

Masih perlukah mempelajari Mekanika Teknik Klasik dalam Era Serba Komputer ?

Wiryanto Dewobroto

wir@centrin.net.id

Jurusan Teknik Sipil - Universitas Pelita Harapan
Lippo Karawaci - Banten

Abstrak

Mata kuliah Mekanika Teknik adalah salah satu mata kuliah wajib pendidikan S1 Teknik Sipil. Sebagian besar materi yang diberikan adalah metoda klasik dengan penyelesaian manual, metode matrik yang berbasis komputer juga diberikan tetapi umumnya terbatas pada masalah-masalah yang relatif sederhana yang dapat juga diselesaikan dengan cara manual.

Sisi lain melihat perkembangan di dunia industri konstruksi yang nyata, ketersediaan program komputer untuk analisa struktur semakin canggih dan relatif semakin mudah digunakan. Menu pengoperasiannya sangat user-friendly seperti sistem operasi Windows yang umum dipakai. Untuk mendapatkannya pun sekarang ini juga relatif mudah, dari yang termahal sampai termurah ditawarkan, bahkan ada yang tersedia gratis di internet untuk dapat di down-load. Sehingga dalam prakteknya, khususnya di perusahaan konsultan perencanaan penggunaan program komputer untuk analisa struktur adalah mutlak. Akibatnya metoda-metoda klasik tertentu yang diajarkan di tingkat S1 tidak perlu digunakan dan bahkan sampai terlupakan.

Melihat fenomena tersebut, masih perlukah mempelajari mekanika teknik klasik dalam era serba komputer seperti saat ini ?

Tulisan ini mencoba mengungkapkan salah satu pengalaman dalam pembelajaran mekanika teknik klasik yang ternyata membantu mengidentifikasi suatu kesalahan dari hasil program komputer yang sebelumnya dianggap selalu reliable.

*Penulis menyimpulkan bahwa metoda mekanika teknik klasik merupakan salah satu cara yang relatif sederhana dan efektif untuk mengajarkan dasar-dasar mekanika teknik dan untuk melatih intuisi rekayasa atau **engineering judgement** yang diperlukan untuk mengevaluasi hasil dari program komputer canggih. Semakin canggih suatu program maka semakin kompleks pemahaman yang diperlukan untuk mengetahui apakah hasilnya betul atau salah.*

Kata kunci : mekanika teknik, *engineering judgement*, mekanika klasik / berbasis komputer.

1 Pendahuluan

Mata Kuliah Analisa Struktur yang sebelumnya bernama Mekanika Rekayasa dan pada waktu penulis belajar disebut Mekanika Teknik, merupakan salah satu mata kuliah utama dalam pendidikan sarjana teknik sipil di Indonesia. Dalam beberapa kasus, mata kuliah tersebut kadang-kadang menjadi momok tersendiri bagi mahasiswa. Bagi insinyur sipil yang telah berkecimpung diduniannya, memang nyata bahwa pemahaman yang diperoleh dalam mata kuliah tersebut sangat membantu profesinya. Oleh karena itu menjadi tantangan para pengajar bagaimana memberikan pemahaman tentang mekanika melalui perkuliahan yang diberikan.

Salah satu keengganan untuk mempelajari mekanika teknik klasik adalah adanya pameo atau anggapan bahwa nantinya “itu semua” dapat dikerjakan komputer. Kondisi tersebut tidak bisa disalahkan, memang perkembangan dunia komputer sangatlah pesat. Cukup banyak profesi yang diambil alih oleh adanya komputer. Cobalah cari mesin ketik manual, sudah jarang bukan. Istilah tutup buku yang dahulu umum dijumpai pada bank-bank, sehingga kantor terpaksa ditutup untuk umum, tetapi sekarang karena adanya komputer menyebabkan proses tersebut dapat dilakukan setiap saat sehingga tidak perlu waktu khusus. Akankah kemudian profesi kita, yang notabene adalah banyak berkecimpung dengan proses hitungan juga digantikan oleh keberadaan komputer ?

