

Workshop SAP2000

Berbagi Pengetahuan Tentang Program Komputer Rekayasa

Wiryanto Dewobroto

Lektor Kepala di Jurusan Teknik Sipil UPH

Tujuan : Agar diperoleh pengalaman praktis mengoperasikan SAP2000. Meskipun kasus yang dibahas sederhana tetapi diharapkan dapat memberi motivasi para peserta untuk mampu ‘mengulik’ dan mendalami program secara lebih intensif. Bagaimanapun juga, SAP2000 adalah **alat**, sehingga untuk menguasainya diperlukan **ketrampilan** selain juga **pengetahuan**. Oleh karena itu jumlah jam terbang pemakaian alat, dan juga kualitas kasus yang diselesaikan adalah sangat penting untuk meningkatkan kompetensi real dari pemakainya. Dengan demikian pengalaman singkat dari workshop ini dapat digunakan sebagai **pemicu awal** melangkah lebih jauh dalam menguasai SAP2000. Tekun, kerja keras, dan selalu *benchmarking*, akan membantu mencapai kemajuan.

1. Pengantar

Memilih materi workshop SAP2000 kadang ‘gampang-gampang susah’. Jika sekedar bisa, maka ‘tutorial program’ yang tersedia, jelas sudah mencukupi. Tetapi agar dapat memberi ketrampilan sekaligus pengetahuan maka perlu dikaitkan dengan ilmu teknik sipil yang merupakan kompetensi utama dari pemakai program, yang umumnya adalah *civil engineer*.

Program SAP2000 sejak awal telah dimengerti hanya sebagai alat bagi para rekayasawan khususnya *structural engineer* oleh karena itu materi dipilih lebih komprehensif, yang ada kaitannya dengan aspek-aspek *engineering* yang terkait. Tujuannya untuk memberikan gambaran bahwa program SAP2000 **hanya berguna** dengan baik jika dimanfaatkan oleh **engineer yang memahami masalah engineering** yang akan dianalisis, dan **bukan awam**.

Topik yang dipilih pada workshop kali ini adalah jembatan. Alasannya karena bangunan jembatan lebih menonjol aspek strukturnya dibanding bangunan gedung, yang umumnya tertutup oleh komponen-komponen *finishing* arsitek. Dengan demikian proses memilah-milah, mana komponen struktur dan mana yang non-struktur tidak terlalu menjadi masalah. Pada kasus lain, sebelum dapat menjalankan program, maka harus dilakukan analisis dari bangunan **real** yang ditinjau, perlu menentukan struktur yang akan dibahas dan mana yang akan dibuang. Intinya adalah mencari suatu **penyederhanaan** sehingga hasilnya dapat ditindak-lanjuti dengan memasukkannya sebagai **input data** bagi program. Istilah umum yang sering dipakai dalam hal ini adalah **pemodelan struktur**.

2. Bangunan ‘real’ dan kaitannya dengan ‘model’ struktur

Untuk dapat memakai program komputer rekayasa dengan baik maka perlu pemahaman bahwa apa yang dianalisis komputer pada dasarnya hanyalah model dari struktur yang sebenarnya. Jadi ketelitian komputer yang dapat dikatakan benar, hanya terbatas pada model tersebut. Adalah tanggung jawab *engineer* untuk dapat menjelaskan bahwa model yang dipilih adalah sudah sesuai dengan struktur sebenarnya yang akan dianalisis.

Tahap awal dari suatu analisis adalah menerjemahkan suatu gambaran bangunan real, yang dalam kenyataan merupakan objek 3D, kemudian dari bagian struktur disederhanakan jadi elemen garis. Itupun masih bisa berbentuk struktur 3D, atau lebih sederhana lagi jadi struktur 2D. Hati-hati, setiap penyederhanaan ada konsekuensinya. Setelah ada model dari geometri struktur, selanjutnya perlu diketahui beban-beban yang bekerja.

Untuk dapat menerjemahkan beban dan modelnya maka yang paling penting sekali adalah bahwa *engineer* harus mengetahui aliran gaya (**load-path**) yang akan bekerja pada model.

Sebagai studi kasus, adalah analisis jembatan yang banyak dibangun di Jawa, jembatan baja karya desain **McMillan Britton & Kell**, yang difabrikasi oleh kontraktor **Transfield**, semuanya dari Australia. Jembatan tersebut dikenal sebagai **Jembatan Transfield**.



Gambar 1. Jembatan Transfield di atas Sungai Progo, Yogyakarta

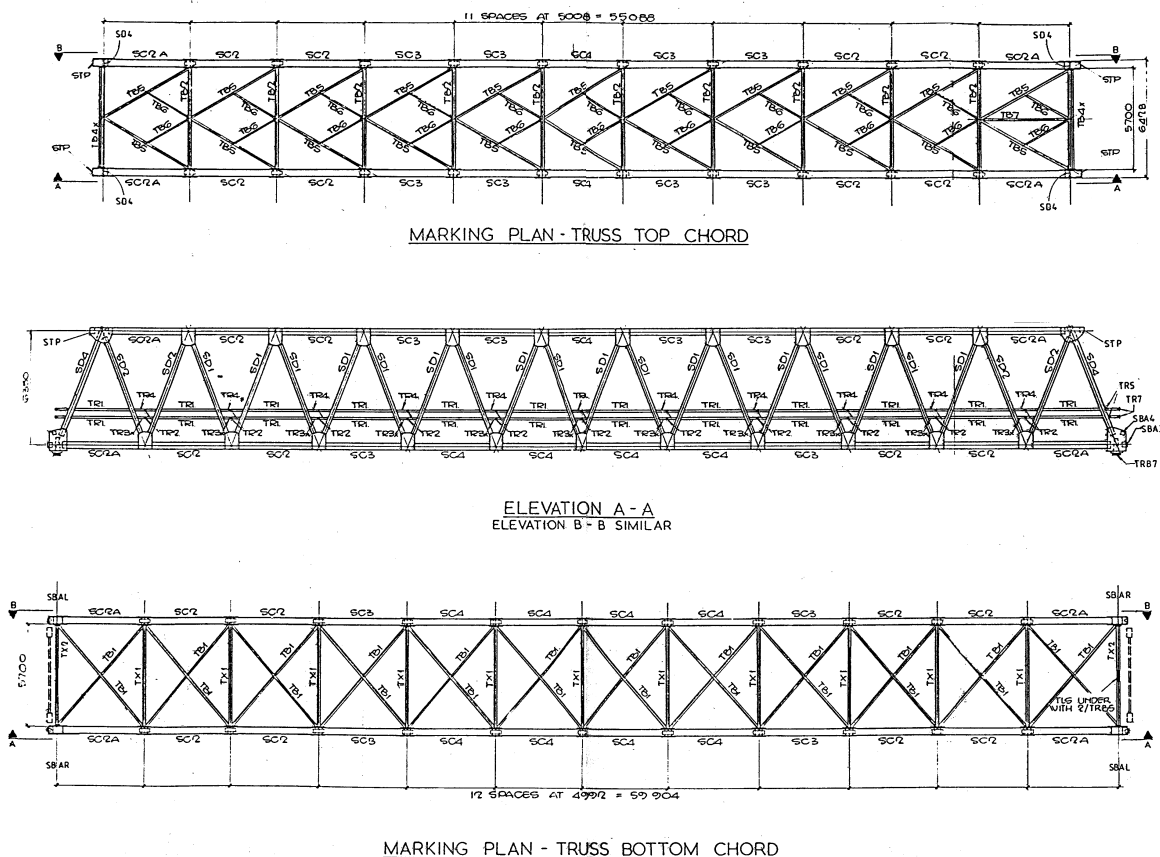
Dengan memperhatikan foto jembatan di atas, maka sebenarnya dapat diajukan berbagai pertanyaan yang pada akhirnya memperkuat wawasan kita pada bidang rekayasa, misalnya

- Mengapa dipilih jembatan tipe rangka batang, apakah sistem jembatan yang lain, seperti misalnya jembatan gantung lama yang berada di sebelah jembatan tersebut sudah tidak memadai lagi. Bagaimana dengan sistem jembatan beton ?
- Karena sungainya lebar maka diperlukan beberapa segmen jembatan, yang terlihat terpisah, perhatikan tumpuan jembatan. Mengapa itu perlu ? Padahal menurut pemahaman ‘mekanika rekayasa statis tak tentu’, jika dapat disatukan tentunya jembatan akan lebih kaku, sehingga mestinya dapat lebih ekonomis. (?!?)
- Jika jembatan di atas tidak menyatu antara segmen-segmennya maka perilakunya adalah seperti balok di atas tumpuan sederhana, jika dianggap bebannya merata maka momen / gaya aksial batang yang maksimum ada ditengah bentang jembatan. Mengapa jika demikian elemen-elemen batang yang digunakan berukuran sama. Tidakkah dapat dilakukan optimasi.
- Perhatikan kendaraan yang ada di lantai jembatan, yang terbuat dari beton. Lantai jembatan dengan rangka jembatan baja terlihat terpisah. Mengapa itu perlu, bisakah rangka jembatan bagian bawah dimanfaatkan sebagai bagian lantai jembatan ?
- Perhatikan bahwa struktur jembatan di atas adalah jelas 3D atau rangka ruang. Jika demikian apakah diperlukan analisis 3D, apakah analisis 2D tidak mencukupi.
- Tahukah anda, apa fungsi *bracing* horizontal di bagian atas jembatan. Apakah itu tidak mengganggu atau mengurangi kebebasan ruang bagi kendaraan yang melewatinya. Kalau berfungsi sebagai struktur juga, maka gaya-gaya apa yang bekerja pada *bracing* horizontal, selanjutnya dialirkan kemana, ke pondasi juga? Caranya bagaimana ? Apakah detail rangka ujung jembatan yang berbeda dengan bagian tengah itu ada hubungannya. Kalau demikian apakah perilakunya semua mengandalkan sebagai kontruksi *truss* (rangka batang) yang notabene adalah hanya menyalurkan gaya-gaya aksial saja. Apakah rangka tepi tadi juga merupakan satu-satunya struktur yang dapat digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan rangka memuntir, misalnya ada gaya horizontal tegak lurus jembatan (akibat angin).
- Juga perhatikan bahwa jika di bagian atas terlihat ada *bracing*, apakah di bagian bawah lantai jembatan juga perlu dipasang *bracing*. Tidakkah lantai jembatan dapat digunakan sebagai *bracing* itu sendiri. Jika bisa tentunya akan terjadi penghematan.

Kemampuan menjawab setiap pertanyaan di atas menunjukkan pemahamannya terhadap jembatan tersebut. Pengetahuan seperti itu sangat penting sekali karena itu berarti juga memahami perilaku struktur dari setiap bagian. Ingat, detail yang ada pada bangunan real pada dasarnya pasti mempunyai fungsi yang jelas. Bagaimanapun fungsi utama adalah dapat memindahkan beban rencana yaitu lalu-lintas kendaraan secara selamat. Jadi pasti akan aneh jika fungsinya hanya sekedar untuk suatu keindahan belaka. Kalaupun ada yang indah maka itu akibat dari fungsinya, istilahnya optimal.

Dengan mengetahui fungsi setiap elemen struktur, mengetahui bagaimana beban berpindah ke tumpuan maka dapat diketahui urutan proses pembebanan, mengetahui mana yang utama dan mana yang tidak utama.

Baiklah untuk itu dapat dilihat secara detail struktur dari jembatan tersebut.



Gambar 2. Struktur Utama Jembatan Transfield

Dengan melihat foto jembatan real dan mempelajari gambar struktur yang digunakan untuk konstruksi jembatan, maka dapat diketahui bahwa ada *bracing* horizontal di bagian bawah jembatan. Struktur lantai jembatan bahkan tidak dimasukkan sebagai bagian dari rangka jembatan. Intinya, keberadaan lantai jembatan tidak menyumbang kekuatan struktur utama, hanya diperlukan untuk menampung beban kendaraan di atasnya saja.

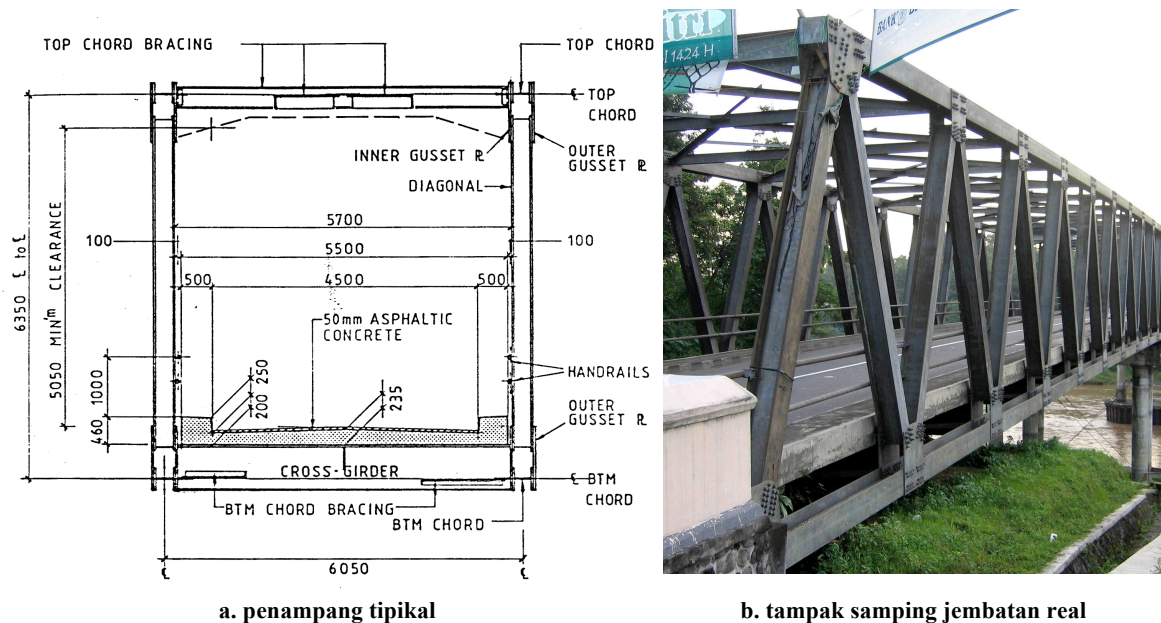
Jadi struktur utama adalah rangka batang seperti Gambar 2 di atas, sedangkan struktur sekunder adalah lantai jembatan yang dipikul oleh struktur utama tersebut.

Mempelajari struktur utama (Gambar 1) terlihat bahwa elemen bracing (rangka horizontal) relatif kecil jika dibanding elemen samping (rangka vertikal) yang terdiri dari profil baja besar. Dari situ dapat diindikasikan bahwa pada struktur utama itu saja dapat dibagi lagi menjadi 'yang primer' (rangka vertikal) dan 'yang sekunder' (rangka horizontal).

Struktur ‘yang primer’ diarahkan memikul beban utama (paling sering ada), yaitu berat sendiri (struktur dan *finishing*), juga beban hidup rencana, yaitu kendaraan-kendaraan yang melalui jembatan itu setiap harinya. Sedangkan struktur ‘yang sekunder’, bukan berarti diabaikan karena tidak memikul beban-beban utama, bagaimanapun ini termasuk utama juga, karena jika tidak dihitung akan berbahaya. Beban yang dimaksud adalah beban-beban yang sifatnya jarang ada, meskipun demikian jika ada maka harus cukup kuat dipikulnya. Istilahnya awamnya adalah beban sementara.

Pemahaman tentang beban-beban apa saja yang perlu dipikul oleh suatu struktur dan harus dihitung adalah tanggung jawab sepenuhnya *engineer*, itu tidak mudah, apalagi untuk suatu sistem struktur yang baru. Untuk yang sudah ada, cara yang terbaik adalah mempelajari strategi perencanaan yang sudah berhasil sebelumnya, termasuk membandingkannya dengan kinerja sebenarnya. Selain itu, mempelajari dengan baik code-code perencanaan yang berkaitan dengan struktur yang direncanakan adalah suatu langkah yang strategis, dan yang lebih penting adalah dapat mengetahui latar belakang mengapa ketentuan tersebut harus dilaksanakan. Code-code yang dimaksud misalnya AASHTO untuk jembatan, atau ACI untuk struktur dari beton, atau AISC untuk struktur baja, baik untuk struktur gedung atau struktur yang lebih umum. Dalam proses magang, hal-hal seperti itu yang umumnya dipelajari oleh seorang *engineer*, kadang tanpa dirasakan karena mengalaminya langsung dalam pekerjaan yang sebenarnya.

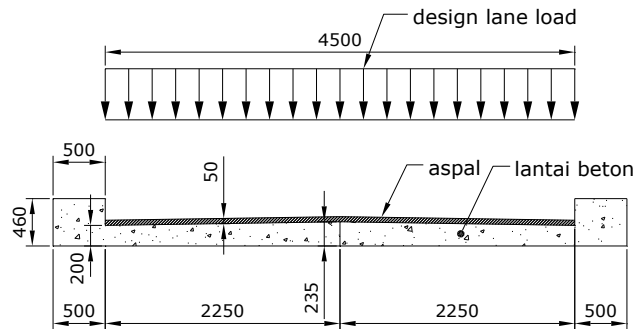
Untuk mengetahui bagaimana beban-beban utama yang bekerja pada struktur jembatan maka lebih baik melihat terlebih dahulu detail sistem lantai jembatan itu sendiri.



