 5,0 cm |
| Tebal sayap = | 0,7 cm | 0,5 cm |

Perhitungan Beban :

Beban angin (q_w) = 25 kg/m^2 , jarak antara rangka atap : $B = 4\text{m}$, dan jarak antara gording $L_g=3,35 \text{ m}$. Kemiringan atap : $\text{tg. } \alpha = 4,5/9,0 = 0,5$, jadi $\alpha = 27^\circ$

Tekanan angin : $Q_t = L_g.B.[(0,02.\alpha + 0,4).q_w] = 315 \text{ kg}$

- Tekanan vertikal : $V_t = Q_t \cos \alpha = 280 \text{ kg}$
- Tekanan horisontal : $H_t = Q_t \sin \alpha = 140 \text{ kg}$

Hisapan angin : $Q_i = L_g.B.[(0,4).q_w] = 134 \text{ kg}$

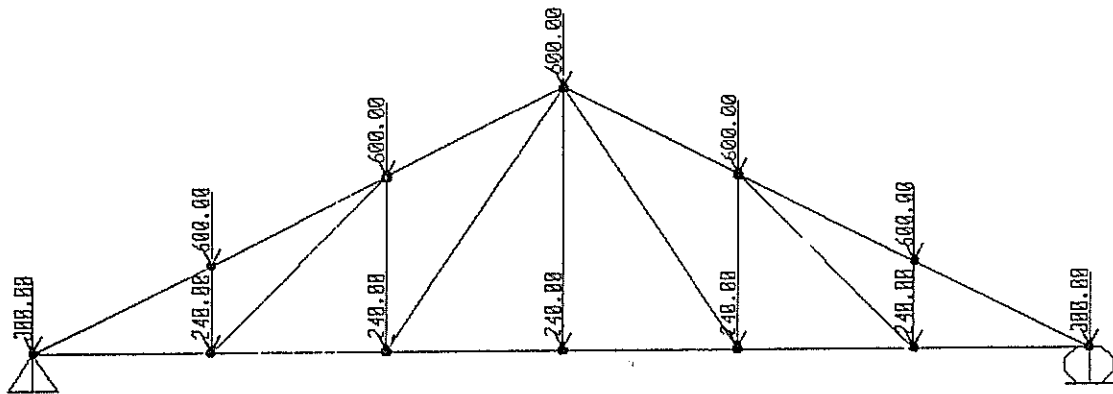
- Hisapan vertikal : $V_i = Q_i \cos \alpha = 120 \text{ kg}$
- Hisapan horisontal : $H_i = Q_i \sin \alpha = 60 \text{ kg}$

Beban penutup atap (q_a) = 50 kg/m^2 , dan beban plafon (q_p) = 20 Kg/m^2 .

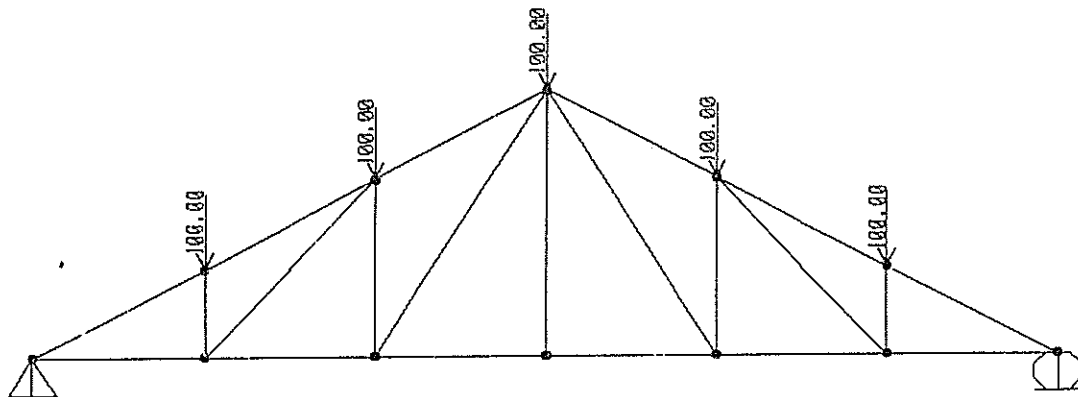
Penutup atap : $Q_a = d.B.q_a = 600 \text{ kg}$, dan penutup plafond : $Q_p = d.B.q_p = 240 \text{ kg}$

Besarnya beban hidup pada struktur atap diperhitungkan sebesar $Q_h = 100 \text{ kg}$. Dengan penempatan beban seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

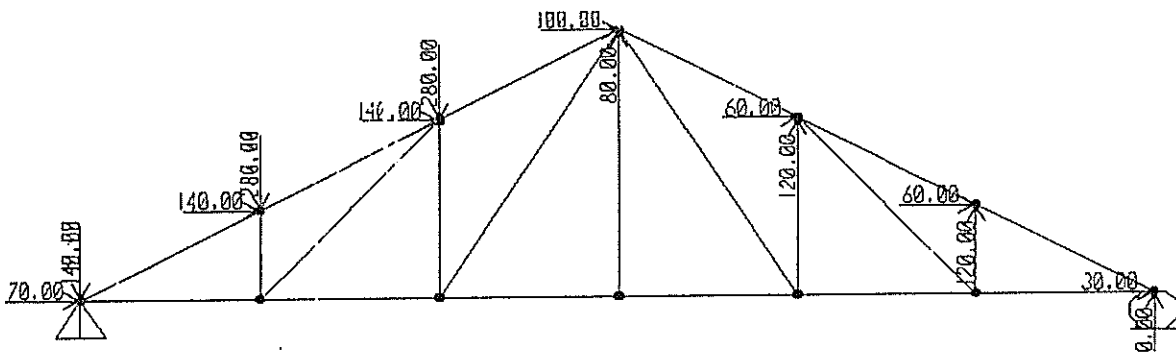
Setelah dihitung pembebanan pada struktur rangka atap akibat beban angin, beban mati, dan beban hidup, maka dapat disusun kasus beban (*load case*) yang bekerja sbb. :



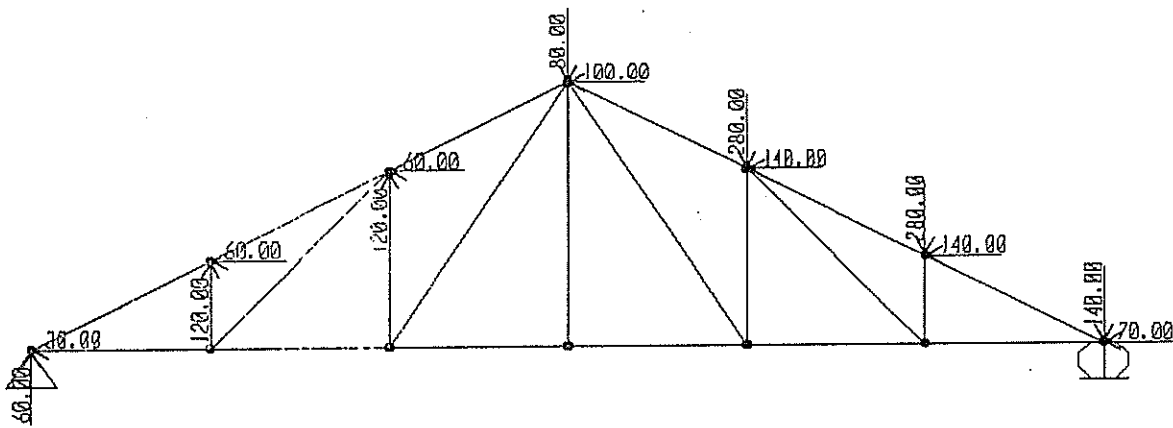
Gambar 9 Kasus Beban 1 : Beban mati pada struktur



Gambar 10. Kasus Beban 2 : Beban hidup pada struktur



Gambar 11. Kasus beban 3 : Beban angin dari kiri pada struktur



Gambar 12. Kasus beban 4 : Beban angin dari kanan pada struktur

ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR DENGAN SAP 2000

1. Memilih Sistem Satuan

Pada kotak sistem satuan, pilih sistem satuan yang digunakan yaitu : kg-mm.

2. Menyusun Bentuk Struktur

Dari menu **File**, pilih *New Model From Template*. Pada kotak *Model Template*, pilih bentuk struktur yang diinginkan. Pada kotak *Slope Truss Frame* ketikkan data struktur :

Number of Bays = 1
 Story Height = 4500
 Bay Width = 18000
 Klik *OK*.