Komputer yang dimaksud tentunya adalah komputer yang dilengkapi piranti lunak untuk analisa struktur atau mekanika teknik. Apakah betul jika telah membeli atau mempunyai piranti yang dimaksud maka penyelesaian mekanika teknik secara otomatis diperoleh ?

2 The Man Behind The Gun

Pepatah “the man behind the gun” rasanya sesuai sekali untuk mengibaratkan keterkaitan “komputer” dan “insinyur” dalam permasalahan analisa struktur berbasis komputer. Untuk mendapatkan hasil yang optimal keduanya sangat berperan. Bahkan peranan “insinyur” adalah sangat dominan, bayangkan sebelum ditemukan komputer saja, sudah banyak bangunan konstruksi yang megah (rumit) dapat dengan sukses dibuat.

Apakah sembarang orang yang dilengkapi “komputer” dapat secara otomatis menghasilkan sesuatu dan tidak memerlukan “insinyur” ? Untuk membahas itu, penulis sekali lagi ingin mengutip beberapa *disclaimer* yang menyertai setiap program komputer teknik sipil sebagai berikut :

... The program has been thoroughly tested and used. In using the program, however, the user accepts and understands that no warranty is expressed or implied by the developers or the distributors on the accuracy or the reliability of the program. The user must explicitly understand the assumptions of the program and must independently verify the results.

SAP2000 - Computers and Structures, Inc. , Berkeley, California, USA

CA&SI does not guarantee the correctness or usefulness of the results obtained using PCGLSS, CA&SI is not liable for any conclusion or actions based on the result. It is the responsibility of the user to confirm the accuracy and usefulness of the results.

ANSYS - Computational Applications and System Integration Inc., Urbana, IL, USA

The Georgia Tech Research Corporation (GTRC) and the Georgia Institute of Technology make no representation or warranty expressed or implied as to the adequacy of this documentation or the software described herein. In no event shall the Georgia Tech Research Corporation, or the Georgia Institute of Technology, their employees, their contractors, or the authors of this documentation be liable for special, direct, indirect, or consequential damages, losses, costs, charges, claims, demands, or claim for lost profits, fees, or expenses of any nature or kind.

GTSTRUDL - Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, USA

Membaca pernyataan-pernyataan seperti diatas, secara jelas dapat ditangkap bahwa hasil-hasil program komputer tidaklah dapat berdiri sendiri, tetapi harus didampingi oleh “seseorang yang berkopeten” atau “yang mau bertanggung jawab” atas output program tersebut.

Untuk menghasilkan “seseorang yang berkopeten” atau sebutlah “insinyur” maka dapat dilakukan melalui “pelatihan / pendidikan” dan “pengalaman”. Proses pendidikan umumnya mengajarkan “konsep-konsep dasar” dan juga ketrampilan, dan jika ditunjang pengalaman yang baik dan selalu melakukan evaluasi atas hasilnya maka akhirnya dapat diperoleh “mental” atau “intuisi” yang baik. Sehingga akhirnya terbentuklah kompetensi seseorang.

Pendidikan mekanika teknik klasik pada tingkat S1 menurut penulis adalah suatu langkah yang relatif sederhana dan efektif yang dapat memberikan wawasan lain untuk akhirnya membentuk kompetensi seseorang calon insinyur.

3 Problem Stabilitas Pada Rangka Batang Kompleks

Untuk menunjukkan bagian-bagian mana yang dapat membentuk kompetensi tentulah cukup sulit / sukar dan mungkin tidak dapat dijawab secara tuntas. Untuk itu penulis ingin berbagi pengalaman dalam permasalahan stabilitas suatu rangka batang kompleks, dimana pengetahuan mekanika teknik klasik dapat mengevaluasi dan menentukan bahwa suatu hasil komputer adalah salah meskipun program komputer tersebut sebelumnya dianggap sangat reliable.