Gambar 3. Orientasi Lantai Jembatan dan Struktur Rangka

Pada Gambar 3a yaitu potongan melintang jembatan, terlihat di atas *cross-girder* terpasang lantai jembatan dari beton dan di atasnya ditutup aspal tebal 50 mm. Lantai jembatan dipisahkan oleh siar dilatasi 100 mm dari rangka. Dengan demikian beban-beban lalu lintas bekerja terlebih dahulu pada lantai jembatan, selanjutnya diterima oleh *cross-girder* (balok TX1 dan TX2 pada Gambar 2) dan baru dibebankan ke rangka utama. Karena *cross-girder* ditempatkan di titik-buhul rangka maka beban yang bekerja dapat dianggap sebagai beban terpusat, hasil reaksi perletakan *cross-girder*, yang ditempatkan setiap jarak 4.992 m

Selanjutnya akan diuraikan deskripsi beban-beban rencana, untuk penyederhanaan berat sendiri diabaikan, beban hidup berupa Design Lane Load 9.3 kN/m^2 . (AASHTO 2005)



Gambar 4. Penampang Lantai Jembatan dan Beban Hidup Rencana

Jika disepakati bahwa $\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$ dan $\gamma_{\text{aspal}} = 20 \text{ kN/m}^3$ maka dengan menghitung luas penampang potongan dapat dihitung beban untuk setiap unit memanjang. Karena desainnya perlukan faktor beban yang berbeda maka beban dibagi menjadi.

Beban mati :

$$\text{Luas penampang beton} = (0.5 \times 0.46 + (0.235 + 0.2) \times 0.5 \times 2.25) \times 2 = 1.44 \text{ m}^2$$

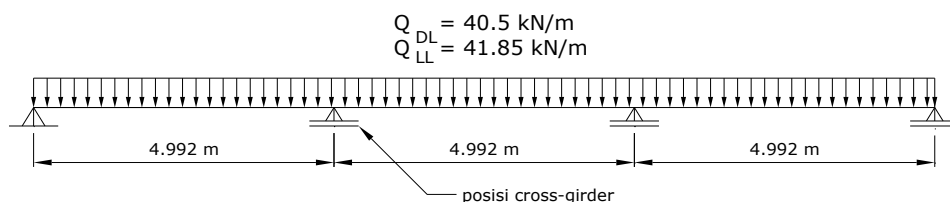
$$\text{Luas penampang aspal} = 0.05 \times 2.25 \times 2 = 0.225 \text{ m}^2$$

$$Q_{DL} = 1.44 \times 25 + 0.225 \times 20 = 40.5 \text{ kN per m panjang}$$

Beban hidup:

$$Q_{LL} = 4.5 \times 9.3 = 41.85 \text{ kN per m panjang}$$

Beban mati dan beban hidup bekerja di sepanjang lantai jembatan, yang dapat dimodelkan sebagai struktur balok menerus dengan tumpuan setiap jarak 4.992 m, yang berasal dari *cross-girder* (balok TX). Meskipun jembatan terdiri dari banyak segmen yang menjadi tumpuan struktur lantai jembatan, tapi dalam analisis cukup ditinjau tiga bentang saja.



Gambar 5. Model Lantai Jembatan Menerus dari Beton

Jika sekedar menghitung gaya-gaya internal struktur rangka batang utama, maka analisis struktur balok menerus tidak diperlukan, cukup dengan **tributary area** lantai untuk tiap *cross-girder* yang berfungsi sebagai tumpuan struktur lantai jembatan.

Untuk melihat pengaruh beban utama jembatan, yaitu beban lalu-lintas kendaraan, maka cukup ditinjau rangka batang vertikal jembatan. Karena simetri, juga cukup ditinjau satu rangka saja, elevasi A atau B (Gambar 2). Beban rangka adalah akibat reaksi tumpuan balok *cross-girder* yang memikul lantai, besarnya adalah

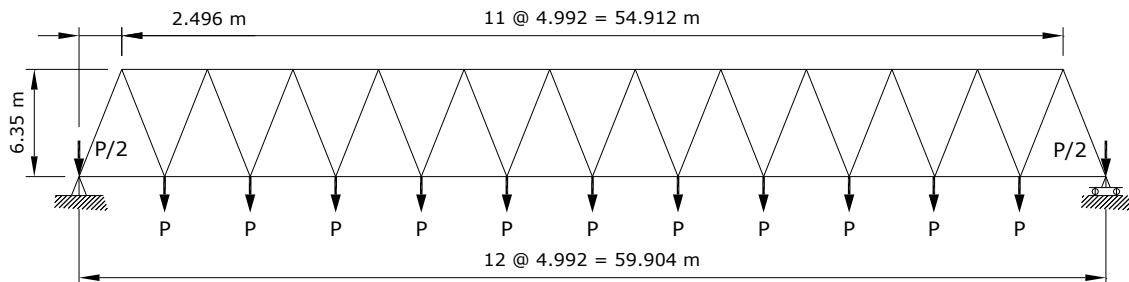
$$P_{DL} = Q_{DL} \times 4.992 = 40.5 \times 4.992 / 2 = 101 \text{ kN (per satu sisi rangka batang)}$$

$$P_{LL} = Q_{LL} \times 4.992 = 41.85 \times 4.992 / 2 = 105 \text{ kN (per satu sisi rangka batang)}$$

Karena ditinjau terhadap beban tetap saja maka model 2D (plane frame) sudah mencukupi, sedang jika beban angin akan dianalisis maka model 3D akan lebih menguntungkan.

2.1 Analisis Struktur dengan Model 2D

Gambar bawah adalah model struktur jembatan Transfield, ditinjau separo karena simetri, satu sisi saja. Model berupa rangka bidang (plane frame), bebannya sesuai deskripsi sebelumnya yaitu beban tetap (DL dan LL).



Gambar 6. Struktur Plane Frame Jembatan Transfield terhadap Beban Gravitasi

Ukuran penampang tidak ada, tapi karena statis tertentu dan dapat dianggap konstan sama keseluruhan, maka tentu dapat diperoleh suatu penyelesaian. Langkah penyelesaiannya:

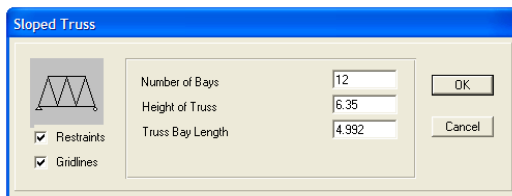
1. Tetapkan UNIT-SATUAN : **kN-m**.
2. Memakai template yang mendekati pola bentuk diatas yaitu



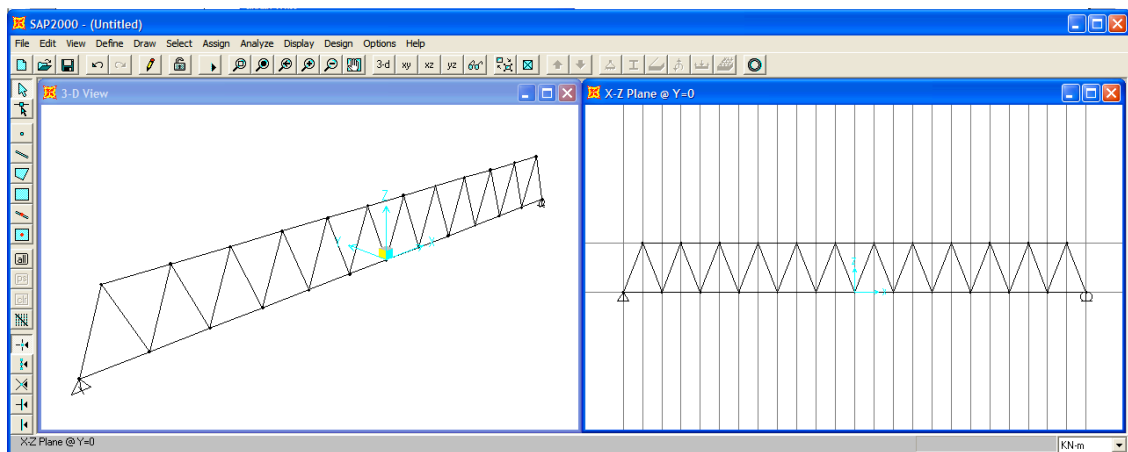
File – New Models from Template ...

Kemudian dari kotak dialog yang menampilkan beberapa pilihan bentuk template , klik pola gambar disamping.

3. Menyesuaikan parameter yang dimasukkan antara struktur sebenarnya dengan *templated* Sloped Truss yang tersedia di program sehingga Number of Bays = 12 , sedangkan Height of Truss = 6.35 dan Truss Bay Length = 4.992, dengan demikian parameter yang dimasukkan adalah :



4. Karena pola bentuk yang dihasilkan sudah sama dengan struktur yang direncanakan maka tidak perlu modifikasi. Jika benar, maka hasilnya seperti pada gambar di bawah.

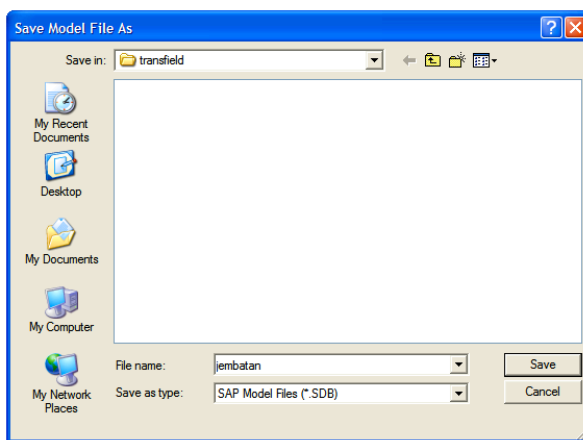


Gambar 7. Geometri Berdasarkan Template

Garis bantu berupa grid dapat di non-aktif kan melalui **View – Show Grid**, klik untuk non-aktif dan klik berikutnya agar tampil lagi, bisa juga dengan tombol fungsi **F7**.

5. Fasilitas bantu yang otomatis pada SAP2000 memang membuat banyak kemudahan. Tetapi *engineer* tidak boleh lengah, sehingga tergantung sepenuhnya pada program. Oleh sebab itu langkah awal adalah **belajar mengetahui karakter program** yang dipakai. Sebagai contoh, meskipun telah diketahui bahwa input data yang diberikan belum lengkap, tetapi karena ada fasilitas bantu otomatis yang mungkin tidak disadari dari awal maka sebenarnya sampai tahap ini program sudah dapat dijalankan (RUN).

Oleh karena itu coba klik menu **Analyze – Run** atau tombol , jika sebelumnya belum dilakukan proses penyimpanan melalui menu File – Save As, maka otomatis program akan memberikan menu agar data disimpan pada file terlebih dahulu. Untuk kasus ini pakailah nama file **jembatan** yang dituliskan pada menu berikut.

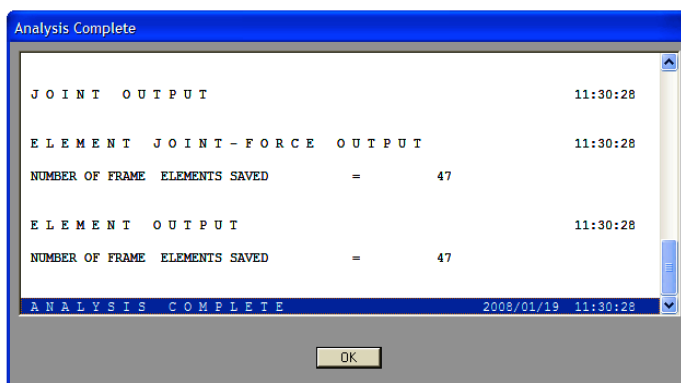


Pastikan file disimpan pada **direktori tersendiri** karena dalam prosesnya program akan menghasilkan banyak file dengan nama depan sama tetapi nama belakang (ekstension) berbeda.

Untuk membedakan apakah itu file data atau file proses (yang dihasilkan oleh program dan tidak berguna bagi awam) maka input data pada SAP2000 adalah nama dan akhiran (ekstension) ***.SDB**, misalnya **jembatan.SDB**.

Adanya fasilitas Save Model File As jelas membantu *engineer* jangan sampai bekerja sia-sia, artinya sudah banyak menghabiskan waktu menginput data ternyata lupa menyimpan dalam bentuk file. Jadi ketiak listrik mati, sia-sia kerjanya.

Selanjutnya jika tidak ada masalah, maka program akan memproses (RUN)



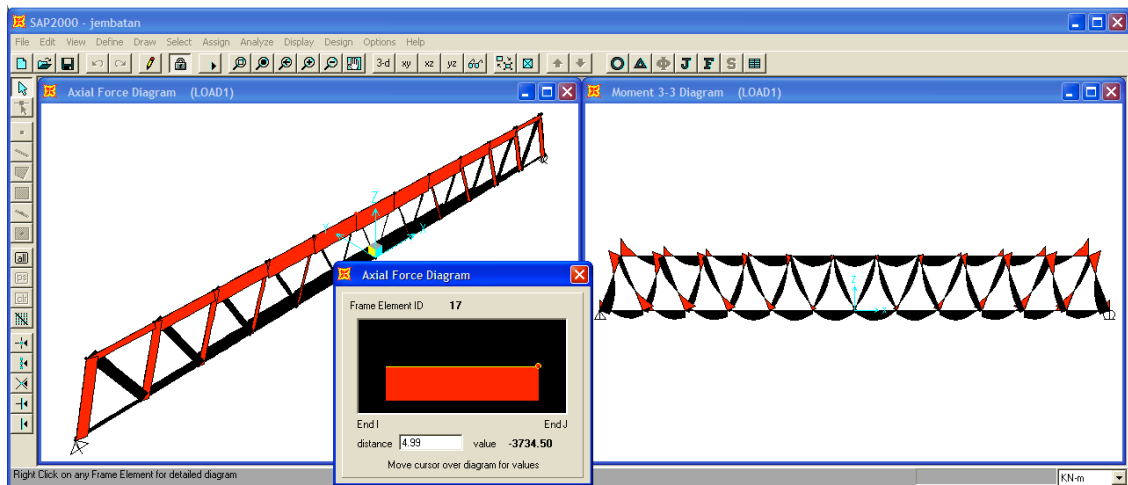
Itu berarti program sudah berhasil melakukan analisis terhadap data yang dimasukkan. Masalahnya adalah **“apa yang dianalisis ?”**. *Engineer* harus kritis ! Apa ada hasilnya ?

Ternyata ada !

Perhatikan pada layar (tampilannya seperti pada Gambar 8 sebelah kiri, jika pada gambar tersebut pada pojok kiri atas jendela, tertulis **3-D View**, maka sekarang jika diperhatikan akan berubah menjadi **Deformed Shape (LOAD1)**, perhatikan struktur terlihat melendut. Untuk tegasnya klik tombol **Start Animation** di pojok kanan bawah.

Adalah pertanyaan menarik, bahwa *engineer* hanya memasukkan data geometri. Itupun tidak lengkap karena belum mendefinisikan jenis material dan *section property*, juga belum ada input beban. Tetapi ternyata, program dapat di RUN dan ada hasilnya !

Tapi apakah hasilnya itu berguna ?



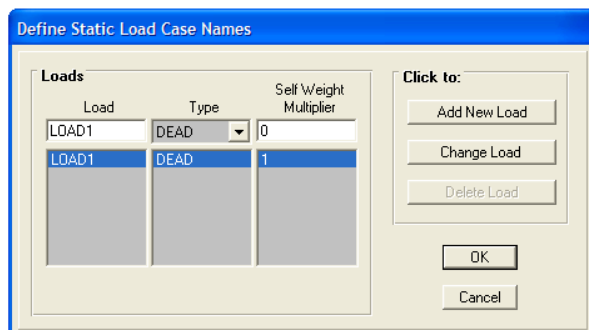
Gambar 8. Diagram Gaya dan Momen - Tahap I

Pada Gambar 8 yang kiri adalah **diagram gaya normal**, yang kanan **diagram bending momen**. Apa yang menyebabkan itu terjadi, bahkan di tengah bentang pada batang atas terdapat gaya tekan sebesar 3734.5 kN atau 373.45 ton. Sangat besar bukan.

Setelah membaca manual SAP2000, ternyata dapat diketahui bahwa program secara **otomatis menghitung berat sendiri struktur** didasarkan **data default** di menu **Define – Materials** dan **Define – Frame Sections**, yang belum disentuh sebelumnya.

Jadi ‘apa-apa’ yang bagi orang lain mungkin mempermudah, tetapi kalau tidak tahu maka bisa saja **menyesatkan**. Coba saja jika *engineer* tersebut kemudian menindak lanjuti gaya tekan batang sebesar 373.45 ton di atas. Kalau itu benar, bisa *bankrupt* !

Jadi pada tahap ini maka opsi menghitung otomatis berat sendiri harus di non-aktifkan. Caranya ? Pertama, tombol bergambar KUNCI di klik terlebih dulu, kemudian akses menu **Define – Static Load Cases** sehingga tampil menu **Define Static Load Case Names**. Ubah parameter **Self Weight Multiplier = 0** (nilai default adalah 1). Sebelum klik tombol **OK**, pastikan klik tombol **Change Load**.



Selanjutnya untuk memastikan bahwa program SAP2000 tidak menghitung berat sendiri secara otomatis, maka langkah ke-5 perlu diulang lagi.

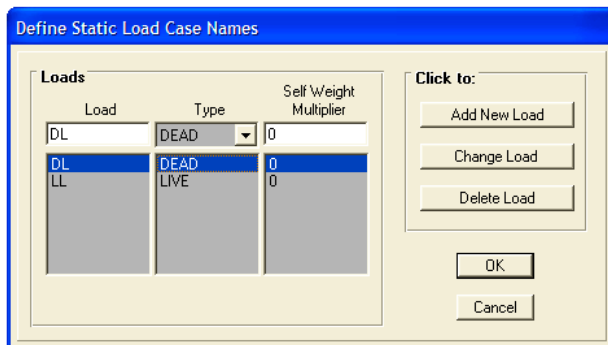
Bandingkan hasilnya sekarang dengan Gambar 8, jika benar tentunya tidak akan terlihat gaya normal dan momen (kosong).