Klik batang bawah dari struktur. Pilih menu **Edit**, kemudian *Divide Frame*. Pada kotak *Divide Selected Frame*, masukkan data :

Divide into = 6
 Last / First ratio = 1
 Klik *OK*.

Langkah ini akan menyebabkan batang bawah dari struktur, terbagi menjadi 6 bentang dengan panjang yang sama.

Klik batang-batang atas dari struktur. Pilih menu **Edit**, kemudian *Divide Frame*. Pada kotak *Divide Selected Frame*, masukkan data :

Divide into = 3

Last / First ratio = 1

Klik *OK*.

Langkah ini akan menyebabkan batang-batang atas dari struktur, terbagi menjadi 3 bentang dengan panjang yang sama.

Dari menu **Draw**, pilih *Draw Element Frame* untuk menggambar bentuk struktur sesuai yang direncanakan. Penggambaran elemen-elemen dilakukan dengan menghubungkan joint-joint yang sudah terbentuk pada struktur.

3. Mendefinisikan Karakteristik Material

Dari menu **Define**, pilih *Material* untuk menampilkan kotak *Define Material*. Pilih **STEEL**, kemudian klik tombol *Modify/Show Material*. Pada kotak *Material Property Data* masukkan data dari material :

Mass per Unit Volume = 0

Weight per Unit Volume = 0.00000785

Modulus of Elasticity = 21000

Poisson Ratio = 0.30

Coef of thermal expansion = 0

Steel yield stress, fy = 24

Klik *OK*.

| Material Property Data | |
|-------------------------------|-----------|
| Material Name | STEEL |
| Design Type | Steel |
| Analysis Property Data | |
| Mass per unit Volume | 0. |
| Weight per unit Volume | 7.850E-06 |
| Modulus of elasticity | 21000 |
| Poisson's ratio | 0.3 |
| Coeff of thermal expansion | 0. |
| Design Property Data | |
| Steel yield stress, fy | 24. |
| OK Cancel | |

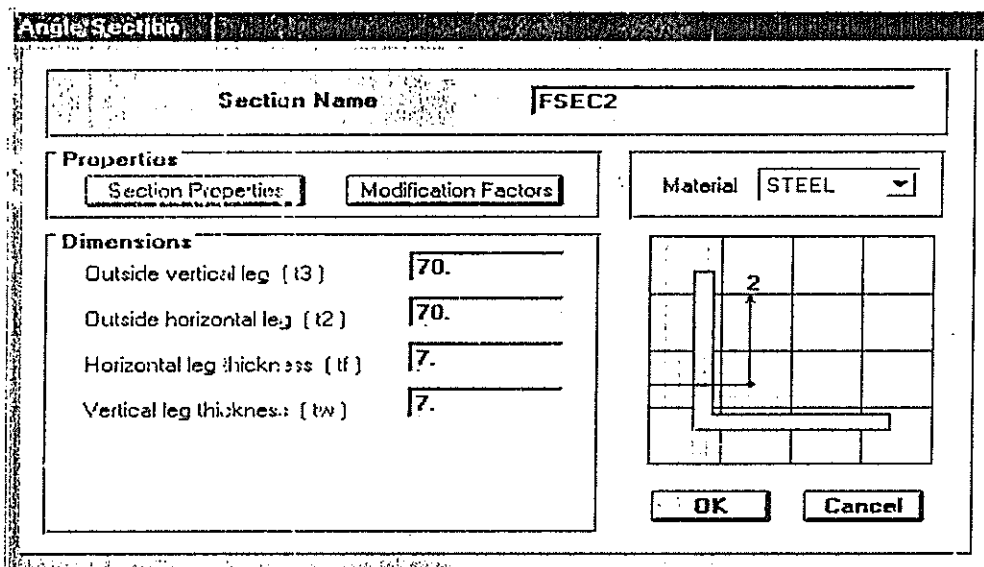
Gambar 13. Data masukan untuk material baja (steel)

4. Mendefinisikan Dimensi Elemen

Dari menu **Define**, pilih *Frame Sections* untuk menampilkan kotak *Define Frame Section*. Pada kotak *Frame Section*, klik *Add I / Wide Flange*, kemudian *Add Angle*. Pada kotak *Angle Section*, masukkan data untuk profil siku tunggal L.70.70.7 :

Section Name : FSEC2
Material : STEEL
Outside Vertical Leg = 70
Outside Horizontal Leg = 70
Horizontal leg Thickness = 7
Vertikal Leg Thickness = 7

Klik *OK*.



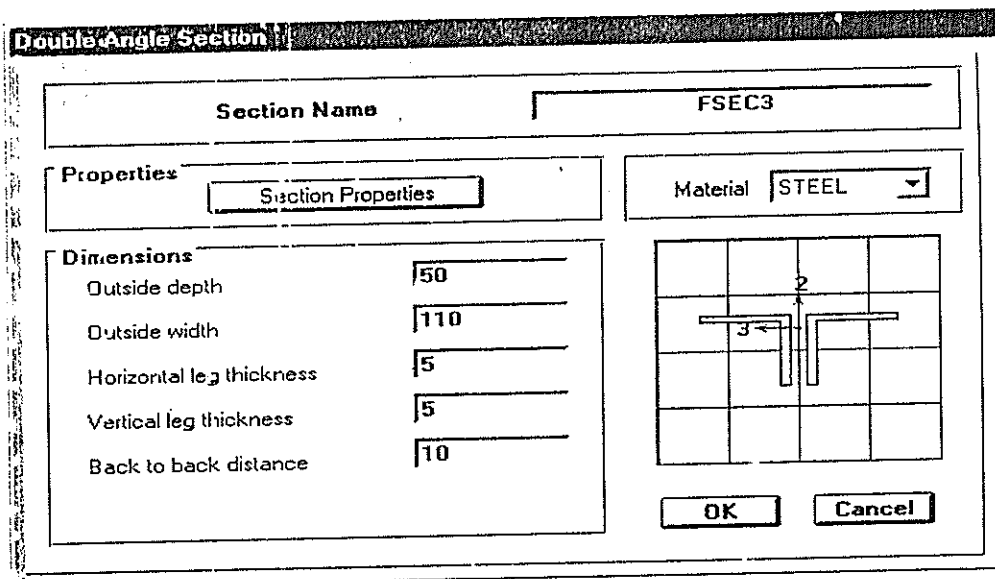
Gambar 14. Data masukan untuk profil siku tunggal L.70.70.7

Untuk mendefinisikan profil siku rangkap 2L.50.50.5 dilakukan dengan cara sbb. :

Pada kotak *Frame Section*, klik *Add Double Angle*. Pada kotak *Double Angle Section*, masukkan data untuk profil siku rangkap, sbb. :

Section Name : FSEC3
Material : STEEL
Outside Depth = 50
Outside Width = 110
Horizontal leg Thickness = 5
Vertikal Leg Thickness = 5
Back to back Distance = 10

Klik *OK*.



Gambar 15. Data masukan untuk profil siku rangkap 2-L.50.50.5

5. Penempatan Elemen Pada Sistem Struktur

Penempatan profil-profil siku pada struktur rangka atap, dilakukan dengan cara sbb. :

Klik batang atas dan batang bawah dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC3, klik **OK**.

Klik batang vertikal dan batang diagonal. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC2, klik **OK**.

6. Mendefinisikan Kasus Beban

Untuk mendefinisikan 4 kasus beban (*load case*) yang bekerja pada struktur, yaitu beban mati, beban hidup, beban angin kiri, dan beban angin kanan, dilakukan sbb. :

Dari menu **Define**, pilih *Static Load Case*. Pada kotak *Static Load Case Name*, masukkan data :

Load : LOAD1
 Type : DEAD
 Self Weight Multiplier : 1

Load : LOAD2
 Type : LIVE
 Self Weight Multiplier : 0

Klik *Add New Load*

Load : LOAD3
 Type : WIND
 Self Weight Multiplier : 0

Klik *Add New Load*

Load : LOAD4
Type : WIND
Self Weight Multiplier : 0

Klik *Add New Load*

7. Mendefinisikan Pembebanan Pada Struktur

Beban pada struktur rangka batang (*truss structure*) berupa beban yang bekerja di joint-joint struktur. Untuk mendefinisikan beban-beban pada struktur, dilakukan sbb. :

Kasus Beban 1 : Beban Mati

Klik joint-joint pada struktur yang akan dibebani beban mati sebesar 600 kg. Pilih menu **Assign** kemudian *Joint Static Load* dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces*, masukkan data beban :

Load Case Name : LOAD1
Load : Forces Global Z = -600
Options : Add to existing Load
Klik *OK*.

Dengan cara yang sama, ulangi pemasukan data untuk beban mati sebesar 300 kg dan 240 kg yang bekerja pada struktur.

Kasus Beban 2 : Beban Hidup

Klik joint-joint pada struktur yang akan dibebani beban hidup sebesar 100 kg. Pilih menu **Assign** kemudian *Joint Static Load* dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces*, masukkan data beban :

Load Case Name : LOAD2
Load : Forces Global Z = -100
Options : Add to existing Load
Klik *OK*.

Kasus Beban 3 : Beban Angin Kiri

Klik joint-joint pada struktur yang akan dibebani beban sebesar 280 kg dan 140 kg. Pilih menu **Assign** kemudian *Joint Static Load* dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces*, masukkan data beban :

Load Case Name : LOAD3
Load : Forces Global Z = -280
: Forces Global X = 140
Options : Add to existing Load
Klik *OK*.

Dengan cara yang sama, ulangi pemasukan data untuk beban-beban lainnya yang bekerja pada struktur.

Kasus Beban 4 : Beban Angin Kanan

Klik joint-joint pada struktur yang akan dibebani beban sebesar 120 kg dan 60 kg. Pilih menu **Assign** kemudian *Joint Static Load* dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces*, masukkan data-data beban sbb. :

Load Case Name : LOAD4
Load : Forces Global Z = 120
 : Forces Global X = -60
Options : Add to existing Load
Klik *OK*.

Dengan cara yang sama, ulangi pemasukan data untuk beban-beban lainnya yang bekerja pada struktur.

8. Mendefinisikan Kombinasi Pembebanan

Setelah semua kasus beban dan pembebanan yang bekerja pada struktur dimasukkan datanya di dalam program, kemudian perlu didefinisikan kombinasi pembebanan (*load combination*) yang akan ditinjau pada analisis. Untuk mendefinisikan 3 kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur, dilakukan dengan cara sbb. :

Kombinasi Pembebanan 1 : (Beban Mati + Beban Hidup)

Dari menu **Define**, pilih *Load Combination*. Pada kotak *Define Load Combination*, klik *Add New Combo*, kemudian masukkan data :

Load Combination Name : COMB1
Title : TETAP
Case Name : LOAD1 Load Case
Scale Factor : 1
Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD2 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Klik *OK*

Kombinasi Pembebanan 2 : (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin Kiri)

Dari menu **Define**, pilih *Load Combination*. Pada kotak *Define Load Combination*, klik *Add New Combo*, kemudian masukkan data :

Load Combination Name : COMB2
Title : SEMENTARA-1
Case Name : LOAD1 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD2 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD3 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Klik *OK*

Kombinasi Pembebanan 3 : (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin Kanan)

Dari menu **Define**, pilih *Load Combination*. Pada kotak *Define Load Combination*, klik *Add New Combo*, kemudian masukkan data :

Load Combination Name : COMB3

Title : SEMENTARA-2

Case Name : LOAD1 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD2 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Case Name : LOAD4 Load Case
Scale Factor : 1

Klik *Add Load Case*

Klik *OK*

9. Melakukan Analisis Struktur

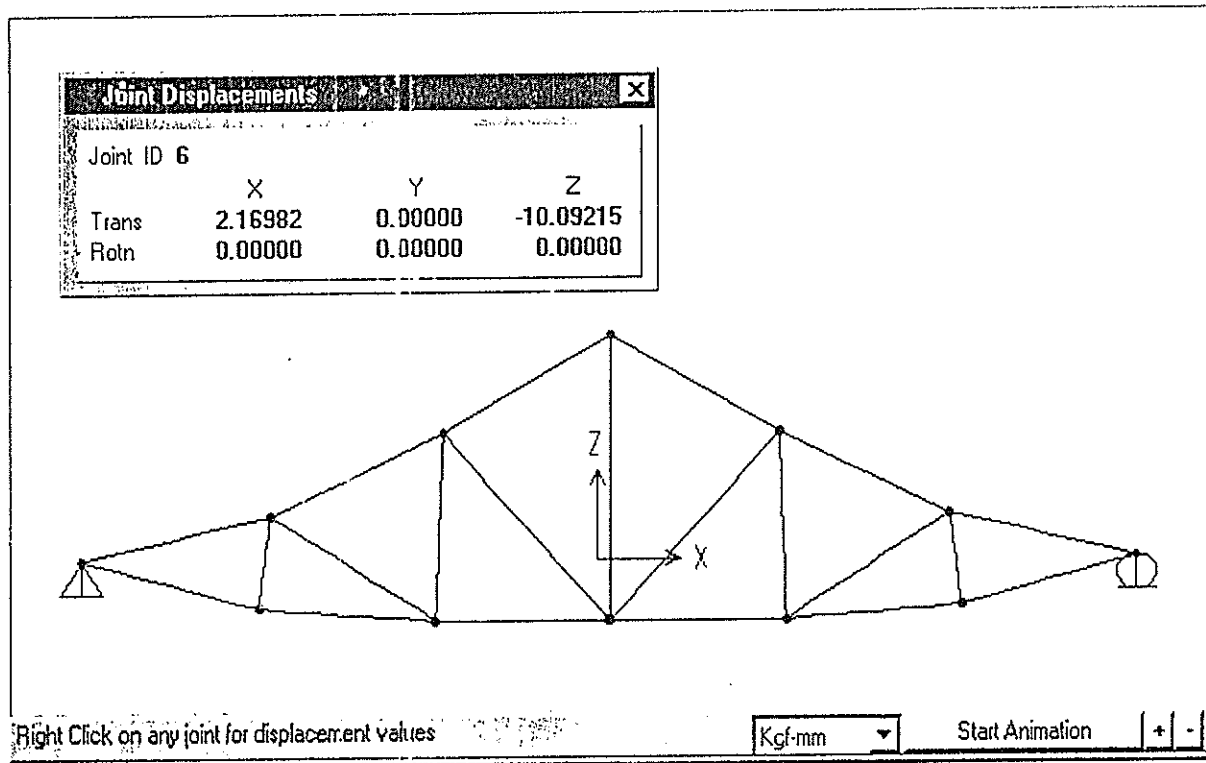
Setelah semua data yang diperlukan untuk perhitungan struktur dimasukkan di dalam program, selanjutnya dapat dilakukan analisis struktur. Sebelum melakukan analisis dari suatu struktur rangka batang (*truss structure*), perlu diperhatikan bahwa elemen-elemen dari struktur rangka batang dihubungkan secara sendi / engsel pada joint-jointnya, sehingga secara teoritis pada sambungan antara elemen-elemen struktur tidak timbul momen.

Untuk menghilangkan pengaruh momen lentur pada sambungan-sambungan struktur rangka batang, dilakukan sbb. :

Klik semua elemen dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Release*. Pada kotak *Frame Release*, klik kotak *Start* dan *End* yang ada pada *Momen 33 (Major)*.

Sebelum melakukan analisis, simpan terlebih dahulu data masukan dengan cara :

Pilih menu **File**, kemudian *Save As*. Pada kotak dialog *Save Model File As*, ketikkan nama file misal ATAP, kemudian klik *Save*. Untuk melakukan analisis struktur, pilih menu **Analyze** dan *Run*.



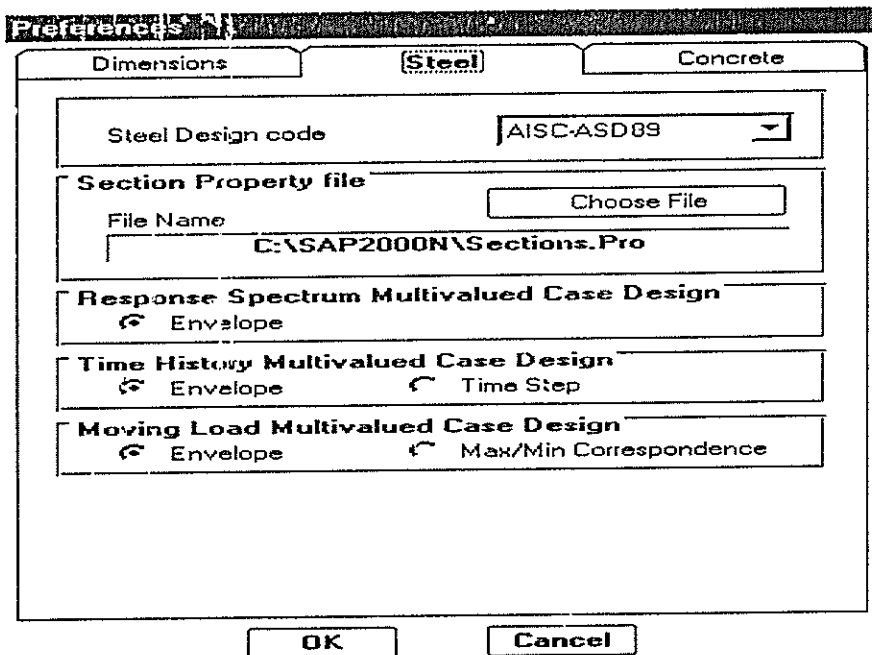
Gambar 16. Deformasi struktur dan lendutan pada joint 6

10. Melakukan Desain Struktur

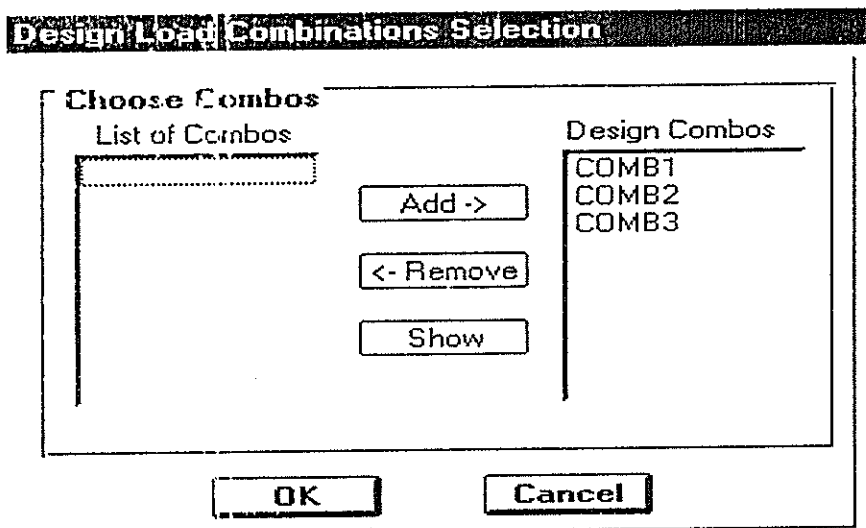
Sebelum melakukan desain dari elemen-elemen struktur, terlebih dahulu harus ditentukan metode desain yang akan digunakan. Desain struktur baja dapat dilakukan dengan metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) atau ASD (*Allowable Stress Design*). Pada prinsipnya kedua metode desain ini sama, perbedaannya hanya terletak pada faktor beban (*load factor*) dan faktor reduksi kuat bahan (*strength reduction factor*) yang digunakan.

Untuk struktur rangka atap ini akan didesain dengan menggunakan metode ASD. Prosedur desain dilakukan sbb. :

- Klik semua elemen dari struktur
- Dari menu **Options**, pilih *Preferences*, kemudian *Steel*
- Pada kotak *Steel Design Code*, pilih *AISC-ASD89*, kemudian klik *OK*.
- Pilih menu **Design**, kemudian *Select Design Combos*.
- Pada kotak *Design Load Combinations Selections*, pilih kombinasi pembebanan yang akan ditinjau, yaitu : COMB1, COMB2, dan COMB3, kemudian klik *OK*.
- Pilih menu **Design**, kemudian *Start Design / Check of Structure*

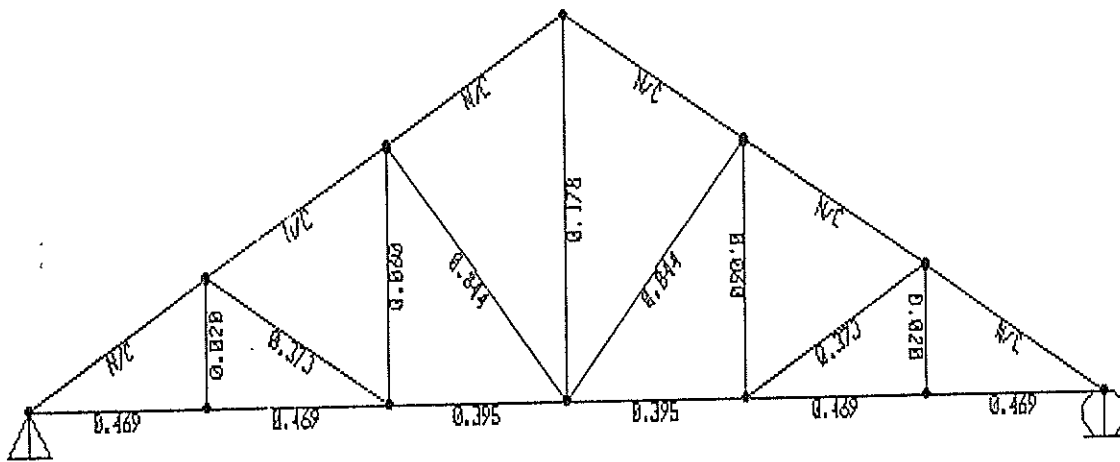


Gambar 17. Data masukan untuk desain struktur baja dengan metode ASD

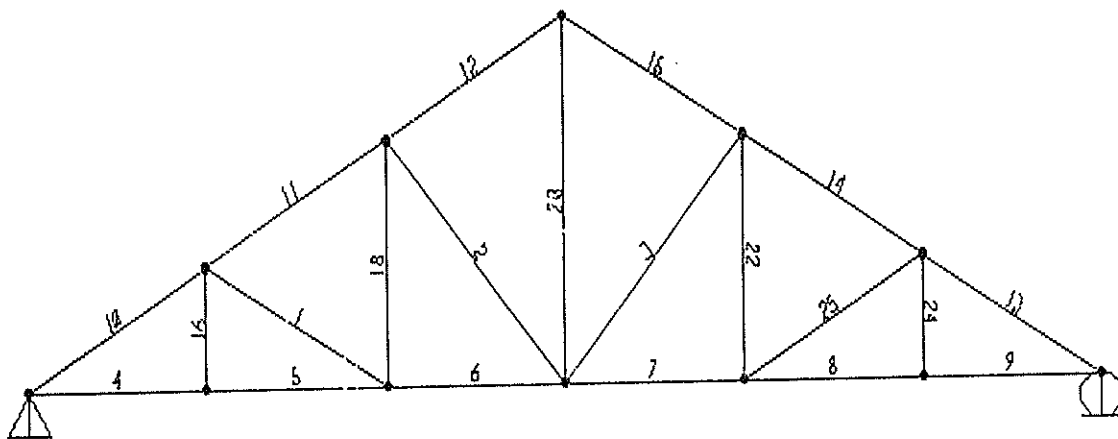


Gambar 18. Data kombinasi pembebanan yang ditinjau pada desain

Hasil desain dari elemen-elemen struktur baja akan ditampilkan dalam bentuk grafis berupa nilai rasio tegangan (*stress ratio*) dari masing-masing elemen. Rasio tegangan adalah perbandingan antara tegangan yang terjadi pada elemen akibat beban luar yang bekerja pada struktur, dengan tegangan bahan yang diijinkan. Suatu elemen struktur baja dinyatakan kuat, jika mempunyai harga rasio tegangan ≤ 1 , dan dinyatakan tidak kuat jika mempunyai harga rasio tegangan > 1 . Rasio tegangan dari elemen-elemen struktur rangka atap yang didapat dari prosedur desain dengan SAP2000, diperlihatkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Rasio tegangan (stress ratio) dari elemen-elemen struktur (desain awal)



Gambar 20. Penomoran elemen-elemen struktur

Hasil dari perhitungan rasio tegangan (*stress ratio*) untuk elemen-elemen dari struktur rangka atap, diperlihatkan pada tabel di bawah :

SAP2000 v6.13 File: ATAP Kgf-mm Units PAGE 1
 April 17, 2001 13:08

STEEL STRESS CHECK OUTPUT (AISC-ASD89)

| FRAME ID | SECTION ID | /-----MOMENT INTERACTION CHECK-----// | | | -----SHEAR22-----// | | -----SHEAR33-----// | | |
|----------|------------|---------------------------------------|-------|-------------------|-------------------------|-------|---------------------|-------|-------|
| | | COMBO | RATIO | = AXL + B33 + B22 | COMBO | RATIO | COMBO | RATIO | |
| 1 | FSEC2 | COMB1 | (C) | 0.373 | = 0.272 + 0.101 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 2 | FSEC2 | COMB2 | (C) | 0.844 | = 0.563 + 0.281 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 3 | FSEC2 | COMB3 | (C) | 0.844 | = 0.563 + 0.281 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 4 | FSEC3 | COMB1 | (T) | 0.469 | = 0.376 + 0.092 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 5 | FSEC3 | COMB1 | (T) | 0.469 | = 0.376 + 0.092 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 6 | FSEC3 | COMB1 | (T) | 0.395 | = 0.302 + 0.092 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 7 | FSEC3 | COMB1 | (T) | 0.395 | = 0.302 + 0.092 + 0.000 | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-----|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 8 | FSEC3 | COMB1 | (T) | $0.469 = 0.376 + 0.092 + 0.000$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 9 | FSEC3 | COMB1 | (T) | $0.469 = 0.376 + 0.092 + 0.000$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 10 | FSEC3 | COMB1 | (C) | $f_a > F_e$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 11 | FSEC3 | COMB1 | (C) | $f_a > F_e$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 12 | FSEC3 | COMB1 | (C) | $f_a > F_e$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 13 | FSEC3 | COMB1 | (C) | $f_a > F_e$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 14 | FSEC3 | COMB1 | (C) | $f_a > F_e$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 15 | FSEC3 | COMB1 | (C) | $f_a > F_e$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |
| 16 | FSEC2 | COMB1 | (T) | $0.020 = 0.020 + 0.000 + 0.000$ | COMB3 | 0.000 | COMB3 | 0.000 |
| 18 | FSEC2 | COMB1 | (T) | $0.060 = 0.060 + 0.000 + 0.000$ | COMB3 | 0.000 | COMB3 | 0.000 |
| 20 | FSEC2 | COMB1 | (T) | $0.178 = 0.178 + 0.000 + 0.000$ | COMB3 | 0.000 | COMB3 | 0.000 |
| 22 | FSEC2 | COMB1 | (T) | $0.060 = 0.060 + 0.000 + 0.000$ | COMB3 | 0.000 | COMB3 | 0.000 |
| 24 | FSEC2 | COMB1 | (T) | $0.020 = 0.020 + 0.000 + 0.000$ | COMB3 | 0.000 | COMB3 | 0.000 |
| 25 | FSEC2 | COMB1 | (C) | $0.373 = 0.272 + 0.101 + 0.000$ | COMB1 | 0.002 | COMB3 | 0.000 |

11. Melakukan Desain Ulang (*Redesign*)

Dari hasil desain awal diketahui pada batang-batang atas (profil 2-L.50.50.5), terdapat pesan NC (*Non-Compact*). Ini berarti bahwa dimensi penampang yang dipilih, tidak memenuhi persyaratan desain. Untuk itu perlu dilakukan desain ulang (*redesign*) untuk elemen-elemen tersebut.

Desain ulang dilakukan dengan cara merubah dimensi penampang dari batang. Pada desain ulang dicoba digunakan profil siku rangkap 2L.70.70.7 untuk batang atas. Untuk mendefinisikan profil 2L.70.70.7 dilakukan dengan cara sbb. :

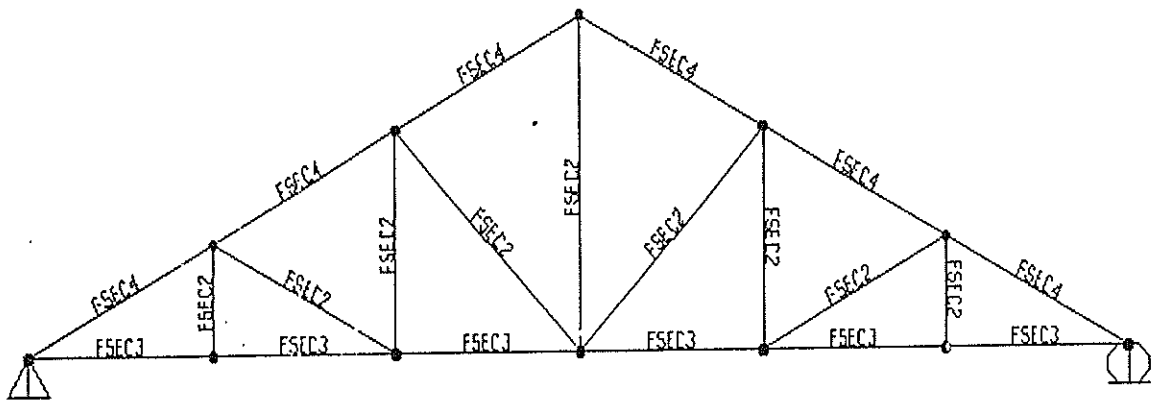
Pilih menu **Define** Pada kotak *Frame Section*, klik *Add Double Angle*. Pada kotak *Double Angle Section*, masukkan data untuk profil, sbb. :

Section Name : FSEC4
 Material : STEEL
 Outside Depth = 70
 Outside Width = 150
 Horizontal leg Thickness = 7
 Vertical Leg Thickness = 7
 Back to back Distance = 10

Klik *OK*.

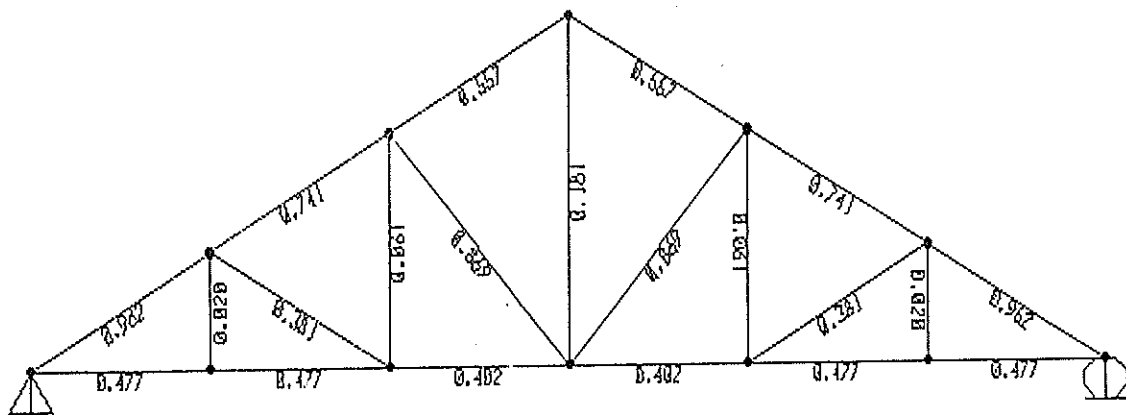
Untuk mengganti batang-batang atas dari struktur, dilakukan dengan cara sbb. :

Klik batang-batang atas dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC4, kemudian klik *OK*. Penempatan profil FSEC4 (siku rangkap 2L.70.70.7) pada struktur diperlihatkan pada gambar di bawah.



Gambar 21. Penempatan profil FSEC4 pada struktur

Setelah dilakukan perubahan dimensi dari profil, selanjutnya dapat dilakukan lagi prosedur analisis dan desain struktur. Rasio tegangan dari elemen-elemen struktur yang didapat dari desain ulang diperlihatkan pada Gambar 22.

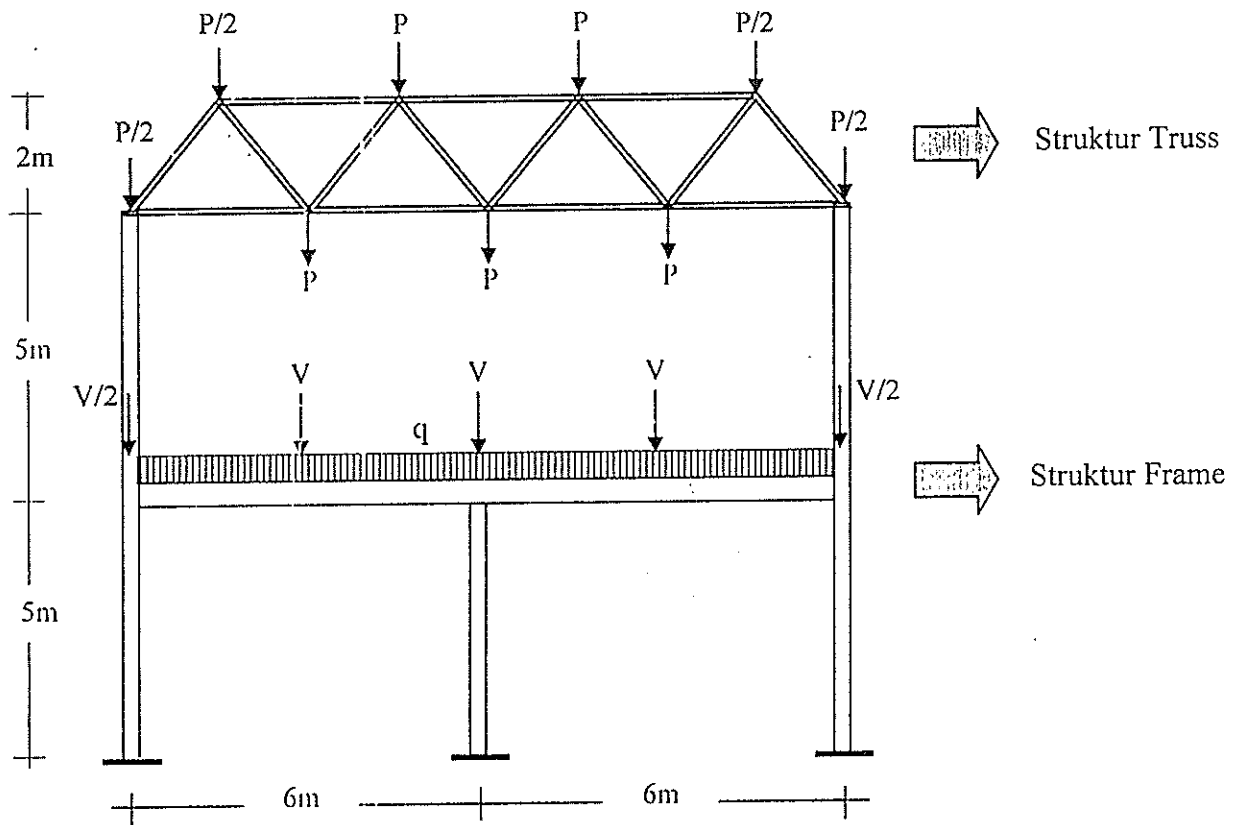


Gambar 22. Rasio tegangan dari elemen-elemen struktur (desain ulang)

Dari hasil desain ulang, didapatkan hasil rasio tegangan untuk semua elemen struktur rangka atap mempunyai harga < 1 . Dengan demikian profil-profil yang dipilih ini cukup kuat untuk digunakan sebagai elemen struktur rangka atap.

Latihan 5 : STRUKTUR KOMPOSIT

Suatu struktur komposit yang terdiri dari struktur Rangka Batang (*Truss Structure*) dari baja dan struktur Rangka Kaku/Portal (*Frame Structure*) dari beton, mempunyai bentuk dan sistem pembebanan seperti pada gambar di bawah.



Gambar 1. Struktur Komposit

Beban pada struktur (belum termasuk berat sendiri elemen) :

$$q = 2000 \text{ kg/m} = 2 \text{ kg/mm}, V = 5000 \text{ kg (di tengah bentang)}$$

$$P = 1000 \text{ kg.}$$

Beban-beban ini sudah merupakan gabungan dari berat sendiri elemen, beban mati dan beban hidup dengan kombinasi : $U = 1,2D + 1,6L$ (D : beban mati, L : beban hidup).

Dimensi Elemen Dan Karakteristik Bahan

Struktur Frame :
 Ukuran balok = 500/300 mm (FSEC1)
 Diameter kolom = 450 mm (FSEC2)
 Modulus elastisitas beton = 2000 kg/mm^2 , Angka Poisson = 0,20
 Berat jenis beton = $0,0000024 \text{ kg/mm}^3$

Struktur Truss :
 Profil yang digunakan siku rangkap 2.L.50.50.5 (FSEC3)
 Sambungan menggunakan pelat buhul tebal 10 mm dan baut.
 Modulus elastisitas baja = 21000 kg/mm^2 , Angka Poisson = 0,30
 Berat jenis baja = $0.00000785 \text{ kg/mm}^3$

Catatan :

- **Struktur Truss** adalah struktur rangka batang. Struktur Truss pada umumnya adalah struktur baja yang menggunakan baut sebagai alat penyambung, sehingga pada sambungan batang-batang di titik buhul (*joint*) tidak timbul momen.
- **Struktur Frame** adalah struktur rangka kaku. Struktur Frame pada umumnya adalah struktur beton yang dicor monolit, atau struktur baja yang menggunakan las sebagai alat penyambung. Karena sambungan antara elemen-elemen struktur bersifat kaku, maka akan timbul momen pada sambungan.

ANALISIS STRUKTUR DENGAN SAP 2000

1. Memilih Sistem Satuan

Pada kotak sistem satuan, pilih sistem satuan yang akan digunakan : kg-mm.

2. Menyusun Konfigurasi Struktur

Untuk menyusun bentuk dari Struktur Frame, dari menu **File** pilih *New Model From Template*. Pada kotak *Model Templates*, pilih *Portal Frame*. Pada kotak *Portal Frame* ketikkan data struktur :

Number of Stories = 2
Number of Bays = 2
Story Height = 5000
Bay Width = 6000
Klik OK.

Untuk mendapatkan konfigurasi struktur seperti yang direncanakan, klik elemen balok atau kolom yang akan dihapus. Pilih menu **Edit**, kemudian *Cut*.

Untuk menyusun bentuk dari Struktur Truss, dari menu **Edit** pilih *Add To Model From Template*. Pada kotak *Model Templates*, pilih *Sloped Truss*. Pada kotak *Sloped Truss* ketikkan data struktur :

Number of Bays = 4
Height of Truss = 2000
Truss Bay Length = 3000
Klik OK.

Klik semua elemen dari Struktur Truss. Dari menu **Edit**, pilih *Copy*. Pilih menu **Edit** dan *Paste*. Pada kotak *Paste Coordinate* ketikkan *Delta Z=10000*, klik *OK*. Dengan cara ini Struktur Truss akan dicopy dan diletakkan pada posisi koordinat $X=0$, $Y=0$, dan $Z=10000$. Hapus konfigurasi Struktur Truss yang sudah tidak digunakan.

3. Mendefinisikan Karakteristik Material

Untuk mendefinisikan material beton, dari menu **Define** pilih *Material*. Pada kotak *Define Material*. Pilih **CONC** dan *Modify/Show Material*. Pada kotak *Material Property Data* masukkan data :

Analysis Property Data :

Mass per unit Volume = 0
Weight per unit Volume = 0.0000024
Modulus of Elasticity = 2000
Poisson Ratio = 0.20
Coeff of Thermal Expansion = 0

Design Property Data :

Reinforcing yield stress, fy = 40
Concrete strength, fc = 2.5
Shear steel yield stress, fys = 24
Concrete shear strength, fcs = 2.5
Klik OK.

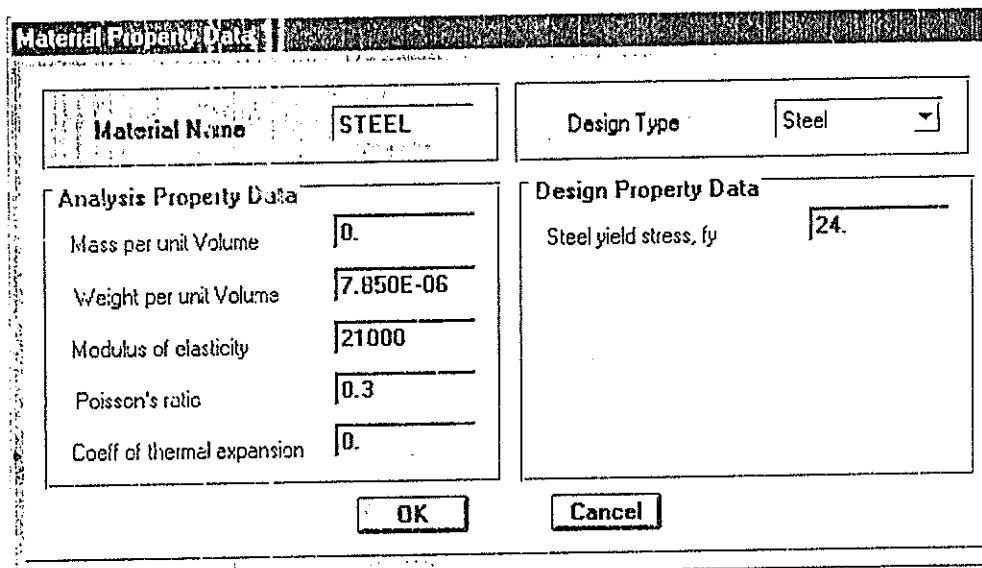
Untuk mendefinisikan material baja, dari menu **Define** pilih *Material*. Pada kotak *Define Material*. Pilih **STEEL** dan *Modify/Show Material*. Pada kotak *Material Property Data* masukkan data :

Analysis Property Data :

Mass per Unit Volume = 0
Weight per Unit Volume = 0.00000785
Modulus of Elasticity = 21000
Poisson Ratio = 0.30
Coef of thermal expansion = 0

Design Property Data :

Steel yield stress, fy = 24
Klik OK.



Gambar 2. Data masukan untuk material baja (*steel*)

4. Mendefinisikan Dimensi Elemen

Untuk mendefinisikan dimensi dan material dari balok dan kolom beton yang terdapat pada Struktur Frame, dilakukan sbb. :

Dari menu **Define**, pilih *Frame Sections* dan *Define Frame Section*. Pada kotak *Frame Section*, klik *Modify/Show Section*. Pada kotak *Rectangular Section*, masukkan data balok :

Section Name : FSEC1
Dimension : - Depth = 500
 : - Width = 300
Material : CONC
Klik OK.

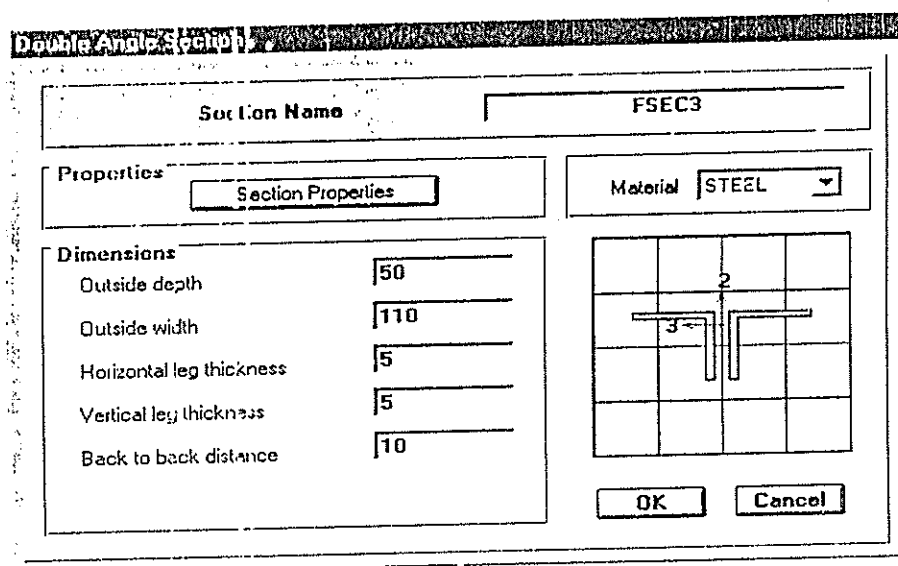
Pada kotak *Frame Section*, pilih *Add Circle*. Pada kotak *Circle Section*, masukkan data kolom :

Section Name : FSEC2
Diameter : = 450
Material : CONC
Klik OK.

Untuk mendefinisikan profil siku rangkap 2L.50.50.5 pada struktur, dilakukan sbb. :

Pada kotak *Frame Section*, klik *Add Double Angle*. Pada kotak *Double Angle Section*, masukkan data untuk profil siku rangkap :

Section Name : FSEC3
Material : STEEL
Outside Depth = 50
Outside Width = 110
Horizontal leg Thickness = 5
Vertical Leg Thickness = 5
Back to back Distance = 10
Klik OK.



Gambar 3. Data masukan untuk profil siku rangkap 2-L.50.50.5

5. Mendefinisikan Jenis Tumpuan

Untuk mendefinisikan jenis tumpuan pada struktur, dilakukan dengan cara sbb. :

Klik joint-joint tumpuan dari struktur. Pilih menu **Assign**, kemudian *Joint* dan *Restraints*. Pada kotak *Fast Joint Restraints*, pilih tumpuan jepit, klik OK.

6. Penempatan Elemen Pada Sistem Struktur

Untuk mendefinisikan elemen-elemen yang terpasang pada sistem struktur, dilakukan sbb. :

Klik semua elemen balok dari Struktur Frame. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC1, klik OK.

Klik semua elemen kolom dari Struktur Frame. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC2, klik OK.

Klik semua elemen Struktur Truss. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Section*. Pada kotak *Frame Section*, pilih FSEC3, klik OK.

Untuk Struktur Truss, maka momen-momen yang terjadi pada sambungan antara elemen-elemen struktur harus dihilangkan dengan cara sbb. :

Klik semua joint dan elemen dari Struktur Truss. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame* dan *Release*. Pada kotak *Frame Release*, klik kotak *Start* dan *End* yang ada pada *Momen 33 (Major)*.

7. Mendefinisikan Kasus Beban

Karena pada struktur hanya diperhitungkan 1 kasus beban saja, maka masukan data dilakukan sbb. :

Dari menu **Define**, pilih *Static Load Case* untuk menampilkan kotak *Static Load Case Name*. Pada kotak ini masukkan data :

| | |
|------------------------|---------|
| Load | = LOAD1 |
| Type | = DEAD |
| Self Weight Multiplier | = 0 |

8. Mendefinisikan Kombinasi Pembebanan

Karena hanya terdapat 1 kasus pembebanan pada sistem struktur, maka tidak diperlukan pendefinisian untuk kombinasi pembebanan.

9. Mendefinisikan Beban Pada Struktur.

a. Beban Pada Elemen

Klik elemen-elemen balok yang akan dibebani. Pilih menu **Assign**, kemudian *Frame Static Load*, dan *Point and Uniform*. Pada kotak *Point and Uniform Span Loads*, masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
 Load Type and Direction : Forces
 Direction : Global Z
 Options : Add to existing Load

Pada *Point Load* pilih *Absolute Distance from End 1*, masukkan data untuk beban terpusat yang bekerja ditengah bentang yaitu : *Distance 1* = 300, dan *Load* = -5000. Untuk beban merata pada elemen, masukkan : *Uniform Load* = -20, klik OK.

1. Beban Pada Joint

Klik joint-joint pada Struktur Frame yang akan dibebani $V/2 = 2500$ kg, pilih *Assign, Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces* masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
 Load : Forces Global Z = -2500
 Options : Add to existing Load
 Klik OK.

Klik joint pada Struktur Frame yang akan dibebani $V = 5000$ kg, pilih *Assign, Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces* masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
 Load : Forces Global Z = -5000
 Options : Add to existing Load
 Klik OK.

Klik joint-joint pada Struktur Truss yang akan dibebani $P/2 = 500$ kg, pilih *Assign, Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces* masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
 Load : Forces Global Z = -500
 Options : Add to existing Load
 Klik OK.

Klik joint-joint pada Struktur Truss yang akan dibebani $P = 1000$ kg, pilih *Assign, Joint Static Load*, dan *Forces*. Pada kotak *Joint Forces* masukkan data :

Load Case Name : LOAD1
 Load : Forces Global Z = -1000
 Options : Add to existing Load
 Klik OK.

10. Melakukan Analisis Struktur

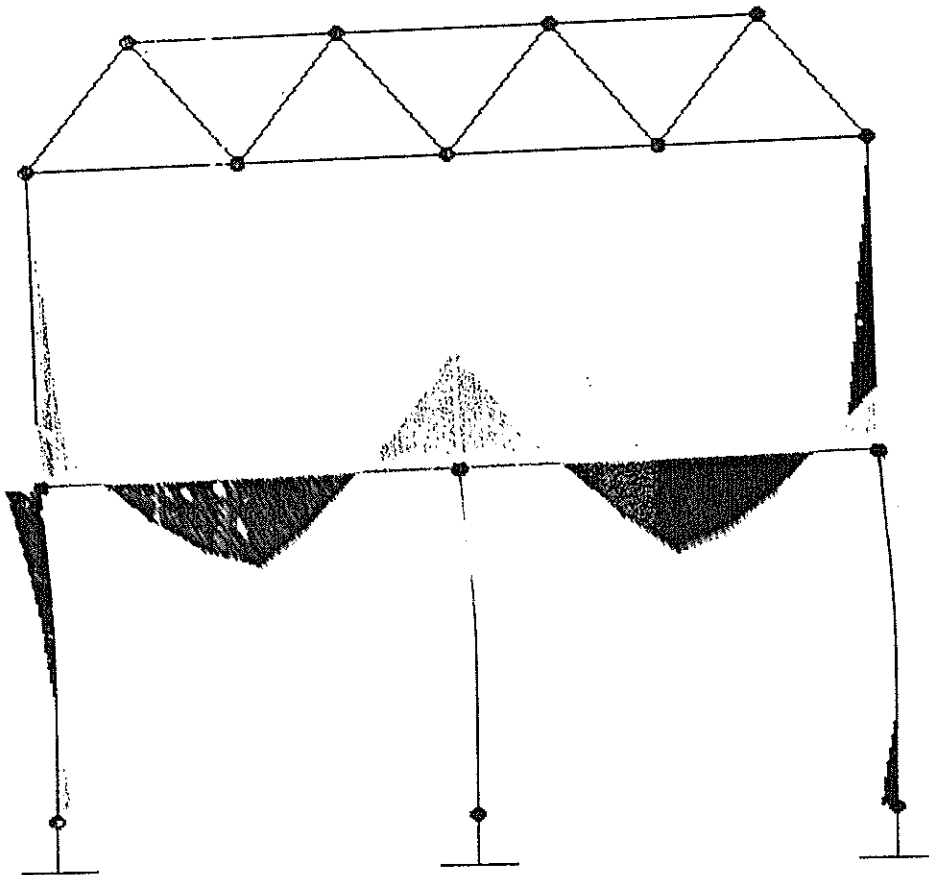
Sebelum melakukan analisis, file data masukan perlu terlebih dahulu disimpan. Penyimpanan data masukan dilakukan sbb. :

Pilih menu **File**, kemudian klik *Save As*. Pada kotak *Save Model File As*, ketikkan nama file KOMPOSIT, kemudian klik *Save*. Dengan cara ini file akan disimpan dengan nama KOMPOSIT.SDB. Untuk melakukan analisis struktur, pilih menu **Analyze**, kemudian klik *Run*.

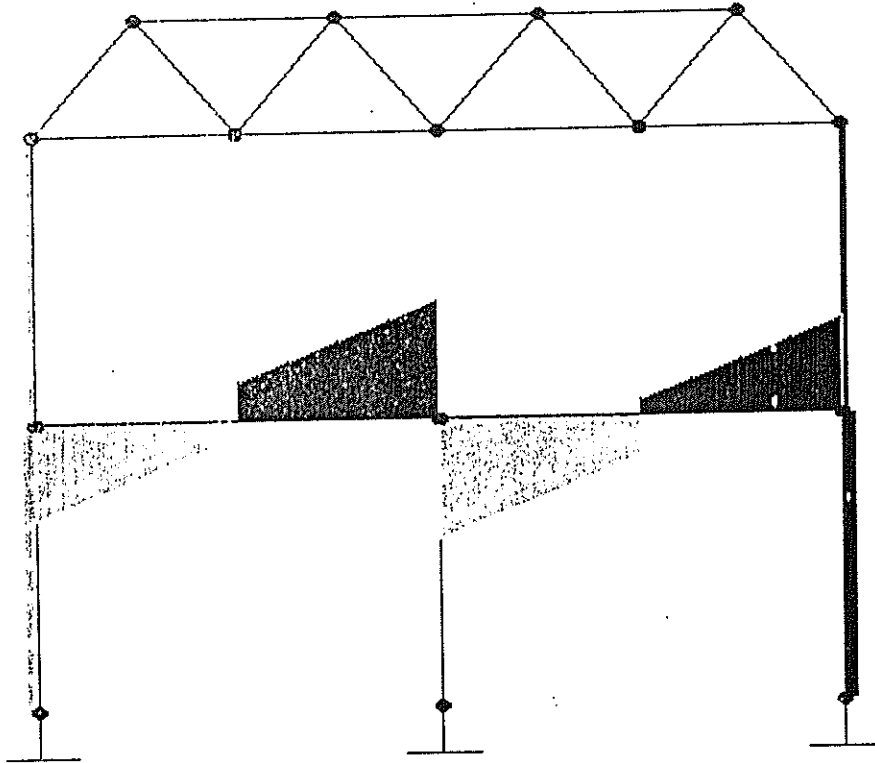
11. Menampilkan Diagram Momen, Gaya Geser, dan Gaya Normal

Untuk menampilkan hasil analisis struktur yang berupa diagram momen, gaya geser, dan gaya normal dilakukan sbh. :

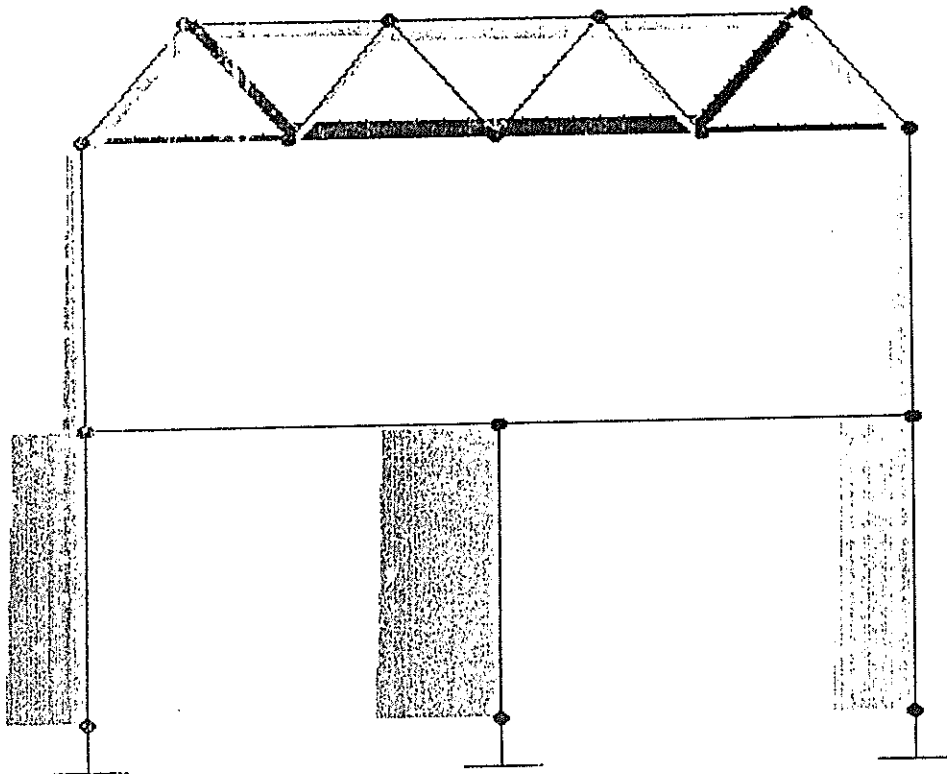
Pilih menu **Display**, *Show Element Forces/Stress*, dan *Frame*. Pada kotak *Member Force Diagram for Frames*, pilih diagram yang akan ditampilkan. Untuk menampilkan diagram momen pilih *Moment 3-3*. Untuk menampilkan diagram gaya geser pilih *Shear 2-2*. Untuk menampilkan diagram gaya normal pilih *Axial Force*.



Gambar 4 Bidang momen (*moment*) pada struktur



Gambar 5 Bidang gaya geser (*shear force*) pada struktur



Gambar 6 Bidang gaya normal (*axial force*) pada struktur