Stabilitas struktur adalah suatu hal yang penting, bahkan dapat dikatakan sangat penting. Struktur yang tidak stabil tidak bisa digunakan sebelum dilakukan perubahan sistem yang menyebabkan struktur menjadi stabil. Oleh karena itu mengetahui suatu struktur stabil atau tidak merupakan hal yang penting dan harus diketahui sebelum melakukan analisa struktur.

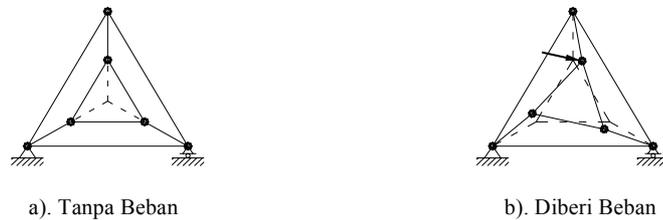
Untuk struktur rangka batang (truss) dengan sistem batang berbentuk segi-tiga maka kriteria stabil dapat ditetapkan berdasarkan hal-hal berikut:

- Memenuhi rumus $M + R \geq 2 J$, dimana M = batang , J = nodal dan R = reaksi tumpuan
- Cara Inspeksi
 - Stabilitas Internal : geometri rangka harus berbentuk segitiga.
 - Stabilitas Eksternal : Orientasi dan jenis tumpuan (Concurrent dan Paralel)

Catatan Khusus : Untuk struktur rangka batang majemuk (*compound truss*) dan rangka batang kompleks (*complex truss*) diperlukan cara khusus.

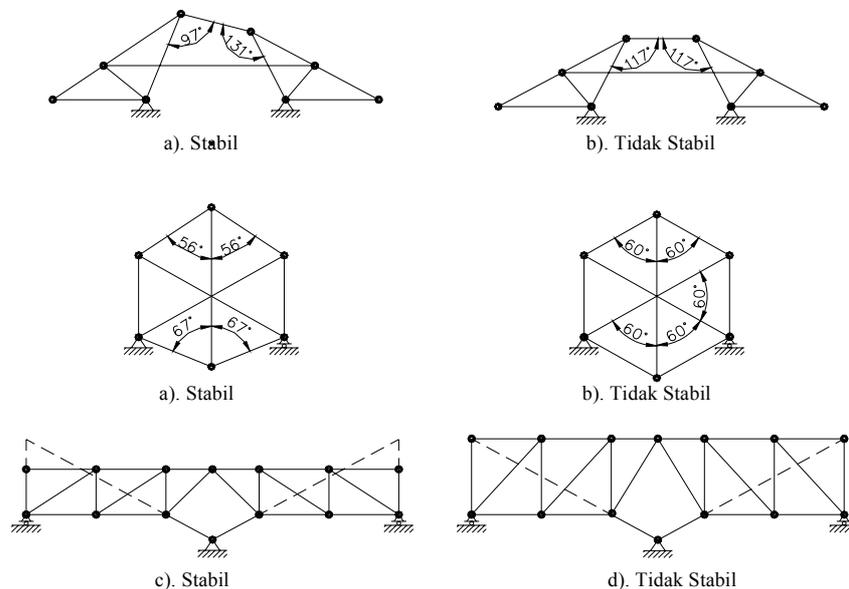
Identifikasi jenis struktur rangka batang yang dianalisis, yaitu rangka batang biasa, majemuk atau kompleks, merupakan suatu hal harus dikuasai terlebih dahulu untuk dapat mengidentifikasi masalah stabilitas rangka batang dengan cara klasik.