Note : Program SAP2000 akan secara otomatis menghitung berat sendiri struktur berdasarkan parameter **Weight per Unit Volume** yang dapat diakses melalui menu **Define – Materials**

6. Setelah opsi otomatis menghitung berat sendiri di non-aktif kan. Selanjutnya adalah mendefinisikan beban yang telah dihitung sebelumnya untuk di input ke model.

Dalam hal ini ada dua kasus beban (*load case*): **DL** (*dead load*) dan **LL** (*live load*), padahal *default*-nya hanya satu, yaitu **LOAD1** (lihat Gambar 8). Oleh karena itu perlu disiapkan terlebih dahulu. Untuk itu, kasus beban *default* yaitu **LOAD1** akan diubah menjadi **DL**, setelah itu akan ditambah kasus beban baru yaitu **LL**.

Untuk mengubah kasus beban maka aktifkan menu **Define Static Load Case Names** melalui **Define – Static Load Cases**. Untuk kasus beban yang sudah ada, pakai tombol **Change Load**, sedangkan untuk menambah kasus beban baru pakai tombol **Add New Load** sampai ditampilkan nilai-nilai baru pada menu sebagai berikut.

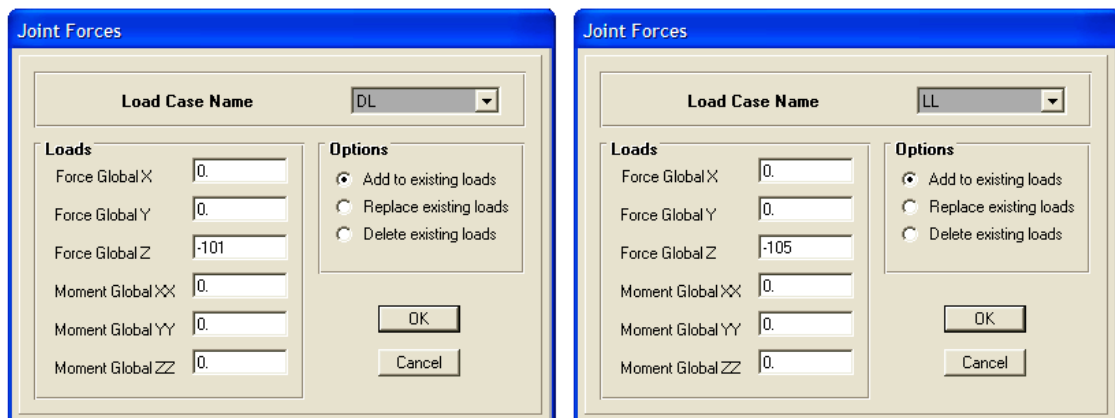


Self Weight Multiplier = 0 untuk menunjukkan bahwa berat sendiri struktur tak diperhitungkan pada kasus beban yang ditinjau.

Jika semuanya diberi nilai > 0 berarti berat sendiri struktur akan diperhitungkan pada setiap kasus beban yang nilainya > 0 tersebut.

Selanjutnya persyaratan untuk mendefinisikan beban telah siap dan dapat dilanjutkan.

7. Untuk mendefinisikan beban, langkah yang harus dikerjakan adalah **memilih (select)** nodal-nodal yang akan diberi beban. Pilihlah dengan kursor. Nodal yang dipilih bisa lebih dari satu, tapi pastikan hanya nodal-nodal yang nilai bebannya sama. Selanjutnya dari menu **Assign – Joint Static Loads – Forces** tampilkan menu **Joint Forces** dan isi nilai beban yang berkesesuaian dengan kasus bebannya, yaitu **DL** atau **LL** berikut :

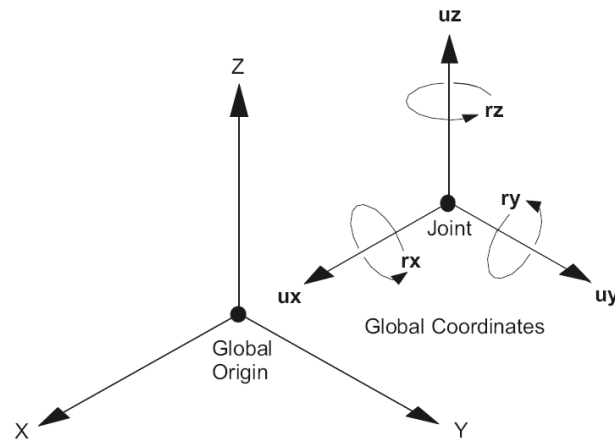


Karena ada definisi beban yang berbeda nilainya, yaitu di atas nodal tumpuan maka perlu didefinisikan secara terpisah. Caranya tentu sama saja dengan sebelumnya.

Pada tahap ini, diketahui bahwa ada enam (6) kemungkinan beban dapat diberikan pada suatu titik nodal, dari definisi mengenai beban tersebut cukup jelas, yaitu gaya yang searah dengan sumbu global (Force Global X atau Y atau Z) dan momen yang berputar pada sumbu global (Moment Global XX atau YY atau ZZ).

Sumbu global adalah sumbu yang mengatur struktur secara keseluruhan, hanya satu, tidak terpengaruh oleh orientasi batang yang bermacam-macam. Konsep ini penting karena SAP2000 pada dasarnya adalah *general purpose* program untuk kasus 3D.

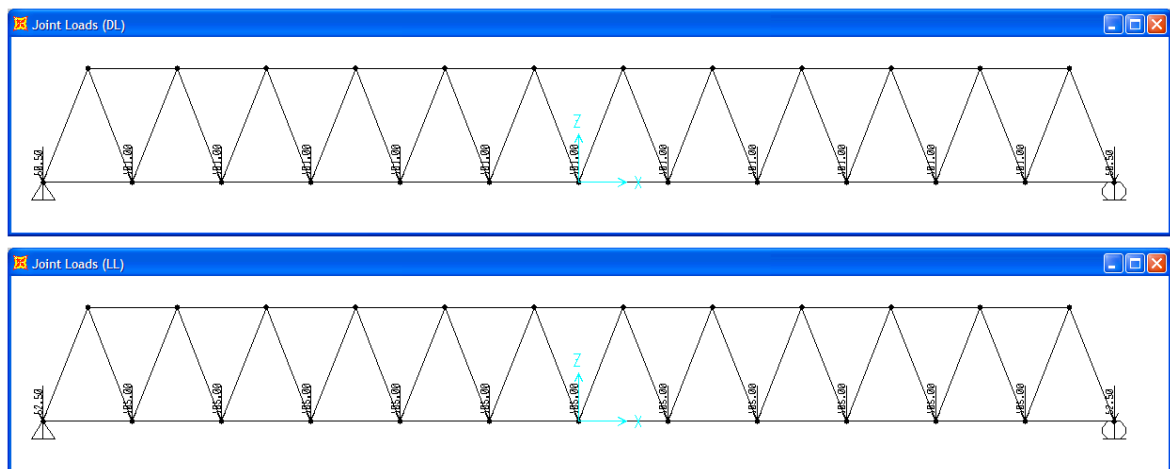
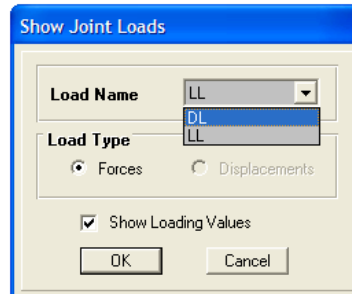
Kesepakatan mengenai orientasi sumbu pada tiap program bisa tidak sama. Oleh sebab itu sebelum memakai suatu program perlu memahami kesepakatan yang digunakan.



Gambar 9. Kesepakatan Sumbu Titik Nodal pada Program SAP2000

Dengan mempelajari kesepakatan arah pada gambar di atas, maka dapat diketahui bahwa untuk merepresentasikan beban terpusat pada titik buhul maka diambil sumbu Z sebagai acuan, dan karena arahnya ke bawah maka diberi nilai negatif.

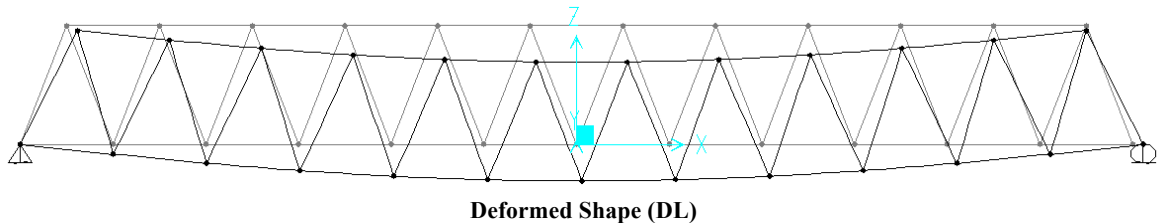
8. Sebelum melangkah lebih lanjut, pastikan bahwa semua titik nodal yang seharusnya diberi beban sudah mendapatkan. Ini **perlu ketelitian** ! Karena struktur yang dibahas tidak terlalu rumit dan cukup sederhana untuk diamati langsung via layar komputer maka fasilitas grafis yang tersedia dapat dimanfaatkan. Untuk mengaksesnya gunakan menu **Display – Show Loads – Joints** sampai ditampilkan menu **Show Joint Loads**.



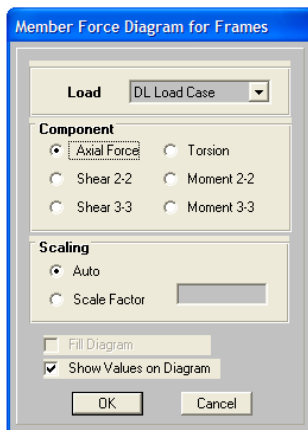
Tips : pakai  untuk mengatur gambar di layar komputer.

9. Jika tahapan No. 5 diaplikasikan (RUN) pada konfigurasi data yang telah masuk maka dapat dihasilkan output komputer sebagai berikut.

Untuk menampilkan deformasi akibat kasus beban DL maka klik tombol  atau melalui menu **Display – Show Deformed Shape** atau tombol fungsi **F6**.



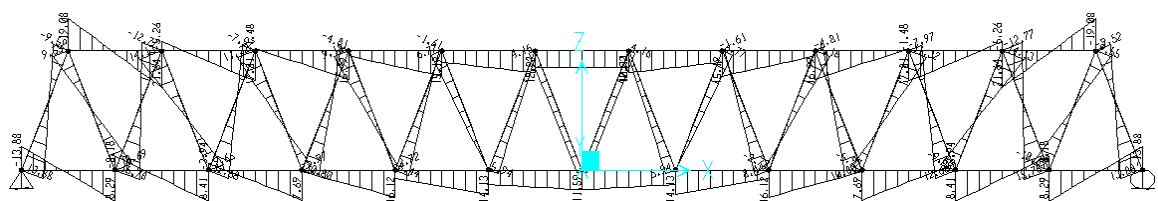
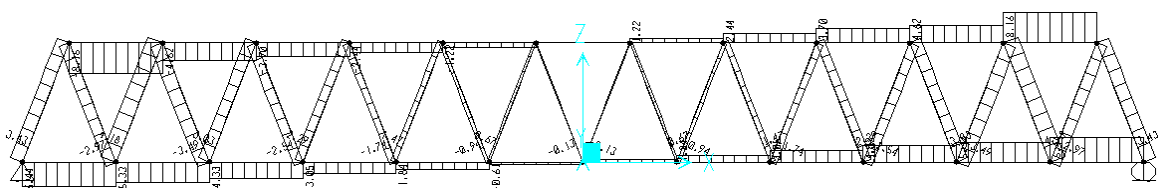
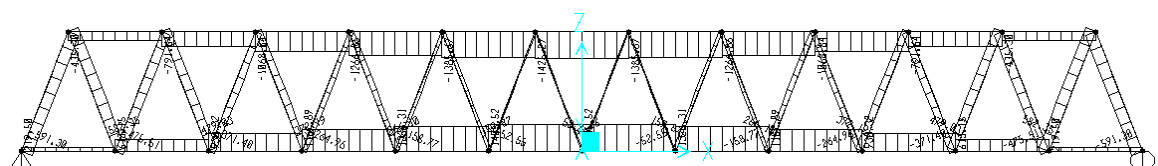
Untuk gaya-gaya internal akibat kasus beban DL maka klik tombol  atau melalui menu **Display – Show Element Forces/Stresses – Frames** (jika pilihan terakhir dipilih **Joints** maka dapat ditampilkan gaya-gaya reaksi di tumpuan).



Jika dipilih opsi **Frames** maka akan keluar menu **Member Force Diagram for Frames**, di bagian atas ada pilihan kasus beban apa yang akan ditampilkan.

CATATAN : Ini ada kaitannya dengan perintah **Define – Static Load Cases** dan **Define – Load Combination**, yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu perintah untuk mendefinisikan apa yang disebut dengan ‘kasus beban’ dan ‘kombinasinya’.

Jadi dari satu **elemen Frames** ada **enam (6)** kemungkinan yang dapat ditampilkan. Untuk memahami apa yang ditampilkan maka perlu mengetahui kesepakatan dari program tersebut. Akan ditampilkan hanya tiga (3) yang cukup berarti saja.

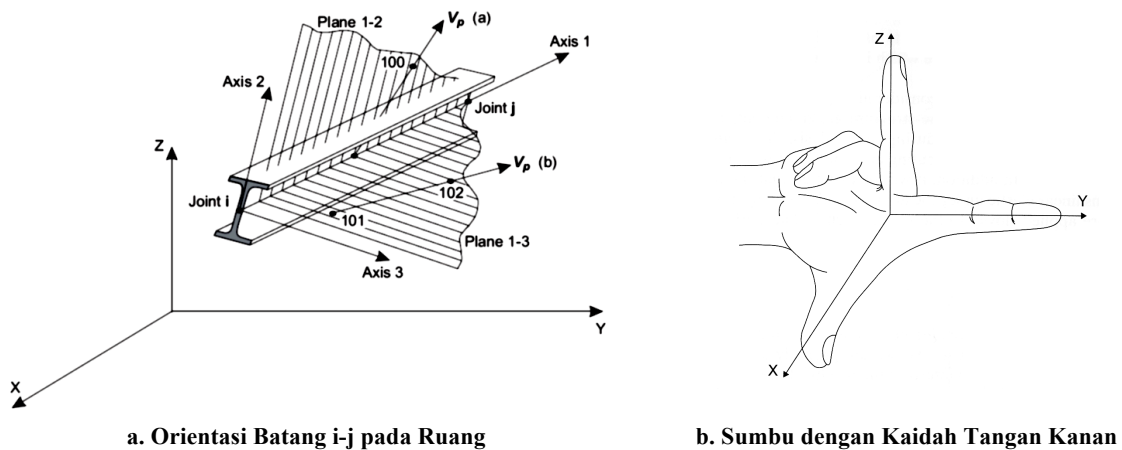


Gambar 10. Diagram Gaya dan Momen - Tahap II

10. Interpretasi HASIL !

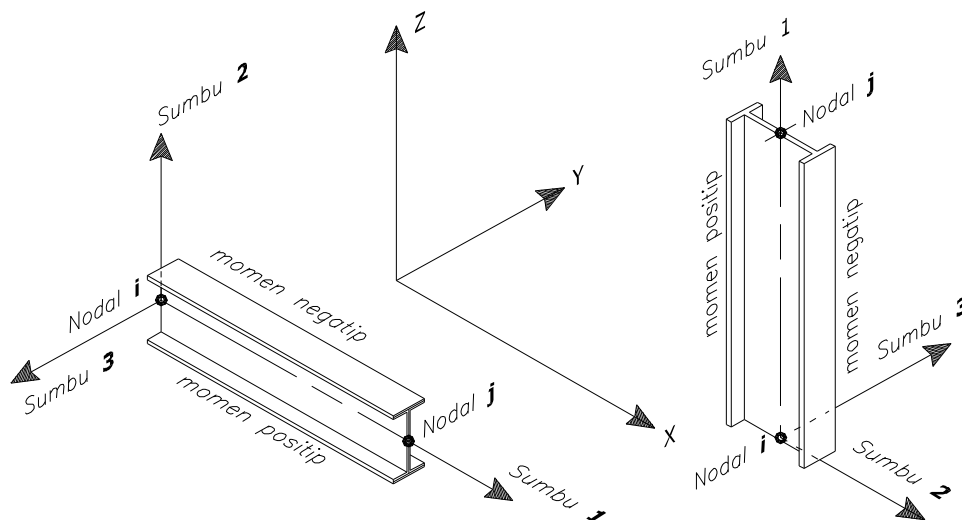
Ini merupakan tahapan yang perlu kompetensi, tidak sekedar bisa menjalankan program dan tidak *error*. Pada tahapan ini **diputuskan apakah analisis sudah selesai**, atau masih memerlukan proses yang lain. Hanya yang bertanggung jawab pada proyek yang dapat memutuskan ini, dan umumnya dikerjakan oleh *engineer* yang berkualifikasi **senior**.

SAP2000 adalah program analisa struktur yang serba guna dan lengkap, sehingga berbagai kemungkinan dapat terjadi, mulai dari yang sederhana (struktur bidang / 2D) maupun yang kompleks (struktur ruang / 3D). Oleh sebab itu perlu pemahaman yang baik bagaimana suatu elemen batang dapat diidentifikasi dalam suatu ruang, secara benar.