Contoh rangka batang majemuk yang tidak stabil :



Gambar 1. Ketidak-stabilan Rangka Batang Majemuk

Ketidak-stabilan kinematik di atas dapat dilihat secara visual (penampakan), tetapi untuk struktur rangka batang kompleks banyak diantaranya yang tidak dapat dilihat secara visual, misalnya :



Gambar 2. Ketidak-stabilan Rangka Batang Kompleks

Seperti diketahui bahwa analisa rangka batang kompleks cara **klasik** tidak bisa diselesaikan dengan cara keseimbangan titik buhul (metoda joint) maupun cara keseimbangan global (metode potongan) tetapi memerlukan metode khusus yaitu “cara tukar batang”, bilamana dengan metode itupun tidak diperoleh penyelesaian maka dapat diperkirakan bahwa rangka batang kompleks tersebut adalah struktur yang tidak stabil. Jadi tahapan yang diperlukan untuk analisa ketidak-stabilan rangka batang kompleks adalah tahapan yang sekaligus bersamaan dengan penyelesaian gaya-gayanya.

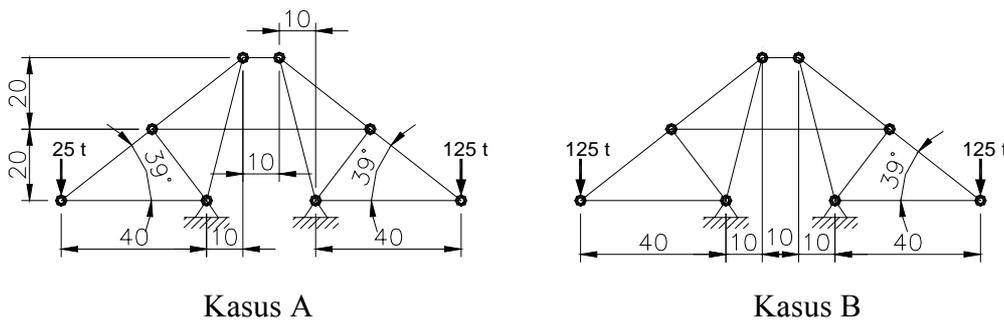
Solusi analisa struktur berbasis komputer yaitu metoda matrik dapat secara otomatis mendeteksi adanya ketidak-stabilan kinematik, karena kondisi tersebut menyebabkan matrik kekakuannya menjadi singular sehingga tidak diperoleh penyelesaian atau analisis berhenti ditengah jalan. Dengan demikian ada suatu tanda bahwa “ada sesuatu” dengan struktur tersebut.

4 Program Canggih , tetapi DAPAT menyesatkan !!

Dalam perkembangan lebih lanjut mengenai masalah stabilitas , penulis mendapatkan pengalaman pemakaian program komputer yang menghasilkan sesuatu yang dapat menjerumuskan bila dipakai dalam kasus nyata. Hal itu dapat terjadi khususnya pada program analisa struktur yang terbaru yang mempunyai kemampuan analisa non-linier. Catatan : analisa struktur yang umumnya digunakan

dan diajarkan pada tingkat S1 pada umumnya adalah analisa struktur elastis linier. Program komputer yang mempunyai kemampuan analisa struktur non-linier biasanya digunakan untuk analisa keruntuhan struktur yang mempunyai perilaku non-elastis dan non-linier. Pada daerah keruntuhan tersebut matrik kekakuan struktur yang terbentuk bernilai nol (horizontal), kondisi tersebut mempunyai sifat seperti matrik singular jadi dengan metoda numerik yang digunakan tidak diperoleh penyelesaian. Agar dapat menyelesaikan problem tersebut maka pembuat program akan menyertakan option-option penyelesaian numerik yang canggih. Hanya saja kadang-kadang option tersebut terlalu “canggih”, seperti misalnya program mempunyai kemampuan mengatur sendiri sesuatu secara otomatis agar dapat memberikan solusi bagi penyelesaiannya. Maksudnya mungkin baik, yaitu agar pemakai komputer mendapatkan banyak kemudahan. Walaupun kadang-kadang kecanggihannya tersebut tidak membantu tetapi bahkan menjerumuskan. Tentu saja yang dapat terjerumus adalah para insinyur yang hanya mempunyai kemampuan sebagai operator dan tidak melengkapi dirinya dengan kemampuan mengevaluasi apakah hasil penyelesaian komputer tersebut benar atau masih mengandung kesalahan, walaupun program berjalan mulus dan memberikan penyelesaian seperti biasa.

Untuk contoh kasus yang mendukung pernyataan diatas, akan dibahas solusi suatu masalah menggunakan program komputer yang cukup terkenal bagi para insinyur sipil yaitu SAP2000. Keandalan program tersebut sudah terbukti lama, yaitu lebih dari 30 tahun sejak dikembangkan pertama kali sekitar tahun 1970 dan sudah banyak versi yang dikeluarkan. Tentu saja versi-versi tersebut dimaksudkan agar program tersebut selalu *up-to-date* dengan perkembangan ilmu yang terkini. Tetapi dalam praktek, pemakaiannya setiap versi belum tentu sama keandalannya. Penulis akan menggunakan program SAP2000 tetapi dengan versi yang berbeda, yaitu versi 7.4.0 dan versi 8.3.5 untuk menyelesaikan satu kasus rangka batang yang sama.



Gambar 3. Kasus Rangka Batang dengan Masalah Ketidak-Stabilan

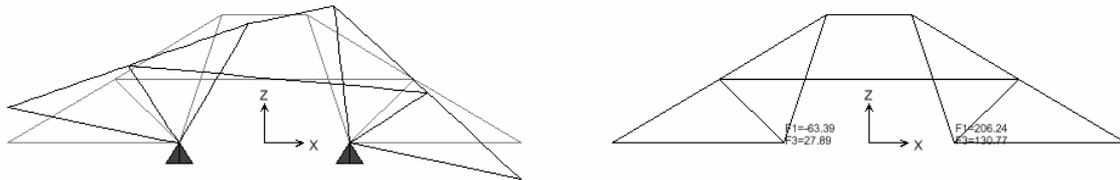
Yang pertama, menyelesaikan Kasus A (beban tidak simetri), hasilnya :

SAP2000 versi 7.4.0	SAP2000 versi 8.3.5
<pre> *** ERROR *** ZERO STIFFNESS FOUND DURING SOLUTION FOR DOF UZ OF JOINT 45 LOCATED AT X = 6.000000, Y = .000000, Z = .000000, THE STRUCTURE IS UNSTABLE OR ILL-CONDITIONED IMMEDIATELY FATAL ERROR - ANALYSIS TERMINATED ANALYSIS INCOMPLETE !! </pre>	<pre> *** WARNING *** THE STRUCTURE IS UNSTABLE OR ILL-CONDITIONED !! CHECK THE STRUCTURE CAREFULLY FOR : ... LINEAR STATIC CASES USING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS TOTAL NUMBER OF CASES TO SOLVE = 1 NUMBER OF CASES TO SOLVE PER BLOCK = 1 LINEAR STATIC CASES TO BE SOLVED: CASE: LOAD1 ANALYSIS COMPLETE </pre>

Ternyata penyelesaian struktur Kasus A, kedua versi program SAP2000 dapat memberi pesan atau *warning* yang sama yaitu :

THE STRUCTURE IS UNSTABLE OR ILL-CONDITIONED

Meskipun demikian keduanya selanjutnya memberikan penyelesaian yang **sangat berbeda**, jika versi 7.4.0 setelah pesan tersebut program kemudian berhenti, sedangkan versi 8.3.5 ternyata masih dapat melanjutkan analisa dan mampu secara otomatis memberikan solusi sendiri untuk mengatasi kondisi yang disebutkan dalam *warning* di atas, kemudian menampilkan hasilnya, sebagai berikut :



Gambar 4. Deformasi dan Reaksi Tumpuan Struktur A dari SAP2000 versi 8.3.5

Jadi bila tidak hati-hati, tidak ada evaluasi secara benar dan bijak maka jelas penyelesaian yang diberikan oleh SAP2000 versi 8.3.5 untuk Kasus A adalah SALAH.