Gambar 11. Orientasi Elemen dan Interpretasi Sumbu

Gambar 11a menampilkan batang i-j yang berorientasi pada ruang dan posisinya mengacu pada sumbu global X-Y-Z. Perhatikan bahwa sumbu Z ke atas, sedangkan X-Y horizontal. Pada batang i-j juga ada sumbu 1-2-3, sumbu 1 arah aksial batang, sumbu 2-3 tegak lurus dengan orientasi yang diperlihatkan pada gambar tersebut. Semua output program mengacu pada ketentuan di atas. Urut-urutan penempatan sumbu sebenarnya sudah tertentu yaitu mengikuti **kaidah tangan kanan** (Gambar 11b). Meskipun gambar tersebut hanya memperlihatkan sumbu global X-Y-Z tetapi juga berlaku untuk sumbu lokal 1-2-3, dimana sumbu 1=X, sumbu 2=Y dan sumbu 3=Z. Bila tidak ditetapkan khusus, maka penempatan batang i-j (sb. lokal) terhadap sumbu global (XYZ) adalah tertentu (*default*) sbb :



Gambar 12. Orientasi Default Batang Terhadap Sumbu Global

Dari Gambar 12 tentang tetapan *default* element Frame maka dapat dinyatakan :

Sumbu 1 - Longitudinal

Sumbu lokal 1 selalu terletak pada sumbu longitudinal element batang yang arah positifnya adalah dari nodal *i* ke arah nodal *j* element batang (ini ditentukan pada saat membuat geometri struktur).

Orientasi Default

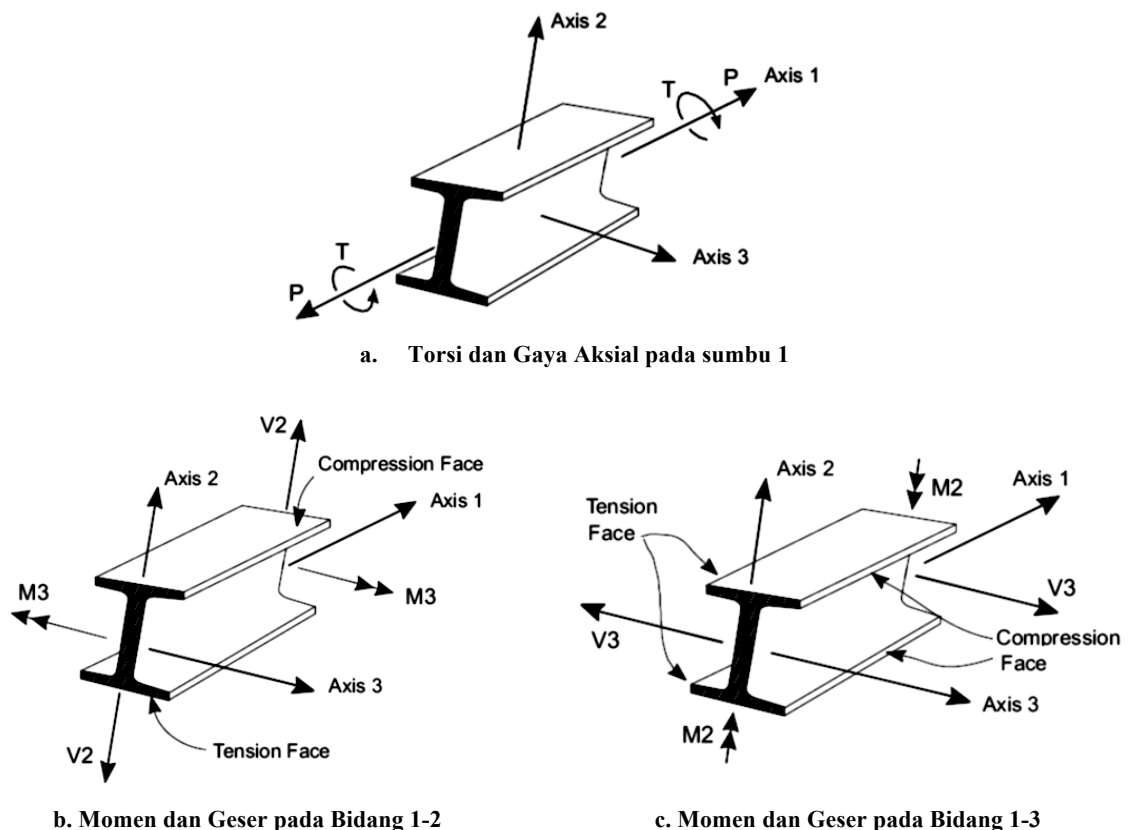
Orientasi *default* sumbu 2 dan sumbu 3 ditentukan dari hubungan antara sumbu 1 dan sumbu Z global, sebagai berikut:

- Bidang 1-2 terletak vertikal, sejajar dengan sumbu Z.
- Sumbu 2 lokal pada arah vertikal ke atas (+Z) **kecuali element yang berorientasi vertikal (kolom)** di mana sumbu 2 lokal terletak pada bidang horizontal searah dengan sumbu +X.
- Sumbu 3 lokal terletak pada bidang horizontal (bidang X-Y).

Orientasi suatu element dianggap vertikal (sebagai kolom) jika sinus sudut sumbu lokal 1 dan sumbu global Z kurang dari 0.001.

PERHATIAN: Pelajari dengan baik perbedaan orientasi sumbu lokal antara element vertikal (kolom) dan element bukan vertikal (balok). Hanya dengan menggeser sedikit saja salah satu ujung kolom sehingga nilai sinus sudut sumbu 1 > 0.001 maka yang tadinya disebut kolom berubah menjadi balok sehingga mengikuti perjanjian tanda sebagai balok.

Setelah memahami cara menempatkan elemen batang maka selanjutnya dapat dipelajari gaya-gaya yang bekerja dan kesepakatan istilah terhadap gaya-gaya dan momen tersebut.



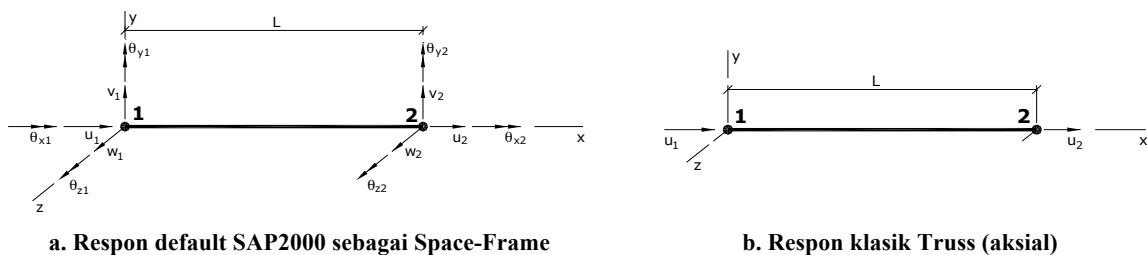
Gambar 13. Kesepakatan Nilai Positif Gaya dan Momen pada Elemen Batang

Setelah mengetahui kesepakatan tentang gaya-gaya dan momen pada batang maka tentu dapat dilanjutkan untuk menginterpretasi hasil analisis yang telah dilakukan (Gambar 10).

Sebagai *engineer* atau minimal calon *engineer*, tentulah cukup familiar dengan analisis struktur klasik pada rangka batang (*truss*). Dari hasil gaya-gaya internal yang ditampilkan pada Gambar 10 tentulah timbul pertanyaan “***mengapa dihasilkan juga gaya geser dan momen***”, padahal mestinya rangka batang hanya mengenal gaya aksial saja.

Pertanyaan sederhana yang intinya meragukan hasil analisis yang telah dilakukan. Tanpa bisa menjawab secara tuntas maka jangan diharapkan *engineer* mendapat manfaat yang baik meskipun telah digunakan program canggih berkelas internasional.

Berdasarkan gaya internal yang dapat dihasilkan (lihat Gambar 13), mestinya diketahui bahwa struktur yang dianalisis mampu merespon penuh gaya-momen dalam enam (6) DOF (*degree-of-freedom*). Lihat kembali deformasi pada ujung-ujung batang pada Gambar 14.

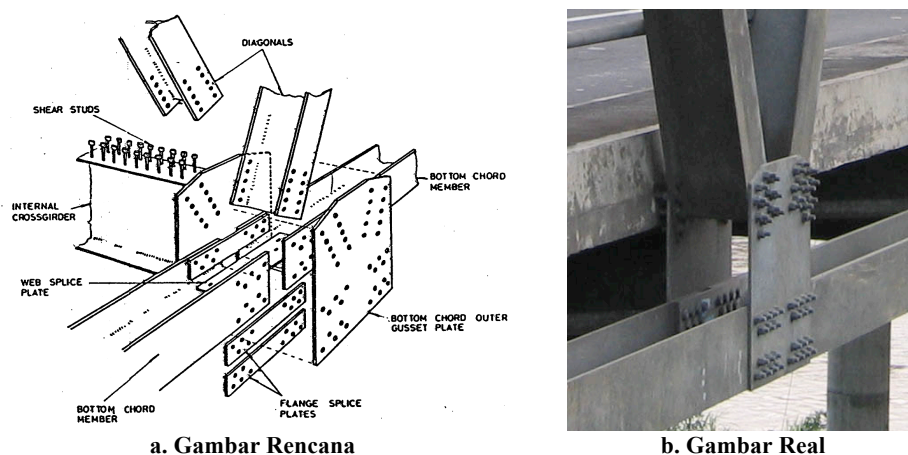


Gambar 14. Kemungkinan Deformasi pada Ujung-ujung Batang

Dengan melihat gaya-deformasi yang direspon oleh SAP2000 yang lebih banyak (lengkap) dibandingkan analisa klasik struktur *truss* yang memperhitungkan gaya-deformasi aksial saja, maka bukan berarti bahwa respon *default* SAP2000 lebih mendekati kondisi real.

Untuk bisa menjawab secara memuaskan perlu kompetensi *engineering*. Jika kasusnya sudah ada, mungkin lebih mudah, karena tinggal meniru yang telah sukses. Jika belum ada tentunya perlu mempelajari perilaku real dari objek yang sebenarnya. Hasil akhir kadang-kadang diwarnai oleh apa yang disebut sebagai *engineering judgement*.

Untuk menjelaskan tentang ‘memilih ketelitian respon’, akan lebih baik ditinjau kasus pada jembatan Transfield yang sedang dianalisis. Perhatikan kembali Gambar 3b, terlihat secara jelas bahwa elemen batang struktur adalah profil baja utuh, yang nggak ‘utuh’ hanya pada sambungan titik buhulnya saja, yang terlihat hanya terdiri dari beberapa pelat tepi, dan tidak menyambung penuh profil baja tersebut. Itu menunjukkan bahwa bagian sambungan tidak sempurna seperti halnya profil baja utuh. Pernyataan ini tentu sangat subyektif.



Gambar 15. Detail Sambungan Jembatan Transfield

Gambar 15 memperlihatkan detail sambungan yang dimaksud. Oleh karena itu, adalah riskan jika menganggap bahwa sambungan tersebut mampu berperilaku sama seperti profil utuh, yaitu mampu menerima gaya-gaya secara lengkap. Jika dianggap hanya mampu menerima gaya aksial saja, tentu akan lebih aman, suatu pilihan konservatif.

Kesimpulan umum adalah jelas, bahwa untuk perencanaan jembatan dengan detail yang sudah ada tersebut, maka jika diasumsikan sebagai struktur *truss* yang hanya menerima gaya aksial belaka maka diharapkan hasilnya akan lebih aman dan *reliable*.

Kesimpulan khusus adalah bahwa **analisis struktur Tahap 2 tidak valid**. Ulang lagi !

11. Membatasi hanya GAYA AKSIAL saja !

Adanya pemahaman di atas, mengakibatkan analisis struktur harus diulang lagi untuk kasus yang sama. Bedanya, jika tahap awal mengandalkan respon struktur sebagai *space-frame* (kondisi *default* program SAP2000) maka yang sekarang ini dianggap sebagai *plane-truss* (kemampuan program dibatasi). Artinya, bahwa elemen batang hanya boleh meneruskan gaya aksial saja, yang lain di-*release* agar tidak kontinyu.

‘*Yang lain*’ itu apa saja ?. Untuk menjawabnya tentu perlu memahami konteks analisis yang dikerjakan yaitu frame 2D, yang dapat dibagi dua yaitu portal (aksial dan momen) dan truss (aksial saja). Karena itu mestinya yang di-*release* adalah momen.

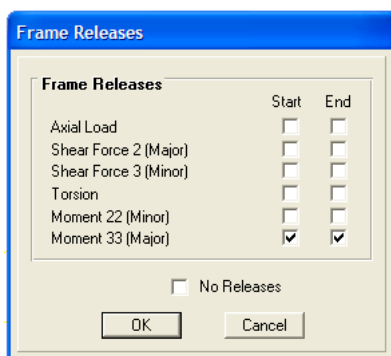
Momen yang mana, karena ada dua juga, yaitu Moment 3-3 dan Momen 2-2.

Dari kondisi *default* (Gambar 12) maka dapat diketahui bahwa bidang yang dimaksud adalah bidang 1-2 yang terletak pada sumbu XZ (lihat Gambar 10). Oleh karena itu momen pada bidang 1-2 hanya Moment 3-3 (lihat Gambar 13b).

Jadi dapat disimpulkan agar hanya gaya aksial saja pada rangka 2D di bidang 1-2 atau bidang XZ maka yang harus di-*release* adalah Moment 3-3 pada ke dua ujung batang.

12. Detail *release*.

Rangka batang (*truss*) diasumsikan mempunyai sambungan batang berupa sendi-sendi sehingga gaya-gaya internal batang hanya gaya aksial saja. Padahal formula element FRAME menganggap hubungan antar element adalah menerus (*full*). Agar berperilaku sebagai sambungan sendi-sendi maka digunakan *option release*.

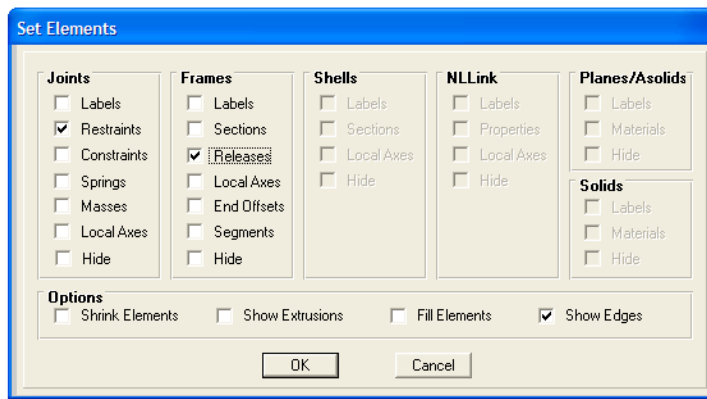


Dari penjelasan pada langkah 11 sudah diketahui bahwa yang perlu di-*release* adalah Moment 3-3.

Untuk itu, tindakannya adalah **pilih** (*select*) semua batang struktur yang perlu di-*release* dengan fasilitas **Select – Select – All**. Menu *release* diaktifkan dengan **Assign – Frame – Releases**, sehingga tampil kotak dialog pada gambar di sebelah kiri.

Dari menu **Frame Releases** aktifkan option **Start** dan **End** pada baris **Moment 33 (Major)**.

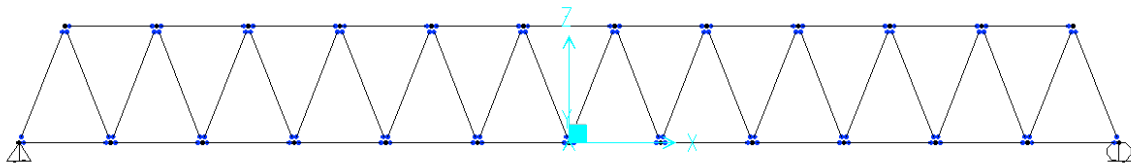
Proses memilih (*select*) memerlukan ketelitian, yang dipengaruhi oleh kerumitan model struktur yang dianalisis, juga kemampuan fisik (mata) *engineer*, itu semua juga didukung oleh teknologi yang digunakan. Tentu akan berbeda jika *engineer* melihatnya dari layar laptop 12” dan yang lain memakai layar LCD 21”. Oleh karena itu sebelum diteruskan maka proses memilih batang-batang yang di-*release* perlu diperiksa dengan seksama. Untuk memeriksa dapat dipakai fasilitas bantu dari **View – Set Element** atau **Ctrl-E** sehingga dapat ditampilkan menu sebagai berikut. Aktifkan opsi Releases pada menu !



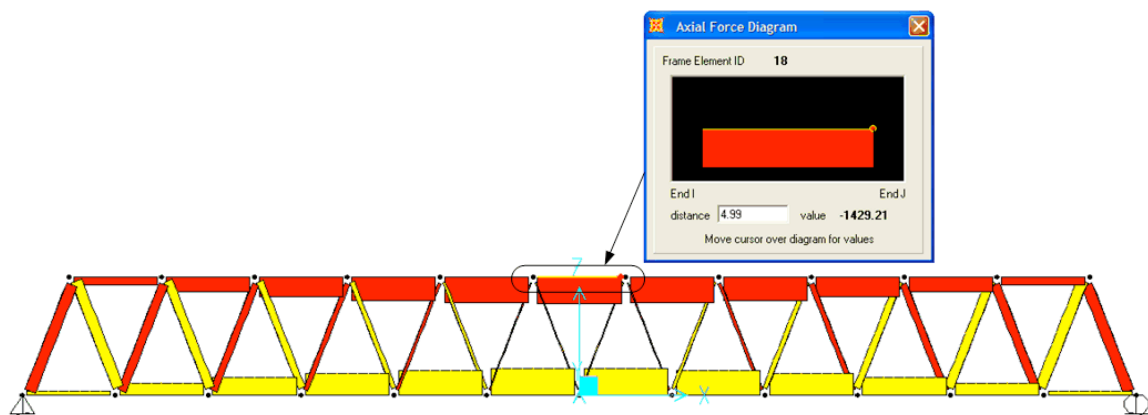
Dari menu ini, selain untuk melihat kondisi **release** juga dapat untuk mengetahui hal-hal lain yang diaplikasikan pada model yang dianalisis, termasuk penomoran nodal, elemen dan sebagainya.

Opsi yang tidak aktif (box berwarna abu) berarti model tidak memanfaatkan opsi tsb.

Tekan tombol OK agar dapat ditampilkan kondisi **release** setiap batang pada struktur.

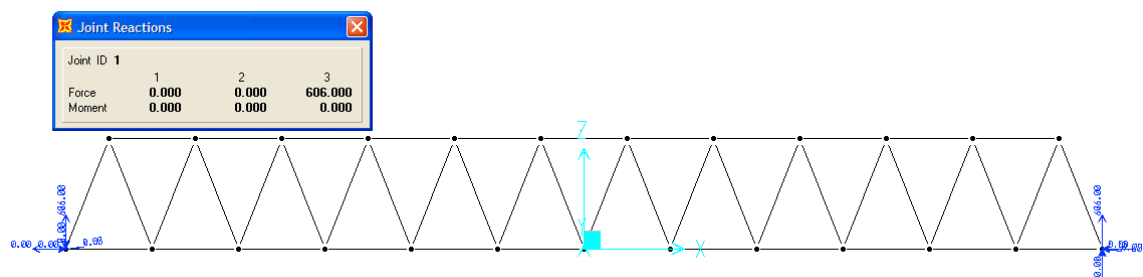


Pada tahap ini maka analisis dapat dilanjutkan sesuai tahapan ke-5 yaitu RUN.



Gambar 16. Axial Force Diagram (DL) – Tahap III

Reaksi tumpuan dilihat dengan menu : **Display – Show Element Forces/Stresses – Joints** atau dengan toolbar **Joint Reaction Forces**  sampai tampil kotak dialog **Joint Reaction Forces** kemudian tentukan pilihan ke **Reaction**.



Gambar 17. Restraint Reaction (DL) – Tahap III

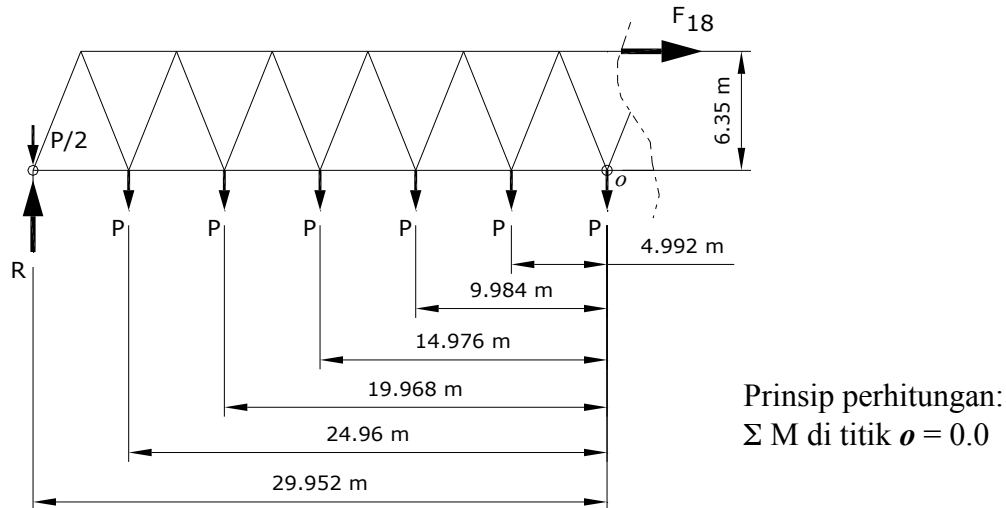
Apakah analisis ke-3 ini bisa diterima, sudah selesai. Sama seperti sebelumnya bahwa keputusan seperti itu, hanya *engineer*-nya yang tahu. Jika tidak yakin sebaiknya di cek secara manual. Ingat pengetahuan analisa struktur klasik masih tetap berguna.

Chek Reaksi Perletakan:

Tinjau kasus beban DL (*dead load*) saja : diketahui Σ Aksi = $101 * 12 = 1212$ kN, sedangkan Σ Reaksi = $606 * 12 = 1212$ kN.

$\therefore$ persyaratan keseimbangan bahwa Σ Aksi = Σ Reaksi memenuhi $\rightarrow$ OK.

Chek Gaya Axial Batang #18 (lihat Gambar 16) : gunakan cara potongan



$(R - \frac{P}{2}) * 29.952 - P * 24.96 - P * 19.968 - P * 14.976 - P * 9.984 - P * 4.992 + F_{18} * 6.35 = 0$
Diketahui untuk kasus beban mati (DL) maka $R = 606$ kN dan $P = 101$ kN, dengan demikian besar gaya tekan pada batang #18 dapat dicari yaitu

$$F_{18} = \frac{555.5 * 29.952 - 101(24.96 + 19.968 + 14.976 + 9.984 + 4.992)}{6.35} = 1429.205669 \text{ kN}$$

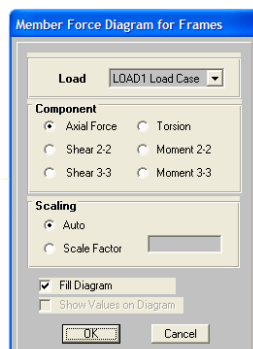
$F_{18} \approx 1429.21$ kN sama dengan hitungan komputer (lihat Gambar 16)

$\therefore$ gaya-gaya aksial hasil analisis komputer sudah OK.

13. **Melihat detail** gaya-gaya internal pada batang lain hasil hitungan komputer.

Setelah mendapatkan keyakinan bahwa hasilnya sudah benar khususnya tentang gaya-gaya internal rangka batang tersebut, maka saatnya untuk mengetahui detail gaya-gaya pada elemen yang lain. Ada beberapa cara untuk melihat output komputer, misalnya:

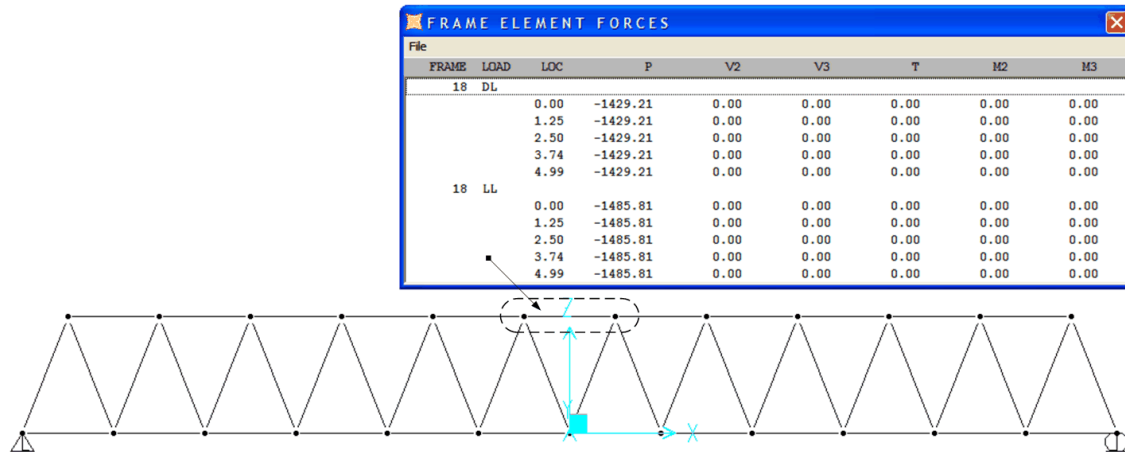
- a) Ini merupakan cara yang telah dipakai sebelumnya yaitu gaya batang dilihat dengan menu : **Display – Show Element Forces/Stresses – Frames** atau dengan toolbar **Member Force Diagram for Frames**  hingga tampak kotak pilihan berikut :



Pada layar akan ditampilkan gaya aksial sesuai dengan option **Component** pada kotak dialog yang diaktifkan.

Warna merah berarti gaya tekan dan warna kuning berarti gaya tarik. Untuk melihat besarnya gaya maka arahkan pointer mouse ke batang yang dipilih dan klik tombol mouse kanan.

- b) Selain cara di atas, ada pilihan lain yaitu dalam bentuk tabulasi dari element atau nodal yang dipilih. Untuk itu klik toolbar **Display Toolbar Tables**  untuk mengaktifkan hingga keluar kotak dialog **Select Output**, kemudian pilih kasus beban apa yang ditampilkan. Selanjutnya arahkan *pointer* mouse ke objek (elemen atau nodal) dan pilih dengan klik **tombol kanan mouse**.



Gambar 18. Tampilan Output dalam Tabel

- c) Cara yang terakhir adalah mengirim hasil proses ke printer untuk di cetak atau ke bentuk file teks sehingga dapat dibaca dengan program editor yang ada. Untuk itu digunakan menu : **File – Print Output Tables** atau pakai tombol **Ctrl-B** sehingga muncul kotak dialog **Print Output Tables**, pilih option hasil yang perlu dicetak. Dalam hal ini dipilih option **Reactions**, **Frame Forces** dan **Print to File**. Selanjutnya hasil akan dicetak ke file dengan nama yang sama dengan nama file input data hanya saja nama belakangnya (ekstensionnya) diganti dengan ***.txt**.

Contoh hasilnya adalah :

SAP2000 v7.40 File: JEMBATAN KN-m Units PAGE 1
1/20/08 15:58:55

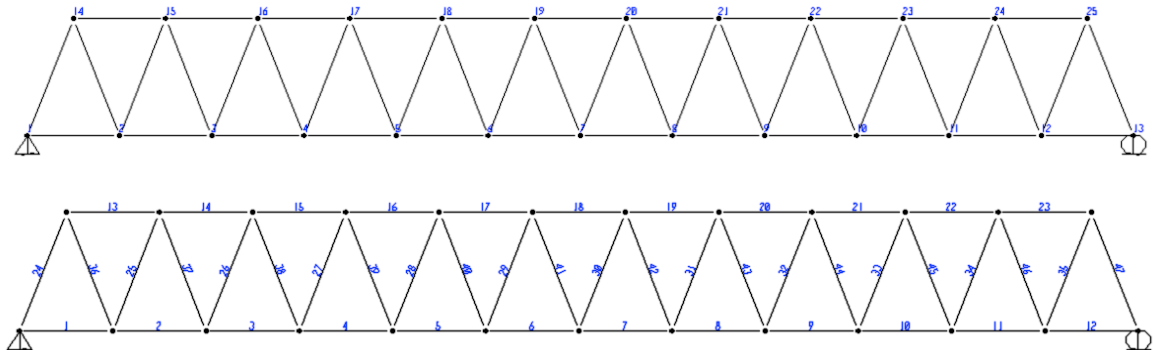
JOINT REACTIONS								
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3	
1	DL	0.0000	0.0000	606.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	LL	0.0000	0.0000	630.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
13	DL	0.0000	0.0000	606.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	LL	0.0000	0.0000	630.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

FRAME ELEMENT FORCES								
FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	DL	0.00	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	LL	0.00	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	DL	0.00	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	LL	0.00	-1485.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	-1485.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	-1485.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	-1485.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	-1485.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

sengaja dipotong ...

dst ...

- d) Penomoran nodal dan elemen secara otomatis dibuat oleh program sesuai dengan urutan pada saat penyusunan geometri. Untuk mengetahui nomer dari setiap elemen maka digunakan menu **View – Set Element** atau pakai tombol **Ctrl-E** kemudian aktifkan option **Labels** pada kotak dialog Set Element.



Gambar 19. Penomoran Nodal dan Element

Catatan : penomoran nodal atau elemen tidak mesti berurutan, bisa saja jika pada waktu penyusunan ada yang dihapus, maka nomer yang dihapus juga hilang. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan penomoran ulang melalui menu perintah **Edit – Change Labels**.

14. Kombinasi Beban

Pada analisis sebelumnya, ada dua kasus beban berbeda (DL dan LL), yang sifatnya mandiri, tidak terpengaruh satu dengan yang lainnya. Pada perencanaan kadangkala perlu analisis yang memperhitungkan keduanya, bahkan perlu memperhitungkan faktor beban untuk mencari kondisi *ultimate*. Semuanya itu dapat disebut **kombinasi beban**.

Load CASE (kasus beban) :

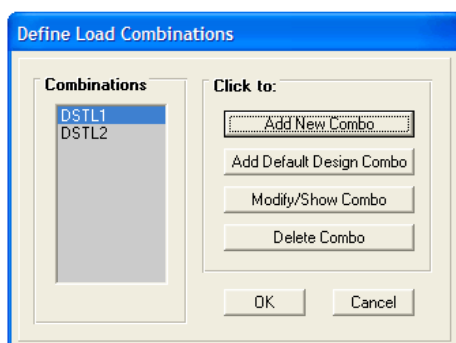
- DL , beban mati
- LL , beban hidup

Load COMBINATION (kombinasi beban) :

- Beban1 = DL
- Beban2 = DL + LL
- Beban3 = $1.2 \cdot DL + 1.6 \cdot LL$

Program SAP2000 menangani beban dalam dua kondisi, yaitu **Load CASE** dan **Load COMBINATION**, yang pertama akan ada secara otomatis dalam tiap analisis (nama *default*-nya LOAD1 yang dapat diganti), yang kedua sifatnya *optional*, jika anda tidak mendefinisikan secara khusus maka program juga tidak akan menampilkan hasilnya.

Untuk memahaminya, akan dipakai kondisi beban seperti di atas, dimana kasus beban DL dan LL telah didefinisikan pada langkah ke-6 sebelumnya.



Untuk mendefinisikan Load Combination dapat digunakan menu **Define – Load Combinations** sehingga akan ditampilkan jendela **Define Load Combination** seperti pada gambar di samping.

Ada dua Load Combination yang otomatis dibuat, yaitu DSTL1 dan DSTL2 untuk proses DESIGN.

Untuk membuat baru sesuai yang direncanakan maka klik tombol **Add New Combo**.

Selanjutnya akan ditampilkan jendela Load Combination Data seperti di bawah. Pada jendela tersebut ada beberapa pilihan yang perlu diubah terlebih dahulu, misalnya:

Load Combination Name untuk menempatkan nama kombinasi beban rencana, dalam hal ini adalah **Beban-1**.

Dibawahnya diberi pilihan bentuk kombinasi yang diinginkan yaitu

- **ADD** (jumlah aljabar)
- **ENVE** (nilai puncak atau envelope, ini sangat penting untuk kasus-kasus beban yang mempunyai nilai maksimum dan minimum yang berlawanan tanda)
- **ABS** (untuk analisis dinamik)
- **SRSS** (untuk analisis dinamik)

Karena bentuk kombinasi yang diharapkan adalah penjumlahan aljabar biasa dari kasus-kasus beban yang diberikan maka jelas dipilih option **ADD** pada Load Combination Type.

Sedangkan Title untuk memberi '**keterangan**' tentang kombinasi yang didefinisikan, kalau jumlah yang didefinisikan sedikit, mungkin tidak terlalu membantu. Tetapi jika kombinasinya cukup banyak sehingga dari kotak Define Combination di bawahnya tidak mencukupi, maka jelas '**keterangan**' tersebut akan sangat membantu.

Kotak **Define Combination** adalah tempat untuk memilih Load CASE (kasus beban) yang sebelumnya telah didefinisikan untuk ditambahkan pada kombinasi tersebut. Scale Factor menentukan nilai aljabar besarnya beban yang dikombinasikan, angka 1 menunjukkan 100% beban ditambahkan, dan sebagainya.

Gambar di bawah ini menampilkan jendela Load Combination Data untuk kombinasi Beban-3, yaitu $1.2 \cdot DL + 1.6 \cdot LL$

Jika Load Case sudah didefinisikan, pakailah tombol **Modify** untuk mengubah **Scale Factor**.

Jika belum didefinisikan, yaitu belum terlihat pada box di bawahnya, maka gunakan tombol Add untuk menambahkan. Jangan lupa Scale Faktor-nya disesuaikan terlebih dahulu.

Pada pilihan Case Name hanya dapat memilih Load Case yang sudah ada sebelumnya, yaitu yang telah didefinisikan sebelumnya memakai fasilitas menu Define – Static Load Case.

Di bagian bawah terdapat opsi untuk menghubungkan Load Combination Data yang sedang diinputkan ini agar dapat dimanfaatkan dalam tahapan DESIGN, khususnya digunakan untuk perencanaan struktur baja atau struktur beton memakai code international yang berlaku.

Jika langkah 13 yaitu mencetak hasil diulang lagi maka kasus kombinasi beban secara otomatis akan ditampilkan bersama-sama kasus beban sebelumnya.

Contoh hasilnya adalah :

SAP2000 v7.40 File: JEMBATAN KN-m Units PAGE 1
1/23/08 21:24:51

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

COMBO	TYPE	CASE	FACTOR	TYPE	TITLE
BEBAN3	ADD	DL	1.2000	STATIC (DEAD)	1.2DL + 1.6 LL
		LL	1.6000	STATIC (LIVE)	
BEBAN1	ADD	DL	1.0000	STATIC (DEAD)	DL
BEBAN2	ADD	DL	1.0000	STATIC (DEAD)	DL+LL
		LL	1.0000	STATIC (LIVE)	

SAP2000 v7.40 File: JEMBATAN KN-m Units PAGE 2
1/23/08 21:24:51

JOINT REACTIONS

JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	DL	0.0000	0.0000	606.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	LL	0.0000	0.0000	630.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	BEBAN3	0.0000	0.0000	1735.2000	0.0000	0.0000	0.0000
1	BEBAN1	0.0000	0.0000	606.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	BEBAN2	0.0000	0.0000	1236.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	DL	0.0000	0.0000	606.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	LL	0.0000	0.0000	630.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	BEBAN3	0.0000	0.0000	1735.2000	0.0000	0.0000	0.0000
13	BEBAN1	0.0000	0.0000	606.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	BEBAN2	0.0000	0.0000	1236.0000	0.0000	0.0000	0.0000

SAP2000 v7.40 File: JEMBATAN KN-m Units PAGE 3
1/23/08 21:24:51

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	DL	0.00	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	218.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	LL	0.00	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	227.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	BEBAN3	0.00	625.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	625.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	625.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	625.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	625.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

sengaja dipotong ...

18	BEBAN3	0.00	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	BEBAN1	0.00	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	-1429.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	BEBAN2	0.00	-2915.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	-2915.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	-2915.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	-2915.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	-2915.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

dst ...

15. Bagaimana dengan Lendutannya !

Jika cara klasik digunakan untuk analisa struktur *truss* statis tertentu, maka prinsip keseimbangan gaya sudah dapat menghasilkan gaya-gaya internalnya, cara manual dengan metoda potongan telah didemokan untuk men-check gaya di batang #18. Tetapi perlu metode lain untuk mendapatkan nilai lendutan salah satu titik nodalnya.

Cara kerja analisis struktur berbasis komputer umumnya mirip dengan metode matrik kekakuan, pertama yang dicari adalah deformasi sesuai d.o.f-nya, setelah itu gaya-gaya internalnya. Jadi jika sudah ada gaya internal strukturnya maka sebenarnya juga telah diperoleh deformasinya. Oleh karena itu, jika tombol  di klik, atau melalui menu **Display – Show Deformed Shape**, atau tombol fungsi **F6**, maka deformasi struktur yang dianalisis akan ditampilkan.

Mengapa itu tidak dilakukan, adalah karena data yang diberikan untuk analisis tersebut belum lengkap. Meskipun output gaya-gaya internal-nya *valid* tetapi untuk deformasi struktur belum *valid* atau salah. Data yang dimaksud adalah ‘**penampang struktur**’ (*section properti*) dan data ‘**material struktur**’ (modulus elastis atau E).

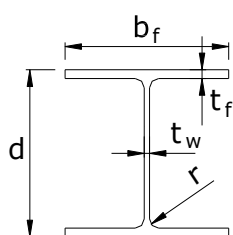
Bagaimana bisa mengetahui bahwa ada data yang kurang ?

Itu didasarkan pengetahuan tentang analisa struktur dan mekanika bahan yang umum diperoleh oleh para mahasiswa teknik. Seperti diketahui bahwa lendutan struktur *truss* disebabkan oleh deformasi aksial tiap-tiap batangnya. Sedangkan deformasi aksial dari batang tunggal ditentukan oleh parameter $\Delta = PL/AE$. Jadi parameter **A** dan **E** masing-masing adalah untuk mewakili ‘**penampang struktur**’ dan ‘**bahan materialnya**’.

Meskipun datanya belum lengkap, tetapi mengapa hitungan dapat diproses ?

Ya, memang program SAP2000 dapat memprosesnya yaitu dengan data *default* dari komputer jika pemakai tidak mendefinisikan yang lain. Itu semua dengan maksud agar *user-friendly*. Jika pemakai sadar, tentunya membantu, tetapi jika tidak, hasilnya bisa menyimpang dari yang diharapkan. Bisa berlebihan (*over estimate*) sehingga boros atau kekurangan (*under estimate*) sehingga tidak aman.

Untuk perencanaan jembatan Transfield tersebut dapat diketahui bahwa material BAJA diwakilkan dalam bentuk modulus elastis $E = 200000$ MPa dan penampang struktur terdiri dari penampang profil H dengan dimensi sebagai berikut

	Profil H350	$A =$	17,044.0 mm ²
	$d =$	350 mm	$T =$ 1,721,056.0 mm ⁴
	$b_f =$	350 mm	$I_{33} =$ 395,061,761.0 mm ⁴
	$t_w =$	12 mm	$I_{22} =$ 135,815,761.0 mm ⁴
	$t_f =$	19 mm	$A_{v2} =$ 4,200.0 mm ²
			$A_{v3} =$ 13,300.0 mm ²

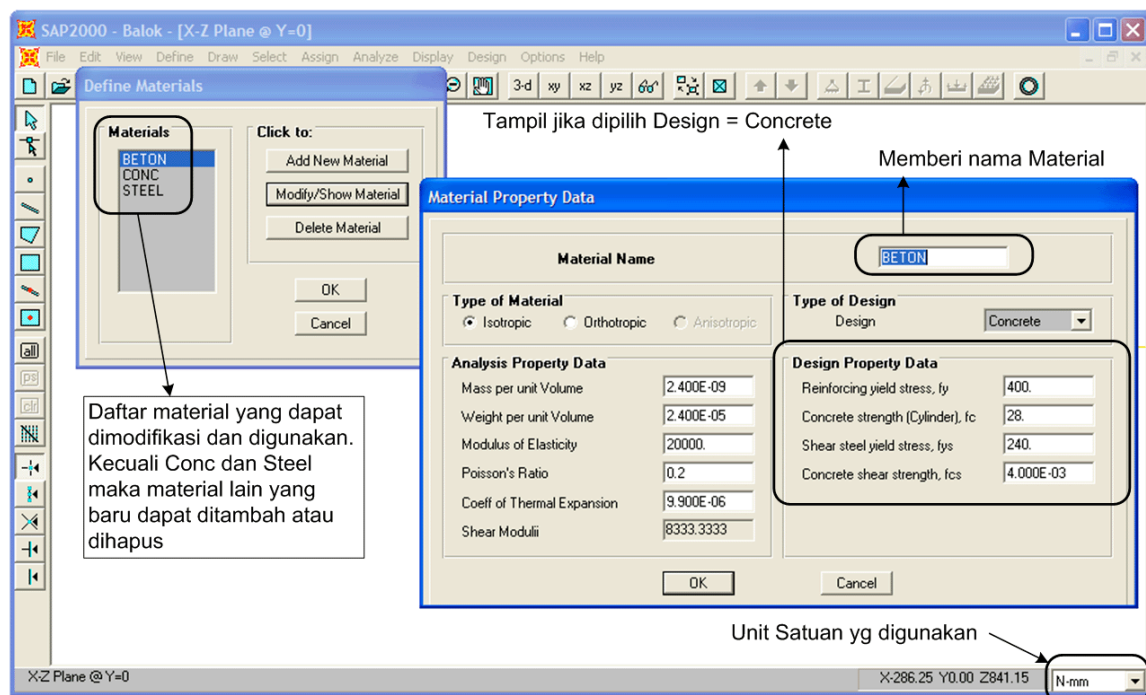
16. Data Bahan Material

Data Materials adalah untuk menyatakan sifat (*properties*) mekanik, thermal, dan densitas yang akan digunakan element Frame, Shell, Plane, Asolid, dan Solid pada program SAP.

Properti material selalu **elastik linier**, dapat dinyatakan sebagai material isotropik, orthotropik, atau anisotropik. Meskipun demikian, properti yang sesungguhnya

bergantung pada formulasi type element yang digunakan. Tiap-tiap jenis material yang dinyatakan dapat digunakan oleh lebih dari satu type element. Untuk element Frame, data properti material dinyatakan pada bagian **Section properties**.

Data Material *default* telah ditetapkan sebanyak 2 (dua) buah untuk keperluan Design, yaitu **CONC** (*concrete*) dan **STEEL**. Satu lagi data material *default*, yaitu **OTHER** digunakan untuk penampang yang tidak memerlukan Design (analisis saja), dan namanya dapat diubah ke nama lain. Untuk mengakses data material, digunakan menu **Define – Materials** sehingga muncul kotak dialog **Define Materials** sebagai berikut.



Gambar 20. Data Material

Properti Bahan Material

Bahan material untuk penampang elemen ditetapkan dengan mengacu pada data material yang telah ditetapkan terlebih dulu. Selanjutnya element Frame selalu menganggap bahwa materialnya adalah isotropik meskipun option yang dipilih adalah orthotropik atau anisotropik. Perilaku material isotropik tidak bergantung pada arah pembebanan atau orientasi material pada batang struktur, dan umumnya dapat digunakan untuk memodelkan material baja (*steel*) dan beton (*concrete*).

Properti material yang digunakan untuk Section adalah:

- Modulus elastisitas, E , untuk kekakuan aksial dan lentur.
- Modulus geser, G , untuk kekakuan torsi dan kekakuan geser transversal.
- Koefisien ekspansi thermal, α , untuk menghitung ekspansi aksial dan regangan lentur akibat pengaruh thermal.
- Densitas massa, ρ , menghitung massa element untuk dipakai pada analisa dinamik.
- Densitas berat, γ , untuk menghitung **Self-Weight** (berat sendiri) dan **Gravity Loads**. Dengan mengubah nilainya menjadi nol (0), menu yang berkaitan dengan berat sendiri, yaitu **Define – Static Load Case – Self Weight Multiplier** maupun **Assign – Frame Static Loads – Gravity** tidak berfungsi.

Type of Design pada kotak dialog Material Property Data dapat menunjukkan “*apakah material yang dinyatakan dapat digunakan untuk keperluan analisis struktur atau design penampang atau kedua-duanya*”.

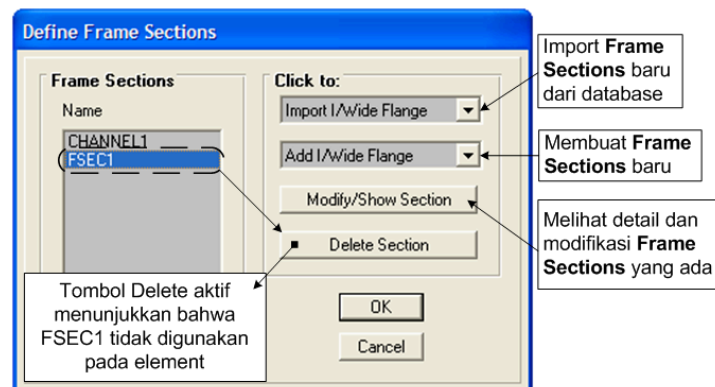
Option ini dapat dipakai untuk menentukan elemen mana yang penampangnya akan didesain dan mana yang tidak, melalui fasilitas grafis yang disediakan dalam program.

Material yang telah disediakan oleh program (default), yaitu CONC dan STEEL, selain untuk analisis juga untuk desain (tidak dapat diubah), masing-masing untuk desain beton bertulang dan baja. Ada juga material *default* lain yaitu OTHER yang dapat diubah. Perintah **Add New Material** dapat dipakai untuk membuat material baru lain yang ditetapkan dengan tiga kemungkinan, yaitu :

- **Steel:** element Frame dengan material ini selain untuk analisis juga dapat digunakan untuk desain sesuai peraturan perencanaan baja.
- **Concrete:** element Frame dengan material ini selain untuk analisis juga untuk desain penampang sesuai peraturan perencanaan beton bertulang.
- **Other:** element dengan material ini hanya dipakai dalam proses analisis dan tidak akan didesain meskipun element dengan material lain didesain.

17. Data Penampang Batang (Properti Penampang)

Frame Sections adalah data material dan geometri penampang struktur yang akan dipakai oleh *element Frame*. Tiap penampang didefinisikan terpisah dan ditabulasi membentuk daftar penampang yang nantinya siap dipakai pada *element Frame*. Daftar tersebut ibarat gudang berbagai macam penampang dan selanjutnya dinyatakan (didefinisikan) pada *element Frame*. Tabel data Frame Sections yang tak didefinisikan pada *element Frame* dapat dihapus, dan sebaliknya jika sudah terdefinisi.



Gambar 21. Data Frame Sections

Kotak dialog pada menu di atas diakses melalui **Define – Frame Sections**.

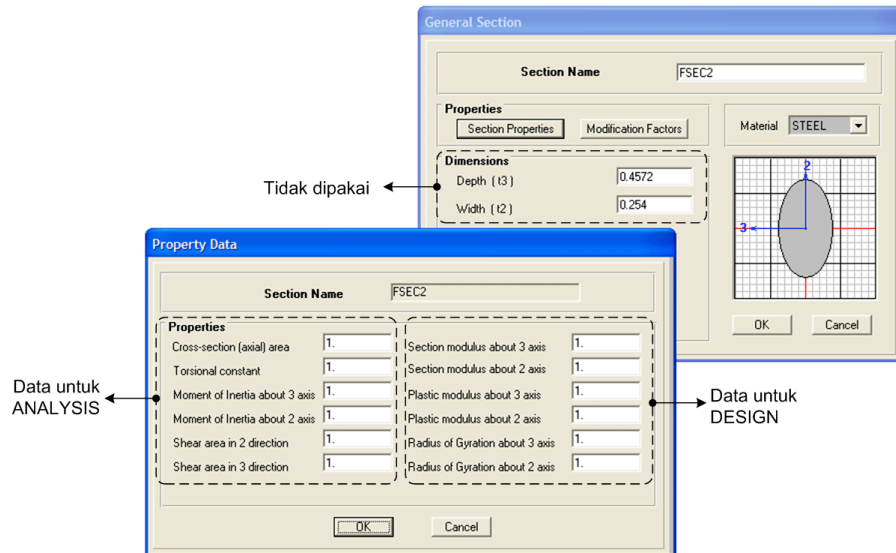
Selanjutnya data *Section properties* dapat diaplikasikan pada *element Frame* dengan dua cara yang hasilnya mempengaruhi proses perhitungan, yaitu:

- Prismatic - jika batang hanya mempunyai satu type penampang.
- Non-prismatic - jika batang mempunyai lebih dari satu type penampang di mana transisi antara type penampang yang berbeda tersebut dapat bervariasi secara linier, parabolik, atau kubik.

Penampang non-prismatik didefinisikan berdasarkan data-data penampang yang sudah ada. Oleh karena itu sebelum dapat mendefinisikan penampang non-prismatik, minimal harus sudah ada definisi dari dua penampang Prismatik yang telah dibuat.

Properti Geometri dan Kekakuan Penampang

Dari data penampang yang akan digunakan, diperlukan 6 (enam) properti geometri dasar yang bersama-sama dengan data material properti akan menghasilkan kekakuan element.



Gambar 22. Data Type General Section

Keenam properti geometri tersebut terlihat pada kotak dialog Property Data, yaitu yang diberi keterangan Data untuk ANALYSIS sebagai berikut.

- **Cross-section (axial) area**, A , adalah pendukung untuk menghasilkan kekakuan aksial batang, yaitu AE/L .
- **Moment of Inertia about 3 axis**, I_{33} , adalah moment inersia terhadap sumbu 3 untuk lentur pada bidang 1-2. Sedangkan **Moment of Inertia about 2 axis**, I_{22} , adalah moment inersia terhadap sumbu 2 untuk lentur pada bidang 1-3. Kekakuan lentur yang dihasilkan adalah EI_{33}/L dan EI_{22}/L .
- **Konstanta torsi**, K . Kekakuan torsi suatu penampang diperoleh dari GK/L . Perlu dicatat, bahwa konstanta torsi tidak sama dengan momen inersia polar kecuali penampang bulat. Lihat Roark and Young (1975) atau Cook and Young (1985) untuk informasi lebih lanjut.
- **Luasan geser**, A_{v2} dan A_{v3} , untuk geser transversal berturut-turut dalam bidang 1-2 dan 1-3.

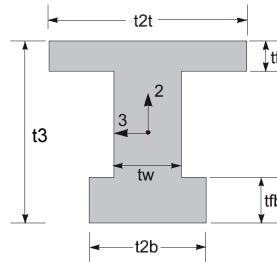
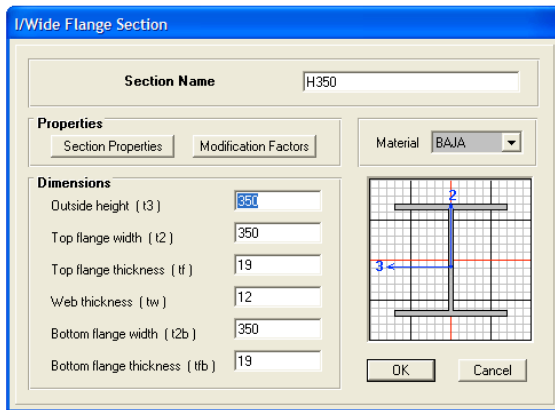
Mengubah parameter A , K , I_{33} , atau I_{22} ke angka nol menyebabkan kekakuan penampang yang berkaitan dengan parameter tersebut menjadi tidak ada. Contoh, element truss dapat dimodelkan dengan menetapkan parameter $K = I_{33} = I_{22} = 0$, sedangkan planar frame (portal bidang) di mana element batangnya berorientasi pada bidang 1-2 dapat dimodelkan dengan mengubah setting $K = I_{22} = 0$.

Menetapkan nilai A_{v2} atau A_{v3} ke angka nol menyebabkan deformasi geser arah transversal diabaikan. Kekakuan geser transversal akan diabaikan jika kekakuan lenturnya nol.

Perhitungan Otomatis Properti Penampang

Properti geometri penampang dapat secara otomatis dihitung program berdasarkan bentuk-bentuk geometri tertentu yang tersedia dan ukuran yang diberikan. Perhatikan bahwa tinggi penampang, t_3 sejajar dengan sumbu-2 lokal dan menghasilkan kekakuan lentur sumbu-3, yaitu I_{33} . Perhitungan geometri otomatis yang tersedia adalah:

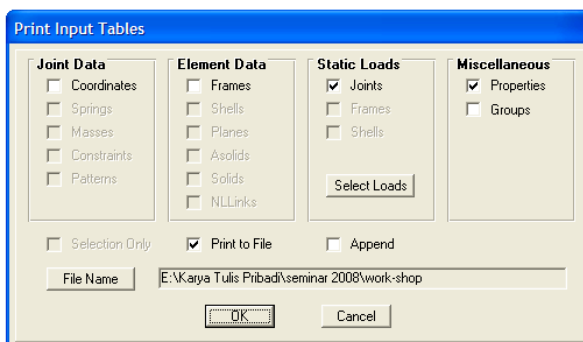
Penampang I-WF: SH=I T= t_3 , t_{2t} , t_{ft} , t_w , t_{2b} , t_{fb}



Catatan: kode SH = ... T = ... hanya untuk identifikasi input data dalam bentuk file teks (file *.s2k). Sedangkan dalam modus grafis, kode tersebut tidak diperlukan.

18. Check Input Data

Pada tahap ini input data telah secara lengkap diberikan, mulai dari geometri model, material, penampang, beban, juga kombinasi beban yang diperlukan. Selanjutnya tinggal klik tombol RUN untuk melihat hasilnya. Meskipun demikian, sebelum RUN terlebih dahulu di check “apa-apa saja yang telah berhasil dibaca oleh program”, yaitu melalui menu **File – Print Input Tables** (Ctrl+I).



Lihat, **Joint Data** dan **Element Data** tidak diaktifkan (tidak perlu dicetak), karena lebih mudah mengevaluasi berdasarkan tampilan visualnya, meskipun ini relatif.

Pastikan klik tombol File Name untuk mendefinisikan nama file yang berisi tabel input ini.

Selanjutnya memakai fasilitas Display Input/Output Text File lalu pilih nama file dengan extension yang tepat. Dalam hal ini mestinya nama filenya adalah *jembatan.txt*.

Contoh hasil bacaan file input adalah :

```
SAP2000 v7.40 File: JEBATAN          KN-m Units  PAGE 1
1/23/08 22:19:24

S T A T I C   L O A D   C A S E S

      STATIC      CASE      SELF WT
      CASE        TYPE      FACTOR
      DL          DEAD      0.0000
      LL          LIVE      0.0000
```

M A T E R I A L P R O P E R T Y D A T A

MAT LABEL	MODULUS OF ELASTICITY	POISSON'S RATIO	THERMAL COEFF	WEIGHT PER UNIT VOL	MASS PER UNIT VOL
STEEL	199947979	0.300	1.170E-05	76.820	7.827
CONC	24821128.4	0.200	9.900E-06	23.562	2.401
OTHER	24821128.4	0.200	9.900E-06	23.562	2.401
BAJA	200000000	0.300	1.170E-05	0.000	0.000

M A T E R I A L D E S I G N D A T A

MAT LABEL	DESIGN CODE	STEEL FY	CONCRETE FC	REBAR FY	CONCRETE FCS	REBAR FYS
STEEL	S 248211.284					
CONC	C		27579.032	413685.473	27579.032	275790.316
OTHER	N					
BAJA	S 240000.000					

F R A M E S E C T I O N P R O P E R T Y D A T A

SECTION LABEL	MAT LABEL	SECTION TYPE	DEPTH	FLANGE WIDTH	FLANGE THICK TOP	WEB THICK	FLANGE WIDTH BOTTOM	FLANGE THICK BOTTOM
FSEC1	STEEL		0.500	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000
H350	BAJA		0.350	0.350	1.900E-02	1.200E-02	0.350	1.900E-02

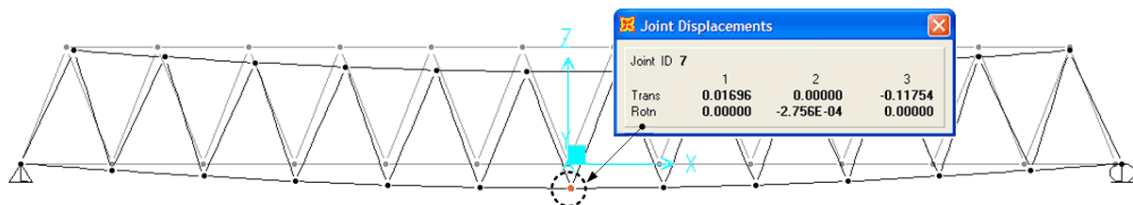
F R A M E S E C T I O N P R O P E R T Y D A T A

SECTION LABEL	AREA	TORSIONAL INERTIA	MOMENTS OF INERTIA I33	MOMENTS OF INERTIA I22	SHEAR AREAS A2	SHEAR AREAS A3
FSEC1	0.150	2.817E-03	3.125E-03	1.125E-03	0.125	0.125
H350	1.704E-02	1.721E-06	3.951E-04	1.358E-04	4.200E-03	1.108E-02

dst ... (sengaja dipotong)

19. Hasil Analisa Struktur Lengkap

Setelah kelengkapan data selesai di check, tentunya sekarang lendutan struktur sudah bisa diakses, juga kombinasi bebannya.



Gambar 23. Deformed Shape BEBAN 2 – Tahap IV (Final)

20. Evaluasi Hasil Analisis yang Dikerjakan

Masalah yang dibahas relatif sederhana, tapi karena setiap langkah dibahas detail, juga kemungkinan kesalahan yang dapat terjadi, maka ada empat (4) keluaran komputer. Berdasarkan penomoran model struktur jembatan yang dianalisis (Gambar 19), akan ditinjau masing-masing analisis untuk kasus beban DL pada elemen #18 dan joint #7 .

Tahap	Element #18							Joint #7		Note
	P	%	V2	V3	T	M2	M3	Δ (m)	%	
1	-5266.54	368.5%	-28.76	0.00	0.00	0.00	13.59	0.02413	41.9%	Opsi berat sendiri aktif
2	-1425.27	99.7%	0.00	0.00	0.00	0.00	10.13	0.00651	11.3%	Point Load & space-frame
3	-1429.21	100.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00655	11.4%	Opsi release (truss 2D)
4	-1429.21	100.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05763	100.0%	Material & penampang

Opsi otomatis program dalam memberikan parameter '*material, properti penampang dan berat sendiri elemen batang*' jika tidak disadari dapat menjadi sumber kesalahan. Hasil analisis tentang lendutan hanya *valid* jika input data 'telah lengkap'.

2.2 Post-processing Program - Desain Struktur

2.2.1 Analysis and Design

Tujuan umum program analisa struktur berbasis komputer adalah mempelajari perilaku struktur yang dibebani berdasarkan gaya-gaya internal batang, lendutan titik nodal dan reaksi titik tumpuan struktur tersebut. Tahapan selesai jika hasilnya dapat digunakan untuk menginterpretasikan struktur real yang dibahas. Ini tidak mudah, karena tidak ada jaminan langsung bahwa program komputer yang dijual dapat memberikan sesuai yang diperlukan, semuanya tergantung dan tanggung jawab *engineer* yang memakainya. Memang, semakin canggih teknologi, maka *engineer* akan mendapat kemudahan dalam melaksanakannya, tentunya hal itu sangat membantu, tetapi tidak mutlak.

Meskipun analisis struktur mempunyai keterbatasan, tetapi ketika digabung dengan hasil riset empiris yang telah disepakati bersama dalam bentuk *code* (peraturan perencanaan) yang berkekuatan hukum, akhirnya dapat dibuat strategi design komponen struktur untuk menghasilkan konstruksi bangunan yang kuat dan nyaman. Itu semua sudah terbukti !

Jadi disimpulkan bahwa '**analisa struktur**' dan '**design struktur**' adalah **dua hal yang tidak harus terkait langsung**, bahkan sebenarnya hal yang berbeda yang **berdiri sendiri**. *Engineer* bertanggung jawab sepenuhnya untuk mendapatkan keterkaitan antara keduanya apalagi jika digunakan *tool* yang sama yang memang menyediakan kedua opsi tersebut, seperti yang terdapat pada program SAP2000.

2.2.2 Design-Code pada Program SAP2000 ver 7.40

Prosedur perancangan struktur baja dapat dipilih dari beberapa *design-code* internasional yang baku, seperti:

1. AISC – “ASD Specification for Structural Steel Buildings”, 1989.
2. AISC – “LRFD Specification for Structural Steel Buildings”, 1994.
3. AASHTO – “LRFD Bridge Design Specifications”, 1997.
4. Canadian Institute of Steel Construction's, “Limit States Design of Steel Structures”, CAN/CSA-S16.1-94, 1995.
5. BS Institution's, “Structural Use of Steelwork in Building”, BS 5950, 1990.
6. European Committee for Standardization's, “Eurocode 3: Design of Steel Structures Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings”, ENV 1993-1-1 (CEN 1992).

Meskipun perencanaan jembatan sebaiknya mengacu AASHTO Code, tapi workshop ini memakai AISC Code agar dapat dibandingkan dengan peraturan baja Indonesia terbaru, yaitu SNI 03-1729-2000. Jadi AISC Code yang akan dipakai di SAP2000 adalah LRFD.

2.2.3 Desain Batang #6 (tarik) dan #18 (tekan) Cara LRFD - Manual

Profil H350, L=4.992 m, mutu BJ37, memikul beban aksial (berat sendiri diabaikan). Akan di-check apakah penampang telah memenuhi persyaratan perencanaan dari AISC atau SNI.

Jawab:

1. Dari hasil analisa struktur sebelumnya, yaitu kombinasi BEBAN3 = 1.2DL + 1.6 LL dapat diketahui beban rencana terfaktor untuk mengevaluasi batang #6 dan #18.

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS								
COMBO	TYPE	CASE	FACTOR	TYPE	TITLE			
BEBAN3	ADD				1.2DL + 1.6 LL			
		DL	1.2000	STATIC (DEAD)				
		LL	1.6000	STATIC (LIVE)				
FRAME	ELEMENT	FORCES						
FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
6	BEBAN3							
		0.00	4035.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	4035.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	4035.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	4035.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	4035.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

sengaja dihapus . . .

18	BEBAN3							
		0.00	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.25	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2.50	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.74	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.99	-4092.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

dst ... (sengaja dipotong)

2. Properti penampang H350 dengan sambungan dianggap **sendi-sendiri**.

Label	Dimension (mm)					A cm ²	Mass per meter (kg/m)	Momen of Inertia cm ⁴		Radius of Gyration cm		Section Modulus cm ³	
	H	B	t _w	t _f	r			axis x-x	axis y-y	axis x-x	axis y-y	axis x-x	axis y-y
H-350	350	350	12	19	11	170.44	134	39506	13581	15.22	8.93	2256	194

$$E = 200\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 80\,000 \text{ MPa}$$

$$BJ\ 37 \rightarrow f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa}$$

3. **KUAT TEKAN** nominal Profil H berdasarkan **AISC LRFD** dapat dicari sbb :

$$\frac{B/2}{t_f} \leq 0.56 \sqrt{E/F_y} \rightarrow \left(\frac{350/2}{19} = 9.21 \right) \leq \left(0.56 \sqrt{200000/240} = 16.17 \right)$$

$$\frac{H}{t_w} \leq 1.49 \sqrt{E/F_y} \rightarrow \left(\frac{350}{12} = 29.17 \right) \leq \left(1.49 \sqrt{200000/240} = 43 \right)$$

Jadi profil H dapat digolongkan sebagai profil tidak-langsing $\rightarrow$ ok

Pakai Code 1999

$$r = r_{\min} = r_y = 89.3 \text{ mm hingga } \lambda_c = \frac{kL}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1 \cdot 4992}{89.3} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0.616 < 1.5$$

$$\text{Untuk } \lambda_c \leq 1.5 \text{ maka } F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 0.658^{0.616^2} * 240 = 204.7 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 204.7 * 17044 / 1000 = 3489 \text{ kN} \rightarrow \phi P_n = 0.85 * 3489 = 2966 \text{ kN}$$

Pakai Code 2005

$$\left(\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{1 \cdot 4992}{89.3} = 55.9 \right) < \left(4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135.97 \right) \text{ jadi } F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r_{\min}} \right)^2} = 631.7 \text{ MPa}$$

$$\text{Jadi } F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0.658^{\frac{240}{631.7}} * 240 = 204.7 \text{ Mpa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 204.7 * 17044 / 1000 = 3489 \text{ kN} \rightarrow \phi P_n = 0.9 * 3489 = 3140 \text{ kN}$$

4. **KUAT TEKAN** nominal Profil H berdasarkan **SNI 03 – 1729 – 2000** dapat dicari sbb :

$$r = r_{\min} = r_y = 89.3 \text{ mm jadi } \lambda_c = \frac{kL}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1 * 4992}{89.3} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0.616$$

$$\text{Untuk } 0.25 < \lambda_c < 1.2 \text{ maka } \omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 * 0.616} = 1.204$$

$$P_n = A_g \frac{F_y}{\omega} = 17044 \frac{240}{1.204 * 1000} = 3396 \text{ kN} \rightarrow \phi P_n = 0.85 * 3396 = 2887 \text{ kN}$$

5. **KUAT TARIK** nominal Profil H berdasarkan **AISC LRFD** dan **SNI 03 – 1729 – 2000** adalah tidak berbeda sehingga dapat dicari sekaligus sbb :

Kuat rencana dari batang tarik, $\phi_t P_n$, ditetapkan dari nilai terkecil dari :

- a. Pelelehan pada penampang utuh, $\phi_t = 0.90$

$$P_n = F_y A_g \rightarrow \phi P_n = 0.9 * 240 * 17044 / 1000 = 3681 \text{ kN (** govern **)}$$

- b. Fraktur pada penampang bersih efektif, $\phi_t = 0.75$

$$P_n = F_u A_e \rightarrow \phi P_n = 0.75 * 370 * 17044 * 0.85 / 1000 = 4020 \text{ kN}$$

6. **Evaluasi Kekuatan batang #6 (tarik) dan #18 (tekan)**

Load and Resistance Factor Design (LRFD) adalah metode perencanaan struktur sedemikian sehingga pada saat dibebani dengan berbagai kombinasi beban terfaktor yang direncanakan, maka kondisi batasnya tidak dilampaui. Kondisi batas (*limit state*) adalah suatu kondisi di mana struktur atau komponen struktur yang ada menjadi tidak *fit* (kondisi yang menyebabkan ketidaknyamanan / kerusakan atau bahkan keruntuhan). Untuk setiap kondisi batas, sistem struktur harus memenuhi $R_u \leq \phi R_n$.

SAP2000 mengevaluasi berdasarkan konsep Capacity Ratio (CR) yaitu $CR = R_u / \phi R_n$ jika $CR > 1.0$ berarti melampaui kondisi batas perencanaan atau penampang tidak OK.

Evaluasi Elemen #6 sebagai Batang Tarik

Design-Code	P_u (kN)	ϕP_n (kN)	CR	Note
AISC 1999	4035	3681	1.096	Not OK
AISC 2005				
SNI 2002				

Evaluasi Elemen #18 sebagai Batang Tekan

Design-Code	P_u (kN)	P_n (kN)	ϕ	ϕP_n	CR	Note
AISC 1999	4092	3489	0.85	2966	1.380	Not OK
AISC 2005		3489	0.90	3140	1.303	
SNI 2002		3396	0.85	2887	1.417	

Dari hasil design berdasarkan cara manual diketahui bahwa profil H350 untuk batang #6 dan #18, tidak memenuhi syarat perencanaan LRFD. Perlu dicoba profil yang lebih besar. Untuk elemen yang lain kemungkinan masih memenuhi persyaratan.

2.2.4 Desain Batang Otomatis LRFD (Komputer)

Agar elemen struktur yang dianalisis dapat dilanjutkan ke proses DESIGN, maka datanya harus disiapkan terlebih dahulu. Pertama kali adalah Material Property Data, khususnya opsi **Type of Design** yang harus dipilih, yaitu **Steel** atau **Concrete**. Jika dipilih **Other**, berarti elemen struktur yang memakai material tersebut akan diabaikan dalam DESIGN. Ketersediaan opsi ini tergantung versi yang digunakan, yang terbaru yaitu versi 10 bahkan telah mempunyai opsi DESIGN untuk *aluminum*, *coldformed* dan *rebar*.

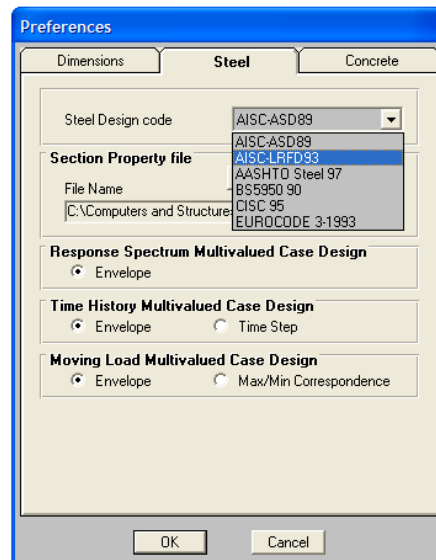
Gambar 24. Material yang didefinisikan Khusus untuk DESIGN (Steel) pada SAP2000 ver 7.4

Perhatikan Gambar 24, khususnya pada bagian Design Property Data, disana terlihat jelas bahwa data yang digunakan dalam DESIGN hanyalah **tegangan leleh (F_y)** padahal diketahui bahwa dalam memperhitungkan batang tarik ada **tegangan ultimate (F_u)**, untuk memperhitungkan kondisi fraktur akibat adanya sambungan. Jika demikian halnya maka jelaslah bahwa Design yang dikerjakan oleh program tersebut tidak menjangkau hal-hal yang dimaksud (terbatas). Keterbatasan dalam DESIGN seperti di atas sebenarnya tidak ada masalah jika *engineer* yang memakai program tersebut telah mengetahuinya, toh dari hitungan manual dapat diketahui bahwa batasan fraktur akibat sambungan tidak dominan.

Gambar 25. Penampang yang dapat ditindak-lanjuti dengan DESIGN

Material yang telah didefinisikan untuk DESIGN selanjutnya digunakan pada data elemen penampang. Jika tidak didefinisikan sesuai tipe DESIGN yang ada maka profil dibiarkan tidak diproses. Meskipun pada analisa struktur, program dapat memproses berbagai bentuk penampang, tetapi dalam DESIGN hanya pada bentuk penampang tertentu hasilnya valid, contoh, profil H akan didesain dengan lebih akurat dibanding profil L.

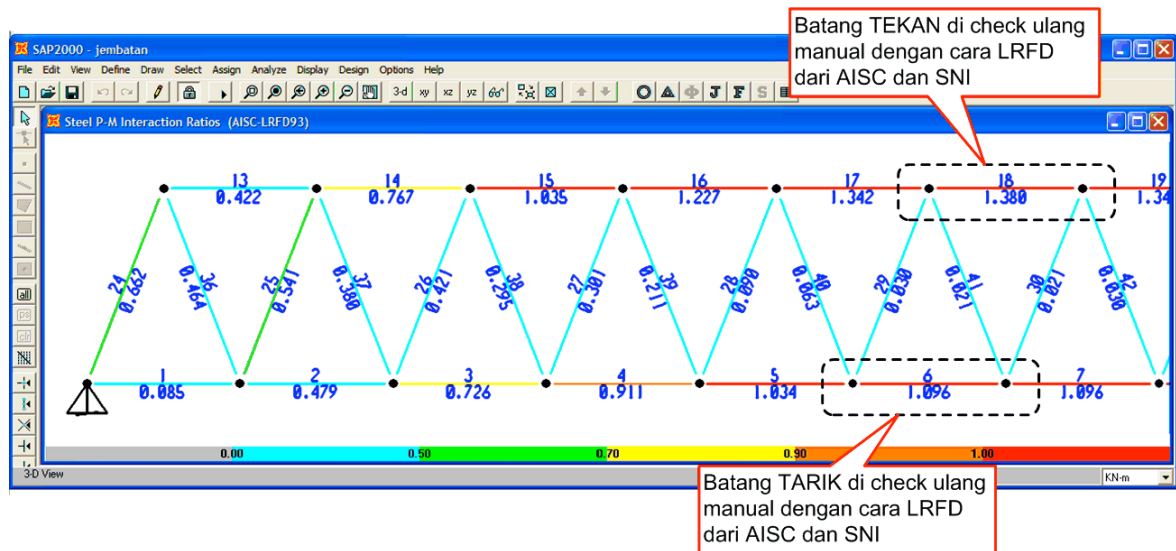
Sebelum melangkah lebih lanjut maka perlu memilih terlebih dahulu Design-Code yang digunakan. Caranya melalui menu **Option – Preferences** sehingga akan ditampilkan menu **Preferences** berikut. Di sana ada tiga pilihan untuk menentukan hal-hal yang perlu untuk proses selanjutnya, termasuk juga proses DESIGN.



Gambar 26. Pilihan STEEL DESIGN CODE pada Program SAP2000 ver 7.40

Berbagai pilihan perencanaan dapat diakses melalui menu DESIGN, mulailah terlebih dulu dengan **Select Design Combo (Ctrl+F6)** untuk memilih kombinasi beban perencanaan. Dalam kasus ini perlu, karena akan dipakai kombinasi beban tersendiri, yaitu **BEBAN3**. Jika tidak didefinisikan, maka otomatis akan memakai kombinasi beban *default* design yaitu DSTL1 dan DSTL2.

Jika semua selesai didefinisikan, maka proses DESIGN dapat dimulai dengan mengakses menu **Design – Start Design/Check of Structure (Ctrl+F5)**. Jika tidak ada masalah maka program akan langsung menampilkan hasilnya dalam bentuk Capacity Ratio (CR). Jika nilai $CR > 1.0$ maka hal tersebut menunjukkan bahwa profil yang dipakai pada model struktur tersebut adalah tidak cukup kuat dan harus diganti yang lain.



Gambar 27. Visual Hasil DESIGN : CR tiap-tiap Penampang

Pada Gambar 27 ditampilkan penomoran dan CR (*capacity ratio*) untuk masing-masing elemen batang struktur. Jika $CR > 1$ berarti profil baja pada elemen tersebut mengalami *over-stress* sehingga perlu diperbesar (diganti profil yang lain).

Jika kursor diarahkan pada elemen batang dan pada saat yang sama tombol mouse kanan di klik, maka dapat ditampilkan secara lebih detail hasil design batang tersebut.

Steel Stress Check Information

Frame ID: **6**
Section ID: **H350**

COMBO ID	STATION	LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK = AXL + B-MAJ + B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
BEBA3	0.00		1.096 (T)	= 1.096 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	1.25		1.096 (T)	= 1.096 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	2.50		1.096 (T)	= 1.096 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	3.74		1.096 (T)	= 1.096 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	4.99		1.096 (T)	= 1.096 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000

Steel Stress Check Information

Frame ID: **18**
Section ID: **H350**

COMBO ID	STATION	LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK = AXL + B-MAJ + B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
BEBA3	0.00		1.380 (C)	= 1.380 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	1.25		1.380 (C)	= 1.380 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	2.50		1.380 (C)	= 1.380 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	3.74		1.380 (C)	= 1.380 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000
BEBA3	4.99		1.380 (C)	= 1.380 + 0.000 + 0.000	0.000	0.000

Detail Design Elemen #6

Detail Design Elemen #6

Gambar 28. Detail Hasil Design per Elemen

Tombol **Details** pada menu diatas adalah seperti namanya yaitu akan memberikan detail perencanaan yang dikerjakan program. Bandingkan hasilnya dengan perhitungan manual yang telah dikerjakan. Dengan tombol **ReDesign** dapat dilakukan manipulasi parameter-parameter untuk design, karena bagaimanapun tidak semua nilai dari parameter tersebut dapat diambil berdasarkan nilai yang telah ditetapkan dari proses analisis sebelumnya.

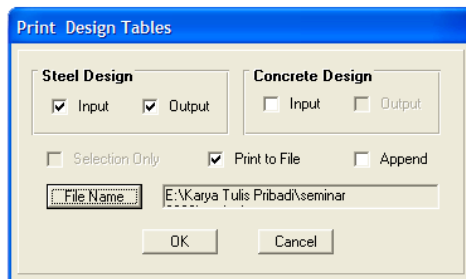
Program SAP2000 pada dasarnya adalah program 3D, jika pada saat analisis sebelumnya tidak ada modifikasi khusus yang dilakukan pada program padahal model struktur yang dianalisis adalah 2D (bidang). Hal tersebut dikarenakan, program dapat secara otomatis menetapkan *restraint* yang diperlukan agar dapat melakukan analisis sebagai struktur 2D. Fasilitas tersebut tentu sangat membantu pemakai untuk secara mudah mengoperasikan program SAP2000, bahkan kadang-kadang tidak disadari dengan benar oleh pemakainya.

Kenyataannya dalam proses DESIGN, kemampuan otomatis tersebut tidak sepenuhnya berlaku, penulis menemukan bahwa ada keluaran hasil design yang ganjil. Sepintas lalu memang tidak mempengaruhi keluaran secara keseluruhan, karena CR yang ditampilkan masih sama dengan hitungan cara manual. Hal ganjil yang dimaksud adalah pernyataan

bahwa elemen tarik yang ada tidak memenuhi syarat kelangsingan. Jadi jika menemukan dan tidak berhasil mengetahui penyebabnya maka ada baiknya mengikuti petunjuk berikut.

Sebelum melakukan proses design untuk struktur 2D maka sebaiknya SAP2000 diminta secara sengaja untuk memproses sebagai struktur bidang saja, caranya adalah melalui menu **Analyze – Set Options** sampai dapat ditampilkan menu **Analysis Options**. Kemudian pada menu **Fast DOFs** klik tombol **Plane Frame** atau **XZ Plane**.

Untuk menampilkan hasilnya dalam bentuk file agar dapat dicetak, maka dapat digunakan menu **File – Print Design Tables** atau **Ctrl+D** sehingga dapat ditampilkan menu berikut.



Program juga dapat menyediakan fasilitas untuk menampilkan file dalam bentuk teks, yaitu melalui menu **File – Display Input/Output Text Files**.

Catatan :

teks file adalah file dengan ekstension ***.txt** yang umumnya dapat dibuka dengan teks editor seperti **Notepad.exe** dan sebagainya.

```
SAP2000 v7.40 File: JEMBATAN      KN-m Units  PAGE 1
1/24/08 19:14:59

M A T E R I A L   P R O P E R T Y   D A T A
MAT  MODULUS OF POISSON'S THERMAL WEIGHT PER MASS PER
LABEL ELASTICITY RATIO COEFF UNIT VOL UNIT VOL
BAJA  2000000000  0.300 1.170E-05 0.000 0.000

M A T E R I A L   D E S I G N   D A T A
MAT  DESIGN STEEL CONCRETE REBAR REBAR
LABEL CODE FY FC FY FCS FYS
BAJA  S 240000.000

F R A M E   S E C T I O N   P R O P E R T Y   D A T A
SECTION MAT SECTION DEPTH FLANGE FLANGE WEB FLANGE FLANGE
LABEL LABEL TYPE WIDTH THICK THICK WIDTH THICK
H350 BAJA 0.350 0.350 1.900E-02 1.200E-02 0.350 1.900E-02

F R A M E   S E C T I O N   P R O P E R T Y   D A T A
SECTION AREA TORSIONAL MOMENTS OF INERTIA SHEAR AREAS
LABEL INERTIA I33 I22 A2 A3
H350 1.704E-02 1.721E-06 3.951E-04 1.358E-04 4.200E-03 1.108E-02

F R A M E   S E C T I O N   P R O P E R T Y   D A T A
SECTION SECTION MODULII PLASTIC MODULII RADII OF GYRATION
LABEL S33 S22 Z33 Z22 R33 R22
H350 2.257E-03 7.761E-04 2.493E-03 1.175E-03 0.152 8.927E-02

L O A D   C O M B I N A T I O N   M U L T I P L I E R S
COMBO TYPE CASE FACTOR TYPE TITLE
BEBAN3 ADD DL 1.2000 STATIC (DEAD) 1.2DL + 1.6 LL
LL 1.6000 STATIC (LIVE)

C O D E   P R E F E R E N C E S
Code: AISC-LRFD93
Phi_bending : 0.9
Phi_tension : 0.9
Phi_compression : 0.85
Phi_shear : 0.9

S T E E L   S T R E S S   C H E C K   E L E M E N T   I N F O R M A T I O N (AISC-LRFD93)
FRAME SECTION FRAMING LLRF L_ratio L_ratio K K
ID ID TYPE FACTOR MAJOR MINOR MAJOR MINOR
1 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000
2 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000
3 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000
4 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000
5 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000
6 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000
7 H350 MOMENT 1.000 1.000 12.000 1.000 1.000

dihapus ...

17 H350 MOMENT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
18 H350 MOMENT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
19 H350 MOMENT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
20 H350 MOMENT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000

dihapus ...

S T E E L   S T R E S S   C H E C K   O U T P U T (AISC-LRFD93)
FRAME SECTION /-----MOMENT INTERACTION CHECK-----//----SHEAR22---//----SHEAR33---/

```

	ID	ID	COMBO	RATIO	=	AXL	+	B33	+	B22	COMBO	RATIO	COMBO	RATIO	
	1	H350									BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000	
	2	H350	BEBAN3	(T)	0.085	=	0.085	+	0.000	+	0.000	BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000
	3	H350	BEBAN3	(T)	0.479	=	0.479	+	0.000	+	0.000	BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000
	4	H350	BEBAN3	(T)	0.726	=	0.726	+	0.000	+	0.000	BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000
	5	H350	BEBAN3	(T)	0.911	=	0.911	+	0.000	+	0.000	BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000
			BEBAN3	(T)	1.034	=	1.034	+	0.000	+	0.000				
	6	H350									BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000	
			BEBAN3	(T)	1.096	=	1.096	+	0.000	+	0.000				

dihapus . . .

18	H350	BEBAN3	(C)	1.380	=	1.380	+	0.000	+	0.000	BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000
19	H350	BEBAN3	(C)	1.342	=	1.342	+	0.000	+	0.000	BEBAN3	0.000	BEBAN3	0.000

dst ... dihapus !

Note : Output dalam BOX adalah elemen batang yang juga didesign secara manual untuk dapat diperbandingkan antara keduanya !

2.2.5 Kesimpulan dan Pembahasan Steel Design pada SAP2000 ver 7.40

Dari hal-hal yang telah dibahas, perhitungan manual sampai perbandingan dengan program SAP2000, maka diketahui bahwa algoritma program mengacu pada AISC LRFD 1999. Code tersebut mirip dengan peraturan SNI yang baru. Jadi untuk keperluan praktis, dengan sedikit modifikasi, maka program SAP2000 dapat dipakai untuk perencanaan struktur baja memakai profil H sesuai SNI. Itu semua menunjukkan bahwa pemahaman tentang CODE penting untuk mengevaluasi hasil analisis dan design yang dikerjakan.

Input data yang dipakai pada analisis dan design tidak mesti sama, bahkan kadang kala ada input data design yang perlu tetapi tidak ada pada program tersebut, contohnya adalah data F_u (tegangan ultimate) untuk menghitung kapasitas nominal tarik cara LRFD. Jadi dalam hal ini, pemakai harus menyadari bahwa kadang kala tidak semua ketentuan perencanaan telah dimasukkan dalam algoritma pemrograman.

Kecuali input data, bahkan strategi analisis yang sebelumnya sukses digunakan pada proses analisis belum tentu memberikan hasil yang sama pada proses design. Meskipun program sama, tetapi sebenarnya algoritma penyelesaian analisis berbeda dengan algoritma design.

Sebelum memakai untuk kasus real, sebaiknya *engineer* mengetahui karakter dari tiap-tiap program yang akan dipakainya. Caranya, gunakan pada kasus yang sudah ada penyelesaian lain sebelumnya sehingga dapat dibandingkan satu dengan yang lainnya.

3. Penutup

Materi yang disampaikan pada workshop ini, relatif sederhana. Program yang dipakai juga hanya versi *student* dari program SAP2000 ver 7.40. Meskipun demikian tidaklah dapat diremehkan karena dapat ditunjukkan bahwa untuk memahami secara tuntas masalah yang dibahas memerlukan kompetensi bidang rekayasa peserta.

Pada prinsipnya memang ingin dikatakan bahwa untuk dapat memakai program rekayasa secara benar maka kompetensi pemakai pada pemahaman masalah adalah sangat perlu sekali. Karena masalah yang dibahas adalah bidang rekayasa maka yang dapat memakai dengan benar tentunya hanya para *engineer* saja. Tetapi perlu diingatkan, bahwa lulusan S1 yang bergelar *sarjana teknik* tidak dapat secara otomatis menyebut dirinya *engineer*.

Bagaimanapun program SAP2000 maupun program rekayasa lain yang sejenis, hanyalah sekedar *tool*, kesuksesan hasil akhirnya ditentukan oleh manusia dibelakangnya.

*Beauty of style and harmony and grace and good rhythm
depend on Simplicity*

U Plato

4. Daftar Pustaka

- AASHTO, *LRFD Bridge Design Specification - SI Units 3rd Ed*, USA, 2005
- CSI, *INTRODUCTORY TUTORIAL : SAP2000 Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, USA, 2005
- Dewobroto, W., *Ilmu Rekayasa Klasik Sarana Menguasai Program Aplikasi Rekayasa*, **Invited Speaker** pada Seminar dan Pameran Buku Konstruksi 2006, Dept. PU, Kebayoran Baru, Jakarta, 2006
- Dewobroto, W., *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000 – Edisi Baru*, Elex Media, Jakarta, 2007
- Dewobroto, W., *Pentingnya Penguasaan Aplikasi Komputer Rekayasa bagi Sarjana Teknik Sipil, Sekarang dan Masa Depan*, **Invited speaker** pada Seminar dan Pelatihan SAP2000, Unisma Bekasi, 2007
- Dewobroto, W., *Seminar pada Workshop SAP2000*, **Host speaker** di Civil Engineering Week Event, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan, 20 Feb. 2008, Kampus UPH, Lippo Karawaci, 2008
- McMillan Britton & Kell, *Prefabricated Steel Bridging for Indonesia*, Transfield, Australia

5. Tentang Pemakalah

Wiryanto Dewobroto sejak tahun 1998 adalah dosen tetap Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan.. Sebelumnya, mulai 1989 berpengalaman profesional di dunia konstruksi sebagai *structural engineer* di PT. Wiratman & Associates, PT. BMP (sekarang Meinhardt Indonesia), PT. Pandawa Swasatya Putra, dan telah terlibat perencanaan dalam proyek-proyek *high-rise building*, *industrial* (gudang sampai silo) dan konstruksi jembatan beton prategang. Latar belakang pendidikannya adalah sarjana teknik di UGM (1989) dan magister teknik di UI (1998). Saat ini sedang menyelesaikan disertasi doctoral di Unika PARAHYANGAN, Bandung, dengan promotor **Prof. Ir. Moh. Sahari Besari, Ph.D.** dan ko-promotor **Dr. Ir. Paulus Kartawijaya**. Disertasinya adalah menemukan sistem baru meningkatkan kinerja sambungan baut pada baja *cold-formed*, melalui simulasi numerik berbasis komputer. Saat makalah ditulis, sedang dilakukan tahapan eksperimental di laboratorium rekayasa ITB untuk mengkalibrasi hasil simulasi numerik tersebut.

Selain mengajar, menulis adalah *hobby*-nya. Saat ini sudah ada beberapa buku dan puluhan makalah ilmiah yang dipublikasikan. Blog-nya "**The works of Wiryanto Dewobroto**" selalu rutin diisi dengan tulisan tentang opini, pemikiran dan kegiatan sehari-hari, selaku pendidik, *engineer*, kandidat doktor, penulis, *programmer* maupun sebagai awam biasa. Blog tersebut dapat diakses dengan fasilitas internet di alamat berikut :

<http://wiryanto.wordpress.com>



"The works of Wiryanto Dewobroto" is
ranked
222 of 5451 blogs registered at
<http://blog-indonesia.com/popular.php>