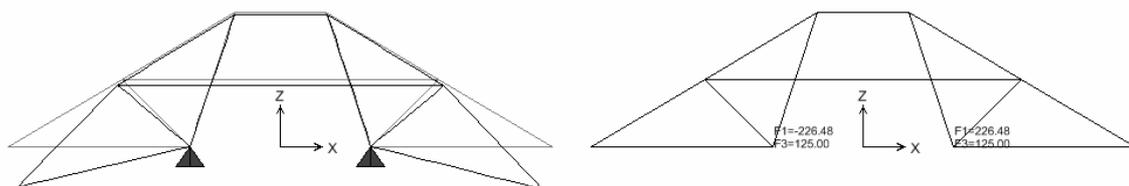
Salah satu cara sederhana untuk mengecek hasil tersebut adalah dengan melihat persyaratan kesetimbangan yaitu Σ gaya aksi (beban) = Σ gaya reaksi. Pada reaksi tumpuan terlihat bahwa F1 adalah gaya reaksi horizontal dan F3 adalah gaya reaksi vertikal, sehingga :

$$\Sigma F1 = F1_{kiri} + F1_{kanan} = - 63.39 + 206.24 = 142.85 \neq \Sigma \text{ gaya aksi horizontal yaitu } 0.$$

$$\Sigma F3 = F3_{kiri} + F3_{kanan} = 27.89 + 130.77 = 158.66 \neq \Sigma \text{ gaya aksi vertikal yaitu } 25 + 125 = 150.$$

Dengan demikian terbukti bahwa penyelesaian Struktur A dengan program SAP2000 versi 8.3.5 tidak memenuhi persyaratan keseimbangan yang menjadi dasar dari analisa statik tersebut.

Kebetulan problem tersebut dapat mudah dilacak dengan persyaratan keseimbangan, meskipun demikian pada suatu kondisi beban yang khusus ketidak-benaran hasil sulit dideteksi, sebagai contoh struktur Kasus B, yaitu struktur yang sama dengan struktur Kasus A tetapi diberi beban yang simetri. Struktur tersebut selanjutnya dianalis dengan kedua versi program seperti struktur Kasus A, hasilnya ternyata memberi pesan sama seperti kasus sebelumnya, yaitu program **versi 7.4.0 gagal** memberi penyelesaian , sedangkan **versi 8.3.5 sukses** memberi hasil penyelesaian sebagai berikut :



Gambar 5. Deformasi dan Reaksi Tumpuan Struktur B dari SAP2000 versi 8.3.5

Dari tampilan hasil tidak ada yang mencurigakan dan apabila di chek dengan persamaan keseimbangan seperti yang dilakukan pada kasus A maka :

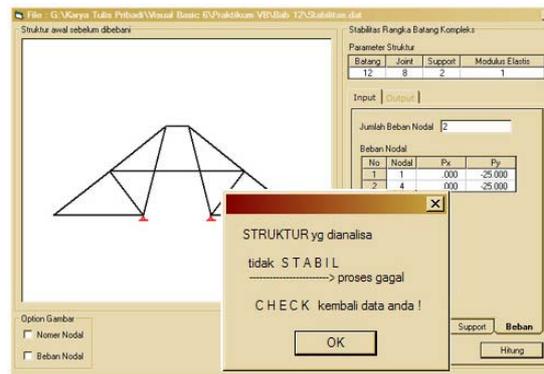
$$\Sigma F1 = F1_{kiri} + F1_{kanan} = - 226.48 + 226.48 = 0 \text{ sama dengan } \Sigma \text{ gaya aksi horizontal yaitu } 0.$$

$$\Sigma F3 = F3_{kiri} + F3_{kanan} = 125 + 125 = 250 \text{ sama dengan } \Sigma \text{ gaya aksi vertikal yaitu } 125 + 125 = 250.$$

Jadi reaksi tumpuan yang ditampilkan memenuhi persamaan keseimbangan. Apakah dengan demikian hasil program komputer di atas telah benar ? Dari kasus diatas dapat disimpulkan mengapa dalam perencanaan **perlu ditinjau berbagai kombinasi pembebanan** yang mungkin terjadi, yaitu untuk mendapatkan kondisi pembebanan yang paling menentukan.

Kecuali dengan *engineering judgement* yang terasah dengan baik atau telah membandingkan dengan program yang lain yang masih standar maka ketidak-benaran hasil program komputer tersebut dapat terdeteksi. Hati-hati dengan yang dimaksud sebagai program “standar”, pengalaman penulis meskipun sudah dibandingkan dengan program komputer SAP2000 yang terbaru yaitu

versi 9.0.3 , tetapi hasilnya masih sama dengan versi 8.x.x ! Tetapi standar dalam arti memakai metode matrik yang banyak diajarkan dalam tingkat S1 maka hasilnya sama dengan metoda klasik.



Gambar 6. Hasil Metoda Matrik Standar (Wiryanto Dewobroto, 2003)

Jadi !!??, Tinggal mengandalkan *engineering judgement*, apa yang dimaksud dengan istilah tersebut. Didalam perkuliahan, baik tingkat sarjana maupun pascasarjana , rasanya tidak diajarkan mata kuliah seperti itu, lalu apa dan bagaimana ? Istilah *engineering judgement* penulis dapatkan dari buku manual SAP90 (Wilson-Habibullah, 1992) yaitu versi awal program SAP2000.

Prof Wilson menyatakan dalam buku tersebut sebagai berikut :

... No computer program can replace the engineering judgment of an experienced engineer. It is well said that incapable engineer cannot do with a ton of computer output what a good engineer can do on the back of an envelope. . . . Verification of unexpected results needs a good understanding of the basic assumptions and mechanics of the program.

Prof. E.L.Wilson pembuat program SAP saja tidak memberi rekomendasi bahwa programnya pasti dapat menyelesaikan sesuatu dengan pasti, tetapi masih memerlukan kepiawaian dari engineer-nya.

Selanjutnya menurut pengertian penulis, yang dimaksud *engineering judgement* merupakan suatu intuisi atau feeling yang diperoleh berdasarkan pengalaman atau latihan-latihan dengan melakukan pengamatan antara perilaku model dengan perilaku sebenarnya. Pendidikan dasar teknik di S1 dengan memberikan perkuliahan analisa struktur yang masih memerlukan solusi manual (hitungan tangan) merupakan salah satu cara dalam mengasah intuisi calon-calon insinyur teknik sipil.

5 Kesimpulan

Mekanika teknik klasik, meskipun sudah jarang dipakai dalam dunia kerja (konsultan rekayasa) tetapi keberadaannya tetap diperlukan khususnya pada tingkat pendidikan rekayasa dasar (S1) yaitu sebagai metode alternatif cara manual yang dapat digunakan sebagai pembanding bagi metode canggih berbasis komputer yang relatif lebih kompleks.

Komputer adalah teknologi yang sangat membantu, tetapi keberadaannya hanya tool atau alat saja. Efektif tidaknya tergantung dari kompetensi insinyur yang menggunakannya.

6 Daftar Pustaka

1. Edward L. Wilson and Ashraf Habibullah. (1992). "SAP90 A Series of Computer Programs for the Finite Element Analysis of Structures : STRUCTURAL ANALYSIS USERS MANUAL", Computer and Structures, Inc., Berkeley, California
2. Hibbeler, R.C. (1997). "Structural Analysis 3rd Ed.", Prentice Hall International, Inc.
3. Wiryanto Dewobroto. (2003). "Aplikasi Sain dan Teknik dengan Visual Basic 6.0", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta
4. Wiryanto Dewobroto. (2004). "Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta