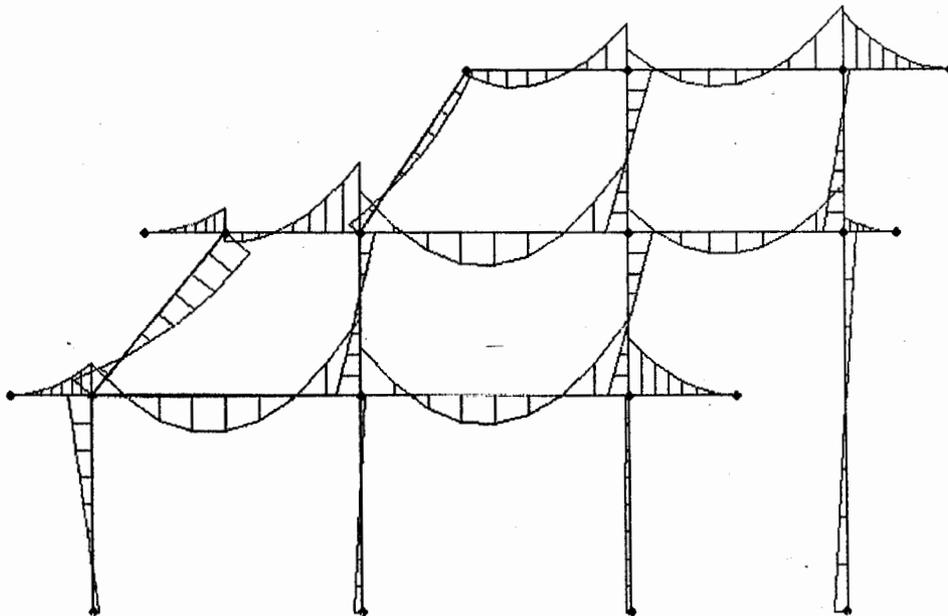


ISBN : 979.9243.49.1

PROSIDING

SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA, 7 – 8 OKTOBER 2004



SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL

Diselenggarakan oleh :
Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Yogyakarta, 7 – 8 Oktober 2004

Steering Committee :

1. Ir. Iswandi Imran, M.ASc., Ph.D. (ITB)
2. Prof. Ir. Bambang Suryoatmono, M.T., Ph.D. (Unpar)
3. Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D. (UGM)
4. Prof. Ir. Priyo Suprobo, M.Sc., Ph.D. (ITS)
5. Prof. Ir. Benjamin Lumantarna, M.Eng., Ph.D. (UK Petra)
6. Dr. Ir. F.X. Nurwadji Wibowo, M.Sc (UAJY)

NO BUKU : 364/FT.35.08.04

SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UAJY

Mekanika Rekayasa mengenalkan kepada para mahasiswa fakultas teknik mengenai teknik dasar untuk menganalisis elemen struktur seperti balok, rangka-batang, portal, struktur kabel, dan struktur lengkung, baik pada *determinate* maupun *indeterminate structures*. Berbagai metode dan pendekatan baru ditemukan, dan semuanya seperti mendesak untuk diajarkan. Hal ini sering menciptakan situasi yang sangat problematik, mengajarkan lebih banyak tapi melupakan konsep-konsep dasar dalam ilmu statika.

Kedua, aspek lain yang sering dilupakan adalah menunjukkan kepada para mahasiswa situasi dan kondisi nyata dalam lingkup praktik di lapangan proyek konstruksi. Sebab yang akan dihadapi bukanlah situasi ideal. Balok dan kolom bukan sebuah “garis” yang sangat idealistik seperti dalam pengajaran di kelas. Balok dan kolom merupakan materi yang bermassa dari suatu bahan konstruksi tertentu, yang tentunya memiliki kelakuan yang sangat berbeda dari sekedar “garis” yang dipakai di dalam model pengajaran mekanika rekayasa. Sebagai contoh, ketika pada tahun 1999 terjadi gempa Chi-Chi di Taiwan yang mempunyai *magnitude* 7.7, sejumlah plat-lantai-atas sebuah gedung apartemen runtuh sebagai satu unit yang utuh. Meskipun kolom-kolom yang menyangga gedung sudah direncanakan untuk dapat mendukung beban-gempa, tetapi si perencana lupa untuk lebih memperhatikan hubungan antara kolom dengan dinding partisi dari beton yang kaku dan batu bata, sebab ketika massa gedung di lantai-atas mengalami defleksi lateral sebagai satu unit, kolom lantai-bawah sebagai elemen yang lebih fleksibel akan gagal untuk menyangganya.

Ketiga, ketika sistem baru ditemukan dan bahan konstruksi baru tersedia di pasar, atau munculnya berbagai kegagalan dari sistem baru tersebut, peraturan [*codes*] tidak segera dikaji ulang dan kemudian diperbarui. Sebagai perbandingan, *ACI Code Committee* selalu membuat adendum setiap tahun dan menerbitkan edisi revisi setiap enam tahun sekali.

Keempat, saat ini semua pihak yang terlibat dalam proses pendidikan berbicara mengenai kurikulum berbasis kompetensi [KBK]. Pada titik inilah mungkin relevansi **Workshop Mekanika Rekayasa** dapat diletakkan. Atau, mungkin dapat pula ditarik ke arah filosofi kehidupan masa kini yang semakin global dan memunculkan tekanan-tekanan baru yang memerlukan keseimbangan hidup. Sebab, bukankah pelajaran pertama di dalam kuliah mekanika rekayasa adalah mengenai prinsip kesetimbangan?

Terakhir, atas nama Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, sebagai dekan saya mengucapkan selamat dan terima kasih kepada Steering Committee, para Pembicara Tamu, kepada para peserta, dan tentunya kepada seluruh Panitia **Workshop Mekanika Rekayasa**. Semoga *workshop* ini memunculkan perspektif baru. Dan sebuah perspektif selalu hanya menentukan ke mana arah yang hendak dituju dan bukan menentukan di mana garis akan berhenti. Sebuah metode selalu diperbarui dan setiap orang yang terlibat harus siap memperbarui diri. Selamat berdiskusi!

Dr. A. KOESMARGONO

DAFTAR ISI

SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK	iii
DAFTAR ISI	iv
PEMBELAJARAN ILMU MEKANIKA REKAYASA, Mohamad Sahari Besari	1
BEBERAPA PERMASALAHAN DAN ALTERNATIF PENYELESAIAN PADA PEMBELAJARAN MEKANIKA REKAYASA DI PERGURUAN TINGGI, Widodo	8
PENINGKATAN MOTIVASI MAHASISWA UNTUK MEMPERDALAM MATA KULIAH MEKANIKA REKAYASA DI JURUSAN TEKNIK SIPIL ITS, Triwulan dan Isdarmanu	23
MENGAJAR MEKANIKA REKAYASA DENGAN MEMAHAMI GAYA DAN CARA BELAJAR MAHASISWA (Studi Gaya Belajar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil U.K. Maranatha), Anang Kristianto	28
MENINGKATKAN PEMAHAMAN MAHASISWA TERHADAP MEKANIKA REKAYASA DENGAN MENINGTEGRASIKAN <i>EXPERIENTAL LEARNING LAB</i> KEDALAM PERKULIAHAN MEKANIKA-STATIKA; SEBUAH HIPOTESA TERHADAP PENDEKATAN <i>EXPERIENTAL LEARNING</i> DARI KOLB, Senot Sangadji	34
METODE PEMBELAJARAN MEKANIKA BAHAN PADA APLIKASI KOMPONEN BETON BERTULANG, Antonius dan Prabowo Setiyawan	43
MEKANIKA REKAYASA GEDUNG TIGA DIMENSI : A MISSING LINK, Yoyong Arfiadi	50
ARAH PERKEMBANGAN MODEL STRUKTUR DALAM MEKANIKA REKAYASA, Andreas Triwiyono	79

PEMBELAJARAN ILMU MEKANIKA REKAYASA¹

Oleh
Mohamad Sahari Besari

ABSTRAK

Menanggapi keluhan yang terdengar sangat nyaring mengenai terjadinya banyak kegagalan dalam proses pembelajaran ilmu mekanika rekayasa, maka makalah ini meninjau masalah tersebut sebagai runtuhnya (*break down*) dari sistem komunikasi antara dosen dan mahasiswa. Dalam makalah ini pembelajaran ditinjau sebagai analogi dari transmisi data yang mengandung pesan (*message*), dari sumber kepada penerima (*receiver*) melalui suatu medium. Kemudian berbagai elemen sistem transmisi data tersebut serta pesan yang dikomunikasikan ditinjau secara rinci untuk dapat diidentifikasi penyebab keruntuhan sistem tersebut. Selanjutnya, setelah penyebab tersebut diketahui, maka dapat dianjurkan beberapa alternatif tindakan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki keruntuhan komunikasi yang terjadi. Pada akhir makalah ini tampil bahwa perbaikan atau peningkatan keberhasilan pembelajaran sebagai proses komunikasi harus dilakukan secara integral antara pihak universitas, dosen, dan mahasiswa. Sebagai akhirul kalam, tulisan ini berpendapat (*claims*) bahwa kegagalan perbaikan yang telah dilakukan selama ini, adalah terjadi akibat dari pelaksanaan yang dilakukan secara parsial saja.

1. PENDAHULUAN

Rekayasa Sipil², sebagai ilmu mau pun sebagai terapannya, bersandar pada banyak ilmu pengetahuan jenerik, seperti: matematik, sains, kimia, biologi, ilmu kebumihan dan cuaca, ilmu bahan, ilmu sosial, dan lain sebagainya. Namun dari semua itu, tidak ada ilmu pengetahuan yang memiliki pengaruh yang luas dan mendalam pada Rekayasa Sipil seperti mekanika, khususnya mekanika terapannya. Oleh karena itu mekanika rekayasa mengambil posisi yang sangat penting dalam Rekayasa Sipil, sehingga penguasaannya menjadi sangat krusial bagi manusia pelakunya, yaitu Rekayasawan Sipil. Penguasaan yang kokoh menjadi syarat mutlak karena mekanika rekayasa kemudian dibutuhkan dalam pengembangan berbagai bidang Rekayasa Sipil lainnya, seperti analisis struktur, bahan bangunan, bangunan air, tanah dan fondasi, dan lain sebagainya.

Untuk mendukung posisi krusial mekanika rekayasa, maka disamping matematik, kurikulum pendidikan Rekayasa Sipil pada umumnya memberikan porsi jam kuliah yang paling besar bagi mekanika rekayasa, terutama pada masa awal pendidikannya. Kendati demikian terdengar keluhan yang sangat keras, terutama dari kalangan pengajarnya, mengenai penguasaan mekanika yang sangat buruk dari mahasiswa penuntut ilmu tersebut. Banyak orang dari kalangan yang berkepentingan beranggapan gahwa dirinya telah mengidentifikasi masalahnya serta mengajukan berbagai saran untuk mengatasinya, namun tampaknya masalah tersebut masih merupakan hambatan dalam pendidikan Rekayasa Sipil sampai pada saat ini³. Dibawah ini akan dicoba untuk meninjau lagi secara obyektif mengenai terjadinya banyak kegagalan dalam “pendidikan” mekanika rekayasa. Namun untuk tidak kehilangan fokus, disini “pendidikan” ditinjau secara sempit, yaitu sebagai pembelajaran yang merupakan bagian dari “pendidikan” yang lebih luas.

¹ Makalah Tamu disajikan pada Seminar dan Workshop Mekanika Rekayasa, 7-8 Oktober, 2004, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

² Besari, M.S., (2004), Ilmu Rekayasa Sipil dan Pengembangannya pada Abad XXI, *Kuliah Perdana Magister dan Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 12 September, 2004, Semarang.

³ Prosiding Lokakarya ITB, (2003), *Sekitar Mekanika Rekayasa*, Bandung, 21 Agustus, 2003, ITB

2. PEMBELAJARAN; PROSES TRANSMISI INFORMASI

Pembelajaran disini dimengerti (*conceived*) sebagai analogi dari proses transmisi informasi, yang terdiri dari elemen fundamental pengajar (dosen) sebagai *source*, mahasiswa sebagai *receiver*, dan ruang kelas serta segala kegiatan didalamnya merupakan mediumnya. *Source* menyampaikan *signal*nya melalui suatu frekuensi tertentu yang ditangkap *receiver*, yang kemudian diinterpretasi – diolah oleh sub-elemen *interpreter* menggunakan bahasanya sendiri - menjadi makna yang dimengerti. Dalam pembelajaran, biasanya ada banyak *receivers* (mahasiswa) dengan kemampuan menangkap frekuensi serta *interpreter* yang berbeda-beda. Oleh karena itu, *source* yang biasanya hanya ada satu, perlu memiliki *broad band* yang mampu membangkitkan berbagai frekuensi yang dibutuhkan berbagai *receivers* yang ada. Selain itu, kualitas *signal* yang diterima oleh *receiver* sangat dipengaruhi oleh karakteristik medium yang dilewatinya. Oleh karena itu, untuk mendapat proses transmisi *signal* yang baik diperlukan kinerja *source* dan *receiver* yang baik serta medium yang memiliki kinerja yang baik pula. Apabila terjadi kegagalan dari proses transmisi tersebut, maka hal tersebut dapat disebabkan oleh kegagalan dari *source*, atau *receiver*, atau medium, atau kombinasi dari dua atau lebih elemen-elemen tersebut. Demikian juga halnya dengan sistem pembelajaran pada umumnya.

Kegagalan pembelajaran pada umumnya adalah ekuivalen dengan kegagalan komunikasi antara dosen dan mahasiswa yang disebabkan oleh buruknya dosen, atau buruknya mahasiswa, atau buruknya kinerja pengajaran, atau kombinasi dari dua atau tiga elemen tersebut. Dibawah ini akan dicoba untuk meninjau secara lebih rinci berbagai elemen tersebut satu per satu serta mencoba untuk mengidentifikasi penyebab masalah yang timbul dan cara bagaimana mengatasinya.

3. MASALAH DAN SOLUSINYA

Sebelum beranjak kepada peninjauan secara rinci berbagai elemen yang merupakan konstituen proses pembelajaran, maka adalah sangat penting untuk meninjau terlebih dahulu pesan (*message*) yang terkandung dalam subyek atau data yang ditransmisikan, khususnya pesan mekanika rekayasa.

4. MATERI MEKANIKA REKAYASA

Dalam proses pembelajaran ilmu mekanika rekayasa pesan yang dikomunikasikan oleh dosen kepada mahasiswa tidak lain adalah materi dari ilmu mekanika rekayasa tersebut. Untuk mendapatkan pemahaman yang diperlukan dari materi tersebut, disini perlu ditinjau terlebih dahulu posisi serta karakteristik utama ilmu mekanika rekayasa terhadap ilmu mekanika pada umumnya.

Mekanika merupakan bagian dari sains fisika yang mengaji (*study*) gerakan serta fenomena dari kinerja gaya (*forces*) pada benda (*bodies*). Konsep gaya adalah abstrak. Meskipun demikian, masih belum seabstrak konsep matematik, karena gaya dapat dikuantifikasi, dapat diukur, dapat dirasakan akibatnya oleh manusia. Efeknya dapat diamati (*observable*). Tetapi gaya sendiri adalah sesuatu yang abstrak yang tidak dapat diamati secara langsung. Jadi apa itu gaya? Gaya mekanikal biasanya tidak didefinisikan terhadap dirinya sendiri, tetapi dari efeknya, yaitu sebagai sesuatu yang menyebabkan perubahan pada gerakan. Karena mekanika merupakan bagian dari sains fisika, maka gaya juga mengikuti (*follows*) hukum alamiah yang berlaku dalam fisika⁴. Sifat-sifat hukum tersebut adalah:

⁴ Davies, P., (1993), *The Mind of God*, Touchstone, New York, p.80-83

Pertama, universal, yaitu hukum tersebut berlaku tanpa pernah gagal dimana pun di jagad raya (*universe*) ini, pada semua jaman dalam sejarah kosmiknya. Hukum tersebut adalah sempurna tanpa pengecualian.

Kedua, absolut, yaitu hukum tersebut tidak tergantung dari apa pun yang lain. Terutama tidak bergantung pada siapa pengamatnya atau status dunia yang sebenarnya. Status fisiknya ditentukan oleh hukum-hukum tersebut, tidak sebaliknya.

Ketiga, kekal (*eternal*), yaitu tidak tergantung pada waktu.

Keempat, *omnipotent*, yaitu berlaku pada siapa atau pada apa pun, tiada yang dapat menghindarinya.

Manusia biasanya tidak menyadari arti penting dari gaya terhadap kehidupannya. Gaya merupakan salah satu "benda" alami yang menentukan existensi manusia di jagad raya ini. Gaya mempengaruhi semua aspek kehidupan manusia, karena manusia selalu hidup dalam atau bersama medan gaya alami yang dibentuk oleh gravitas, elektromagnetik, gaya nuklir kuat, yaitu gaya yang menyatukan partikel-partikel inti, dan gaya nuklir lemah yang menimbulkan radio-aktivitas. Manusia tidak dapat menguasai gaya-gaya alamiah, atau pun gaya pada umumnya, secara langsung; manusia tidak dapat secara langsung membinasakan (*annihilate*), mereduksi atau menumbuhkan gaya. Namun, dengan injinuitasnya, manusia dapat menciptakan gaya yang kemudian diterapkan bagi pemenuhan kebutuhannya. Hal ini tercermin dengan jelas dalam mekanika rekayasa sebagai terapan dari ilmu mekanika pada umumnya.

Mekanika rekayasa biasanya dihubungkan dengan bahan-bahan yang dipergunakan manusia dalam menyelenggarakan hidupnya, seperti bahan bangunan (*building materials*), air, angin dan lain sebagainya. Oleh karena itu, maka ilmu mekanika rekayasa mengaji efek gaya pada bahan-bahan tersebut yang bekerja secara eksternal mau pun secara internal. Kajian mekanika secara internal kemudian mengembangkan ilmu yang kini dikenal sebagai mekanika bahan. Dengan demikian, maka masalah dalam mekanika rekayasa menjadi lebih kongkret, meskipun gaya yang terlibat tetap merupakan besaran yang abstrak. Kemungkinan hal ini merupakan salah satu masalah yang menghalangi pemahaman mahasiswa, terutama bagi mereka yang pertama kali mengambil mekanika rekayasa.

5. DOSEN SEBAGAI SUMBER INFORMASI.

Sebagai sumber informasi yang baik, maka dosen harus benar-benar merupakan seorang profesional yang kompeten, yaitu yang betul-betul menguasai ilmu mekanika, tidak terbatas pada ilmu mekanika terapan saja, tetapi juga menguasai dengan baik sains dan matematik. Kecuali kandungan ilmu yang dimilikinya, dosen menjadi sumber yang baik apabila juga memiliki kepribadian yang mendukung. Banyak atribut yang mendukung penampilan yang menarik bagi seorang dosen, namun yang sering diharapkan adalah kesabaran dan "telaten"⁵. Selain itu, sebagai profesional dosen juga harus memenuhi kewajibannya untuk mengajar secara ajeg dan perhatian penuh (*full attention*), sesuai program pembelajaran yang telah ditentukan, selama satu semester penuh.

Kegagalan mahasiswa dalam mengikuti pembelajaran mekanika rekayasa, sebagaimana biasa dikeluhkan dosen, condong hanya ditinjau dari sisi mahasiswa saja, yaitu sebagai kekurangan mahasiswa. Kekurangan yang dikonstruksikan oleh dosen jarang atau malah tidak ditinjau, sehingga tidak diperhitungkan dalam program perbaikan yang dikonstruksi untuk mengatasi masalah gagal komunikasi yang timbul. Suatu kekurangan dosen yang sangat destruktif adalah ketidak-hadirannya pada saat jadwal tatap muka dikelas sesuai program

⁵ Irfan, P.,A., dan Priyanto, (2003), Problematika Perkuliahan Mekanika Rekayasa pada Jurusan Teknik Sipil-ITENAS, *Pros. Lokakarya ITB*, (2003), op.cit. p.1-15

pembelajaran yang telah ditentukan. Dengan demikian maka dosen sebenarnya lebih menjadi bagian dari masalah dari pada penyelesaiannya. Hal ini adalah mala yang saat ini berjangkit secara nasional, yaitu karena tugas lebih (*overload*) atau remunerasi dosen yang tidak cukup. Penyelesaian masalah ini terutama menjadi tanggung jawab universitas.

6. MAHASISWA SEBAGAI PENERIMA

Adalah rasional untuk beranggapan bahwa kualifikasi mahasiswa sangat menentukan keberhasilan proses pembelajaran pada umumnya dan mekanika rekayasa pada khususnya. Anggapan tersebut banyak diajukan oleh pihak universitas, khususnya dosennya, terutama dari perguruan tinggi swasta (PTS), yang merasa mendapatkan “jatah” mahasiswa sisa hasil proses penyaringan yang dilaksanakan perguruan tinggi negeri (PTN). Namun pengalaman mendiskualifikasi anggapan tersebut karena pada kenyataannya banyak lulusan PTS yang berhasil dalam menuntut studi strata pasca sarjana di luar negeri, malah tidak sedikit yang dapat meraih gelar Doktornya. Ada beberapa penyebab yang dapat diatribusikan pada kegagalan proses pembelajaran, ditinjau dari aspek mahasiswa, antara lain yaitu:

Pertama, mahasiswa memang tidak memiliki talenta atau kapasitas menangkap apa yang ditransmisikan. Untuk sampai pada kongklusi yang demikian perlu dilakukan penyidikan khusus yang hati-hati, karena lulusan sekolah menengah umum (SMU) tentunya memiliki intelegensia yang cukup untuk dikembangkan di perguruan tinggi. Namun pada kasus mahasiswa yang benar-benar tidak memiliki kemampuan untuk mengikuti pendidikan rekayasa sipil, sebaiknya mahasiswa tersebut disalurkan pada bidang yang sesuai dengan bakatnya, sehingga ia dapat berkembang menjadi insan yang produktif.

Kedua, mahasiswa memiliki talenta, namun tidak mempunyai motivasi akademik untuk benar-benar mendalami ilmu mekanika rekayasa. Mungkin juga dalam bidang rekayasa sipil lainnya. Hal ini sebenarnya merupakan sisa fenomena sosial primordial yang tidak mendasarkan keberhasilan pada meritokrasi, tetapi pada status yang dapat diberikan oleh pengakuan suatu perguruan tinggi atas kualifikasinya, yaitu dengan ijazah. Mahasiswa golongan ini biasanya jarang atau malah tidak mengikuti kuliah dikelas serta tidak melaksanakan tugas pekerjaan rumahnya. Tujuannya adalah hanya memburu dengan segala cara secarik kertas ijazah yang diterbitkan oleh perguruan tinggi. Contoh aktual adalah terjadinya kasus pemalsuan ijazah akhir-akhir ini yang dilakukan oleh banyak calon anggota legislatif yang terhormat, malah juga terdapat pejabat tinggi yang sama sekali tidak pernah menjalani pendidikan pascasarjana di kampus mana pun didunia ini, namun tidak segan-segan (tidak malu) untuk membubuhkan titel akademik pada namanya. Sebagai masalah sosial, tentunya dunia pendidikan pada umumnya mempunyai obligasi moral untuk turut menyelesaikannya. Apa yang dapat dilakukan oleh perguruan tinggi adalah untuk tidak larut pada fenomena sosial tersebut, yaitu menjaga integritas institusinya dengan tidak menerbitkan ijazah “aspal” (asli tetapi palsu).

Ketiga, kegagalan memang terjadi akibat adanya kesenjangan komunikasi (*communication gap*). Apabila demikian halnya maka pertama-tama yang dapat dilakukan oleh pihak mahasiswa adalah mentaati program pembelajaran semester secara intensif serta menghubungi dosen atau asistennya untuk mendapatkan penjelasan lebih lanjut. Tentunya disamping itu mahasiswa perlu menopang kekurangannya dengan membaca buku ajar (*textbook*) maupun buku-buku referensi dengan lebih intensif.

7. METODA PEMBELAJARAN

Kelas, laboratorium, dan perpustakaan dan segala kegiatan yang terjadi didalamnya merupakan medium transmisi materi yang ditransfer dari dosen kepada mahasiswa. Oleh

karena itu metoda transmisi subyek, yaitu kuliahnya, menjadi sangat penting bagi keberhasilan proses pembelajaran. Untuk itu, maka kurikulum harus menunjukkan urutan matakuliah yang runut, agar tidak terjadi tumpang tindih yang inefisien. Selanjutnya perlu dibuatkan silabus yang informatif bagi dosen maupun mahasiswanya. Berdasarkan silabus tersebut kemudian dibuatkan program kegiatan pembelajaran untuk seluruh semester yang cukup rinci, termasuk didalamnya jumlah jam dan minggu yang dialokasikan bagi setiap subyek serta acara kuis dan ujian⁶. Selain itu agar program tersebut juga memuat informasi mengenai berbagai buku ajar dan referensi yang akan dipergunakan. Program semesteran tersebut menjadi acuan bersama bagi dosen dalam melaksanakan kuliah maupun bagi mahasiswa dalam mengatur kegiatan kuliahnya.

Untuk mendapatkan hasil maksimal serta menghindari kegagalan dalam mentransfer materi mata-kuliah, maka dosen mau pun mahasiswa seyogyanya menaati program semesteran tersebut dengan seksama. Oleh karena itu program tersebut harus dikonstruksi oleh pihak universitas (jurusan), bukan oleh masing-masing dosen. Hal yang terakhir ini dilakukan bagi uniformitas apabila ada beberapa kelas paralel. Pada taraf pelaksanaan program tersebut, kuliah, kuis, dan ujian seyogyanya dilaksanakan tepat waktu (*punctual*). Kemudian semua hasil pekerjaan ujian (*exam papers*) dikembalikan kepada mahasiswa agar ia dapat belajar dari kesalahan yang telah dibuatnya. Agar dosen dapat memberikan atensi penuh pada para mahasiswanya, maka menjadi tanggung jawab universiats untuk membatasi jumlah mahasiswa dalam setiap kelasnya. Selain itu, pada setiap semester, universitas juga harus melengkapi perpustakaan dengan materi bacaan yang telah ditentukan dalam program semesteran.

Pada Era Elektronik saat ini, pembelajaran dengan terapan komputer merupakan hal yang perlu (harus) dilaksanakan. Setidaknya pada semester kedua dan seterusnya. Oleh karena itu menjadi tanggung jawab universitas untuk melengkapi diri dengan suatu sarana (*some means*) komputer, yang dapat diprogram sebagai sarana pemberian kuliah dikelas dalam bentuk "*powerpoint*" yang ditayangkan menggunakan *infocus*, dibarengi dengan pemberian *hand-outs*. Kemudian program kuliah "*powerpoint*" tersebut ditempatkan pada sistem komputer sehingga mahasiswa dapat meng-*access*-nya setiap saat ia menginginkannya, setidaknya untuk selama suatu periode tertentu. Selain itu yang sangat penting adalah bahwa mahasiswa juga dapat mempergunakan sistem komputer tersebut untuk menyelesaikan soal-soal yang diberikan sebagai pekerjaan rumah. Alternatif untuk yang terakhir ini mahasiswa dapat diwajibkan (?) untuk melengkapi diri dengan suatu komputer pribadi yang memadai. Cara pemberian kuliah yang demikian telah banyak dilakukan oleh banyak perguruan tinggi di Indonesia, terutama PTS.

Sesuatu yang perlu diperhatikan pada Era Elektronik ini adalah penggunaan *canned softwares* yang bekerja sebagai suatu *black box*. Khususnya dalam bidang mekanika rekayasa atau rekayasa struktur banyak dapat diperoleh di pasar berbagai *software* bagi keperluan analisis struktur, sehingga ada kecenderungan mahasiswa menggunakannya dalam menyelesaikan pekerjaan rumahnya. Agar kemungkinan terjadinya masalah "*garbage-in, garbage-out*" dapat dihindarkan, karena pada penggunaan *canned softwares*, komputer dapat mengembalikan (*return*) suatu hasil sampah. Oleh karena itu suatu prosedur pemeriksaan kebenaran hasil akhir yang diterima perlu dilakukan. Tentunya yang utama adalah mengetahui terlebih dahulu apa yang sebenarnya berlaku didalam suatu *software* sebelum menerapkannya. Hal ini dapat menjadi usaha yang sangat memberatkan.

Suatu usaha untuk meningkatkan keberhasilan suatu proses pembelajaran adalah dengan melaksanakan suatu program kelas perbaikan (*remedial classes*), yaitu proses pembelajaran

⁶ Semacam Tujuan Instruksional Umum (TIU) ITB. Surahman, A., (2003), Mekanika Teknik Sebagai Bagian Kurikulum Program Studi Teknik Sipil, *Pros. Lokakarya ITB*, (2003), op.cit. Lamp.1-3.

khusus bagi mahasiswa yang mengalami kegagalan, diluar program pembelajaran reguler. Usaha lain untuk mengatasi kegagalan mahasiswa adalah mencari tahu penyebabnya, yaitu dengan cara menanyainya secara langsung atau melalui suatu *questionnaire* yang dievaluasi untuk ditindak-lanjuti kemudian. Sesudah semua usaha perbaikan dilakukan, maka usaha terakhir yang harus dilaksanakan bagi mahasiswa yang mengalami kegagalan adalah *drop-out*-nya. Tindakan yang terakhir ini adalah sangat penting karena secara psikologis mahasiswa akan tercabuk untuk secara serius mengikuti program pembelajaran semester yang diwajibkan.

8. PENUTUP

Menanggapi keluhan terjadinya banyak kegagalan dalam proses pembelajaran mekanika rekayasa, diatas telah dicoba untuk mengurai kejadian dan penyebabnya. Dalam uraian tersebut, masalah kegagalan proses pembelajaran mekanika rekayasa telah ditinjau dari tiga kategori, yaitu dari katagori masalah dosen sebagai sumber, dari katagori masalah proses pembelajaran sebagai medium, dan dari katagori masalah mahasiswa sebagai *receiver*. Perbaikan yang dapat dilaksanakan untuk meningkatkan keberhasilan proses pembelajaran, khususnya dalam bidang mekanika rekayasa, juga telah disarankan diatas secara katagoris pula. Kendati telah dilaksanakan berbagai usaha perbaikan, sebagaimana telah diuraikan diatas, namun keluhan akan banyaknya mahasiswa yang masih mengalami kegagalan dalam proses pembelajaran mekanika rekayasa masih tetap terdengar nyaring, terutama dari pihak dosen. Meneliti ulang mengenai kegagalan tersebut, serta menghubungkannya dengan analisis yang diberikan diatas, maka masih ada beberapa hal yang tidak terjaring dalam uraian tersebut, namun tidak terlepas dari pengamatan orang, yaitu bahwa perbaikan proses pembelajaran selama ini selalu mengalami kegagalan karena pada umumnya usaha perbaikan tersebut telah dilaksanakan secara parsial, yaitu:

1. Bahwa kegagalan tersebut hanya diatribusikan kepada mahasiswa saja. Biasanya kompetensi mahasiswa dianggap kurang; mahasiswa dianggap tidak mempunyai motivasi belajar yang diperlukan, malas kuliah dan belajar, tidak mengerjakan tugas pekerjaan rumah yang diberikan, malas membaca *textbook* dan rujukan, dan lain sebagainya.
2. Bahwa kontribusi dosen pada kegagalan tersebut tidak ditinjau, misalnya Dosen tidak memberikan kuliah secara baik dan teratur, malah sering terjadi lebih banyak absen dari pada kehadirannya, tidak memberikan tugas pekerjaan rumah, tidak melaksanakan kuis dan ujian dalam jumlah yang cukup, dan lain sebagainya.
3. Pihak universitas tidak memberikan remunerasi yang cukup kepada dosen, sehingga dosen meninggalkan kelas yang harus diajarnya karena harus mencari nafkah tambahan untuk dapat bertahan hidup.
4. Pihak universitas tidak membina sarana pendidikan yang diperlukan, seperti sarana komputer yang memadai; di perpustakaan tidak menyediakan berbagai buku ajar dan referensi yang ditentukan dalam silabus atau program semesteran.
5. Pihak universitas sengaja mengonstruksi kelas yang besar karena banyaknya
6. mahasiswa menentukan besarnya pemasukan bagi universitas.
7. Berdasarkan berbagai alasan tertentu, universitas menerapkan peraturan yang lunak (*lenient*) kepada dosen dan mahasiswa yang melanggar disiplin proses pembelajaran, tidak memberikan penghargaan kepada mahasiswa yang baik dan tidak menghukum (DO) mereka yang ingkar melaksanakan kewajibannya, dan lain sebagainya.

Daftar diatas ini menunjukkan bahwa bagian terbesar dari masalah kegagalan proses pembelajaran ada pada pihak universitas. Oleh karena itu agar universitas segera

melaksanakan kaji ulang terhadap kebijakan pendidikan yang dianutnya, serta implikasi sosial terhadap masyarakat tempat dimana universitas mengabdikan dirinya.

Makalah ini berpendapat (*claims*) bahwa selama perbaikan atau usaha peningkatan hanya dilaksanakan secara parsial, tidak dilaksanakan secara integral, kinerja akademis mahasiswa secara keseluruhan akan tetap rendah, khususnya dalam ilmu mekanika rekayasa.

PENULIS

Prof. Ir. Mohamad Sahari Besari, M.Sc., Ph.D., Guru Besar Institut Teknologi Bandung



BEBERAPA PERMASALAHAN DAN ALTERNATIF PENYELESAIAN PADA PEMBELAJARAN MEKANIKA REKAYASA DI PERGURUAN TINGGI

**Oleh
Widodo**

Abstract

The structural analysis is one of the major and important subjects in Civil Engineering. Historically, the progress of the structural analysis has been developed such away of the wave forms. In some periods, the structural analysis was progresively advanced , but in other period of time the progress has clearly declined. Nowadays, the problem of the structural analysis is not merely to develop a new method , but how the engineering educational systems be able to transfer the method of structural analysis clearly to the students. In many programmes, such as seminar, workshop etc, have been clearly indicated/stated by many peoples that the structural analysis subjects are not easily understood by students. Roots of the problems have to be investigated to overcome this phenomenon.

A simple and limited investigation and interview to explore the roots of the problems has been conducted in the Department of Civil Engineering, Islamic University of Indonesia. Interview was not only conducted to the students but also the structural analysis teachers. In addition, the real experience of the writer in teaching of this subject is also considered. The opinion, suggestion and critic from students through questionnaire which was regularly conducted (at each end of semester) by Department are also included.

Results of the investigation indicated that the successfulness of the teaching and learning process of the structural analysis subjects is affected by several factors. Those factors included the quality of the new students, teaching methods, teaching styles, media/tools, subject contents as well as the student's motivation and the student's environment. Some roots of the problems have been idetified and the alternative solutions have been proposed.

Keywords : structural analysis subjects, teching metods, teaching styles, media/tools, subject contents, student's motiavation and environment, alternative solutions.

1. PENDAHULUAN

Apabila menengok sedikit kebelakang tentang perkembangan ilmu pengetahuan bidang teknik maka sangatlah jelas bahwa perkembangan ilmu pernah mengalami pasang surut (Kinney, 1957). Apabila diperhatikan, pasang surutnya perkembangan ilmu bukanlah tanpa sebab yang tidak jelas. Masa-masa 3400 BC sampai dengan awal tahun Masehi hambatan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dipengaruhi oleh kondisi setempat. Pada saat itu kokohnya suatu kerajaan, kondisi yang stabil, pemikiran yang terfokus maka kondisi tersebut sangat mendukung perkembangan ilmu pengetahuan. Namun demikian begitu kerajaan runtuh, terjadi kekacauan dan anarkis maka pengembangan ilmu pengetahuan menjadi terganggu, lambat dan bahkan berhenti. Ternyata sejak zaman dahulu pengembangan ilmu pengetahuan dipengaruhi oleh kondisi sosial politik di suatu negara.

Analisis struktur (Mekanika Rekayasa) itu sendiri sudah dimulai pada periode *Old Kingdom* di Mesir (3400 BC sampai 2431 BC) dan merupakan awal mula perkembangan analisis struktur yaitu mulai dibangunnya Pyramid-pyramid. Namun demikian analisis struktur pada waktu itu masih terbatas sebagai seni/art ketimbang suatu kajian struktur secara

analitik. Banyak bangunan-bangunan teknis yang didirikan pada periode setelah mulainya Pyramid di bangun. Singkatnya pada periode 3400 BC sampai dengan 600 BC merupakan periode awal pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya analisis struktur.

Pengembangan ilmu pengetahuan dan analisis struktur berkembang secara pesat pada periode Greeks dan Romans (600 BC – 480 Masehi). Pada masa itu timbul istilah scholar, geometry, mathematics, philosopher, atom, center of gravity, On Equilibrium of hydristatic, dalil Pythagoras, penemuan struktur arch, dome dan pembangunan jembatan serta aquaducts. Rentang waktu kira-kira 1000 tahun dinilai sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan analisis struktur yang gemilang.

Adalah Dark Ages yaitu periode yang terjadi pada tahun Masehi 480 – \pm 1200 (\pm 720 tahun). Pada periode itu adalah periode gelap dalam hal pengembangan ilmu pengetahuan sehingga pengembangan analisis struktur menurun secara drastis. Penyebabnya adalah jatuhnya Roman Empire, dan hal ini senada dengan masa kerajaan Mesir kuno. Jatuhnya kerajaan membuat suasana kacau, dekadensi norma-norma kemanusiaan secara drastis dan *disruption of civil society*. Pengembangan ilmu sedikit membelok ke jazirah Arab yaitu dengan diketemukannya Arabic numerals. Dengan angka Arab, maka ilmu pengetahuan dapat berkembang pesat.

Pengembangan ilmu pengetahuan bangkit lagi pada periode 1200 - \pm 1700. Pada masa itu ada Roger Bacon (pengembangan ilmu pengetahuan dengan metode eksperimen), Leonardo da Vinci, konsep truss, statika, analisis kantilever Galileo, Hukum Hoke dan Hukum Newton. Walaupun analisis tegangan kantilever Galileo saat itu ada kesalahan tetapi hal itu merupakan langkah pengembangan analisis struktur yang hebat.

Pada periode 1700 – 1900 merupakan periode puncak pengembangan ilmu pengetahuan khususnya yang ada hubungannya dengan analisis struktur. Pada periode itu ada klan Bernoulli, Euler, Lame, Clapeyron, Saint Venant, Maxwell, Culman, Cremona, Castigliano, Williot dan Mohr. Banyak metode analisis struktur baik secara analitis maupun grafis yang berkembang pada periode itu, yang prinsip-prinsipnya dipakai sampai sekarang.

Di awal dan menjelang pertengahan abad ke XX karena adanya perang dunia mengakibatkan pengembangan analisis struktur sedikit banyak cenderung menurun. Pada periode ini diantaranya ada keluarga *Moment Distribution Method* (termasuk Kani dan Takabeya), dan *Slope Deflection Method*. Masalahnya juga bergeser dari era analitik kemudian memasuki era komputerisasi, setelah alat penghitung elektronik berkembang mulai pertengahan abad ke XX. Kebanyakan orang lebih menyenangi penyelesaian dengan proses numeris daripada proses matematis. Akibatnya alam matematis yang bersifat analitik yang sangat bagus untuk berkreasi kemudian terasa agak asing, kurang disenangi, sebaliknya penyelesaian dengan proses numeris terasa lebih mudah, cepat dan murah.

Apabila diperhatikan cerita di atas maka benar bahwa pengembangan ilmu analisis struktur mengalami pasang surut. Apakah periode sekarang ini masih dalam kategori masa surut dapatlah kiranya dirasakan bersama. Penguasaan analisis struktur oleh sebagian besar mahasiswa dan di sebagian besar perguruan tinggi dirasakan kurang memuaskan. Banyak hal/variabel yang terkait pada proses pembelajaran yang perlu dibahas dan dievaluasi. Hal itu diperlukan untuk mengetahui dimana sebenarnya *roots of the problems* pada prosen pembelajaran Analisis Struktur. Hal ini tentu saja menjadi persoalan yang serius mengingat analisis struktur termasuk mata kuliah inti pada Prodi Teknik Sipil. Oleh karena itu perlu dicari jalan keluarnya agar persoalan tersebut dapat diatasi.

Walaupun dari sisi yang relatif terbatas, pada tulisan ini akan disampaikan beberapa pengalaman, pengamatan serta hasil survai terbatas, serta kiat-kiat yang berhubungan dengan usaha perbaikan pada proses pembelajaran analisis struktur. Penulis adalah salah satu guru analisis struktur dengan pendekatan *classical approach*. Oleh karena itu alternatif solusi yang

disajikan hanya terbatas/berdasar pada persoalan-persoalan yang timbul pada *classical approach*.

2. MACAM, METODE DAN PENDEKATAN ANALISIS STRUKTUR

2.1. Macam analisis struktur

Secara garis besar analisis struktur dapat digolongkan menjadi 3 macam (Norris dkk, 1977; Meyers, 1983; Weaver dan Gere, 1980) yaitu : 1) analisis keseimbangan (*equilibrium of forces*) antara gaya luar dan gaya dalam; b) analisis hubungan antara tegangan dan regangan (*constitutive laws*) pada material struktur dan 3) adalah hubungan kontabilitas antara simpangan dan regangan (*compatibility condition*) . Selanjutnya Norris dkk (1977) mengatakan bahwa macam analisis yang kedua dan ketiga sama-sama ada unsur regangan yang dapat dieliminasi, sehingga tinggal 2-macam/golongna besar analisis struktur. Namun demikian tidak salah juga yang tetap memakai 3-macam analisis struktur tersebut.

2.2. Metode analisis struktur

Analisis struktur dapat dibedakan menurut metode yang dipakai. Norris dkk (1977) mengatakan bahwa analisis struktur dapat diselesaikan melalui 2-metode utama yaitu *Flexibility/Force method* dan *Stiffness/Displacement method*. Metode mana yang dipakai akan dipengaruhi oleh banyak pertimbangan.

Pada metode yang pertama gaya (eksternal dan internal) merupakan bilangan utama yang tidak diketahui. Apabila jumlah bilangan yang tidak diketahui masih dapat diselesaikan dengan persamaan keseimbangan statika maka struktur yang bersangkutan termasuk *statically determinate structure*. Apabila bilangan *unknown* lebih banyak maka persoalan menjadi *statically indeterminate structure*. Begitu *unknown forces* diperoleh maka *displacements* maupun *stresses* pada struktur dapat dihitung.

Pada metode kedua *displacement* lah menjadi bilangan utama yang tidak diketahui. Gaya-gaya luar dan dalam (*eksternal and internal*) yang ada dinyatakan dalam *displacement* yang dicari. Begitu *unknown displacement* diperoleh, maka dengan substitusi kebelakang baik gaya luar maupun gaya-gaya dalam akan dapat dihitung.

2.3. Pendekatan analisis struktur

Terlepas dari metode mana yang akan dipakai, maka pada umumnya juga terdapat 2-macam pendekatann yang dapat dipakai yaitu *classical/geometry approach* dan *systematic/digital approach*. Senada dengan hal yang disampaikan sebelumnya, 2-pendekatan ini akan mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Pada pendekatan yang pertama, penyelesaian struktur lebih banyak berhubungan dengan geometri struktur baik konfigurasi (bentuk, ukuran dan tampang) maupun properti elastik bahan (modulus elastik, modulus geser, poisson's ratio dan momen inersia). Pada pendekatan ini, proses analisis struktur selalu berkomunikasi dengan konfigurasi, properti elastik serta perilaku perubahan bentuk/deformasi elastik elemen/struktur yang bersangkutan. Pada pendekatan ini proses analisis struktur umumnya dilakukan secara manual, sambil mengikuti perilaku (*behavior*) atau respon struktur akibat beban yang harus ditahan.

Pada pendekatan yang kedua, efektifitas proses penyelesaian menjadi hal utama. Langkah yang ditempuh adalah dengan menggunakan metode tertentu (matriks, elemen hingga) yangmana proses hitungannya dapat dilakukan secara sistimatik dan efisien oleh mesin penghitung/komputer. Pendekatan ini sangat *powerful*, karena dapat menyelesaikan problem analisis struktur yang sangat besar/banyak, kompleks dan berulang-ulang dengan waktu yang relatif singkat. Walau bagaimanapun pendekatan ini juga mempunyai kekurangan

yang salah satunya adalah proses penyelesaian/perilaku/respon struktur yang terjadi tidak mudah diikuti/dibayangkan oleh orang/mahasiswa pada umumnya (matriks yang ada seperti matriks kekakuan, transformasi, kekakuan global dan proses operasi selanjutnya merupakan proses digital, bukan proses phisik yang mudah dibayangkan).

3. PROSES PEMBELAJARAN, ALAT, DOSEN, MAHASISWA, *CONTENT* DAN *ASSESSMENT*

3.1. Proses pembelajaran

Ada yang memberikan definisi *teaching* secara singkat yaitu : *teaching may be regarded as providing opportunities for student to learn as an interactive process*. Dari definisi yang sederhana ini segera dapat diketahui adanya ketidak sehatan proses pembelajaran yang akhir-akhir ini terjadi yaitu “kurang/tidak ada proses interaktif”.

Secara umum metode pembelajaran dapat digolongkan menjadi 2-golongan besar yaitu : 1) proses pembelajaran yang terpusat pada guru/dosen (*teacher centered activity*) dan 2) proses pembelajaran yang berorientasi pada siswa (*student centered activity*). Proses pembelajaran yang kedua ini banyak menekankan pada keaktifan siswa/ mahasiswa sehingga interaksi diantara pelaku proses pembelajaran dapat berlangsung secara baik. Banyak jenis proses pembelajaran yang berorientasi pada siswa (Oetarini, 2001; Hamruni 2003) yang diantaranya adalah *active learning* (dilihat dari keaktifan/ partisipasi) dan *problem based learning* (dilihat dari masalah yang dipecahkan). Konsep pembelajaran secara efektif (*effective teaching*) dapat dilihat di Jones (2000). Nanti dapat dievaluasi apakah proses pembelajaran yang ada sekarang ini sudah baik.

3.2. Media/Alat Pembelajaran (*Tools*)

Pemenuhan terhadap pemakaian media/alat pembelajaran termasuk *teaching strategy* (Felder dan Soloman dalam Anonim, 2001). Fungsi media adalah sebagai alat bantu yang dapat dalam berbagai bentuk. Pemakaian alat/media yang paling tepat untuk suatu pembelajaran akan bergantung pada bidang ilmu, tujuan pembelajaran, karakteristik peserta dan kondisi lingkungan. Pemakaian media juga diperlukan mengingat prinsip : *If I hear, I forget; If I see, I remember; If I do, I understand*.

Pada proses pembelajaran tradisional, media/alat yang dimaksud sering-sering hanya dimaknai dengan adanya buku, papan tulis, kapur, penggaris, kalkulator, *overhead projector* ataupun *LCD*. Pada hakekatnya banyak alat pembelajaran yang dapat dipakai agar proses pembelajaran dapat berlangsung dengan baik. Alat pembelajaran akan membantu manakala yang dibahas adalah sesuatu yang relatif sulit untuk dibayangkan. Akan dapat dilihat nanti seberapa banyak media yang dipakai pada proses pembelajaran Mekanika Rekayasa.

3.3. Guru/Dosen

Guru atau dosen secara teoritik didaktik harus mampu melakukan proses pembelajaran secara efektif. Kemampuan melakukan pembelajaran secara efektif adalah suatu *skill* yang dapat dipelajari, diperbaiki dan dikembangkan. Banyak hal yang harus dikuasai/dipunyai oleh dosen untuk tujuan itu meliputi : 1) *Plan* yaitu hal-hal yang berhubungan dengan penyiapan materi (kuantitas, kualitas, kemutakhiran dan *bukti hard print*) ; 2) *Do* meliputi banyak hal misalnya banyak kali guru/dosen hadir kuliah, kedisiplinan memakai waktu, memilih metode/pendekatan pembelajaran yang tepat, gaya penyampaian, intonasi/kejelasan suara guru/dosen, tulisan guru/dosen, alat yang digunakan, kemampuan membangkitkan semangat/motivasi/minat belajar melalui pengalaman- pengalaman yang riil, dan kemampuan

menangkap umpan balik.; 3) *Check* yang pada intinya meliputi evaluasi apakah kemajuan/progess pembelajaran berjalan dengan baik, kesesuaian dengan SAP, mengedarkan kuesioner untuk evaluasi proses pembelajaran dan 4) *Act* mengolah koesioner untuk menangkap *feedback*, melakukan modifikasi atau perbaikan diaspek-aspek yang diinginkan oleh mahasiswa dan itu semua dijalankan untuk tujuan *continuous improvement* (dalam segala aspek). Nanti akan dilihat apakah guru/guru dan dosen sudah mengerjakan itu semua.

3.4. Siswa/Mahasiswa

Banyak hal yang berhubungan dengan persoalan siswa atau mahasiswa dalam rangka *to learn*. Persoalan pertama akan berkaitan dengan kualitas input siswa/ mahasiswa baru. Kualitas mahasiswa baru akan dipengaruhi oleh jumlah pendaftar, jumlah yang diterima, metode seleksi dan kriteria penerimaan yang diinginkan (misalnya bahasa inggris harus baik, aritmatika harus baik, logika harus baik, kemampuan grafis harus baik dsbnya). Semakin tinggi tingkat persaingan akan semakin baik mutu mahasiswa baru dengan catatan metode/sistim seleksinya cukup standar.

Dari sisi psikologi, Lestari (2004) pada penelitiannya menunjukkan bahwa prestasi mahasiswa yang secara umum ditunjukkan oleh ketepatan waktu studi, sangat dipengaruhi oleh motivasi belajar. Motivasi itu sendiri banyak definisinya yang salah satu diantaranya adalah gerakan internal pada diri seseorang yang mampu membangkitkan minat, mengarahkan, menjaga perilaku untuk berbuat secara positif. Prestasi mahasiswa salah satunya dipengaruhi oleh kekuatan belajar, sedangkan kekuatan belajar dorongan utamanya adalah adanya minat dan motivasi. Oleh karena itu motivasi dan pembangkitan motivasi mahasiswa oleh dosen menjadi hal yang sangat penting pada proses belajar mengajar. Mahasiswa masih mengharapkan perbaikan *teaching style* guru/dosen. Persoalan yang lain adalah adanya kemungkinan mahasiswa baru prodi Teknik sipil yang berasal dari SMU IPS. Secara perundang-undangan dimungkinkan siswa SMU IPS dapat mendaftar dan kenyataannya ada yang diterima. Walaupun jumlah mereka relatif sedikit namun demikian hal ini cukup bermasalah.

Sebagaimana disampaikan sebelumnya, agar proses belajar mengajar berjalan dengan efektif maka partisipasi aktif mahasiswa selama kuliah sangat diperlukan. Padahal partisipasi aktif itu salah satunya dipengaruhi oleh kemampuan dosen dalam membangkitkan semangat atau membangkitkan rasa ingin tahu. Mahasiswa harus tahu hal-hal yang dirinya tahu dan hal-hal yang dirinya tidak tahu. Mahasiswa juga harus tahu bagaimana tata-cara kuliah dan belajar yang efektif.

Persoalan internal/personal non akademik mahasiswa dapat mengganggu prestasi mahasiswa. Persoalan eksternal mahasiswa (godaan lingkungan, hiburan, permainan dll) pada kenyataannya sangat besar. Ada yang secara sadar mahasiswa tahu bahwa dirinya punya masalah. *Student guidance counseling* adalah perangkat yang diperlukan agar persoalan baik akademik dan non akademik mahasiswa dapat terselesaikan.

3.5. Content dan Assessment

Content yang dimaksud adalah problema siswa/mahasiswa yang berhubungan dengan isi/*content* dalam rangka mempelajari Mekanika Rekayasa. Problem yang dihadapi cukup bervariasi yang penyelesaiannya bergantung pada "*gaya*" tiap-tiap dosen dalam menyelesaikan masalah. Hal berikutnya adalah proses/metode dalam menakar hasil proses belajar mengajar. Ada teori khusus yang berhubungan dengan tata-cara *assessment* hasil proses belajar mengajar. *Assessment* yang baik akan menghasilkan taksiran kualitas proses belajar mengajar yang *fair* dan realistik.

4. METODE INVESTIGASI

Beberapa langkah telah dilakukan untuk mengumpulkan fakta terhadap hal-hal yang berhubungan dengan proses belajar mengajar secara keseluruhan. Fakta yang pertama adalah berdasarkan pengalaman mengajar dan hal-hal yang dijumpai saat mengajar Analisis Struktur atau Mekanika Rekayasa. Pengalaman tersebut akan dipakai sebagai justifikasi terhadap proses belajar mengajar yang dilakukan.

Fakta yang terjadi dilapangan juga diperoleh dengan wawancara kepada mahasiswa dan dosen-dosen yang menagajar mata kuliah Analisis Struktur. Koesioner yang dipakai adalah kuesioner yang dilakukan dibagikan pada siswa/mahasiswa pada setiap akhir semester. Komentar dan saran mereka dikumpulkan kemudian digeneralisasi. Walaupun jumlahnya relatif terbatas, tetapi hal-hal menarik telah diperoleh lewat beberapa cara tersebut.

5. PROBLEM, ALTERNATIF PENYELESAIAN DAN BAHASAN

5.1. Macam, Metode dan Pendekatan Analisis Struktur

Secara umum dapat dikatakan bahwa tidak ada masalah yang ada hubungannya dengan macam dan metode yang dipakai pada analisis struktur. Dibeberapa kesempatan pernah didiskusikan tentang volume materi yang diberikan dengan *classical approach* dan *systimatic approach*. Ada beberapa fihak yang mengatakan bahwa analisis struktur yang diberikan dengan *classical approach* sedikit saja, dan langsung masuk pada metode matriks dalam menyelesaikan masalah.

Sekarang ini khususnya di Jurusan Teknik Sipil UII, Analisis Struktur I (*truss*), Analisis Struktur II (*external & internal forces*), Analisis Struktur III (*statically indeterminate structure*), Tegangan Bahan dan sebagian dari Analisis Struktur V (*multistorey frame*) semuanya disampaikan dengan *classical approach*. Hanya Analisis Struktur IV yang memakai metode matriks yang termasuk golongan *systimatic approach*. Penulis dan kami (UII) berpendapat bahwa terlepas *classical approach* mempunyai beberapa kelemahan, tetapi *doing by hand* yang berdasar pada geometri, konfigurasi dan sifat2 bahan sebagaimana disampaikan sebelumnya, proses analisis struktur dapat diikuti/dibayangkan relatif mudah oleh mahasiswa, sehingga pemahaman terhadap perilaku dan respon struktur dapat dibayangkan dan selanjutnya dimengerti secara baik (walaupun analisis struktur tetap menjadi mata kuliah yang relatif sulit dimengerti oleh sebagian besar mahasiswa).

5.2. Proses Pembelajaran, Alat, Dosen dan Mahasiswa

5.2.1 Proses Pembelajaran

Diaukui apa tidak, tampaknya sistim pembelajaran yang terpusat pada guru (*teacher centered*). Banyak fihak yang menyatakan bahwa partisipasi mahasiswa terhadap proses pembelajaran, sangat minim (mahasiswa pasif). Apabila demikian maka proses pembelajaran perlu diarahkan pada *student centered teaching*, hal ini berarti pembaharuan metode/sistim pembelajaran. Macam-macam aktivitas pada metode pembelajaran secara ideal agar mahasiswa dapat memahami materi kuliah misalnya adalah sebagai berikut:

- | | | | |
|----------------|----------------|---------------|---------------------|
| 1. Ceramah | 5. Diskusi | 9. Magang | 13. Kuliah Lapangan |
| 2. Resitasi | 6. Studi Kasus | 10. Simulasi | |
| 3. Demonstrasi | 7. Asistensi | 11. Display | |
| 4. Tanya jawab | 8. Perancangan | 12. Praktikum | |

Apabila diperhatikan, maka hanya sedikit aktivitas yang dilakukan pada proses pembelajaran sehingga inilah salah satu penyebab rendahnya pemahaman mahasiswa terhadap Analisis Struktur. Usulan konkrit adalah peningkatan aktivitas yang dilakukan pada

proses pembelajaran (tidak hanya ceramah dan tanya-jawab saja). Akan lebih baik lagi apabila *active learning* (salah satu jenis *student centered teaching*) misalnya dapat diterapkan pada pembelajaran Analisis Struktur.

5.2.2 Media/Alat (*Tools*) pada Proses Pembelajaran

Sebagaimana disampaikan sebelumnya, media merupakan alat bantu untuk mempermudah penyerapan materi. Media/Alat-alat yang dimaksud dapat berupa *hardware* maupun *software*. Media *hardware* misalnya *printed materials* (baik berupa teks, grafik maupun gambar), alat peraga, audio maupun audiovisual (misalnya *slides*, *foto*, *cassete*, *compact disk*, dan film) Sedangkan yang berbentuk *software* adalah perangkat/alat peraga/paket program yang berhubungan dengan daya layan komputer (misalnya pada sistim *computer based teaching*). Semakin banyak *tools* yang dipakai semakin memperjelas siswa/mahasiswa untuk mempelajari sesuatu.

Apabila diperhatikan maka media/alat proses pembelajaran yang dipakai umumnya masih minim. *Printed material* saja tidak semua dosen menyediakan, apalagi media-media yang lain. Dengan demikian guru/dosen mempunyai kontribusi ketidak berhasilan pembelajaran Mekanika Rekayasa dari sisi ini. Usul konkrit adalah Konsorsium menetapkan sekaligus membuat/memesan media bantu pada proses pembelajaran (misalnya alat peraga ataupun *computer based teaching tool*).

5.2.3 Dosen dan Mahasiswa

Menurut teori ideal seperti yang disampaikan sebelumnya, guru/dosen harus melakukan perbaikan mutu pembelajaran secara terus menerus (*continuous improvement*). Proses yang dikerjakan adalah melakukan kegiatan rutin PDCA (PLAN, DO, CHECK dan ACT) dengan masing-masing aktivitas sebagaimana disampaikan sebelumnya. Pertanyaannya sekarang adalah, sudahkan guru-guru/dosen-dosen Mekanika Rekayasa melakukan hal itu ?

Kecenderungan secara umum menunjukkan bahwa hal-hal tersebut belum dilakukan oleh guru-guru/dosen-dosen. Apabila demikian maka proses pembelajaran tidak pernah mengalami perbaikan sesuai dengan keinginan/*feedback* siswa/mahasiswa. Akibatnya dapat ditebak, proses pembelajaran menjadi statis dan mungkin tidak menarik di kalangan mahasiswa. Hal tersebut akan diperparah apabila guru/dosen mempunyai *teaching style* yang tidak menarik (suaranya pelan dan tidak jelas, menerangkan sambil duduk/ menghadap papan tulis, tulisannya tidak baik, terlalu formal, kondisi kelas mencekam dan secara umum dosen tidak mempunyai nilai-lebih yang dapat ditiru oleh mahasiswa). Apabila demikian yang terjadi, habislah sudah, mata kuliah Mekanika Rekayasa tidak disenangi oleh mahasiswa, nilainya jelek-jelek, yang disalahkan mahasiswa !. Usul konkrit, guru/dosen Mekanika Rekayasa harus dipilih guru/dosen yang canggih, banyak akal, humoris dll, yang tidak seperti yang disebut tadi. Hal itu adalah salah satu usulan/input dari siswa/mahasiswa tentang perbaikan *teaching style* dosen.

Disisi lain, yaitu sisi siswa/mahasiswa persoalannya juga bervariasi. Hasil wawancara dan survai terbatas menunjukkan bahwa mahasiswa sulit membayangkan mekanisme gaya-internel (momen lentur, gaya-lintang, gaya normal, momen puntir) pada elemen struktur. Mahasiswa juga mempunyai problem ketahanan konsentrasi, artinya sulit berkonsentrasi mengikuti kuliah 3-SKS nonstop. Persoalan lain adalah ketidak disiplin mahasiswa dalam mengelola waktu. Kost terasa merdeka, tidak ada yang mengendalikan/mengingatkan sebagaimana dirumah dulu, sehingga pemanfaatan waktu cenderung tidak terkendali, tidak mempunyai jadwal belajar yang rutin. Itu semua adalah persoalan internal mahasiswa pada umumnya yang ikut mempengaruhi pemahaman pada mata kuliah Mekanika Rekayasa.

Problem Eksternal juga tidak kalah serunya dengan problem internal. Mahasiswa juga mengatakan tidak semua dosen mempunyai modul kuliah yang baik. Sudah kuliah 3-SKS nonstop, dosennya pun terlalu serius, kurang humoris, tegang terus, padahal mahasiswa berkeinginan mengendorkan syaraf. Problem eksternal yang luar biasa adalah godaan lingkungan, hiburan dan permainan baik di Kafe, TV, internet dan bahaya psikotropika. Alternatif penyelesaiannya adalah masih perlunya *guidance* yang lebih terstruktur atas mahasiswa, misalnya dari Dosen Pembimbing Akademik., mengaktifkan komunikasi Wali Mahasiswa (perkumpulan orang-tua/wali mahasiswa), adanya *student guidance counseling*, proses pendampingan belajar oleh kakak kelas/asisten dan usaha2 lain agar mahasiswa lebih banyak menghabiskan waktunya di kampus daripada berkeliaran di luar kampus. Tampaknya usaha2 tersebut banyak yang belum berjalan.

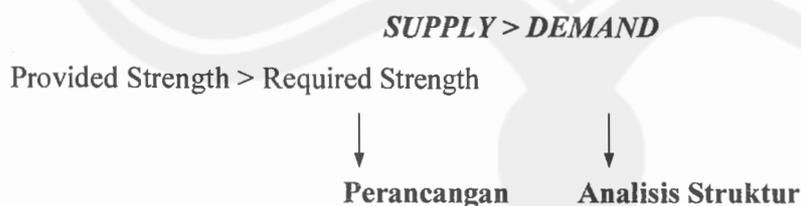
5.3. Content dan Assessment

5.3.1 Arti Penting Analisis Struktur

Sebagai pembuka kuliah Analisis Struktur, mestinya disampaikan pengertian apa itu struktur, macam-macam/jenis struktur, elemen-elemen struktur, hal-hal yang berkaitan dengan analisis struktur, analisis struktur, cakupan analisis struktur dan arti penting analisis struktur. Hal itu semua tidak perlu disampaikan pada tulisan ini, hanya yang terakhirlah yang sangat penting disampaikan. Tampaknya guru/dosen belum tentu/tidak menyampaikan hal yang terakhir itu kepada mahasiswa, padahal itu merupakan prinsip yang penting dan dapat dipakai sebagai pembangkit motivasi.

Arti penting analisis struktur dapat dijelaskan dengan mengemukakan fungsinya dan dikaitkan dengan perancangan. Fungsi analisis struktur, khususnya pada macam analisis struktur yang pertama (*equilibrium of forces*) utamanya adalah menghitung dan menggambar keseimbangan antara *external* dan *internal forces*. Nantinya, kedua hal tersebut akan menjadi problem utama pada pembelajaran Analisis Struktur.

Dengan memperhatikan fungsi yang dimaksud, maka analisis struktur berarti menentukan "*required strength*" yang berfungsi sebagai **DEMAND**. Sementara itu kebutuhan kekuatan tersebut harus dicukupi lewat "*provided strength*" pada mata kuliah perancangan (baik perancangan elemen maupun perancangan struktur) dan berfungsi sebagai **SUPPLY**. Dengan demikian terdapat hubungan Analisis Struktur dengan Perancangan yang disajikan dengan istilah sederhana yang mudah diingat dan dimengerti.



Apabila diperhatikan, betapa pentingnya Analisis Struktur karena lewat mata kuliah tersebut kekuatan yang diperlukan dapat ditentukan. Apabila penentuan kebutuhan kekuatan terdapat kesalahan maka *supply* kekuatan juga akan salah, struktur menjadi tidak aman, membahayakan pemakai. Untuk macam struktur dan bebaban yang sudah ditentukan, persoalannya menjadi agak sederhana. Apabila beban belum ditentukan, (misalnya beban gempa riil) maka proses sampai pada analisis struktur menjadi lebih panjang. Hal tersebut diharapkan meningkatkan motivasi mahasiswa.

5.3.2 Pemodelan pada Analisis Struktur

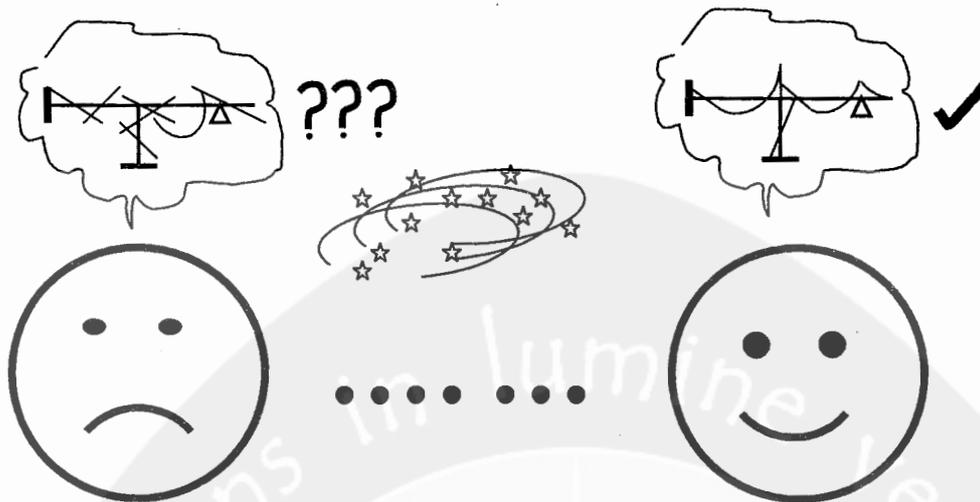
Pemodelan fisik perlu ditanamkan secara dini kepada mahasiswa. Struktur yang sesungguhnya adalah 3-Dimensi. Untuk struktur yang reguler/tipikan/simetri maka untuk analisis struktur sering 3-D dimodel sebagai 2-D. Agar analisis struktur dapat dilakukan maka model struktur harus ditransfer menjadi model matematik, sehingga permasalahan menjadi *mathematically trackable/solveable*. Beban terpusat dimodel sebagai anak panah, beban terbagi-rata dimodel sebagai serangkaian anak panah yang kontinu, balok, kolom dimodel sebagai garis, sistim dukungan juga dimodel dan seterusnya. Selain itu juga disajikan asumsi-asumsi yang dipakai pada analisis struktur. Dengan pengenalan pada model-model tersebut mahasiswa akan mengerti bagaimana tata-cara menyelesaikan persoalan riil menjadi model yang *mathematically solveable*.

5.3.3 Satuan/Unit dan Dimensi

Untuk satuan SI, satuan *force* yang dipakai atau Newton (N). Celaknya dalam kehidupan sehari-hari satuan Newton itu tidak/kurang dikenal. Oleh karena itu mahasiswa tidak dapat membayangkan seberapa besar 1N, 1kN, 1 Mpa dan sebagainya. Pada kehidupan sehari-hari yang dipakai adalah satuan massa 1kg, 1kwt ataupun 1ton. Hal ini kelihatannya sepele, tetapi cukup merepotkan, apalagi yang sudah melibatkan rumus-rumus yang agak panjang. Oleh karena itu para ilmuwan Jepang masih menggunakan 1kgf, 1tonf, yang mudah dibayangkan karena sesuai dengan kehidupan sehari-hari. Mahasiswa juga sulit mengenali dimensi untuk-tiap-tiap besaran (moment, tegangan, regangan, kekakuan dstnya). Akibatnya, kalau lupa rumus atau ragu2 tentang sesuatu rumus kemudian macet.

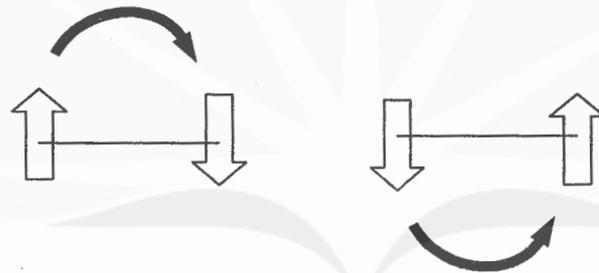
5.3.4 Gaya-gaya Dalam dan Tandanya

Kebanyakan mahasiswa sulit membayangkan gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya lintang/geser, gaya normal, momen puntir apalagi kombinasi diantaranya. Pemakaian alat-alat peraga adalah solusi atas problema tersebut. Mahasiswa sangat sulit membayangkan dan mengingat-ingat momen positif dan momen negatif (walaupun positif dan negatif itu hanyalah perjanjian saja). Penulis mengajarkan kepada mahasiswa apa itu momen positif apa itu momen negatif seperti yang tampak pada Gambar 1. Melalui gambar tersebut momen negatif dan positif dapat diingat-ingat dengan mudah.



Gambar 1 Simbolisasi momen negatif dan momen positif

Tanda-tanda momen lentur dan gaya-lintang tersebut semata-mata hanya perjanjian (bisa berbeda di beberapa tempat), namun demikian dengan simbol-simbol tersebut akan mudah bagi mahasiswa untuk mengingat-ngatnya.



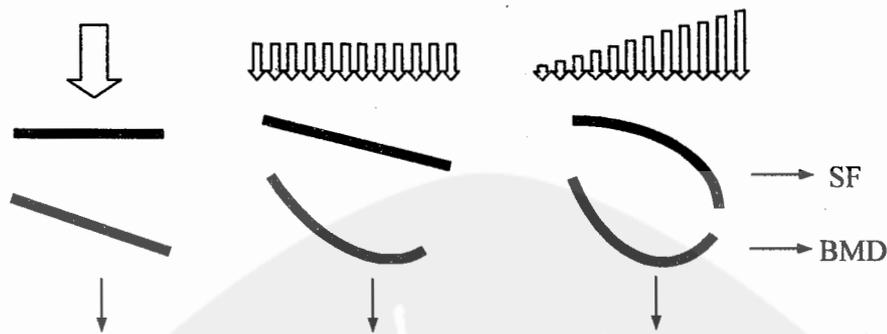
Gambar 2. Gaya lintang positif dan negatif

5.3.5 Kebingungan membuat SFD dan BMD

Kebingungan yang sering terjadi adalah fungsi persamaan garis gaya-lintang maupun momen hubungannya dengan beban yang bekerja. Untuk itu dapat diingat-ingat dengan memperhatikan hubungan,

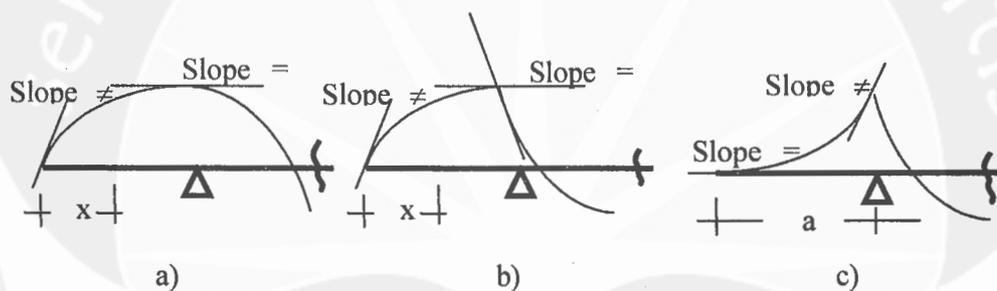
$$\frac{dM}{dx} = V, \text{ atau } dM = V \cdot dx \quad 1)$$

$$\begin{array}{lll} M = f(x^1) & M = f(x^2) & M = f(x^3) \\ \frac{dM}{dx} = V = f(x^0) & \frac{dM}{dx} = V = f(x^1) & \frac{dM}{dx} = V = f(x^2) \end{array} \quad 2)$$



Gambar 3 Hierarki fungsi persamaan garis pada SFD dan BMD

Melalui rangkuman gambar seperti yang tampak pada Gambar 3 dan penjelasan seperti persamaan 2), maka kebingungan tersebut diatasi. Selain itu juga sering bingung pada saat menggambar bidang momen di balok kantilever akibat beban terbagi-rata. Kebingungan/kesalahan/ketidak-mengertian mahasiswa terletak pada *slope* diujung kantilever dan di atas dukungan seperti yang tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Kebingungan menggambar bidang momen di kantilever

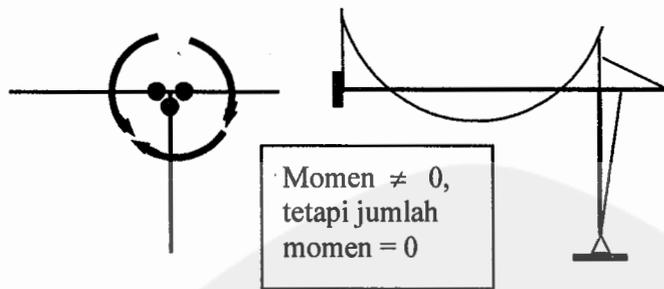
$$M_x = \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2, \text{ slope} = \frac{dM}{dx} = q \cdot x \quad 4)$$

untuk $x = 0$, $\text{slope} = 0$, untuk $x = a$ maka $\text{slope} = q \cdot a$

Dengan bukti matematis tersebut maka gambar 4.a) dan 4.b) salah dan yang benar adalah gambar 4.c. Selain itu, pembuktian momen pada kantilever juga dapat dilakukan lewat gambar (secara grafis).

5.3.6 Kebingungan terhadap Momen² di Ujung Batang yang Saling Bertemu

Siswa/mahasiswa sangat sulit membayangkan seperti apa dan harus bagaimana momen-momen yang terjadi pada ujung² batang yang saling bertemu. Disamping itu juga cara menggambar/arah gambar bidang momen tersebut.



Gambar 5. Momen dan jumlah momen

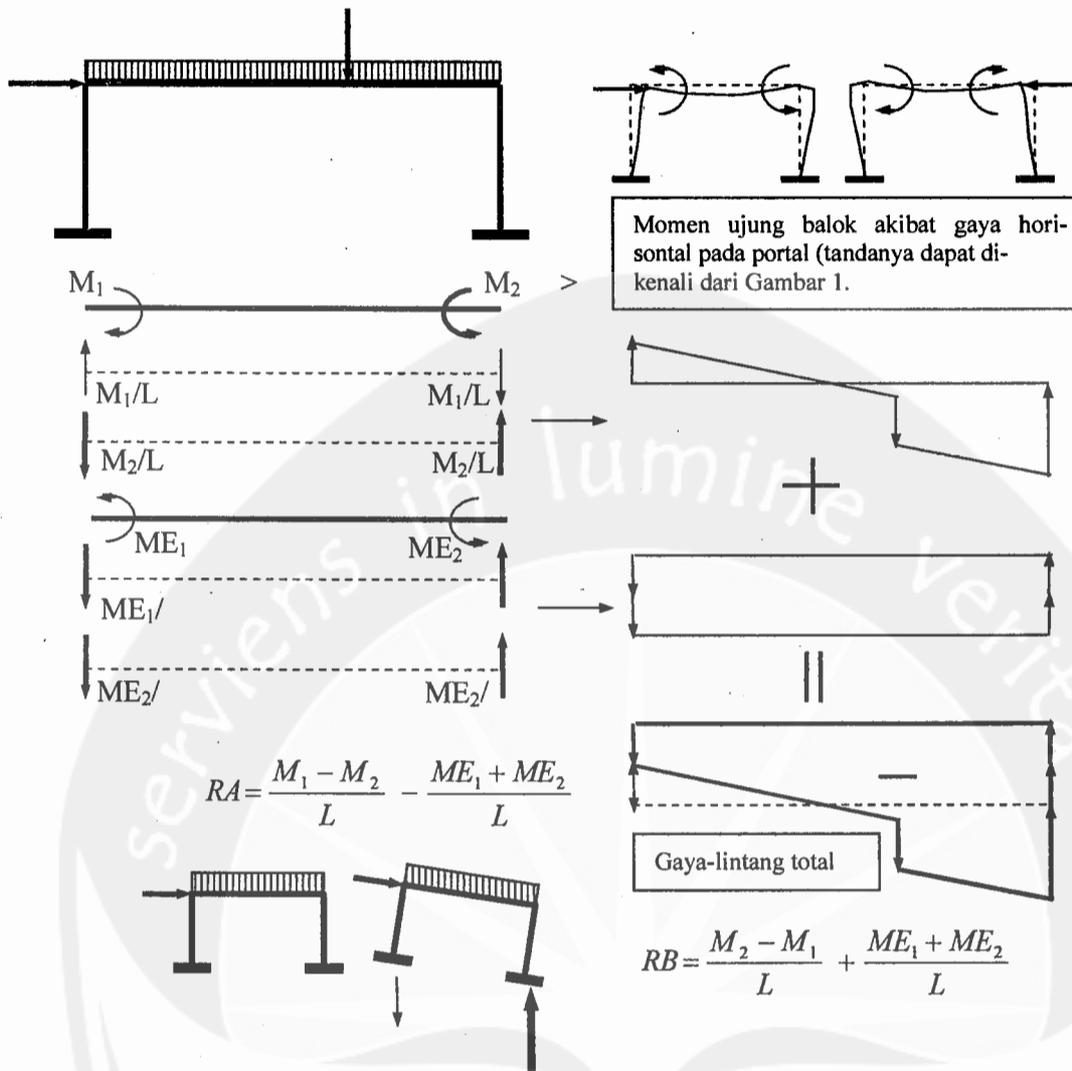
Agar struktur dalam keadaan seimbang maka jumlah momen yang bertemu pada setiap joint harus sama dengan nol, walaupun momen-momennya tidak sama dengan nol. Dengan menggambar arah-arrah momen (untuk menentukan apakah momen negatif atau positif dapat melihat gambar 1) yang benar maka BMD dapat digambar dengan mudah. Hal ini sekaligus untuk memenuhi kondisi kompatibilitas pada joint (dengan jaccatan joint tetap elastik/kaku/tidak rusak).

5.3.7 Melupakan Hubungan antara Gaya Lintang dan Momen

Siswa/mahasiswa tampaknya kesulitan menghitung gaya lintang apalagi kalau sudah gaya lintang kombinasi dari beberapa jenis beban (mati, hidup dan gempa).

Walaupun keluaran paket program semuanya itu telah ada, tetapi pada mata kuliah tertentu (misalnya perancangan struktur), siswa/mahasiswa harus menghitung dan menggambar gaya lintang. Padahal menurut persamaan 1), antara gaya-lintang dan momen mempunyai hubungan langsung.

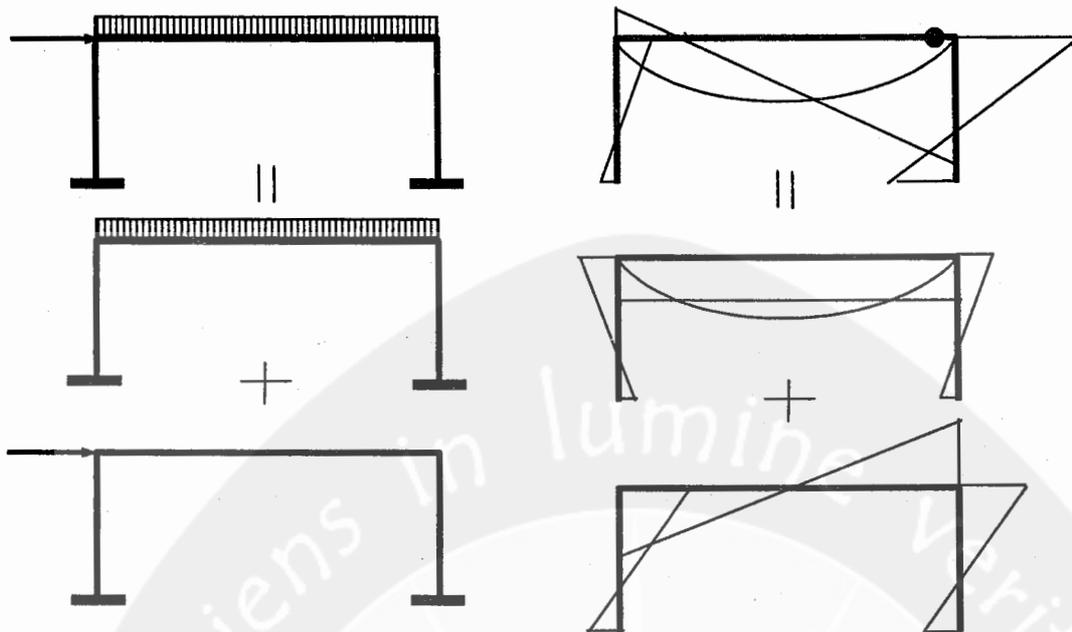
Gambar gaya lintang akan sangat diperlukan pada saat menghitung jurak sengkang pada struktur beton misalnya. Tanpa adanya nilai dan gambar gaya lintang yang benar maka hitungan tulangan geser akan berkemungkinan salah. Siswa / mahasiswa banyak yang menghafalkan rumus, tetapi tidak tahu asal-muasal gaya lintang tersebut diperoleh, misalnya adalah seperti Gambar 6. Gaya-gaya lintang seperti pada gambar tersebut adalah diperoleh dari momen-momen yang ada (reaksi/gaya lintang pada ujung balok mungkin saja bertanda negatif, seperti pada gambar). Disamping itu siswa/mahasiswa juga susah mengetahui apakah momen ujung balok positif atau negatif apabila terdapat gaya horisantal pada portal dengan arah tertentu.



Gambar 6. Gaya lintang Balok

5.3.8 Dimana Momen Ujung Balok yang Lebih Besar?

Pertanyaan ini sering dijumpai pada portal yang dibebani oleh kombinasi antara beban gravitasi dan beban horisontal. Siswa/mahasiswa harus punya *sense* secara cepat dimana momen ujung balok yang paling besar, apabila portal dibebani seperti itu.



Gambar 8. Momen akibat beban Kombinasi

Apabila diperhatikan Gambar 8, maka momen ujung balok terbesar adalah momen balok pada ujung yang paling jauh /belawan dari/dengan letak/arrah beban. Apabila prinsip ini dimengerti maka siswa/mahasiswa dapat secara cepat mengevaluasi keluaran analisis struktur.

5.3.9 Miskin *Feeling* dan Mitos Keluaran Komputer Pasti Benar

Sangat sedikit siswa/mahasiswa yang mempunyai *feeling* atau sudah mampu menggunakan *feeling* bahwa hasil analisisnya sudah benar/masih salah. *Feeling* memang penting untuk memperkirakan apakah respon struktur yang diperoleh sudah benar, karena analisis struktur umumnya dilakukan dengan menggunakan paket program. Tanpa adanya penguasaan analisis struktur yang cukup maka *feeling* tersebut akan sulit terbentuk. Disamping itu memang diperlukan *jam terbang* yang lebih lama agar hal tersebut tumbuh dikalangan mahasiswa. Suatu hal yang sangat berbahaya adalah mitos bahwa analisis keluaran komputer pasti benar. Hitungan numeris komputer memang benar, tetapi kesalahan akan bersumber pada *human error* (entah input, entah yang lain). Tidak hanya di Indonesia, di negara-negara yang maju seperti USA sekalipun, para *senior structural engineer* sempat mengatakan bahwa presentasi para *young/fresh engineer* sangat menarik, *colorful*, tetapi sebenarnya analisis mereka/sebagian dari mereka masih ada yang salah tetapi mereka tidak sadar/ tanpa disadari. Oleh karena itu mitos bahwa analisis struktur keluaran komputer pasti benar perlu diwaspadai. Masih banyak permasalahan yang perlu ditulis dan didiskusikan, tetapi karena terbatasnya tempat dan waktu, maka untuk sementara sampai disini dulu.

5.3.10 Assessment

Assessment untuk mengetahui seberapa besar kandungan kompetensi siswa/mahasiswa setelah menempuh mata kuliah analisis struktur ada ilmunya. Tidak banyak guru/dosen yang betul-betul menguasai teknik *assessment*. Oleh karena itu Guru/dosen

sebaiknya mempelajari hal ini agar *assessment* yang diperoleh valid, reliable, fair dan cukup fleksibel.

6. SIMPULAN

Banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses pembelajaran Analisis Struktur yang diantaranya adalah :

1. Mutu mahasiswa baru, yang pada umumnya belum memuaskan atau tidak seperti yang diinginkan,
2. Metode mengajar yang dikukan oleh dosen, yang pada umumnya masih memakai metode tradisional sehingga hasil proses belajar mengajar belum memuaskan,
3. *Teaching Style* dosen masih perlu ditingkatkan/diperbaiki sehingga betul-betul memuaskan dipandang dari kacamata siswa/mahasiswa,
4. Guru/Dosen pada umumnya belum menggunakan alat-alat pembelajaran yang dapat mempermudah pemahaman siswa/mahasiswa terhadap mata kuliah Analisis Struktur,
5. Banyak cara/trik-trik yang perlu diampaikan guru/dosen kepada mahasiswa dalam rangka mempermudah memahasi isi/content mata kuliah Analisis Struktur,
6. *Student Guidance Counseling* tampaknya sangat diperlukan oleh siswa/mahasiswa dalam rangka penyelesaian problem internal maupun eksternal mahasiswa,

7. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Materi Teaching Improvement Workshop (TIW), Ditjen Dikti, 2001
- Hamruni, Membangun Active Learning dalam Perkuliahan, Rakorja FTSP UII, 2003 (tidak dipublikasikan).
- Jones M.J, Curriculum Development, Ditjen Dikti, 2000
- Kinney J.S, Intermediate Structural Analysis, Addison -Wesley Publishing Company, London, 1957
- Lestari S, Perbedaan Motivasi Belajar antara Mahasiswa yang Tepat Waktu dan Mahasiswa yang Terlambat Waktu Studinya, Skripsi Fakultas Psikologi, UII, 2004
- Meyers V.J, Matrix Analysis os Structures, Harper & Row-Publishers, New York, 1983
- Norris C.H, Wilbur J.B, Utku S, Elementary Structural Analysis, McGraww-Hill International Book Company, 1977
- Oetari S, Pembelajaran Berorientasi pada mahasiswa (student centered learning), Workshop Penelusuran Kompetensi, FTSP UII, 2001 (tidak dipublikasikan).
- Weaver JR. W, Gere J.M, Matrix Analysis of Framed Structures, Von Nostrand Reinhold, 1980

PENULIS

Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D., Guru Besar Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

PENINGKATAN MOTIVASI MAHASISWA UNTUK MEMPERDALAM MATA KULIAH MEKANIKA REKAYASA DI JURUSAN TEKNIK SIPIL ITS

**Oleh
Triwulan
Isdarmanu**

ABSTRAK

Mekanika Rekayasa adalah merupakan mata kuliah dasar keahlian di bidang Teknik Sipil, tanpa memahami mata kuliah tersebut mahasiswa akan mendapatkan kesulitan dalam memahami dan mengetrapkan matakuliah keahlian lainnya.

Dilihat perkembangan dari tahun ke tahun semangat mahasiswa untuk memperdalam mata kuliah Mekanika Rekayasa tersebut menurun. Data di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, menunjukkan bahwa prosentase kelulusan mahasiswa dalam mata kuliah tersebut rata-rata sebelum krisis ekonomi tahun 1998 adalah 70 %, setelah krisis ekonomi angka tersebut menurun menjadi menjadi 50 % (tahun 1999 s/d 2001). Menurunnya angka kelulusan tersebut selain karena material dasarnya rendah juga lingkungan yang tidak kondusif. Data penerimaan mahasiswa baru tahun 1995-1998, jurusan teknik menempati urutan pilihan ke 5 dari 17 jurusan di ITS, tahun 1999 – 2002 urutan pilihan berangsur-angsur turun sampai 14 dari 21 jurusan di ITS, dan di tahun 2003 urutan tersebut naik menjadi ke 10 dari 21 jurusan di ITS.

2 tahun terakhir ini telah diupayakan dengan berbagai cara untuk meningkatkan minat mahasiswa memperdalam mata kuliah Mekanika Rekayasa antara lain dengan membuat modul ajar, hasil menunjukkan peningkatan jumlah kelulusan rata-rata menjadi 66 % (tahun 2003 – 2004).

Dalam makalah ini akan dibahas selain permasalahan yang ada, misal turunnya kualitas masukan mahasiswa, lingkungan yang tidak kondusif, juga akan diuraikan berbagai cara untuk meningkatkan minat mahasiswa memperdalam mata kuliah mekanika rekayasa tersebut.

1. PENDAHULUAN

Mekanika Rekayasa adalah merupakan mata kuliah dasar keahlian di bidang Teknik Sipil, dari mata kuliah tersebut mahasiswa bisa mengetahui gaya-gaya dalam dari suatu struktur yang mana akan dipakai dalam perencanaan. Tanpa mendalami mata kuliah tersebut, mahasiswa akan kesulitan untuk memahami dan menerapkan mata kuliah Mekanika Rekayasa pada mata kuliah lain seperti struktur beton, baja dan lainsebagainya.

Akhir-akhir ini kemampuan pemahaman mahasiswa terhadap mata kuliah Mekanika Rekayasa cenderung menurun terutama setelah krisis ekonomi, hal ini ada kaitannya dengan banyaknya perusahaan jasa konstruksi yang tutup dimana akan mempersempit lapangan kerja di bidang Teknik Sipil, sehingga semangat calon mahasiswa terhadap pilihan Jurusan Sipil menurun, demikian juga semangatnya, sehingga kita perlu mencari penyebab yang tepat sehingga dapat mencarikan jalan keluarnya. Untuk itu dalam uraian ini akan ditinjau selain proses belajar mengajarnya juga material dasarnya serta peraturan-peraturan yang diterapkan.

2. PROSENTASE KELULUSAN MAHASISWA

Dalam berbicara tentang motivasi mahasiswa, maka perlu dilihat juga prosentase kelulusan mahasiswa. Akhir-akhir ini kemampuan pemahaman mahasiswa terhadap mata

kuliah Mekanika Rekayasa menurun ditengarai dengan menurunnya prosentase kelulusan mahasiswa terhadap mata kuliah tersebut terutama setelah adanya krisis ekonomi di tahun 1998. Sebagai contoh, untuk mata kuliah Mekanika Rekayasa I, prosentase kelulusan mahasiswa sebelum tahun 1998 rata-rata 70% dari jumlah total mahasiswa yang masuk. Angka tersebut menurun menjadi 48 % di tahun 1999-2000 dan 58 % di tahun 2001. Dengan berbagai cara perbaikan proses belajar mengajar, prosentase kelulusan mata kuliah Mekanika Rekayasa I menjadi 66 % di tahun 2003-2004.

3. KUALITAS MASUKAN MAHASISWA BARU

Dalam membahas kemampuan mahasiswa untuk mendalami mata kuliah Mekanika Rekayasa perlu dilihat pula kualitas masukan mahasiswa baru. Disini ditampilkan beberapa data tentang kualitas calon mahasiswa yang masuk perguruan tinggi terutama untuk Jurusan Teknik Sipil.

Sebelum tahun 1998 perbedaan nilai rata-rata mahasiswa yang masuk melalui UMPTN tidak jauh dengan nilai tertinggi, tapi setelah tahun 1998 perbedaan nilai tersebut jauh lebih besar yang berarti tingkat kepandaian calon mahasiswa yang masuk Jurusan Sipil menurun setelah tahun 1998. Di Jurusan Sipil ITS dari ± 100 mahasiswa yang baru masuk, ± 50 % adalah pilihan ke 2.

Tabel 1. Nilai-nilai Rataan UMPTN / SPMB tahun 1995 s/d 2003 untuk Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS, dan nilai tertinggi

Tahun	Jurusan Teknik Sipil	Nilai Tertinggi	Perbedaan Nilai
1995	716.77	767.65	50.95
1996	728.93	767.11	38.18
1997	729.50	776.37	46.87
1998	736.71	814.92	78.21
1999	689.21	816.76	127.55
2000	692.51	823.39	130.88
2001	671.81	826.00	154.19
2002	642.30	774.80	132.50
2003	665.71	793.13	127.42

* Sumber : Rapim ITS 2003

Tabel 2. Ranking Nilai Rataan UMPTN / SPMB tahun 1995 s/d 2003 untuk Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS

Tahun	Ranking Jurusan Sipil	Jumlah Jurusan
1995	5	16
1996	5	16
1997	5	17
1998	5	17
1999	10	19
2000	10	19
2001	12	19
2002	14	21
2003	10	21

* Sumber : Rapim ITS 2003

Sampai dengan tahun 1998 Jurusan Teknik Sipil menempati ranking ke 5, dari 16 Jurusan yang ada di ITS, setelah tahun 1998 mencapai ranking 14 dari 21 Jurusan, yang berarti minat calon mahasiswa yang mau masuk Jurusan Sipil menurun.

Tabel 3. Nilai Rataan Relatif yang diterima UMPTN / SPMB Jurusan Teknik Sipil Terhadap Nilai ITS dan Terhadap Nilai Nasional tahun 1995 s/ d 2003

Tahun	Nilai Rataan Jurusan Sipil terhadap Nilai ITS	Nilai Rataan Jurusan Sipil terhadap nilai Nasional
1995	1.014	1.159
1996	1.012	1.190
1997	1.025	1.201
1998	1.019	1.248
1999	0.968	1.147
2000	0.973	1.152
2001	0.940	1.119
2002	0.941	1.096
2003	0.976	1.154

* Sumber : Rapim ITS 2003

Nilai rataan terhadap ITS diatas 1 sampai dengan tahun 1998 setelah 1998 angka tersebut dibawah 1.

Dari data-data tersebut diatas terlihat bahwa kualitas masukan calon mahasiswa menurun terutama setelah tahun 1998. Hal ini sesuai dengan penurunan prosentase kelulusan mahasiswa dengan kondisi dosen maupun proses belajar mengajarnya sama. Dapat ditunjukkan bahwa tahun 1998 saat krisis moneter merupakan titik balik bagi Jurusan Sipil.

4. PROSES BELAJAR MENGAJAR SEBELUM tahun 2003

Dalam proses belajar mengajar mata kuliah Mekanika Rekayasa, materi yang diberikan pada mahasiswa adalah buku bacaan, catatan kuliah, yang diberikan pada awal kuliah. Jumlah sks = 3, waktu yang diberikan 64 jam dalam 1 semester. PR (Pekerjaan Rumah) diberikan hampir tiap minggu, mahasiswa yang mau maju ke papan tulis untuk mengerjakan PR diberi nilai bonus sebagai perangsang.

Nilai diambil dari UTS (Ujian Tengah Semester) UAS (Ujian Akhir Semester), PR (Pekerjaan Rumah) dan absen.

Dari rangsangan-rangsangan yang diberikan hanya $\pm 40\%$ dari mahasiswa yang mau mempergunakan kesempatan tersebut dengan baik, misalnya mengerjakan PR sendiri dan mau maju ke papan tulis untuk mengerjakan PR tersebut, selebihnya sebagai mahasiswa pasif, PR mencontoh, dan tak mau maju mengerjakan PR untuk mendapatkan bonus nilai.

5. LEMAHNYA PERATURAN YANG DITERAPKAN

Selain kualitas mahasiswa yang menurun, mahasiswa kurang termotifasi dengan lingkungan yang kurang kondusif seperti peraturan yang tak tegas terutama dalam penentuan DO (drop out) mahasiswa. Pimpinan cenderung menekan jumlah mahasiswa DO dengan memberikan "kebijakan" yang keluar dari ketentuan. Mahasiswa yang IP-nya terlalu rendah terutama di semester awal diberikan kesempatan untuk mengikuti mata kuliah khusus yang dikeluarkan tidak pada semesternya, hanya untuk menolong mahasiswa tersebut supaya tidak DO, sehingga daya juang mahasiswa menjadi turun. Hal tersebut akan berdampak pada mahasiswa lain, mahasiswa kurang terpacu, mereka akan berharap jika nilainya jelek nanti pasti akan dapat kemudahan yang diberikan oleh pimpinan. Padahal akan lebih baik jika di semester awal peraturan ditegakkan. Mahasiswa yang DO di semester awal, ada

kemungkinan salah pilih Jurusan yang tidak sesuai dengan bakatnya, maka siswa tersebut masih mempunyai kesempatan untuk mencari sekolah lain yang sesuai dengan minat, bakat dan kemampuannya.

Terlepas dari hal-hal tersebut diatas, proses belajar mengajar di SMU (Sekolah Menengah Umum) juga tidak mendukung pada anak didik untuk belajar mandiri.

Perlu diperhatikan juga setelah krisis ekonomi, banyak perusahaan yang bergerak di bidang sipil tutup yang mengakibatkan sulitnya lulusan Sipil dalam mencari pekerjaan.

6. PROSES BELAJAR MENGAJAR MULAI TAHUN 2003

Pada tahun 2002 Jurusan Sipil FTSP-ITS mendapat block grant TPSDP (Technological and Professional Skills Development Sector Project), dari anggaran tersebut ada anggaran untuk peningkatan PBM (Proses Belajar Mengajar). Untuk mata kuliah Mekanika Rekayasa ada bantuan responsi yang dilakukan oleh mahasiswa yang lebih senior berupa bimbingan belajar diluar jam kuliah dibawah bimbingan dosen pengajar. Selain hal tersebut diatas ada anggaran untuk membuat buku ajar yang berbentuk modul dimana didalam modul ajar tersebut uraian penjelasan dibuat secara rinci, kalimat-kalimat yang ditulis seperti apa yang dibicarakan didalam kelas dan dilengkapi dengan gambar-gambar pendukung. Kalimat-kalimat yang dipakai didalam buku ajar adalah kalimat sederhana yang mudah dimengerti. Kalau ada istilah yang baru, perlu diberikan definisi sebelumnya. Didalam modul ajar tersebut dilengkapi contoh soal lengkap dengan jawaban, serta latihan-latihan soal yang juga dilengkapi dengan kunci hasil penyelesaian. Contoh-contoh soal dibuat sedemikian rupa supaya mahasiswa dapat membayangkan bagaimana bangunan yang sebenarnya dimodelkan sebagai sebuah struktur. Mahasiswa diwajibkan untuk memiliki modul tersebut disaat awal perkuliahan. Untuk mahasiswa yang rajin, modul ajar tersebut sangat membantu terutama jika dosen berhalangan hadir. Disamping itu Jurusan Teknik Sipil juga membuat "Student Learning Center", dimana didalamnya terdapat 40 unit computer yang bisa dipakai oleh mahasiswa untuk mempelajari mata kuliah Mekanika Rekayasa. karena selain berupa buku ajar, juga dibuat dalam bentuk CD ROM. Dengan proses belajar mengajar seperti tersebut diatas prosentase kelulusan bisa ditingkatkan menjadi $\pm 66\%$.

7. KESIMPULAN

Dalam meningkatkan motivasi mahasiswa kita tidak bisa hanya meninjau satu sisi saja. Kita perlu meninjau secara menyeluruh nilai dari kualitas masukan mahasiswa, PBM (Proses Belajar Mengajar), fasilitas-fasilitas yang diberikan peraturan-peraturan yang diterapkan serta peluang dalam mencari pekerjaan setelah lulus. Dari hal-hal tersebut kita dapat menentukan metode-metode apa yang akan diterapkan untuk meningkatkan motivasi.

8. REFERENSI

- Rekapitulasi nilai SPMB peserta yang diterima ITS tahun 2003
- Rekapitulasi nilai rata-rata UMPTN / SPMB peserta UMPTN / SPMB tahun 1995 s/d 2003 yang diterima ITS.
- Rekapitulasi ranking nilai rata-rata UMPTN / SPMB peserta UMPTN / SPMB tahun 1995 s/d 2003 yang diterima ITS.
- Rekapitulasi nilai rata-rata UMPTN / SPMB peserta UMPTN / SPMB tahun 1995 s/d 2003 yang diterima ITS (relatif terhadap nilai ITS)
- Rekapitulasi nilai rata-rata UMPTN / SPMB peserta UMPTN / SPMB tahun 1995 s/d 2003 yang diterima ITS (relatif terhadap nilai Nasional)

RIWAYAT

Dr. Ir. Triwulan, Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Surabaya

Isdarmanu, Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Surabaya



MENGAJAR MEKANIKA REKAYASA DENGAN MEMAHAMI GAYA DAN CARA BELAJAR MAHASISWA

(Studi Gaya Belajar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil U.K.Maranatha)

Oleh
Anang Kristianto

ABSTRAK

Hal yang penting didalam mengajar selain penguasaan materi yang akan diajarkan adalah bagaimana cara menyampaikan materi tersebut dan bagaimana cara mahasiswa menangkap materi tersebut dengan baik. Kedua hal diatas sangat berkaitan, cara menyampaikan materi yang tepat sangat bergantung dengan bagaimana gaya dan cara belajar mahasiswa yang mendengarkannya. Gaya dan cara belajar yang dominan merupakan potensi terbaik individu untuk mempelajari hal baru.

Gaya belajar menjelaskan tentang perbedaan individu untuk lebih efektif mempelajari suatu konsep, berdasarkan gaya belajar terdapat kelompok ES(Extroversion Sensing), IS (Introversion Sensing), EN (Extroversion Intuition), IN (Introversion Intuition).

Selain Gaya Belajar dikenal juga istilah Cara Belajar yang menunjukkan perbedaan cara yang dilakukan individu untuk menyerap dan memahami informasi secara optimal. Cara Belajar dikenal dengan istilah Visual, Auditori dan Kinestetik.

Penelitian pada mahasiswa Jurusan Teknik Sipil U.K. Maranatha angkatan 2003 menunjukkan kecenderungan gaya belajar ES, EN, IS, IN berturut turut 41.38%, 34.48%, 6.9%, 17.24%, sedangkan kecenderungan mayoritas cara belajar adalah Visual (68.97%) selanjutnya Auditori (20.69%) dan Kinestetik (10.34%). Penelitian ini menyimpulkan bahwa sebagian besar mahasiswa menunjukkan kecenderungan gaya belajar ES (41.38%) dengan ciri-ciri mudah belajar dengan aplikasi dan realistik. Sedangkan cara belajar didominasi oleh Visual menunjukkan bahwa mahasiswa akan menangkap dan memahami lebih banyak informasi melalui apa yang dilihat.

Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi untuk mengajar Mekanika Rekayasa dengan tepat yaitu melalui simulasi, studi kasus/aplikasi, diskusi kelompok kecil serta memberikan banyak gambar menarik dan warna untuk menjelaskan materi/rumus yang diberikan. Cara mengajar yang cenderung satu arah dan menonjolkan banyak rumus daripada visualisasi yang menarik tampaknya harus ditinggalkan sehingga diharapkan mahasiswa akan menikmati pelajaran Mekanika Rekayasa dan tentunya hal ini akan berdampak pada hasil akhir yang didapat.

Kata kunci : gaya belajar, cara belajar, visual, auditori, kinestetik

1. PENDAHULUAN

Dalam setiap proses pembelajaran ada tiga komponen penting yang saling terkait satu sama lain yaitu :

- ♦ Kurikulum, merupakan rangkaian materi kuliah yang akan diajarkan, dalam skala yang lebih kecil terdapat silabus yang berisi materi-materi yang harus disampaikan pada mahasiswa.
- ♦ Proses, bagaimana materi yang telah disusun dapat disampaikan dengan efektif sehingga dapat dipahami oleh mahasiswa.
- ♦ Produk, hasil dari proses pembelajaran yang diharapkan.

Ketiga komponen diatas sama pentingnya untuk menghasilkan proses belajar yang baik, akan tetapi kecenderungan yang terjadi adalah materi yang telah disusun dengan rapi tidak dapat disampaikan dengan baik dan efektif sehingga jelas mempengaruhi hasil yang diinginkan. Didalam konteks ini Mekanika Rekayasa sebagai salah satu matakuliah penting di jurusan teknik sipil mengalami permasalahan yang sama yaitu menurunnya hasil belajar dari para peserta kuliah. Matakuliah yang seharusnya menarik menjadi momok bagi mahasiswa karena cara penyampaian yang kurang tepat dan pada akhirnya hal ini mempengaruhi hasil belajar yang diharapkan.

Terlepas dari masalah menurunnya kualitas mahasiswa yang masuk jurusan teknik sipil yang terakhir ini dibicarakan, makalah ini mencoba memberikan masukan mengenai bagaimana suatu materi kuliah mekanika rekayasa dapat disampaikan dengan mempertimbangkan gaya dan cara belajar yang dominan dari mahasiswa peserta kuliah. Selain itu diharapkan wawasan mengenai gaya dan cara belajar ini dapat melengkapi teknik pembelajaran yang semakin baik dan sedang berkembang saat ini seperti metode Quantum Learning, Quantum Teaching, dsb.

2. GAYA DAN CARA BELAJAR

Gaya belajar membahas tentang perbedaan cara individu untuk lebih efektif mempelajari suatu konsep. MBTI (Myers Briggs Type Indicator) adalah alat diagnostik untuk memahami perbedaan individual dalam proses belajar mengajar. Hasil tes MBTI mengindikasikan individu dalam 4 dimensi yang dikotomi, meskipun secara umum tes ini adalah untuk mengetahui kepribadian, dua dimensi yang pertama secara khusus bermanfaat untuk memahami gaya belajar. Dimensi "extroversion " (E) versus "introversion" (I) yang menunjukkan kecenderungan individu memberikan perhatian apakah kedunia luar atau kedalam diri mengenai konsep dan ide yang dipelajari. Dimensi "sensing"(S) versus "intuition" (N) menunjukkan kecenderungan individu menghayati bahan dengan pengamatan langsung terhadap objek yang nyata atau memikirkan/membayangkan impresi atau kemungkinan-kemungkinan. Berdasarkan kedua dimensi dikotomi diatas, individu dapat dikelompokkan menjadi :

- Extroversion – Sensing (ES) : adalah orang realistik dan berorientasi pada aksi serta paling praktis dan lebih mudah belajar dengan aplikasi.
- Introversion – Sensing (IS) : lebih mengandalkan pola pikir realistik dan mencari kebenaran berdasarkan fakta konkret dengan hati-hati.
- Extroversion – Intuition (EN) : berorientasi pada aksi tetapi lebih inovatif dan memiliki minat yang lebih luas. Biasanya menyukai kemungkinan-kemungkinan baru.
- Introversion - Intuition (IN) : pemikir dan inovatif, sering melakukan introspeksi. Sebagai ilmuwan type ini cenderung mendalami teori.

Setiap mahasiswa memiliki keunikan masing-masing dalam menerima dan mengolah informasi sesuai gaya belajar yang dimilikinya. Gaya belajar yang dominan merupakan potensi terbaik individu untuk mempelajari hal baru.

Selain gaya belajar , setiap orang memiliki cara belajar yang berbeda. Perbedaan cara yang dilakukan untuk menyerap dan memahami informasi secara optimal dikenal sebagai cara belajar. Cara belajar dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Individu " visual" menangkap dan memahami lebih banyak informasi melalui apa yang dilihat. Umumnya cara belajar yang digunakan adalah membuat "mind mapping", menggunakan flowchart, memberikan warna pada bagian yang dianggap penting, Grafik, ilustrasi.

- Individu “ auditorik” menangkap dan memahami lebih banyak informasi melalui apa yang didengar. Umumnya cara belajar yang digunakan adalah membaca dengan bersuara, diskusi dengan teman, belajar dengan mendengarkan atau menyampaikan informasi.
- Individu “ kinestetik” menangkap dan memahami lebih banyak informasi melalui praktek atau gerakan. Umumnya cara belajar yang digunakan adalah bermain peran, simulasi, praktek di lapangan.

Pada dasarnya setiap individu menyerap dan memahami informasi dengan ketiga cara diatas tetapi satu atau lebih cara adalah dominan atau memberikan cara yang terbaik dalam mempelajari sesuatu.

3. MENGAJAR DENGAN MEMAHAMI GAYA DAN CARA BELAJAR MAHASISWA.

Dalam rangka mengetahui gaya dan cara belajar mahasiswa untuk mendapatkan proses penyampaian materi yang lebih baik, jurusan teknik sipil bekerja sama dengan Maranatha Development and Counseling Center (MSDC) melakukan penelitian tentang gaya dan cara belajar mahasiswa baru angkatan 2003.

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif dengan metode survey, teknik sampling yang digunakan adalah sistematik cluster technique, alat ukur yang digunakan adalah kuesioner MBTI yang telah dimodifikasi, sementara untuk mengetahui cara belajar digunakan kuesioner cara belajar.

Hasil penelitian menunjukkan 41.38 % mahasiswa jurusan teknik sipil memiliki gaya belajar ES, sedangkan gaya belajar EN, IN, dan IS berturut-turut adalah 34.48%, 17.24%, dan 6.90%. Sedangkan penelitian cara belajar menunjukkan mayoritas adalah “visual “ (68.97%), sementara cara belajar “auditori” dan “kinestetik” berturut-turut adalah 20.69 % dan 10.34 %.

Penelitian ini memberikan informasi yang sangat bermanfaat didalam proses mengajarkan matakuliah secara khusus pada kasus ini adalah matakuliah Mekanika Rekayasa. Berikut diuraikan beberap metode mengajar yang disesuaikan dengan gaya belajar mayoritas mahasiswa jurusan Teknik Sipil U.K Maranatha.

MENGAJAR MAHASISWA EXTROVERT.

Individu Extrovert (E) memperoleh energi melalui interaksi dengan orang lain dan berorientasi pada aksi. Bagi mereka tidak ada kesan tanpa ekspresi. Mahasiswa extrovert belajar dengan cara menerangkan kepada orang lain, melalui cara tersebut mereka menyadari bahwa mereka sudah memahami materi atau belum. Mereka juga menyukai bekerja dalam kelompok, baik melalui latihan atau tugas dalam kelas maupun diluar kelas. Salah satu metode yang dapat dicoba yaitu TAPPS (Thinking Aloud Paired problem Solving) , metode ini membutuhkan penjelasan dari dosen dan perlu juga menyediakan waktu tenang bagi mahasiswa introvert. Berikut tahapannya :

- Ajukan suatu kasus dan sediakan waktu sejenak bagi mahasiswa untuk berpikir.
- Pisahkan antara mahasiswa yang akan memberikan penjelasan dan pendengar.
- Mahasiswa menjelaskan ide solusinya kepada pendengar. Mahasiswa pendengar dapat memberikan pertanyaan untuk mengklarifikasi atau tidak setuju.
- Dosen memberikan koreksi kepada jawaban-jawaban penyaji dan memberikan kesimpulan solusi.

Metode ini menarik minat mahasiswa extrovert untuk memahami suatu konsep karena dilakukannya dengan berinteraksi tidak hanya dengan dosen tetapi juga dengan teman sekelasnya.

MENGAJAR MAHASISWA SENSING.

Mahasiswa sensing (S) berorientasi pada detail, fakta dan mempercayainya. Mahasiswa S cenderung belajar secara teroganisir, berurutan dan terstruktur, mereka mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep yang kompleks dan abstrak. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mengajar mahasiswa sensing yaitu :

Strategi Aplikasi – Teori – Aplikasi .(The A-T-A method)

- ♦ Metoda ini dimulai dengan penerapan, berupa masalah atau kasus.
- ♦ Mahasiswa diminta untuk melakukan analisis dan mencari solusi atas kasus tersebut sebelum dosen menjelaskan teori yang relevan. Tahap ini dimaksudkan untuk menggali seluruh kemampuan mahasiswa mengenai hal-hal yang telah dipahami sebelumnya (teori yang pernah diberikan) yang relevan dengan teori yang akan dijelaskan
- ♦ Setelah kelas berdiskusi/berdebat mengenai solusi masing-masing, dosen dapat menyajikan teori yang relevan dengan kasus tersebut.
- ♦ Dosen mengakhiri penjelasan dengan memberikan kasus terapan beserta solusinya.

Metode ini mendahulukan kasus daripada penjabaran teori yang rumit, mahasiswa sensing lebih tertarik pada fakta-fakta riil daripada teori atau rumus yang seringkali abstrak, untuk itu studi kasus akan menarik perhatian mereka sehingga dapat diarahkan kepada penjelasan teori pada langkah berikutnya dan pada akhirnya mereka memahami teori yang diberikan dengan baik.

MENGAJAR DENGAN MEMPERHATIKAN CARA BELAJAR MAHASISWA

Meskipun berdasarkan penelitian mayoritas mahasiswa sipil adalah individu “ visual” tetapi didalam mengajar tidak hanya cara belajar visual yang ditekankan tetapi seluruh *cara belajar* seyogyanya menjadi perhatian pada saat penyampaian materi mekanika rekayasa. Strategi “ visual” yang dapat dilakukan adalah :

- ♦ Membuat presentasi materi dengan menggunakan simbol, warna dan gambar.
- ♦ Bila memungkinkan dapat menggunakan grafik dan tabel untuk memudahkan pemahaman.
- ♦ Membuat gambaran keseluruhan mengenai materi yang akan diberikan dalam bentuk peta pikiran (mind mapping)

Strategi “ auditori” yang dapat dilakukan :

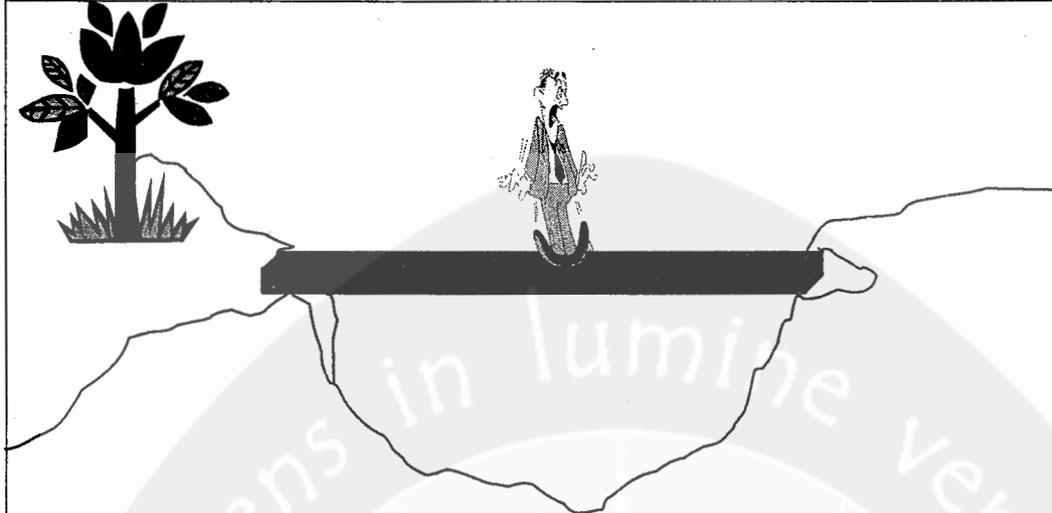
- ♦ Memberikan penjelasan secara garis besar mengenai materi yang akan disampaikan.
- ♦ Pengulangan informasi penting mengenai apa yang sedang dipelajari.
- ♦ Memberikan pertanyaan-pertanyaan yang menstimulasi atau diskusi dalam kelompok.

Strategi “kinestetik” yang dapat dilakukan: belajar melalui gerakan dan menghubungkannya dengan fakta misal : praktikum di laboratorium.

4. IMPLEMENTASI DALAM PENYAMPAIAN MATERI

Berikut akan dibahas mengenai salah satu materi dalam mekanika rekayasa :

Tujuan : Mahasiswa memahami persamaan keseimbangan dan pemodelan reaksi perletakan

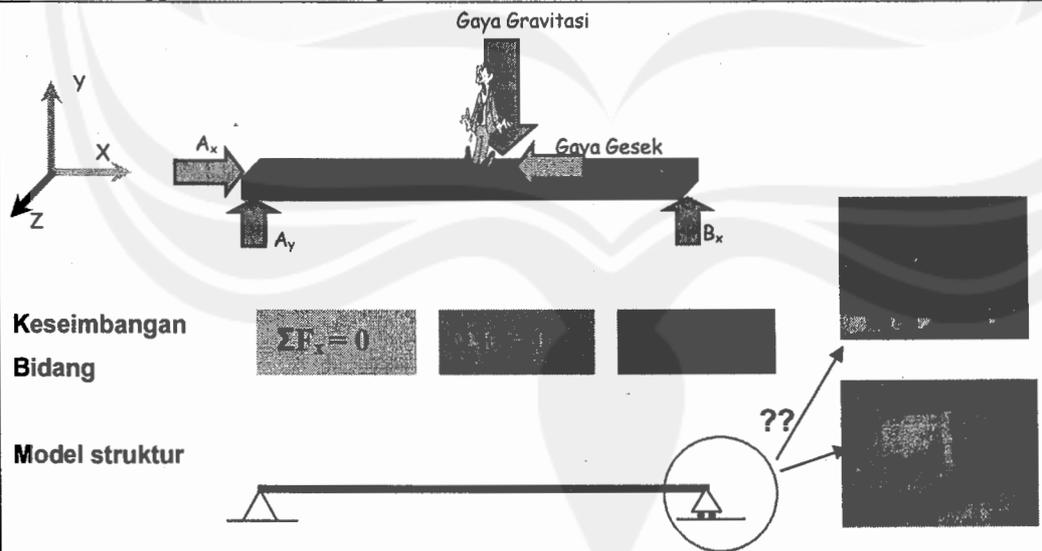


Bahan Diskusi :

1. Beban apa saja yang akan membebani balok diatas ?
2. Secara garis besar kearah mana saja beban-beban tersebut bekerja ?
3. Diskusikan mengenai bagaimana kemungkinan-kemungkinan bentuk perletakan pada kedua ujung balok agar balok tetap berada pada posisinya (dalam keseimbangan) pada saat menerima beban .

Catatan :

1. Metoda TAPPS dan A-T-A digunakan dalam kasus diatas, metode ini menarik minat mahasiswa ES untuk memahami konsep karena melakukan interaksi dengan teman kelompoknya, selain itu penjelasan ini dimulai dari penerapan dengan fakta-fakta sesungguhnya seperti yang terjadi di lapangan.
2. Penggunaan warna dan gambar dimaksudkan untuk strategi "visual"



Catatan : perlu penggunaan Power Point untuk penyampaian yang lebih baik.

5. KESIMPULAN

1. Perlunya pemahaman gaya belajar dominan para mahasiswa peserta kuliah mekanika rekayasa, sehingga penyampaian materi dapat dilakukan dengan mempertimbangkan potensi terbaik individu didalam menyerap materi yang diberikan.
2. Pemahaman mengenai gaya dan cara belajar yang baik serta implementasi penyampaian materi yang tepat membuat susana belajar lebih menyenangkan karena mahasiswa sebagai peserta didik merasa dihargai/dipahami gaya/cara belajarnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

Gunawan, Adi W. , *Genius Learning Strategy*, Gramedia, Jakarta (2003)

Ginting, Henndy, *Menyesuaikan Pendekatan Mengajar Dosen dengan Profil Gaya Belajar Mahasiswa*, Majalah Ilmiah Maranatha, Vol XXIX/Tahun ke-X/ Desember 2003.

Schroeder, Charles, *New Students – New Learning Styles*, GSU Master Teacher Program : On Learning Styles (2003)

Tieger, Paul , *What's Your Personality Type*, Diadit Media , Jakarta

PENULIS

Anang Kristianto, ST., MT, Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung.



MENINGKATKAN PEMAHAMAN MAHASISWA TERHADAP MEKANIKA REKAYASA DENGAN MENINGTEGRASIKAN EXPERIENTIAL LEARNING LAB KEDALAM PERKULIAHAN MEKANIKA-STATIKA; SEBUAH HIPOTESA TERHADAP PENDEKATAN EXPERIENTIAL LEARNING DARI KOLB

Oleh
Senot Sangadji

Abstrak

Paper ini mendeskripsikan hambatan yang dihadapi oleh mahasiswa dalam melewati kurikulum pendidikan ketekniksipilan di FT UNS, terutama memahami matakuliah-matakuliah mekanika rekayasa baik pada tingkat awal maupun tengah. Pendekatan *experiential learning* dari Kolb dielaborasi untuk memberi dasar bagi pemecahan masalah ini. Usaha untuk memasukkan pengalaman belajar *hands-on* dikembangkan dengan menyusun suatu metode praktikum laboratoris pada semester ganjil tahun ajaran 2004-2005 yang memperkuat konsep-konsep mekanika rekayasa pada situasi real. Hipotesanya adalah dengan 'belajar-mengalami' konsep-konsep mekanika maka mahasiswa diharapkan akan mampu menggunakan seluruh modus pembelajaran (melihat, merasakan, melakukan, merenungkan) hingga diperoleh *outcome* perkuliahan yang tinggi. *Hands-on* manual lab, latihan soal, dan lembar penguatan dikembangkan untuk mendukung konsep-konsep komponen gaya, vektor, diagram benda bebas, momen-momen, *two and multiforce members*, *truss*, rangka bidang, pelengkung, gaya-gaya dalam dan momen dalam balok.

Paper juga akan menunjukkan konklusi awal, rekomendasi dan pertimbangan lebih jauh berdasarkan *initial efforts* yang telah dilakukan.

Keyword; *experiential learning*, laboratorium, praktikum mekanika rekayasa.

1. INTRODUKSI

Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS (JTS FT UNS), beberapa mata kuliah, yang umumnya menjadi inti dari ketekniksipilan seringkali malahan menjadi mata kuliah "filter", artinya mata kuliah-mata kuliah ini cenderung menghadirkan hambatan yang signifikan. Kalkulus dan mekanika rekayasa adalah beberapa yang paling menantang. Salah seorang alumni yang kembali mengunjungi almamaternya menyampaikan keluhan, "Mengapa para dosen membuat mata kuliah ini (...kalkulus dan mekanika rekayasa...) begitu sulit; padahal mata kuliah ini amat mudah – sesudah lulus dan memahami bagaimana prinsip-prinsipnya diaplikasikan pada profesi insinyur..." Umpan balik seperti inilah yang terus menerus mendorong tim Laboratorium Struktur JTS FT UNS untuk meninjau ulang kurikulum dan mengajukan usulan peningkatan mutu pembelajaran, secara khusus, mekanika rekayasa untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa dan industri.

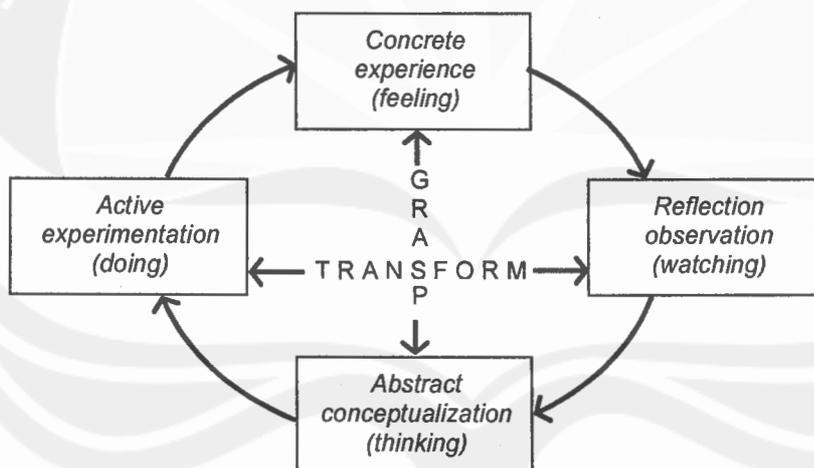
Dari observasi bersama mahasiswa, kolega dosen dan pimpinan JTS FT UNS, dapat ditunjukkan bahwa perkuliahan mekanika rekayasa selama ini dilaksanakan secara monolog. Mahasiswa hanya melakukan kegiatan datang, duduk, dengar dan catat dengan pasif selama perkuliahan. Upaya menjelaskan fenomena struktur dan interaksinya dengan beban-beban yang harus dipikul terbatas pada *verbal delivery system*. Sementara konsep-konsep "seolah-olah" dan "terpaksa" dijelaskan dengan persamaan-persamaan matematis yang *rigorous* dan *sophisticated*. Akibatnya, jika mahasiswa menampilkan nilai yang tinggi, maka nilai tersebut hanya menunjukkan penguasaan matematis semata, dan bukan pada kedalaman pemahaman.

2. PERSPEKTIF EXPERIENTIAL LEARNING MODEL KOLB

Secara tradisional, disiplin ilmu *engineering* (rekayasa) diwakili oleh komunitas yang definitif dan diformalkan melalui prinsip-prinsip perancangan yang didasarkan pada hukum-hukum fisika. Pendidikan rekayasa-lah (*engineering education*) yang membantu mendefinisikan komunitas dan *body of knowledge* yang memungkinkan seseorang menjadi insinyur dari basis kredibilitasnya.

Namun keterampilan dan perspektif insinyur tidaklah jauh berbeda dengan "...*skilled craftspersons who created machines, buidings and devices throughout history. While their ability to conceive and create is innate, their proficiency comes from another sources in the absence of formal training...*" (Aulchey, et.al., 2004). Lalu dari mana *skilled craftspersons* ini menemukan basis untuk menciptakan dan membangun? Kita dapat dengan pasti mengidentifikasi bahwa proses magang (*internship*) adalah yang berperan. Disini individu dilatih dengan melakukan, *trained by doing*, (Aulchey, et.al., 2004). Artinya, pengalaman membentuk "pendidikan/edukasi" dari individu dan praktek membentuk basis dimana keterampilan ditransfer dan komunitas 'insinyur' didefinisikan.

Jadi klaim berikut dapat diungkapkan bahwa melalui proses *tangible* dan pengalaman fisik, sebagian proses pembelajaran dilakukan. Perspektif ini secara amat baik dapat didemonstrasikan dalam konteks yang lebih holistik dengan menggunakan teori dari Kolb. Dinyatakan bahwa "Learning is a process whereby knowledge is created through the transformation of experience" (Kolb, 1984, p.38). Dalam perspektif ini pengalaman konkrit (*concrete experience*) dan percobaan-pengujian (*experimentation*), membentuk komponen kritis dari proses belajar seperti ilustrasi pada gambar 1.



Gambar 1. Model pembelajaran experiential (Kolb, 1984, p.42)

Lebih jauh, komponen-komponen ini hanyalah merupakan bagian dari representasi integral dari seluruh proses pembelajaran. Proses ini juga membutuhkan dua *modes of grasping*, secara langsung melalui indra (pengalaman konkrit) dan secara tidak langsung dalam bentuk simbolik (konseptualisasi abstrak). Secara analog, terdapat dua cara yang berbeda dalam mentransformasi pengalaman, dengan refleksi dan aksi. Proses lengkap adalah siklus empat tahap dari empat modus pembelajar adaptif. Keterlibatan aktif pembelajar melalui semua siklus modus pembelajaran membantu membangun *high order thinking system and skills*, (Kolb, 1984; Wankat and Oreovicz, 1993).

Secara tradisional, perkuliahan cenderung melayani **hanya observasi reflektif dan konseptualisasi abstrak semata**, sebagaimana yang terjadi pada proses perkuliahan perkuliahan mekanika rekayasa di JTS FT UNS selama ini. Proses perkuliahan, dari hasil observasi dan wawancara penulis dengan klien⁷, menunjukkan bahwa **“fenomena-fenomena yang menarik dari struktur menjadi hilang karena harus seringkali mengabstraksi konsep matematis yang rumit”**, sementara itu mahasiswa sering **“kehilangan *sense (engineering feeling)*”** terhadap apa yang sebenarnya tengah terjadi.

Laboratorium dalam banyak kasus memberikan pengenalan pengalaman konkrit dalam keseluruhan proses pembelajaran. Meskipun, upaya ini terbatas pada kategori khusus dan secara tipikal kurang menguntungkan untuk perkuliahan *engineering* tingkat dasar. Motivasi untuk mengembangkan perkuliahan mekanika rekayasa dengan *hands-on experience* lahir dari perspektif ini.

3. PENGEMBANGAN HANDS-ON PRAKTIKUM DAN LATIHAN MEKANIKA REKAYASA

3.1. Pendekatan dasar

Dalam usaha peningkatan mutu pembelajaran mekanika rekayasa ini, proyek pertama adalah menyusun modul praktikum *hands-on experience*. Proyek ini dimulai pada akhir tahun 2003 oleh Lab Struktur dan akan diajukan pada JTS FT UNS untuk dapat dimulai *pilot project*nya pada semester ganjil tahun ajaran 2004-2005.

Materi *hands-on* dikembangkan untuk mendukung konsep-konsep mekanika yang diajarkan dalam perkuliahan. Rancangan manual praktikum ini simultan dengan materi perkuliahan untuk menyediakan pendekatan induktif kepada konsep mekanika rekayasa. Dengan bekerja pada model fisik berskala centimeter dan kilogram memungkinkan mahasiswa mengembangkan *physical feel* berkenaan dengan intensitas dan arah gaya yang bekerja. Pelatihan ini menekankan hubungan realitas fisik dengan konsep yang tengah dipelajari. Dalam banyak kasus eksperimen praktikum mekanika rekayasa ini diarahkan lebih banyak pada *discovery* untuk memfasilitasi eksplorasi daripada sekedar *routine sequential steps*.

Walaupun pelatihan ini ditujukan untuk memfasilitasi pemahaman fisis dari konsep yang dipresentasikan dalam kuliah, praktikum ini juga menyajikan kesempatan untuk membantu pembelajaran berorientasi kooperatif dan *teamwork*. Pembelajaran kolaboratif juga hampir selalu dibutuhkan dalam menyelesaikan pelatihan/praktikum perlakuan pembebanan dan pengukuran fitur-fitur model fisik dalam eksperimen melalui kerja tim.

3.2. Contoh materi

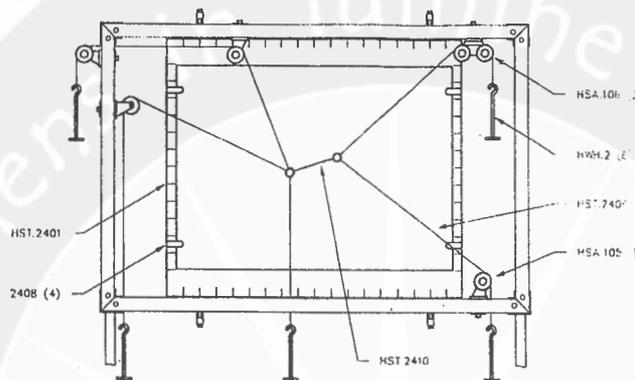
Berikut adalah deskripsi singkat materi *hands-on experience* praktikum mekanika rekayasa sebagai upaya awal pengembangan *experiential learning* secara menyeluruh. Karena keterbatasan panjang makalah ini, maka detail spesifik ditiadakan dan hanya dipaparkan untuk sebagian materi mekanika rekayasa 1 (statika).

Keseimbangan Gaya; komponen vektor dan diagram benda bebas: Umumnya konsep dasar yang amat penting namun sering sulit dimengerti oleh mahasiswa adalah komponen vektor dan diagram benda bebas. Eksperimen ini ditujukan untuk membantu mahasiswa dalam mengidentifikasi komponen-komponen gaya dan dimana harus

⁷ Klien yang dimaksud disini adalah mahasiswa yang telah diajar selama masa dua tahun pertama pengajaran oleh pengusul, maupun mahasiswa/alumni yang telah selesai mengambil mata kuliah mekanika rekayasa namun diajarkan oleh dosen sebelum pengusul bekerja di JTS FT UNS, sejak tahun 2001. Metode yang digunakan oleh pengusul dalam penggalian data adalah observasi kualitatif, wawancara dan angket.

menempatkan vektor, terampil menggambar diagram benda bebas sekaligus memahami prinsip-prinsip keseimbangan gaya.

Seperangkat alat-alat dirangkai pada *frame* reaksi. Papan gaya, yang dijepitkan pada bagian belakang *frame*, merupakan titik referensi dan tempat dimana diagram vektor digambarkan untuk setiap eksperimen. Kertas gambar ukuran A1 dijepit dengan empat *clip* papan. Untuk mengencangkan *removable centre peg* haruslah dibuat sebuah lubang pada kertas gambar. Sepanjang sisi tepi adalah garis-garis skala dengan spasi sejauh 50 mm sebagai acuan garis-garis vertikal dan horisontal. Katrol dapat digunakan mengelilingi *frame* reaksi, katrol ganda terutama digunakan bila dibutuhkan gaya yang berarah keatas. Panjang tali pembebanan dapat diatur panjang pendeknya, yang memungkinkan penggantung beban agar berada diluar *frame*. Lihat gambar 2.



Gambar 2. Kerangka dan konstruksi praktikum keseimbangan gaya

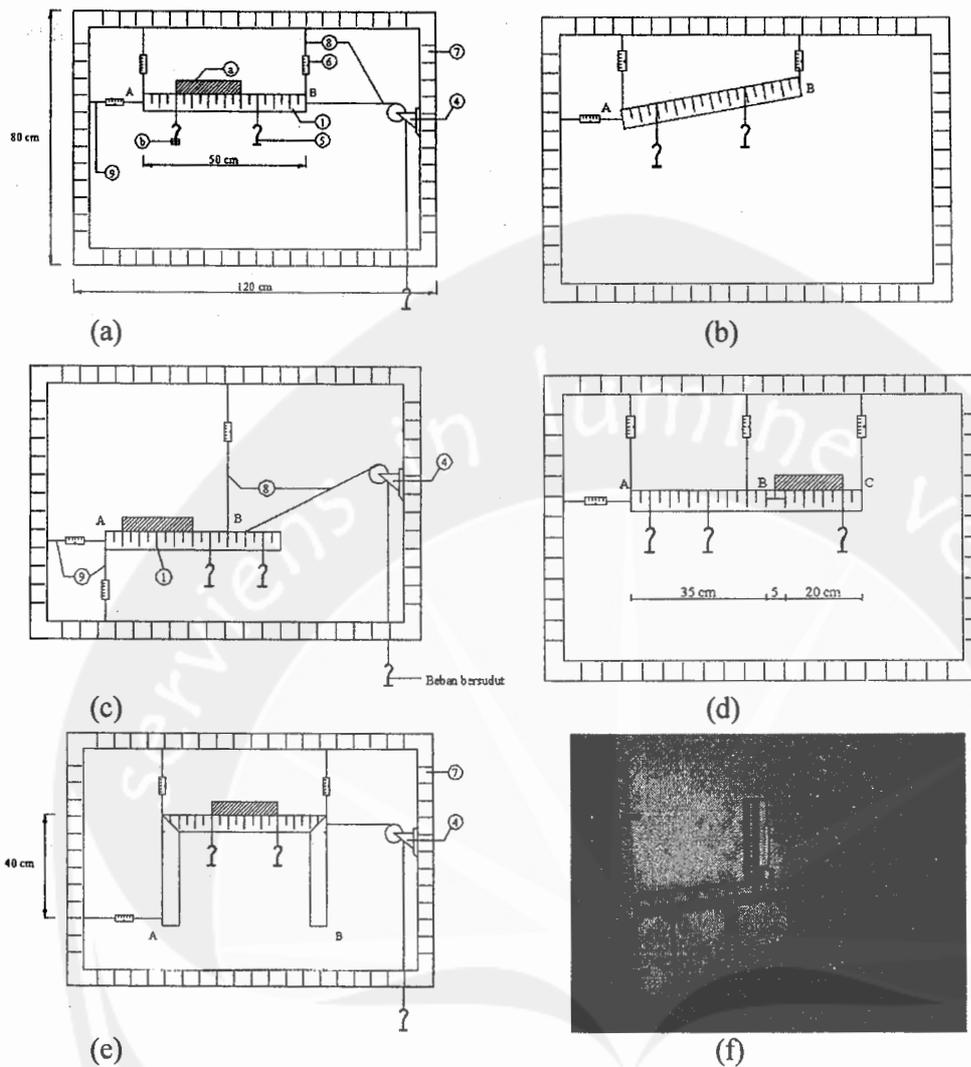
Pada bagian pertama, yaitu gaya-gaya pada satu titik tangkap diselidiki dan diperiksa dengan metode penyelesaian grafis segitiga gaya (tiga gaya) atau poligon tertutup untuk gaya yang berjumlah lebih dari tiga.

Bagian kedua berhubungan dengan gaya-gaya tidak setitik tangkap dan menggunakan poligon menerus (*link polygon*).

Pada awalnya mahasiswa diminta melukis diagram benda bebas dari beban, tali dan pulley tanpa skala. Dalam proses selanjutnya mahasiswa diminta untuk mengeksplorasi sistem dengan mendiskusikan penempatan dan arah gaya.

Reaksi Perletakan balok, kantilever, gerber dan portal sederhana. Seperangkat alat tersebut dirangkai menjadi satu pada papan reaksi yang berskala untuk memudahkan praktikan mengamati dan memasang alat dengan benar berdasarkan skalanya. Balok alumunium satu bentang dengan skala digunakan untuk memudahkan pemasangan beban dengan benar, dengan kait pada kedua ujungnya untuk menggantungkan neraca pegas dengan tali maupun kawat. Katrol untuk mentransfer beban titik horisontal bagi balok, sedangkan beban titik vertikal berupa penggantung yang dipasang pada balok menurut skala yang diinginkan. Beban vertikal merata dapat diberikan secara sederhana dengan meletakkan balok beban diatas balok alumunium. Lihat gambar 3 (a-f).

Tujuan dari praktikum ini adalah untuk memverifikasi rumus keseimbangan gaya dan besarnya reaksi pada balok dengan perletakan sederhana.

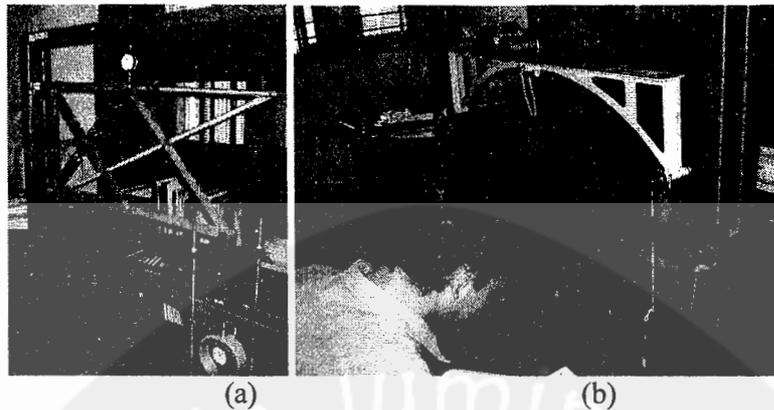


Gambar 3. Kerangka dan konstruksi praktikum reaksi perletakan (a) balok sederhana (b) balok miring, (c) balok kantilever, (d) balok gerber, dan (e) portal sederhana, (f) balok gerber.

Berikut adalah deskripsi sebagian kecil materi praktikum yang digunakan untuk menunjang mata kuliah mekanika rekayasa 2, 3 dan 4, sebagai lanjutan dari materi diatas.

Tegangan; Momen Inersia dan Kern; Modulus Elastisitas (dengan formulasi lentur) dan Defleksi Balok dan Kantilever. Ini merupakan materi yang disusun untuk mata kuliah mekanika rekayasa dua yang lebih berfokus pada mekanika bahan.

Truss (redundant truss) & Pelengkung tiga sendi.



Gambar 4. Kerangka dan konstruksi praktikum truss dan pelengkung tiga sendi

4. HIPOTESA AWAL DAN UJICOBA EFEKTIVITAS

4.1. Program eksperimen

Locus penelitian ini adalah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret (FT UNS), dengan sasaran utama adalah pengembangan mutu perkuliahan Mekanika rekayasa mahasiswa Teknik Sipil.

Dalam keterbatasan waktu, dilakukan ujicoba untuk mengukur efektifitas penggunaan pendekatan *experiential learning* ini. Ujicoba hanya bersifat *preliminary* dan belum menggunakan kaidah desain riset edukasi yang ketat.

Dua grup *sample* mahasiswa semester 3, angkatan tahun 2003, masing-masing terdiri dari sepuluh orang dipilih acak dengan jumlah peserta laki-laki dan perempuan seimbang untuk tiap grup. Kedua grup diberikan *pretest* berupa pertanyaan esai analisis balok sederhana dan keseimbangan gaya-gaya. Setelah *pretest*, grup pertama sebagai kontrol mendapatkan tutorial selama 2 x 50 menit tatap muka. Demikian juga grup kedua mendapatkan tutorial dengan materi yang sama. Akan tetapi pada hari kedua, grup kedua diberikan kesempatan untuk melakukan praktikum berdasarkan pegangan yang telah dirancang yakni tentang keseimbangan gaya-gaya dan penentuan reaksi tumpuan. Praktikum dibimbing oleh seorang asisten dan diselenggarakan selama 2 x 50 menit untuk tiap topik. Selama satu jam kemudian diberikan kesempatan pada grup kedua untuk melanjutkan praktikum mereka dengan bebas dan bersifat *self-discovery – self-exploration*.

Pada hari ketiga diadakan wawancara dengan grup-grup secara terpisah untuk melihat refleksi masing-masing grup atas pembelajaran yang telah mereka lakukan. Kemudian *posttest* sederhana diberikan kepada kedua grup secara bersamaan. Penilaian obyektif dilakukan oleh dosen lain yang tidak terlibat dalam pengujian ini. Setelah hasil disampaikan terbuka kepada mahasiswa peserta, kemudian dilakukan diskusi bersama untuk merefleksikan secara keseluruhan proses yang telah dijalani dan melakukan *cross-opinion* terhadap proses pembelajaran antar grup.

Sebagai dasar untuk mengarahkan penelitian ini, penulis mengajukan hipotesis bahwa penggunaan pendekatan *experiential learning* dalam pembelajaran mekanika rekayasa membantu mahasiswa untuk semakin memahami prinsip-prinsip mekanika rekayasa. Ini berarti penggunaan praktikum mekanika rekayasa dengan *hands-on experience* akan meningkatkan prestasi mahasiswa dengan ditandai kemampuannya menyelesaikan problem-problem set yang diajukan, sekaligus peningkatan kompetensi pengetahuan, *attitude* dan *skills* mahasiswa.

Namun tentu saja, dengan *sampling* dan desain eksperimen sederhana yang diajukan, belum dapat diambil suatu simpulan yang sah.

4.2. Hasil penilaian

Penilaian terhadap keefektifan pendekatan *experiential learning* ini dilakukan dengan membandingkan nilai ujian grup kontrol terhadap nilai ujian grup yang mendapat perlakuan praktikum *hands-on experience* mekanika rekayasa 1. Tes dilakukan terhadap seluruh mahasiswa sedemikian rupa oleh staf akademik lain untuk menjaga obyektivitas dan keseragaman. Demikian juga penilaian yang diberikan atas hasil ujian.

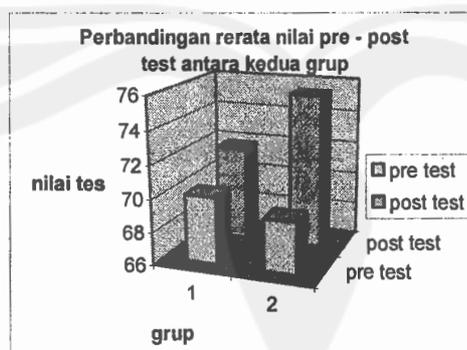
Untuk mempertahankan faktor obyektivitas, nama mahasiswa dirahasiakan. Hasil penilaian ujian terhadap mahasiswa dapat dinyatakan pada tabel 1.

Terlihat bahwa nilai rerata *pretest* grup 2 kurang dari rerata *pretest* grup 1, sekalipun selisih nilainya tidak terlalu signifikan. Setelah kedua grup mendapatkan tutorial, rerata nilai *posttest* keduanya menunjukkan peningkatan dibandingkan *pretest*nya. Grup pertama naik 2,36% sedangkan grup 2 naik 8,22%. Selisih antara dua rerata nilai *posttest* ini adalah 4,77%. Suatu angka yang belum menunjukkan perbaikan berarti. Namun demikian perlu disadari bahwa *preliminary research* ini dengan tingkat kepercayaan yang belum tinggi dapat menjawab hipotesis yang diajukan diawal bahwa pendekatan *experiential learning* dapat membantu mahasiswa memahami materi pembelajaran secara lebih baik. Dan pada gilirannya akan meningkatkan mutu proses perkuliahan secara keseluruhan.

Tabel 1. Perbandingan nilai ujian mahasiswa

No.	Pretest		Posttest	
	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2
1	67	70	70	75
2	70	72	72	75
3	72	65	72	75
4	70	68	70	80
5	65	65	70	75
6	70	70	72	75
7	75	70	75	77
8	70	72	70	77
9	67	70	70	70
10	75	70	77	75
rerata	70.1	69.2	71.8	75.4

Rata-rata nilai yang diperoleh setiap grup dapat dilihat pada grafik histogram berikut, yang secara visual membantu mendeskripsikan hasil riset ini.



Gambar 5. grafik perbandingan rerata nilai

4.3. Refleksi keefektifan secara kualitatif

Untuk memberikan kesempatan kepada mahasiswa ikut menyampaikan masukan perbaikan pendekatan *experiential learning* pada perkuliahan, dalam akhir penilaian *posttest* dilakukan diskusi reflektif bersama (dalam satu grup dan kemudian antar grup). Refleksi ini

dipandang penting untuk membuka peluang bagi mahasiswa merenungkan apa yang telah dipelajarinya dengan demikian memperkuat pembelajaran.

Dari refleksi bersama diperoleh bahwa pembelajaran *experiential* memacu motivasi lebih dalam untuk belajar. Pembelajaran menjadi lebih berpusat pada mahasiswa sebagai pembelajar itu sendiri (*student centered learning*) dan proses pembelajaran dipandang sebagai aktif (*active learning*). Segi-segi “fun” dari proses pembelajaran dapat dinikmati dengan lebih dalam karena modus belajar tidak hanya verbal, tetapi juga menyangkut aspek kinestetik dan psikomotor. Lebih banyak indra digunakan dalam pembelajaran *experiential* ini. Ini memberikan akomodasi dan penghargaan kepada beragam bakat dan gaya belajar.

Terungkap pula dalam diskusi bahwa terdapat semacam “iri hati dan cemburu” yang positif dari grup kontrol terhadap grup 2 yang mendapat kesempatan belajar dengan proses *experiential*. Ini membuktikan bahwa terdapat semacam kerinduan eksploratif dari mahasiswa untuk memahami situasi fisik dari berbagai prinsip-prinsip mekanika yang dipelajarinya dikelas. Tentu ini dapat dipandang positif sebagai motivasi belajar kuat yang jika disalurkan dengan tepat akan membangkitkan pencapaian belajar yang tinggi.

Sebagian kecil mahasiswa mengungkapkan pendekatan *experiential learning* dengan praktikum mekanika rekayasa ini membantu mereka untuk tidak sekedar belajar demi pencapaian IP semata. Namun lebih paham “kondisi realnya”. Kesadaran ini memberikan rasa kebermaknaan dalam proses pembelajaran, sehingga dapat memberikan dukungan terhadap faktor kunci yang tersirat dalam komentar yang disampaikan seorang alumni (dikutip dalam introduksi) yang baru mengenali betapa pentingnya konsep mekanika yang disampaikan dalam kuliah statika setelah melihat aplikasinya di lapangan.

4.4. Refleksi hasil riset

Sekalipun secara kuantitatif belum dicapai efektivitas hasil yang signifikan, ditandai peningkatan nilai ujian pre – post test mahasiswa sebagai indikator belum maksimal, penulis percaya bahwa terdapat beberapa faktor yang berkontribusi capaian prestasi yang kurang mengembirakan.

Banyak mahasiswa tidak dapat secara personal dan fisik terlibat dalam eksperimen latihan praktikum ini akibat keterbatasan jumlah alat. Jumlah mahasiswa yang cukup besar dalam satu grup membuat semua mahasiswa tidak dapat mengekspos berbagai fitur eksperimen. Ini berujung pada situasi “melihat (*watching*)” daripada “melakukan (*doing*)” sebagaimana yang seringkali terjadi dalam modus perkuliahan konvensional.

Senada dengan Pascarella dan Terenzini yang pada tahun 1991 menulis (dalam Auchey et.al, 2004) “...*Grades do not necessarily predict performance in the work place. The correlation between grades and work achievement after graduation is so small as to be meaningless for the individual...*” penulis mengobservasi bahwa pendekatan *experiential* ini memungkinkan mahasiswa sejak dini mengembangkan *skills* dan *attitude* yang baik dalam memecahkan masalah yang akan ditemuinya di dunia kerja.

5. KONKLUSI DAN REKOMENDASI

Pendekatan *experiential learning* model Kolb telah dielaborasi dan diterjemahkan dalam model pembelajaran *hands-on experience* modul-modul praktikum mekanika rekayasa. Ujicoba membuktikan bahwa pendekatan ini memberikan harapan hasil pencapaian belajar yang lebih tinggi dari sudut IP dan kompetensi pengetahuan, keterampilan dan sikap mahasiswa. Pendekatan ini mengakomodasi perbedaan gaya belajar dan bakat mahasiswa dalam bentuk kebebasan eksplorasi dan refleksi.

Pembelajaran *experiential* dengan model praktikum ini juga memperkuat capaian belajar karena segi-segi kooperatif dan *teamwork* dalam belajar didorong penuh. Ini senada dengan prinsip kedua dari “*seven principles of good practice in undergraduate education*” yang disampaikan oleh Chickering dan Gamson (1987) yakni “...*encourage cooperation among students...*”

Sementara itu pengembangan lebih lanjut yang memperkuat orientasi pembelajaran konstruktif dan student centered perlu dipikirkan dengan cermat. Rekomendasi dapat disampaikan berkenaan jumlah mahasiswa dalam satu grup praktikum dimana semakin kecil grup semakin efisien-efektif. 4-5 orang dalam satu grup mungkin merupakan jumlah ideal. Pengujian dengan situasi kelas dalam proses pembelajaran semester reguler perlu dilaksanakan untuk melihat pengaruh pendekatan *experiential* ini secara lebih nyata.

Peran dosen dalam praktikum dapat lebih diarahkan sebagai fasilitator dengan memberikan umpan proses eksploratif lebih lanjut dan proses refleksi dimana mahasiswa diminta merenungkan apa yang telah dipelajari dan bagaimana mereka sampai pada pemahaman tersebut secara sadar.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ketua Jurusan Teknik Sipil FT UNS yang telah memberikan perkenan dan dorongannya kepada penulis untuk melakukan riset ini. Kepada Tim Lab Struktur JTS FT UNS, disampaikan penghargaan atas bantuannya.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Auchey, F. L., Mills, T. H., & Auchey, G. J. *Re-Engineering The Undergraduate*, 1997, June
- Auchey, F. L. et.al, *Improving Building Construction Students' Comprehension of Statics by integrating Experiential Learning Lab into an engineering Mechanics-Statics Courses*, Proc. ASEE Annual Meeting, June 10-13, 1999, Charlotte, NC.
- Building Construction Program For The Twenty - First Century*. (Editorial) The Journal of Engineering Education, ASEE, Vol. 87, #1, P. 71 - 78.
- Chickering, A.W., Z.F. Gamson., *Seven Principles for Good Practice in Undergraduate Education*, Am. Assoc. Higher Education Bulletin, 1987, 39(7), 3-7
- Holzer, Siegfried M. & Raul H. Andruet. *Learning Statics with Multimedia and Other Tools.. ASEE*, Seattle, WA (1998)
- Kolb, D. *Experiential Learning*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1984).
- Wankat, P. C. & F. S. Oreovicz. *Teaching Engineering*. McGraw-Hill, (1993).

PENULIS

Senot Sangadji, S.T., M.T., Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil UNS Surakarta

METODE PEMBELAJARAN MEKANIKA BAHAN PADA APLIKASI KOMPONEN BETON BERTULANG

**Oleh:
Antonius
Prabowo Setiyawan**

ABSTRAK

Ilmu Mekanika Bahan merupakan salah satu cabang dari ilmu Mekanika Rekayasa, yang mempunyai perbedaan khusus dibandingkan cabang ilmu Mekanika Rekayasa lainnya. Mekanika Bahan lebih menitikberatkan pada perilaku bahan secara mikro, sehingga mekanisme transfer gaya-gaya dalam yang terjadi di dalam material menjadi hal utama yang harus dipahami secara lebih mendalam. Di dalam paper ini akan dibahas aplikasi Mekanika Bahan secara mendasar yaitu dengan mengkaji perilaku penampang seperti inersia, tegangan lentur balok dan lendutan yang diaplikasikan pada beton bertulang. Pembahasan mengenai zona tarik dan tekan pada beton juga akan dibahas lebih detail agar diperoleh gambaran bahwa betapa pentingnya pengetahuan tentang Mekanika Bahan. Hasil kajian yang diperoleh dapat dijadikan masukan dalam sistem pembelajaran kuliah Mekanika Bahan secara lebih aplikatif, khususnya yang terkait dalam bidang studi Teknik Sipil.

1. PENDAHULUAN

Mata kuliah Mekanika Rekayasa bagi para mahasiswa Teknik Sipil pada umumnya menjadi salah satu mata kuliah yang sulit dicerna dan dimengerti secara mudah. Indikasi hal tersebut salah satunya dapat dilihat pada nilai/hasil akhir kuliah Mekanika Rekayasa di jurusan teknik Sipil UNISSULA, yang pada umumnya di bawah harapan atau sebagian besar tidak lulus dan harus mengulang mata kuliah tersebut. Mahasiswa pada umumnya lebih tertarik pada bidang ilmu yang langsung aplikatif seperti Struktur Baja, Struktur Beton, Teknik Pondasi, Irigasi dan sebagainya, tetapi mereka kurang memahami bahwa terdapat saling ketergantungan yang sangat erat terhadap ilmu Mekanika Rekayasa dengan ilmu terapan tersebut. Salah satu sebab yang dihadapi mahasiswa dalam memahami Mekanika Rekayasa adalah kurang kuatnya dasar ilmu Mekanika yang dipelajari di bangku SMA. Kelemahan tersebut antara lain disebabkan oleh kekurangtertarikan siswa terhadap bidang ilmu Mekanika. Selain itu terutama bagi mahasiswa Perguruan Tinggi Swasta (PTS) adalah kualitasnya yang relatif dibawah kualitas mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri (PTN), meskipun hal ini tidak berlaku untuk semua PTS. Kondisi ini menjadikan para pengajar di PTS harus bekerja lebih keras agar ilmu Mekanika Rekayasa dapat ditransfer sedemikian rupa sehingga dapat dimengerti oleh mahasiswa secara baik dan lengkap.

Mekanika Rekayasa merupakan penyangga utama dalam bidang studi Teknik Sipil, terlebih untuk keahlian bidang struktur. Salah satu cabang ilmu Mekanika Rekayasa adalah Mekanika Bahan. Mekanika Bahan mempunyai perbedaan khusus dibandingkan cabang ilmu Mekanika Rekayasa lainnya. Mekanika Bahan lebih menitikberatkan pada perilaku bahan secara mikro, sehingga mekanisme transfer gaya-gaya dalam yang terjadi di dalam bahan menjadi hal utama yang harus dipahami secara lebih mendalam. Pada dasarnya Mekanika Bahan berkaitan dengan hubungan antara gaya luar yang bekerja dan pengaruhnya terhadap gaya dalam benda. Selanjutnya, benda tidak lagi dianggap sebagai kaku ideal; deformasi,

meskipun kecil, merupakan sasaran utama. Sifat bahan suatu struktur atau mesin mempengaruhi pemilihan dan ukuran yang memenuhi kekuatan dan kekakuan.

Perbedaan antara Mekanika Bahan dengan cabang ilmu mekanika rekayasa lainnya selanjutnya secara jelas dapat dilihat pada contoh berikut. Kasus ini merupakan masalah sederhana dalam statika yaitu menetapkan gaya yang dibutuhkan pada ujung linggis untuk mengangkat beban tertentu (gambar 1). Jumlah momen terhadap titik tumpu akan dapat menetapkan P . Jawaban statika ini mengandaikan bahwa linggis cukup kaku dan kuat untuk mengijinkan tenaga yang diinginkan. Tetapi, pada Mekanika Bahan, jawaban harus dikembangkan lebih lanjut. Kita harus menyelidiki batang untuk menjamin apakah batang tersebut tidak akan patah atau tidak cukup luwes sehingga batang tersebut melengkung tanpa beban.



Gambar 1. Linggis harus tidak patah atau melengkung

Didalam Mekanika Bahan dipelajari analisis penampang, yang salah satunya adalah untuk mengetahui daerah tarik dan daerah tekan penampang. Pengetahuan tentang hal tersebut sangat berguna untuk menentukan metoda desain struktur, seperti beton bertulang dimana pemilihan jumlah dan pemasangan tulangan tarik merupakan fokus utama dalam desain. Paper ini akan membahas metode pembelajaran Mekanika Bahan yang diaplikasikan pada komponen beton bertulang.

2. SILABUS MEKANIKA BAHAN DI JURUSAN TEKNIK SIPIL UNISSULA

Mata kuliah Mekanika Bahan merupakan salah satu bagian dari kuliah Statika dan Mekanika Bahan yang diajarkan di jurusan Teknik Sipil UNISSULA. Urutan penyampaian materi dalam mata kuliah Mekanika Bahan disesuaikan dengan materi yang paling dasar, dilanjutkan dengan materi yang sifatnya lebih detail, dengan urutan sebagai berikut:

1. Pengertian inersia penampang
2. Inersia Dasar pada potongan penampang
3. Inersia penampang yang mengalami perputaran sumbu
4. Tegangan lentur pada batang prismatis
5. Tegangan geser pada batang prismatis
6. Tegangan geser pada potongan profil
7. Pelengkungan (*deflection*)
8. Kern pada potongan normal penampang

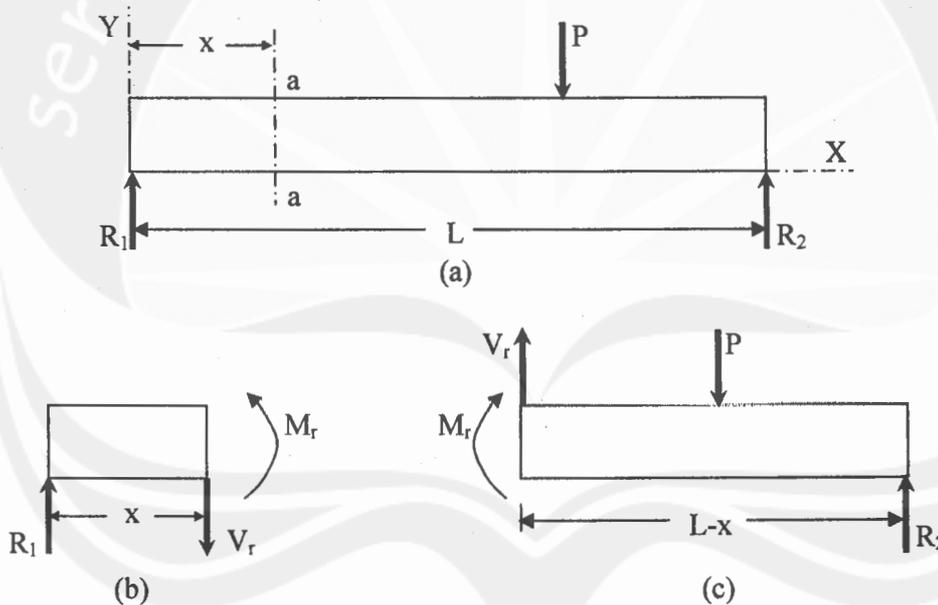
Metode perkuliahan ini dilaksanakan dengan cara ceramah dan mengerjakan latihan soal dan tugas-tugas. Delapan materi perkuliahan di atas pada dasarnya merupakan pengertian yang paling mendasar, dimana materi tersebut implementasinya dapat diterapkan pada perilaku struktur, salah satunya adalah struktur beton bertulang. Dengan demikian apabila diberikan contoh kegunaan materi Mekanika Bahan tersebut, mahasiswa diharapkan dapat membayangkan aplikasinya secara langsung pada struktur secara umum.

3. PENGERTIAN GESER DAN MOMEN

Di dalam mempelajari perkuliahan Mekanika Bahan, mahasiswa harus mampu mengerti dengan baik tentang apa yang disebut dengan GESER dan MOMEN pada batang/balok sederhana. Gambar 2 memperlihatkan balok sederhana yang mendukung beban terpusat P dan dibuat setimbang diperoleh reaksi R_1 dan R_2 . Berat sendiri balok diabaikan dan ditinjau pengaruh beban P. Andaikan bahwa bidang potong a-a berjarak x dari R_1 membagi balok menjadi dua segmen. Diagram benda bebas segmen kiri pada gambar 2a memperlihatkan beban luar/reaksi R_1 . Untuk menjaga kesetimbangan segmen balok ini, serat penampang a-a harus memberikan gaya tahanan yang dibutuhkan untuk memenuhi kondisi kesetimbangan statis. Pada kasus ini, beban luar arahnya adalah vertikal, sehingga kondisi $\sum X=0$ secara otomatis terpenuhi.

Untuk memenuhi $\sum Y=0$, didefinisikan kesetimbangan tegak sebagai gaya geser balok. Gaya ini disebut V, dan bisa ditetapkan dari jumlah komponen tegak dan beban luar yang bekerja pada kedua sisi penampang. Definisi gaya geser bisa dinyatakan secara matematis yaitu

$$V = (\sum Y) \quad (1)$$



Gambar 2. Kesetimbangan segmen sebelah kiri dan kanan penampang a-a

Ketika menghitung V, gaya atau beban yang bekerja ke atas dianggap positif. Hukum tanda ini menghasilkan pengaruh seperti terlihat pada gambar 3, dimana gaya geser positif cenderung menggerakkan segmen kiri ke arah atas ditinjau dari arah kanan atau dan sebaliknya.



Gambar 3. gerakan relatif tergantung kepada tanda gaya geser

Untuk kesetimbangan diagram benda bebas dari gambar 2b, jumlah momen juga harus setimbang. Pada paper ini R_1 dan V_r sama, sehingga menghasilkan kopel M yang sama dengan R_1x dan disebut dengan momen lentur karena cenderung melenturkan balok. Serat pada penampang yang ditinjau harus menimbulkan momen tahanan, M_r .

3.1. Definisi Momen Lentur

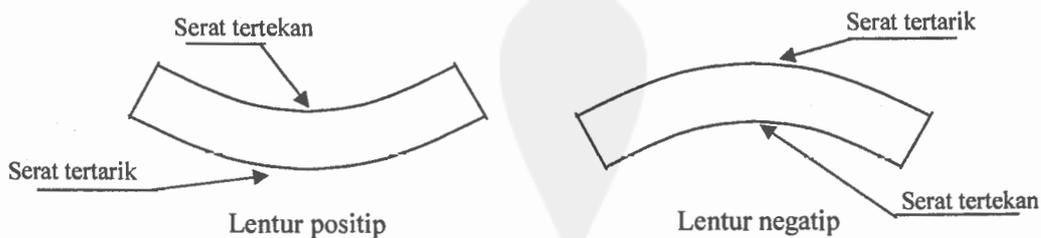
Mahasiswa perlu mengerti apa yang disebut sebagai momen lentur. Momen lentur didefinisikan sebagai jumlah momen semua gaya yang bekerja di sisi kiri atau kanan penampang terhadap sumbu titik berat penampang yang ditinjau, dan dinyatakan secara matematis sebagai

$$M = (\sum M)_L = (\sum M)_R \tag{2}$$

Subskrip L menunjukkan bahwa momen lentur dihitung berdasarkan beban yang bekerja di sebelah kiri penampang dan subskrip R berkaitan dengan beban sebelah kanan penampang.

3.2. Tanda momen lentur

Masalah umum yang paling mendasar yang dihadapi mahasiswa adalah mengenai pemberian tanda momen lentur. Masalah ini menjadi sangat penting karena akan menentukan zona tarik dan tekan pada penampang. Apabila tidak tepat dalam memprediksi tanda momen lentur, maka dapat dikatakan bahwa analisa struktur adalah gagal. Momen lentur bertanda positif apabila momen menghasilkan lenturan balok cekung ke atas, (gambar 4). Kita memilih pemakaian konvensi ekuivalen yang menyatakan bahwa gaya luar yang bekerja ke atas menghasilkan momen lentur positif terhadap setiap penampang; gaya ke bawah menghasilkan momen lentur negatif. Sejauh ini karena selalu ditinjau segmen kiri balok (gambar 2b), hal ini ekuivalen dengan mengambil momen searah jarum jam terhadap sumbu lentur positif, seperti ditunjukkan oleh R_1 . Terhadap segmen kanan balok (gambar 2c), konvensi ini berarti bahwa momen reaksi R_2 positif dalam arah berlawanan jarum jam. Konvensi ini memberi keuntungan sehingga momen lentur bisa dihitung, tanpa dibingungkan oleh tanda. Kita tidak pernah memikirkan apakah momen searah jarum jam atau berlawanan jarum jam; gaya bekerja ke atas selalu menghasilkan momen lentur positif dengan mengabaikan apakah gaya bekerja di sebelah kiri atau sebelah kanan penampang yang ditinjau. Lentur positif juga memberi arti bahwa serat yang tertarik adalah serat yang di bawah, dan serat tertekan adalah di bagian atas. Definisi ini berlaku sebaliknya untuk lentur negatif (lihat gambar 4).

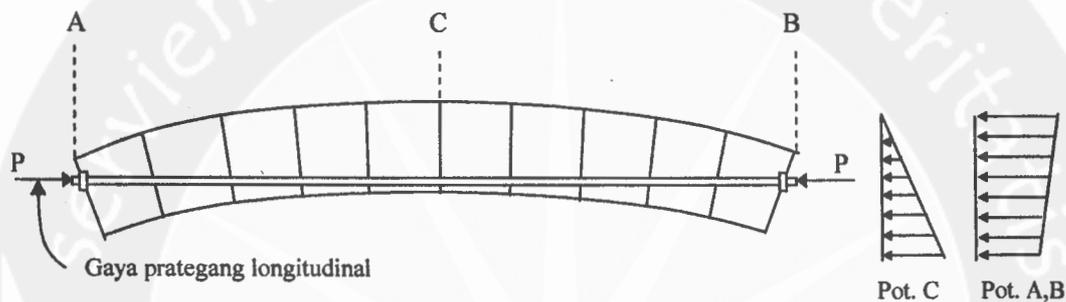


Gambar 4. Perilaku lentur positif dan negatif

4. MEKANISME LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG

Seperi diketahui bahan bangunan yang terbuat dari beton mempunyai sifat yang kuat dalam menahan tekan namun lemah dalam menahan tarik. Karakteristik bahan beton ini oleh mahasiswa sudah dipelajari pada kuliah Bahan Bangunan. Dalam desain beton bertulang, terutama untuk beton mutu normal ($f_c' < 50$ MPa), daerah tarik beton diabaikan dimana untuk menahan tarik tersebut dipasang tulangan baja yang mempunyai kekuatan tarik relatif sangat tinggi dibandingkan beton. Pengertian ini perlu ditekankan kepada para mahasiswa agar mereka lebih cermat dalam melakukan kalkulasi daerah tarik dan tekan penampang.

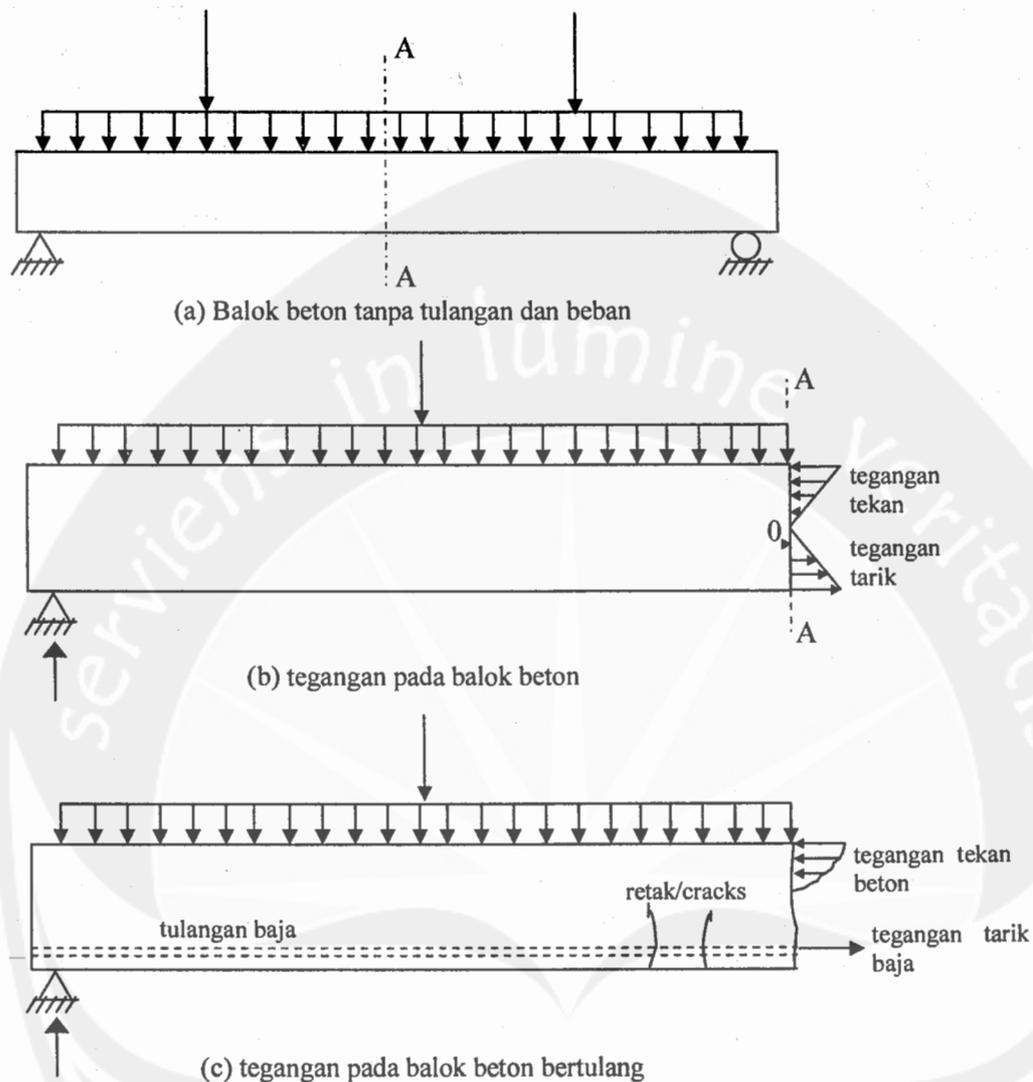
Karena rendahnya kapasitas tarik pada beton, retak lentur biasanya dapat terjadi pada tahap awal pembebanan. Salah satu cara untuk mengurangi atau mencegah terjadinya retak-retak tersebut, dapat dilakukan *pretensioning* terhadap tulangan-tulangan baja pada elemen beton bertulang, sehingga dihasilkan suatu bentuk beton bertulang yang disebut dengan beton prategang (gambar 5).



Gambar 5. *Pretensioning* pada elemen balok

5. APLIKASI MEKANIKA BAHAN PADA BALOK BETON BERTULANG

Aplikasi Mekanika Bahan pada balok beton bertulang dapat dicontohkan melalui struktur balok beton tanpa tulangan yang terlihat pada gambar 6. Momen yang timbul akibat beban luar pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam tarik dan tekan. Balok tersebut dapat runtuh secara tiba-tiba dan total jika retak terbentuk pada zona tarik penampang. Pada balok beton bertulang, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat dikembangkan pada tulangan baja. Jadi dapat dikatakan bahwa untuk mengatasi kelemahan beton dalam menahan tarik maka ditambahkan tulangan baja pada bagian penampang beton yang berpotensi mengalami tarik pada saat menahan beban. Karakteristik yang dimiliki beton tersebut sangat penting untuk dicermati dan diketahui oleh mahasiswa, terutama untuk menentukan serat mana yang mengalami tarik dan tekan (seperti telah diuraikan pada sub bab 3.2 di atas).



Gambar 6. Balok beton tanpa dan yang dipasang tulangan

5.1. Mekanisme Gaya-gaya Dalam pada Penampang Balok Beton Bertulang yang Mengalami Lentur

Hampir semua elemen struktur seperti balok, kolom dan pelat mengalami momen lentur. Pada umumnya, elemen struktur yang mengalami lentur berlaku hukum Bernoulli dimana distribusi regangan di sepanjang tinggi penampang dapat diasumsikan linier.

Berdasarkan teori balok elastik, distribusi tegangan pada penampang akibat momen lentir M dapat dituliskan sebagai berikut:

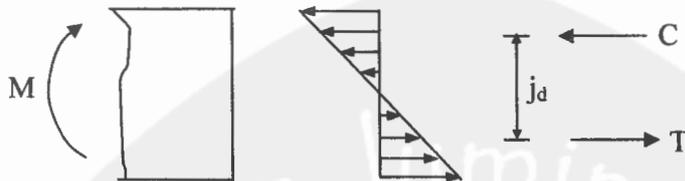
$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3)$$

Perlu dijelaskan kepada mahasiswa bahwa persamaan (3) hanya berlaku untuk penampang beton tanpa tulangan yang belum retak. Hal ini dikarenakan:

- Hubungan tegangan-regangan tekan beton bersifat non-linier

- Adanya tulangan baja pada penampang yang berfungsi untuk mentransfer gaya tarik pada saat terjadi retak pada penampang.

Selanjutnya mekanisme kesetimbangan gaya-gaya dalam penampang beton bertulang diilustrasikan pada gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme gaya-gaya dalam yang bekerja pada beton bertulang

Jika tidak ada gaya aksial luar yang bekerja pada penampang, maka pada penampang di atas berlaku:

$$M = C j_d \quad \text{atau} \quad M = T j_d \quad (4)$$

$$\text{dan} \quad C - T = 0 \quad (5)$$

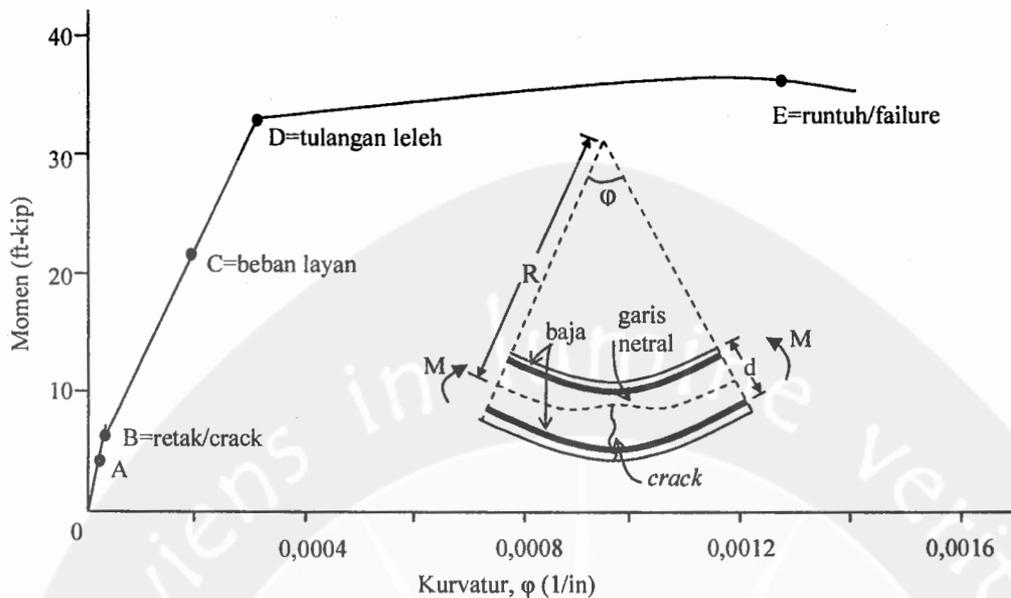
$$\text{atau} \quad C = T \quad (6)$$

5.2. Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang

Salah satu materi dari kuliah Mekanika Bahan adalah mengenai perilaku lentur pada batang prismatis. Untuk mempelajari perilaku lentur tersebut biasanya disampaikan sub materi mengenai teori momen-kelengkungan. Aplikasi lentur pada batang prismatis tersebut dapat dijelaskan kepada mahasiswa, yaitu dengan langsung menggambarkan diagram Momen-kelengkungan (kurvatur) penampang.

Secara garis besar perilaku lentur pada balok beton bertulang dapat dijelaskan pada gambar 8. Pada saat awal, dimana retak belum terjadi, nilai regangan yang terjadi akibat momen yang bekerja adalah sangat kecil, sehingga distribusi tegangan yang diperoleh pada dasarnya masih linier (titik A). Pada kondisi ini hubungan momen dan kelengkungan pada penampang juga bersifat linier (lihat segmen O-B).

Jika beban yang bekerja terus ditingkatkan, retak akan terjadi pada tepi bawah penampang yang mengalami momen maksimum. Retak terjadi pada saat tegangan tarik pada tepi bawah mencapai kekuatan tarik beton. Pada saat terjadi gaya tarik pada beton di lokasi retak akan ditransfer ke tulangan baja, sehingga penampang beton yang efektif dalam menahan momen menjadi berkurang. Pada saat ini kekakuan balok juga berkurang (segmen B-C-D), namun distribusi tegangan masih mendekati kondisi linier.



Gambar 8. Perilaku momen-kurvatur balok beton bertulang

Jika beban terus ditingkatkan pada akhirnya tulangan baja akan leleh (titik C). Setelah leleh terjadi, kelengkungan balok meningkat dengan cepat dengan sedikit peningkatan pada momen (segmen D-E).

6. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa mata kuliah Mekanika Bahan merupakan salah satu mata kuliah yang sangat penting untuk dipahami, baik filosofi, mekanisme gaya-gaya dalam maupun aplikasinya ke sistem struktur. Prediksi mengenai zona tarik dan tekan pada struktur perlu lebih dicermati agar dalam desain beton bertulang nantinya tidak terjadi kegagalan. Mekanika Bahan dapat diaplikasikan secara luas, salah satunya ke struktur beton bertulang. Pengetahuan yang baik dari pengajar terhadap materi mata kuliah ini dan disertai dengan metode pengajaran yang efektif dan aplikatif, diharapkan dapat ditransfer ilmu kepada mahasiswa dengan baik.

7. DAFTAR PUSTAKA

- MacGregor, J.G. (1997); *Reinforced Concrete, Mechanics and Design*, Prentice Hall.
 Singer, F.L. dan Pytel, A. (1980); *Kekuatan Bahan* (terjemahan oleh Darwin Sebayang), Erlangga.

PENULIS

Dr. Ir. Antonius, M.T., Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Semarang, e-mail : antoni67a@yahoo.com

Ir. Prabowo Setiyawan, M.T., Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Semarang

MEKANIKA REKAYASA GEDUNG TIGA DIMENSI: A MISSING LINK

Oleh
Yoyong Arfiadi

ABSTRAK

Dalam tulisan ini dibahas beberapa cara analisis gedung tiga dimensi dan kemungkinan pengajarannya dengan cara yang relatif mudah dilakukan. Dalam hal ini lantai gedung dianggap sebagai diafragma yang kaku dalam arah horisontal, sehingga setiap lantai mempunyai tiga buah derajat kebebasan yaitu dua buah translasi horisontal dalam arah saling tegak lurus dan rotasi terhadap suatu sumbu vertikal. Dengan model ini derajat kebebasan struktur yang tidak berkaitan dengan perpindahan lantai gedung dapat dieliminasi terlebih dahulu, sehingga penyelesaian persamaan pada setiap langkah menjadi jauh lebih kecil. Walaupun tersedia beberapa model analisis tiga dimensi yang bisa dipilih, penekanan dalam pembahasan ditujukan terutama pada model yang lebih dapat diimplementasikan dalam pengajaran; yaitu gedung dianggap terdiri dari substruktur dua dimensi (portal bidang) sebagai bagian dari gedung tiga dimensi, yang dihubungkan dengan diafragma kaku. Dengan teknik kondensasi statik, matriks kekakuan lateral setiap portal yang berkaitan dengan perpindahan lateral gedung dapat diperoleh. Efek tiga dimensi diperhitungkan dengan mentransformasikan kekakuan lateral masing-masing portal dua dimensi terhadap sumbu global gedung. Dengan tinjauan ini maka pengajaran mekanika rekayasa gedung 3 dimensi dapat diperkenalkan kepada mahasiswa dengan relatif mudah. Materi ini diharapkan dapat menjembatani antara pengajaran mekanika rekayasa di kampus dan pemakaian perangkat lunak yang semakin luas dalam praktek di mana model-model tiga dimensi umumnya tersedia untuk digunakan. Pada bagian akhir disajikan contoh-contoh numerik dan langkah penyelesaian analisis gedung tiga dimensi dengan model diafragma kaku. Tampak bahwa interaksi tiga dimensi setiap elemen dalam mendukung beban dapat direpresentasikan. Dengan model ini pula tinjauan beban horisontal akibat gempa menjadi sederhana, karena distribusi beban lateral pada elemen struktur dapat langsung diintegrasikan dalam hitungan.

Kata kunci: analisis gedung tiga dimensi, diafragma kaku, beban lateral, pengajaran.

1. PENDAHULUAN

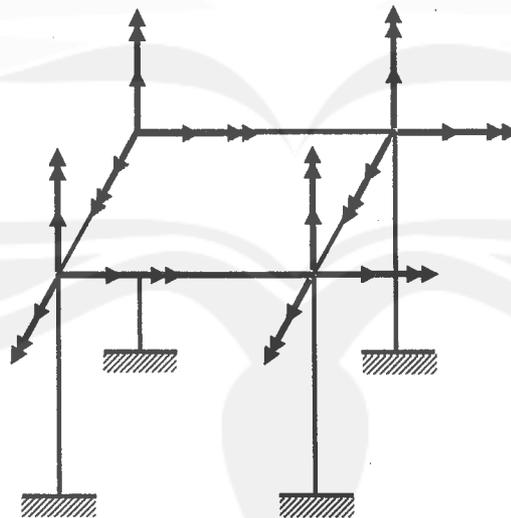
Dewasa ini banyak perangkat lunak yang bisa digunakan untuk analisis struktur. Kemampuan perangkat lunak tersebut bahkan sudah semakin canggih dan semakin *user friendly*, sehingga saat ini sudah biasa bagi seorang perencana untuk menganalisis struktur secara tiga dimensi. Di antara perangkat lunak yang biasa digunakan adalah ETABS, SAP2000, dan STAAD. Tentu saja untuk mencapai hal yang baik diperlukan suatu pemahaman tersendiri dalam pemakaiannya. Karena dasar dari semua perangkat lunak yang berkembang saat ini adalah metoda matriks kekakuan, banyak terdapat kesulitan dalam pengajaran metoda matriks kekakuan di kelas. Jangankan mengajarkan analisis struktur secara tiga dimensi, pengajaran analisis struktur dengan metoda kekakuan standar untuk struktur dua dimensi saja sudah sangat sulit dilakukan. Hal ini karena menyangkut jumlah dan ukuran matriks yang besar yang terlibat dalam hitungan. Keadaan ini sudah disadari oleh beberapa pengajar dan peneliti misalnya Arfiadi (1996), Arfiadi dan Hadi (2003), Kanok-Nukulchai

(1993) dan Wilson (1986), di mana program bantu telah dibuat untuk memudahkan pemahaman dan pengajaran metoda matriks kekakuan di kelas.

Dalam tulisan ini dibahas beberapa cara analisis gedung 3 dimensi dan kemungkinan pengajarannya dengan beberapa penyederhanaan. Selain cara-cara yang lebih umum, analisis gedung adalah merupakan suatu hal yang unik terutama karena lantai gedung dapat dianggap sebagai diafragma yang kaku. Dengan anggapan ini maka penyelesaian persamaan pada setiap langkah menjadi jauh lebih kecil. Di samping itu dalam tinjauan beban horisontal akibat gempa menjadi sederhana. Anggapan ini pula yang memungkinkan distribusi beban lateral pada setiap elemen struktur dapat diselesaikan dengan mudah.

2. ANALISIS RANGKA 3 DIMENSI STANDAR: KETIDAKMUNGKINAN PENGAJARAN?

Dalam analisis struktur *frame* 3 dimensi (3D) standar setiap titik kumpul mempunyai 6 derajat kebebasan, jadi dalam satu batang akan terdapat 12 derajat kebebasan. Dapat dibayangkan, untuk menganalisis suatu gedung satu lantai dengan empat kolom seperti yang terlihat pada Gbr. 1 akan melibatkan derajat kebebasan sebesar $4 \times 6 = 24$ buah. Artinya bahwa ukuran matriks kekakuan struktur adalah 24×24 , yang berarti pula bahwa terdapat 576 elemen $K(i,j)$ dalam matriks kekakuan. Hal ini tentu saja sangat sulit untuk diajarkan dalam pengajaran metoda matriks kekakuan di dalam kelas, karena tidak dimungkinkan untuk melakukan hitungan tangan biasa. Jangankan analisis *frame* 3D, analisis *frame* 2D saja sudah merupakan kesulitan tersendiri apabila melibatkan banyak titik kumpul bebas. Masalah ini sudah dibahas dalam Arfiadi (1996, 2003) dan Arfiadi dan Hadi (2002) serta telah dibuat suatu program untuk pengajaran analisis struktur sehingga memudahkan mahasiswa memahami langkah-langkah yang harus ditetapkan.



Gbr. 1. Struktur *frame* 3D satu lantai dengan 24 derajat kebebasan

Untuk analisis 3D, kenyataan saat ini banyak perangkat lunak yang mempunyai kemampuan untuk melakukan analisis gedung 3D, sehingga banyak gedung yang dihitung dengan model 3D. Dengan demikian mahasiswa pun, setelah mereka lulus akan dihadapkan

pada permasalahan ini. Oleh karena itu perlu difikirkan cara untuk memperkenalkan perilaku 3D gedung dalam menerima beban dalam pengajaran mekanika rekayasa bagi mahasiswa teknik sipil.

3. MODEL KHUSUS: GEDUNG MERUPAKAN KUMPULAN BALOK DAN KOLOM

Model ini didasarkan pada pengamatan, bahwa secara umum gedung mempunyai bentuk empat persegi panjang, sehingga elemen struktur dapat diidentifikasi sebagai balok, kolom, bresing dan dinding geser. Selain itu, lantai dianggap sebagai diafragma yang sangat kaku dalam arah horisontal, sehingga setiap lantai dalam gedung mempunyai tiga derajat kebebasan, yaitu translasi lateral dalam dua arah yang saling tegak lurus dan rotasi terhadap suatu sumbu vertikal. Selanjutnya matriks kekakuan setiap elemen dapat dibentuk. Sebelum dilanjutkan dengan pembentukan matriks kekakuan gedung, derajat kebebasan yang tidak berkaitan dengan perpindahan lantai dieliminasi dengan teknik kondensasi statik.

Matriks kekakuan kolom

Dengan mengacu pada Gbr. 2 matriks kekakuan kolom dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{Bmatrix} M_T \\ M_{xi} \\ M_{yi} \\ N \\ M_{xj} \\ M_{yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_a & 0 & 0 & k_f & 0 \\ 0 & 0 & k_b & 0 & 0 & k_d \\ 0 & 0 & 0 & A_a & 0 & 0 \\ 0 & k_f & 0 & 0 & k_a & 0 \\ 0 & 0 & k_d & 0 & 0 & k_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_T \\ \phi_{xi} \\ \phi_{yi} \\ \delta \\ \phi_{xj} \\ \phi_{yj} \end{Bmatrix} \quad (1a)$$

atau

$$\{S_c\} = [k_c] \{\phi_c\} \quad (1b)$$

dengan

$$\begin{aligned} k_T &= \frac{GJ}{L}, \quad k_a = \frac{2EI_{xx}}{L} \left(\frac{2+\beta}{1+2\beta} \right), \quad k_b = \frac{2EI_{yy}}{L} \left(\frac{2+\beta}{1+2\beta} \right), \quad k_f = \frac{2EI_{xx}}{L} \left(\frac{1-\beta}{1+2\beta} \right), \\ k_d &= \frac{2EI_{yy}}{L} \left(\frac{1-\beta}{1+2\beta} \right), \quad A_a = \frac{EA}{L}, \quad \beta = \frac{6EI}{L^2 \bar{A}G} \end{aligned} \quad (2a-f)$$

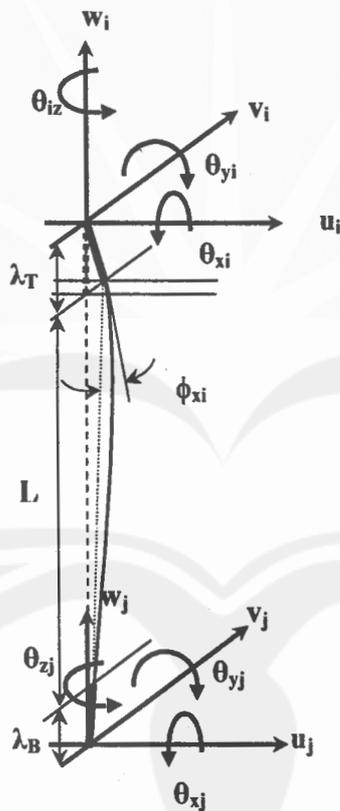
dengan β adalah faktor fleksibilitas geser, dan \bar{A} adalah luas geser efektif.

Mengikuti teknik pada metoda matriks kekakuan langsung, selanjutnya perlu dibentuk matriks transformasi antara deformasi batang dan perpindahan ujung batang. Dengan mengacu pada Gbr. 2, transformasi perpindahan pada ujung-i dapat ditentukan sebagai berikut ini.

$$\begin{Bmatrix} \phi_T \\ \phi_{xi} \\ \phi_{yi} \\ \delta \\ \phi_{xj} \\ \phi_{yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} & 0 & \left(1 + \frac{\lambda_T}{L}\right) & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L} & 0 & \frac{\lambda_B}{L} & 0 \\ -\frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 & \left(1 + \frac{\lambda_T}{L}\right) & 0 & \frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_B}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & \frac{1}{L} & 0 & \frac{\lambda_T}{L} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L} & 0 & \left(1 + \frac{\lambda_B}{L}\right) & 0 \\ -\frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_T}{L} & 0 & \frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 & \left(1 + \frac{\lambda_B}{L}\right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_{zi} \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ w_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_{zj} \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \\ w_j \end{Bmatrix} \quad (3a)$$

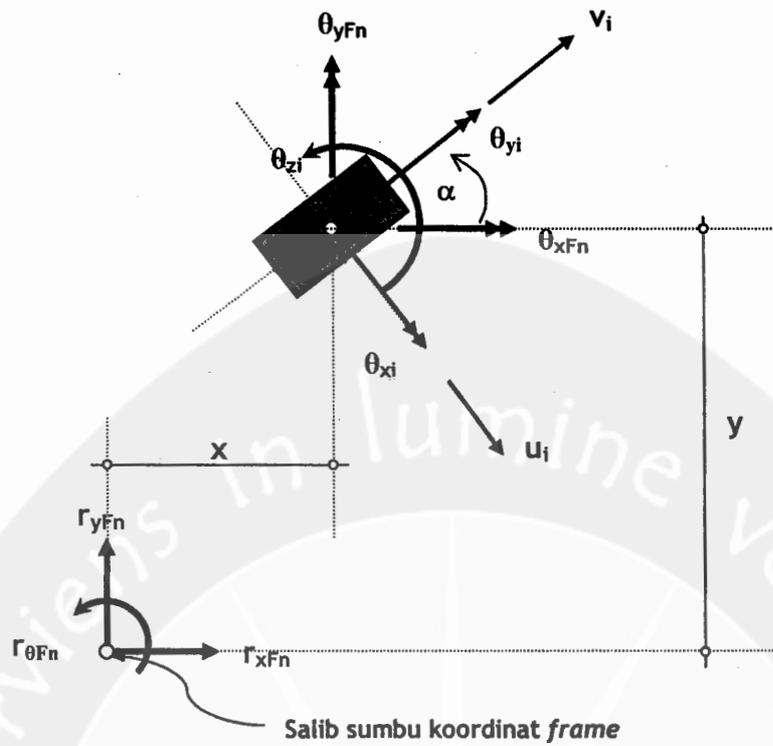
atau secara sederhana dapat ditulis sebagai

$$\{\phi_c\} = [a_c] \{r_c\} \quad (3b)$$



Gbr. 2. Deformasi dan perpindahan elemen kolom

Transformasi lain yang diperlukan adalah transformasi dari perpindahan titik-kumpul ke perpindahan *frame* dan dengan menganggap diafragma sebagai bidang yang kaku dalam arah horisontal. Dengan mengacu pada Gbr. 3 dapat diperoleh hubungan sebagai berikut ini.



Gbr.3. Hubungan antara perpindahan ujung kolom dan perpindahan portal

$$\begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_{zi} \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ w_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_{zj} \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \\ w_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} s & -c & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c & s & b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s & -c & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s & -c & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c & s & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s & -c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c & s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_{xFn} \\ r_{yFn} \\ r_{\theta Fn} \\ \theta_{xFn} \\ \theta_{yFn} \\ r_{zFn} \\ r_{xFn1} \\ r_{yFn1} \\ r_{\theta Fn1} \\ \theta_{xFn1} \\ \theta_{yFn1} \\ r_{zFn1} \end{Bmatrix} \quad (4a)$$

atau

$$\{r_c\} = [b_c] \{r_F\} \quad (4b)$$

dengan

$$s = \sin \alpha \quad (4c)$$

$$c = \cos \alpha \quad (4d)$$

$$a = -y \sin \alpha - x \cos \alpha \quad (4e)$$

$$b = -y \cos \alpha + x \sin \alpha \quad (4f)$$

Dalam hal ini α adalah sudut antara sumbu x portal dan sumbu global kolom.

Dari pers. (1b), (3b) dan (4b) diperoleh

$$\{S_c\} = [k_c][a_c][b_c]\{r_F\} \quad (5)$$

Selanjutnya dengan mengikuti langkah-langkah dalam metoda matriks kekakuan, matriks kekakuan kolom dalam koordinat *frame* dapat dinyatakan sebagai

$$[K_c] = [b_c]^T [a_c]^T [k_c] [a_c] [b_c] \quad (6)$$

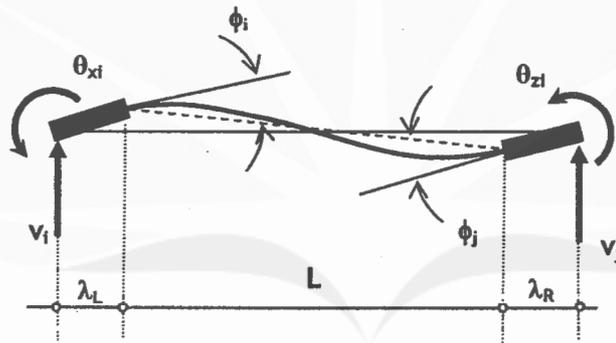
Matriks kekakuan balok

Matriks kekakuan balok seperti pada Gbr. 4 dapat diturunkan dengan mengabaikan deformasi aksial dan lentur terhadap sumbu vertikal sehingga diperoleh

$$\begin{Bmatrix} M_T \\ M_i \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_T & 0 & 0 \\ 0 & k_a & k_b \\ 0 & k_b & k_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_T \\ \phi_i \\ \phi_j \end{Bmatrix} \quad (7a)$$

atau

$$\{S_b\} = [k_b]\{\phi_b\} \quad (7b)$$



Gbr. 4. Deformasi dan perpindahan elemen balok

Dengan mengacu pada Gbr. 4, transformasi dari deformasi balok ke perpindahan ujung balok diperoleh dari

$$\begin{Bmatrix} \phi_T \\ \phi_i \\ \phi_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 + \frac{\lambda_L}{L} & 0 & \frac{1}{L} & \frac{\lambda_R}{L} & 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{\lambda_L}{L} & 0 & \frac{1}{L} & \left(1 + \frac{\lambda_R}{L}\right) & 0 & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ r_{zi} \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \\ r_{zj} \end{Bmatrix} \quad (8a)$$

atau secara sederhana

$$\{\phi_b\} = [a_b]\{r_b\} \quad (8b)$$

Matriks transformasi dari perpindahan lateral *frame* terhadap perpindahan global lantai seperti ditunjukkan pada Gbr. 6 dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{Bmatrix} u_{Fn} \\ v_{Fn} \\ \theta_{Fn} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c & -s & (-\Delta y c + \Delta x s) \\ s & c & (\Delta x c + \Delta y s) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \\ r_{\theta n} \end{Bmatrix} \quad (11a)$$

atau dalam bentuk yang sederhana

$$\{r_{Ln}\} = [a_n] \{r_n\} \quad (11b)$$

Selanjutnya transformasi matriks untuk seluruh lantai dapat ditulis menjadi

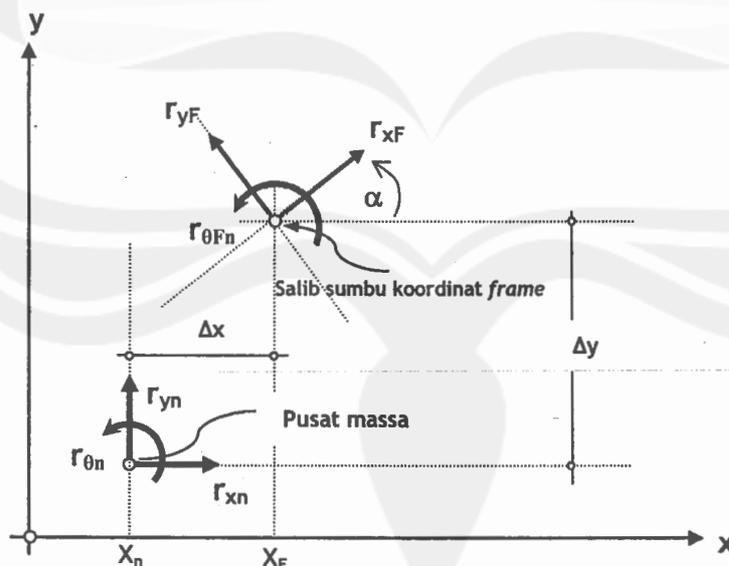
$$\begin{Bmatrix} \{r_{L1}\} \\ \{r_{L2}\} \\ \vdots \\ \{r_{LN}\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [a_1] & & & \\ & [a_2] & & \\ & & \ddots & \\ & & & [a_n] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{r_1\} \\ \{r_2\} \\ \vdots \\ \{r_N\} \end{Bmatrix} \quad (12a)$$

secara sederhana dapat ditulis

$$\{r_L\} = [A] \{U_{3D}\} \quad (12b)$$

Dengan transformasi pers. (12), matriks kekakuan gedung 3D sekarang dapat diperoleh dengan

$$[K_{3D}] = [A]^T [K_{Lat}] [A] \quad (13)$$

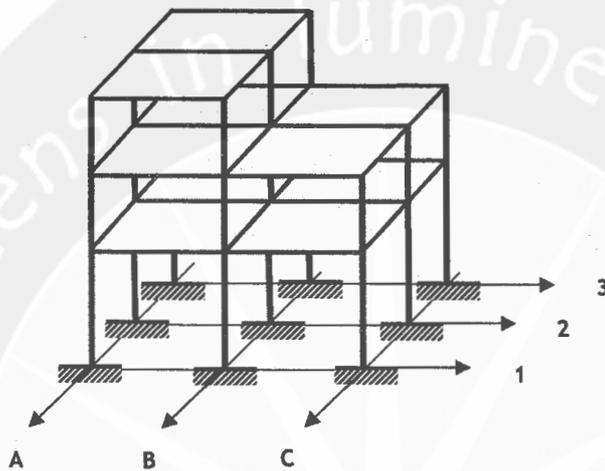


Gbr. 6. Transformasi dari koordinat frame ke koordinat global

4. MODEL YANG LEBIH UMUM

Kadang-kadang perakitan matriks kekakuan elemen lebih diinginkan berdasarkan metoda metriks kekakuan standar melalui elemen batang sebagai elemen 3D standar, tidak tergantung

apakah elemen tersebut merupakan balok atau kolom (Balfour,1986, Beaufait et al. 1970). Selanjutnya berdasarkan matriks transformasi yang sesuai dapat diperoleh matriks kekakuan batang dalam koordinat yang ditinjau (sub global atau global). Model ini selanjutnya digunakan dalam Arfiadi (2000, 2004), Arfiadi dan Hadi (2000), tetapi dengan menganggap lantai sebagai diafragma yang kaku. Untuk perakitan matriks kekakuan pertama-tama matriks kekakuan batang dalam kordinat gobal *frame* (sebagai koordinat sub global) dibentuk terlebih dulu seperti pada Gbr. 7. Setelah perpindahan yang tidak berkaitan dengan perpindahan global gedung dieliminasi, matriks kekakuan gedung dalam koordinat global gedung dapat dibentuk dengan transformasi yang sesuai (Arfiadi, 2000, 2004; Arfiadi dan Hadi, 2000).

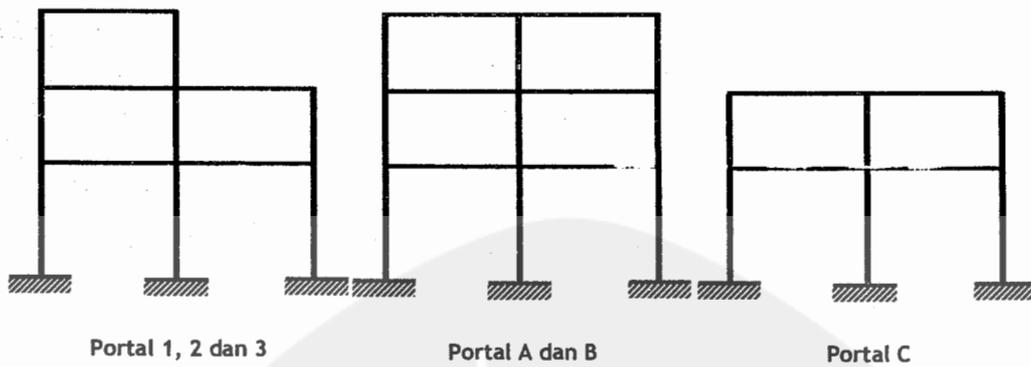


Gbr. 7. Gedung 3D dengan koordinat global frame dan koordinat global gedung

5. MODEL YANG LEBIH SEDERHANA: DENGAN ELEMEN BATANG 2D

Cara-cara yang telah dibahas pada uraian sebelumnya memerlukan operasi matriks yang cukup besar, yang agak sulit diuraikan di kelas dengan contoh-contoh yang sederhana. Mengingat keadaan ini maka akan lebih mudah apabila analisis gedung 3D dimulai dengan model-model yang lebih sederhana. Dalam hal ini model-model dasar portal 2D digunakan sebagai substruktur yang membentuk gedung (Arfiadi, 1995, Kanok-Nukulchai, 1992, Wilson et al, 1980). Pengalaman mengajarkan konsep analisis struktur sebagai analisis gedung secara kesatuan sebagai gedung 3 D menimbulkan tantangan tersendiri untuk memberikan pemahaman perilaku struktur gedung dalam mendukung beban. Untuk menyederhanakan hitungan diambil anggapan-anggapan sebagai berikut ini.

- (1) Struktur dianggap terdiri dari substruktur yang berupa portal-portal bidang dan dinding geser jika ada (lihat Gbr. 8).
- (2) Kekakuan portal dalam arah tegak lurus bidang diabaikan.
- (3) Lantai dianggap sebagai diafragma yang sangat kaku dalam bidang horisontal sehingga setiap lantai mempunyai 3 derajat kebebasan, yaitu dua buah translasi horisontal dan sebuah rotasi terhadap suatu sumbu vertikal tertentu (lihat Gbr. 9).



Gbr. 8. Gedung 3 D terdiri dari substruktur berupa portal-portal bidang



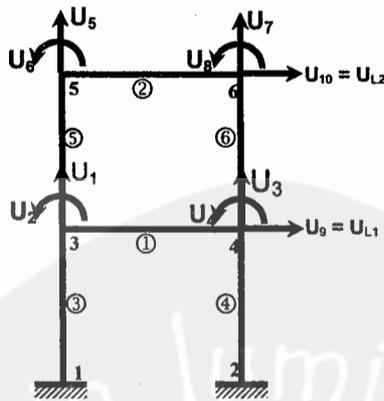
Gbr.9. Lantai sebagai diafragma kaku

Perlu dicatat bahwa dengan anggapan (1) dan (2) maka kesepadanan (*compatibility*) deformasi aksial pada kolom yang dipunyai oleh dua portal atau lebih dalam hal ini diabaikan.

Dengan anggapan ini, penyelesaian analisis gedung 3D menjadi jauh lebih sederhana dibandingkan dengan model-model yang telah diuraikan sebelumnya. Walaupun demikian model ini dapat menangkap perilaku gedung secara 3D di mana pengaruh rotasi gedung terhadap sumbu vertikal dapat dianalisis. Untuk memudahkan dalam analisis gempa, sumbu global gedung dapat diletakkan pada pusat massanya sehingga dalam analisis dinamik matriks massa menjadi matriks diagonal.

Untuk membentuk matriks kekakuan gedung 3D, pertama-tama matriks kekakuan lateral setiap portal dibentuk lebih dahulu. Untuk membentuk kekakuan lateral ini pertama-tama matriks kekakuan portal dirakit berdasarkan metoda matriks kekakuan. Karena lantai gedung dianggap kaku, maka portal-portal sebagai substruktur mempunyai perpindahan bebas yang terdiri dari translasi lateral lantai, perpindahan vertikal dan rotasi titik kumpul seperti ditunjukkan pada Gbr. 10.

Dalam pengajaran, apabila dihadapi sedikit kesulitan untuk membentuk matriks kekakuan struktur dengan satu bentangan dan dua lantai ini, dapat digunakan program yang telah dibuat oleh Arfiadi (1996). Alternatif lain adalah dengan mengerjakan lebih dahulu matriks kekakuan ini dan tidak perlu dibahas di kelas. Selanjutnya langsung disajikan matriks kekakuan lateralnya saja.



Gbr. 10. Perpindahan vertikal dan rotasi titik kumpul dan perpindahan lateral portal.

Untuk membentuk matriks kekakuan lateral, derajat kebebasan yang tidak berkaitan dengan perpindahan lateral lantai, yaitu perpindahan vertikal dan rotasi titik kumpul, dieliminasi sehingga nantinya kita mempunyai matriks kekakuan yang hanya berkaitan dengan perpindahan lateral saja. Matriks kekakuan ini dikenal sebagai matriks kekakuan lateral. Untuk itu persamaan keseimbangan untuk portal yang telah dibentuk matriks kekakuannya dapat ditulis sebagai berikut

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (14)$$

dengan $[K]$ = matriks kekakuan, $\{U\}$ = derajat kebebasan, dan $\{F\}$ = vektor beban luar portal yang ditinjau. Selanjutnya pers. (14) dipartisi menjadi

$$\begin{bmatrix} [K_{CC}] & [K_{CL}] \\ [K_{LC}] & [K_{LL}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{U_C\} \\ \{U_L\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_C\} \\ \{F_L\} \end{Bmatrix} \quad (15)$$

Pada pers. (15) $\{U_C\}$ adalah perpindahan yang akan dikondensasi sedangkan $\{U_L\}$ adalah perpindahan yang akan dipertahankan dalam sistem persamaan akhir. Dari persamaan submatriks yang pertama diperoleh

$$[K_{CC}]\{U_C\} + [K_{CL}]\{U_L\} = \{F_C\} \quad (16)$$

sehingga diperoleh

$$\{U_C\} = [K_{CC}]^{-1}(\{F_C\} - [K_{CL}]\{U_L\}) \quad (17)$$

Dari persamaan submatriks yang kedua pada pers. (15) diperoleh

$$[K_{LC}]\{U_C\} + [K_{LL}]\{U_L\} = \{F_L\} \quad (18)$$

Dengan mensubstitusikan $\{U_C\}$ dari pers. (17) diperoleh

$$[K_{lat}]\{U_L\} = \{F_{lat}\} \quad (19)$$

dengan

$$[K_{lat}] = [K_{LL}] - [K_{LC}][K_{CC}]^{-1}[K_{CL}] \quad (20)$$

$$\{F_{lat}\} = \{F_L\} - [K_{LC}][K_{CC}]^{-1}\{F_C\} \quad (21)$$

$[K_{lat}]$ adalah matriks kekakuan lateral portal.

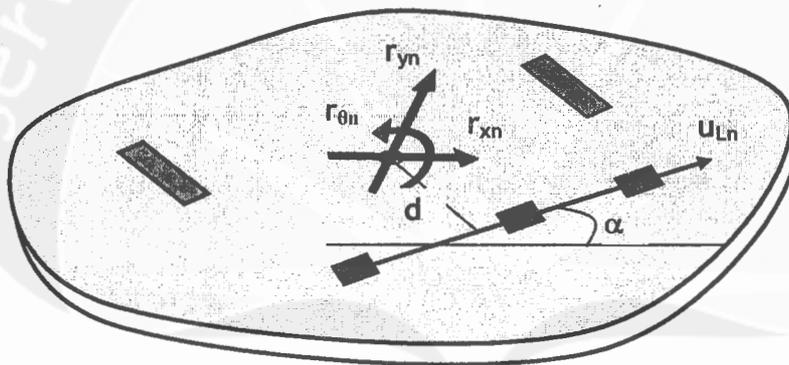
Setelah matriks kekakuan portal dibentuk, transformasi perpindahan lateral portal terhadap derajat kebebasan global gedung dapat dilakukan dengan mengacu pada Gbr. 11. Untuk suatu lantai-n tertentu, transformasi perpindahan dapat ditulis sebagai

$$u_{Ln} = [c \ s \ \pm d] \begin{Bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \\ r_{\theta n} \end{Bmatrix} \quad (22)$$

atau dalam bentuk sederhana ditulis sebagai

$$u_{Ln} = [a]_n \{U_{3D}\}_n \quad (23)$$

dengan $c = \cos \alpha$, $s = \sin \alpha$, $\alpha =$ sudut antara sumbu X global dan sumbu x portal, dan $d =$ jarak dari sumbu global ke sumbu portal. Nilai d positif apabila rotasi gedung menyebabkan perpindahan lateral portal dalam arah yang positif.



Gbr.11. Transformasi perpindahan portal terhadap perpindahan global gedung

Untuk gedung bertingkat N, transformasi perpindahan dapat ditulis sebagai

$$\begin{Bmatrix} u_{L1} \\ u_{L2} \\ \vdots \\ u_{LN} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} [a]_1 \\ [a]_2 \\ \dots \\ [a]_N \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{U_{3D}\}_1 \\ \{U_{3D}\}_2 \\ \vdots \\ \{U_{3D}\}_N \end{Bmatrix} \quad (23)$$

atau

$$\{u_L\} = [A]\{U_{3D}\} \quad (24)$$

Dengan transformasi perpindahan ini, maka matriks kekakuan gedung 3D dapat dibentuk mengikuti langkah-langkah pada metoda matriks kekakuan sebagai berikut

$$[K_{3D}] = \sum_{i=1}^p [A]_i^T [K_{lat}]_i [A]_i \quad (25)$$

dengan $p =$ jumlah portal yang ada.

Sedangkan vektor beban dari pengaruh beban pada masing-masing portal dapat dinyatakan dengan

$$\{R_{3D}\} = \sum_{i=1}^p [A_i]^T \{F_{lat}\} \quad (26)$$

$\{R_{3D}\}$ pada pers. (26) merupakan pengaruh beban vertikal pada gedung dan beban lateral yang bekerja pada masing-masing portal. Untuk tinjauan gempa, beban lateral dapat langsung dikerjakan pada pusat massa dalam arah yang ditinjau. Persamaan linier simultan selanjutnya dapat ditulis

$$[K_{3D}]\{U_{3D}\} = \{R_{3D}\} \quad (27)$$

Setelah perpindahan global gedung dihitung dengan pers. (27), perpindahan lateral masing-masing portal dapat dihitung dengan pers. (24). Dengan substitusi, perpindahan vertikal dan rotasi masing-masing titik kumpul selanjutnya dapat dihitung dari pers. (17). Dengan diperolehnya semua perpindahan portal maka gaya-gaya batang dapat dihitung dengan metoda kekakuan standar yaitu dengan menggunakan

$$\{S\} = [k]\{u\} + \{S_o\} \quad (28)$$

dengan $\{u\}$ = deformasi batang, $[k]$ = matriks kekakuan dalam koordinat lokal dan $\{S_o\}$ = beban titik ekuivalen.

Dalam tinjauan beban gempa statik, apabila diinginkan, beban lateral yang didukung oleh setiap substruktur dapat diperoleh dari pers. (19). Jadi tampak di sini bahwa dalam analisis gedung 3D dengan model diafragma kaku kita tidak perlu mengetahui distribusi beban lateral pada setiap portal terlebih dahulu, karena dalam proses nilai ini dapat diperoleh.

6. CONTOH PENGGUNAAN

Contoh 1

Suatu struktur dengan denah dan ukuran seperti pada Gbr. 12. Pada arah Y bekerja beban gempa statik sebesar $H_y = 80$ kN yang menangkap pada pusat massa, serta momen puntir sebesar $M_t = 120$ kNm. Pusat massa dianggap terletak pada pusat geometrik gedung. Gedung dianggap merupakan gabungan portal-portal sebagai substruktur dihubungkan dengan lantai sebagai diafragma yang kaku. Dalam hal ini kompatibilitas gaya aksial pada kolom-kolom diabaikan. Ukuran balok 0,2 m x 0,4 m dan ukuran kolom 0,35 m x 0,35 m. $E = 2,5 \times 10^7$ kN/m².

Untuk memperoleh matriks kekakuan lateral gedung, matriks kekakuan masing-masing portal dengan derajat kebebasan seperti tergambar (5 derajat kebebasan) dibentuk dengan menggunakan metoda matriks kekakuan standar dengan kondisi (untuk setiap portal) seperti pada Tabel 1.

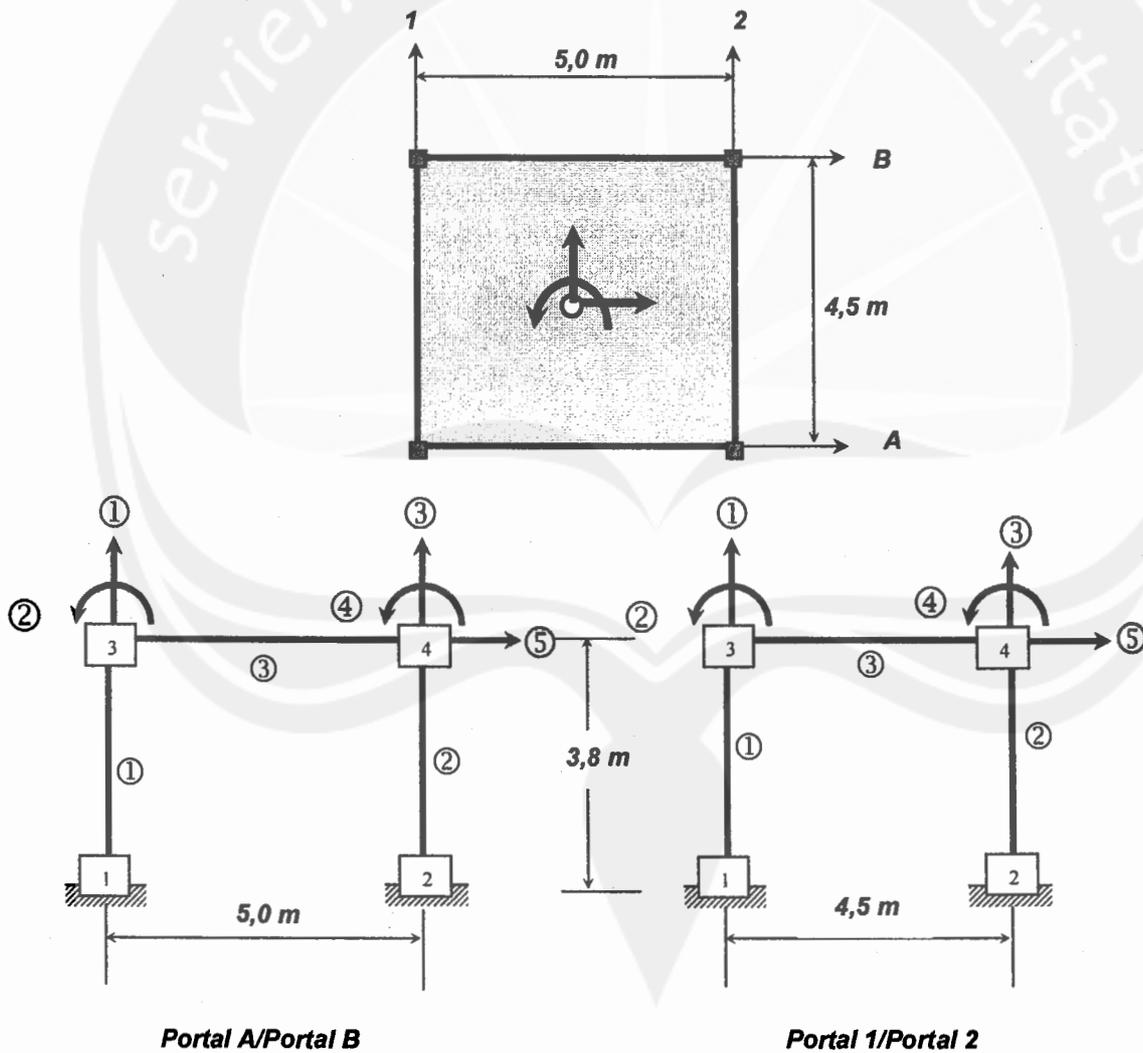
Tabel 1: Hubungan batang

	Ujung-i	Ujung-j
Batang 1	1	3
Batang 2	2	4
Batang 3	3	4

Hasil hitungan matriks kekakuan setiap portal sebagai berikut:

$$[K]_{\text{portal-A/portal-B}} = 10^5 \begin{bmatrix} 8.0848105 & 0.0640 & -0.02560 & 0.0640 & 0 \\ 0.0640 & 0.5424178 & -0.0640 & 0.1066667 & 0.1299017 \\ -0.02560 & -0.0640 & 8.0848105 & -0.0640 & 0 \\ 0.0640 & 0.1066667 & -0.0640 & 0.5424178 & 0.1299017 \\ 0 & 0.1299018 & 0 & 0.1299017 & 0.1367387 \end{bmatrix} \text{ kN/m}$$

$$[K]_{\text{portal-1/portal-2}} = 10^5 \begin{bmatrix} 8.0943271 & 0.0790123 & -0.0351166 & 0.0790123 & 0 \\ 0.0790123 & 0.5661215 & -0.0790123 & 0.1185185 & 0.1299017 \\ -0.0351166 & -0.0790123 & 8.0943271 & -0.0790123 & 0 \\ 0.0790123 & 0.1185185 & -0.0790123 & 0.5661215 & 0.1299017 \\ 0 & 0.1299017 & 0 & 0.1299017 & 0.1367387 \end{bmatrix} \text{ kN/m}$$



Gbr. 12. Gedung satu lantai: contoh 1.

Selanjutnya dengan teknik kondensasi statik, matriks kekakuan lateral masing-masing portal dapat diperoleh dengan pers. (20) sebagai berikut:

$$[K] \text{ lateral portal-A/portal-B} = 8.45817 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

$$[K] \text{ lateral portal-1/portal-2} = 8.72210 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

Matriks transformasi perpindahan masing-masing portal diperoleh sebagai berikut:

$$[A] \text{ portal A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2,25 \end{bmatrix};$$

$$[A] \text{ portal B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -2,25 \end{bmatrix};$$

$$[A] \text{ portal 1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -2,50 \end{bmatrix};$$

$$[A] \text{ portal 2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2,50 \end{bmatrix}.$$

Dengan menggunakan pers. (25) diperoleh matriks kekakuan gedung

$$[K_{3D}] = \begin{bmatrix} 16916,34 & 0 & 0 \\ 0 & 17444,42 & 0 \\ 0 & 0 & 194666,59 \end{bmatrix}$$

Karena beban gempa bekerja pada pusat massa dengan $H_y = 80 \text{ kN}$ dan momen puntir $M_T = 120 \text{ kNm}$ (kebalikan arah putaran jarum jam), maka vektor beban menjadi

$$\{R_{3D}\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 80 \text{ kN} \\ 120 \text{ kNm} \end{Bmatrix}$$

Perpindahan lateral gedung menurut persamaan $[K_{3D}]\{U_{3D}\} = \{R_{3D}\}$, dapat diperoleh sebagai

$$\{U_{3D}\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0,00458599367044 \\ 0,00061643861019 \end{Bmatrix}$$

Perpindahan lateral setiap portal dapat diperoleh dari persamaan $\{u_L\}_i = [A]_i \{U_{3D}\}$

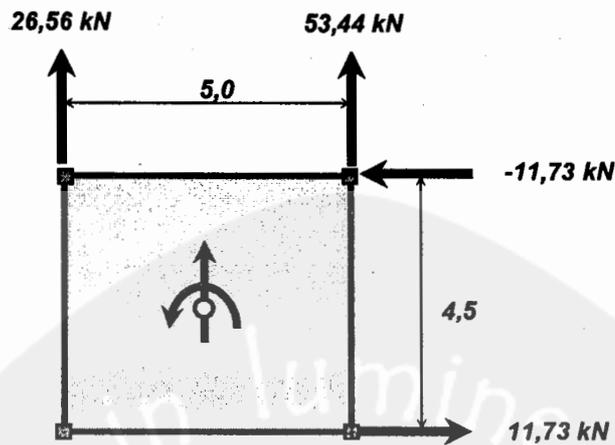
Gaya lateral pada setiap portal ditunjukkan pada Gbr. 13 yang diperoleh dengan persamaan

$$\{F_{lat}\} = [K_{lat}] \{U_L\}$$

Sedangkan perpindahan vertikal dan rotasi titik kumpul untuk setiap portal dapat dihitung dengan $\{U_C\} = [K_{CC}]^{-1} (\{F_C\} - [K_{CL}]\{U_L\})$. Dalam hal ini jika hanya tinjauan oleh beban gempa, vektor beban yang berkaitan dengan perpindahan vertikal dan rotasi titik kumpul $\{F_C\} = \{0\}$.

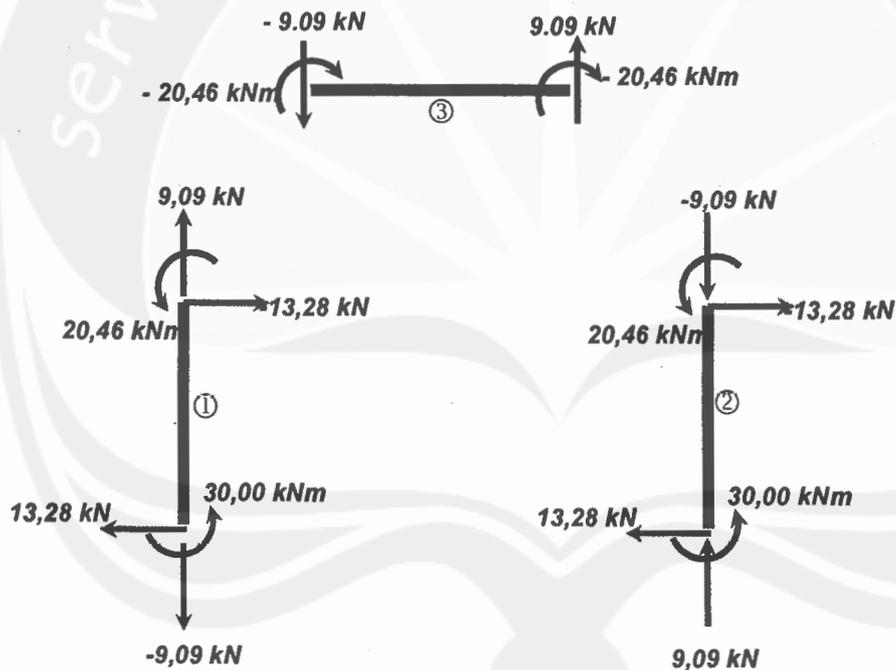
Dari hasil ini, tampak bahwa karena ada momen puntir pada pusat massa (sebagai pengaruh eksentrisitas beban lateral) distribusi beban lateral pada portal 1 dan 2 menjadi tidak sama. Perlu dicatat pula bahwa walaupun tidak ada beban gempa arah X portal-portal arah X menerima beban lateral akibat pengaruh torsi ini seperti terlihat pada Gbr. 13. Tentu saja hasil ini tidak dapat diperoleh apabila kita melakukan analisis struktur dengan cara-cara standar tanpa memperhitungkan efek 3 dimensi gedung.

Dengan diperolehnya $\{U_L\}$ dan $\{U_C\}$ maka gaya-gaya batang dapat dihitung dengan persamaan $\{S\} = [k]\{u\} + \{S_0\}$. Hasil gaya-gaya batang untuk portal 1 dapat diperoleh seperti ditunjukkan pada Gbr. 14. Selanjutnya, penyelesaian dengan program-bantu (Arfiadi, 1996) disajikan pada Lampiran 1.



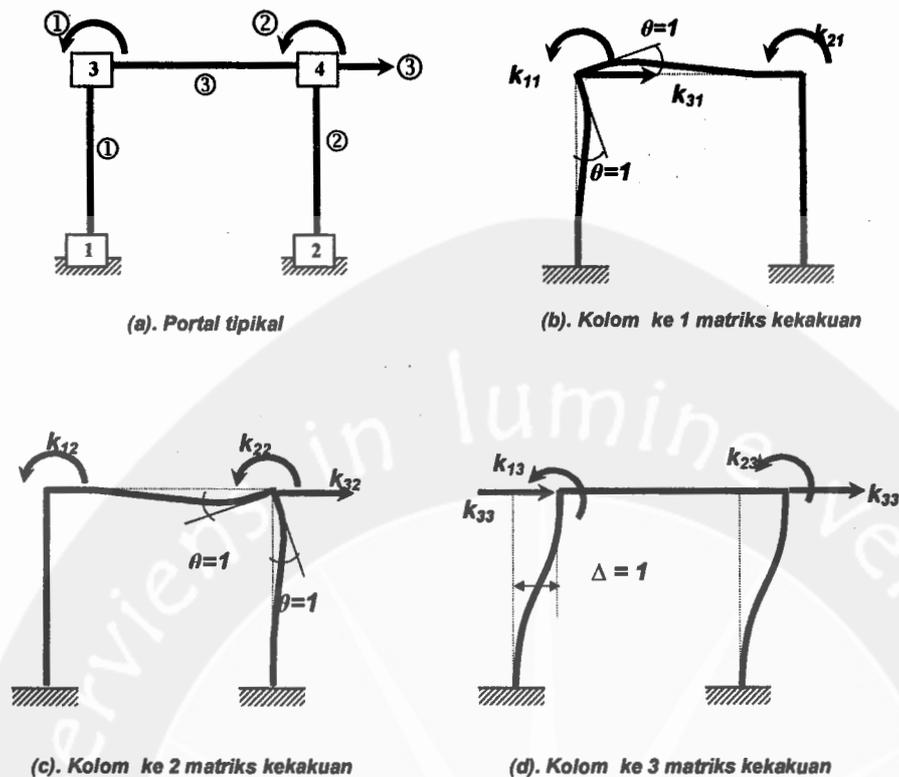
$$\begin{aligned} \sum F_y &= 26,56 + 53,44 = 80 \text{ kN (OK)} \\ \sum F_x &= 11,73 - 11,73 = 0 \text{ (OK)} \\ \sum M_o &= 53,44 \times 2,5 - 26,56 \times 2,5 + 11,73 \times 4,5 = 120 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

Gbr. 13. Keseimbangan dan distribusi beban lateral pada setiap substruktur



Gbr. 14 Gaya batang portal 1

Apabila diinginkan, kita dapat menyederhanakan model portalnya dengan mengabaikan deformasi aksial pada batang-batang (seperti tinjauan pada metoda *slope deflection*) seperti terlihat pada Gbr. 15. Dengan anggapan ini maka setiap portal yang ditinjau hanya mempunyai tiga buah derajat kebebasan, sehingga ukuran matriks yang terlibat menjadi sedikit. Dalam hal ini submatriks kekakuan yang berkaitan dengan perpindahan vertikal dan rotasi menjadi lebih kecil, yaitu berukuran 2×2 .



Gbr. 15. Pembentukan matriks kekakuan apabila deformasi akibat gaya aksial diabaikan

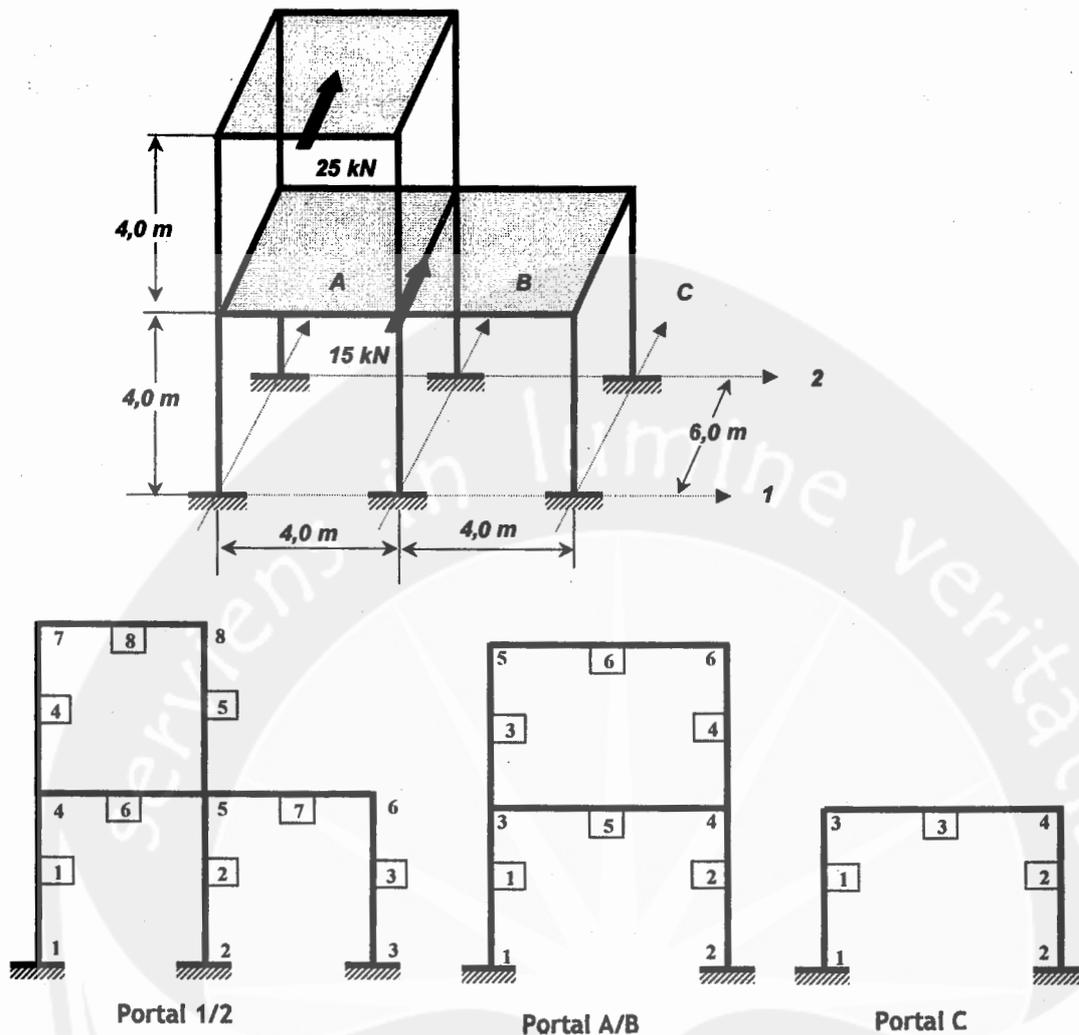
Contoh 2

Suatu gedung dua lantai mendukung beban lateral akibat gempa arah Y yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai: $H_{y1} = 15 \text{ kN}$, $H_{y2} = 25 \text{ kN}$. Ukuran balok: $0,25 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$, ukuran kolom: $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$, $E = 2,5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$. Selanjutnya lihat Gbr. 16.

Dengan mengambil salib sumbu gedung terletak pada pusat massa masing-masing lantai, dan dengan mengikuti langkah-langkah pada uraian sebelumnya diperoleh matriks kekakuan gedung 3D

$$[K_{3D}] = \begin{bmatrix} 28364.32 & 0 & 0 & -10656.38 & 0 & 0 \\ 0 & 27831.35 & -25214.74 & 0 & -10353.72 & 0 \\ 0 & -25214.74 & 518526.99 & 0 & 20707.44 & -137322.34 \\ -10656.38 & 0 & 0 & 9585.99 & 0 & 0 \\ 0 & -10353.72 & 20707.44 & 0 & 8598.83 & 0 \\ 0 & 0 & -137322.34 & 0 & 0 & 120669.27 \end{bmatrix}$$

sehingga perpindahan global gedung $\{U_{3D}\} = [0 \ 0,0029 \ -0,0002 \ 0 \ 0,0069 \ -0,0002]^T$. Hasil hitungan distribusi beban lateral pada setiap portal ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil pada Tabel 2 tampak bahwa walaupun tidak ada beban gempa pada arah X, portal 1 dan portal 2 menerima beban lateral. Hal ini tidak mungkin dapat diperoleh apabila kita tidak memasukkan efek 3D dari gedung. Tanda negatif pada Tabel 2 menunjukkan arah gaya kebalikan dari arah positif portal. Selanjutnya gaya-gaya batang dapat diperoleh seperti pada uraian sebelumnya. Program untuk penyelesaian permasalahan ini disajikan pada Lampiran 2.



Gbr. 16. Gedung 3D dua lantai: contoh 2.

Tabel 2. Distribusi beban lateral pada setiap portal (kN)

	Portal 1	Portal 2	Portal A	Portal B	Portal C
Lantai 1	-4,630	4,630	4,076	-0,096	11,020
Lantai 2	-0,072	0,072	12,392	12,608	0

7. PENUTUP

Dalam tulisan ini telah dibahas beberapa metoda untuk analisis gedung secara 3D dengan model diafragma kaku. Mengingat saat ini perangkat lunak yang mempunyai kemampuan analisis gedung 3D sudah banyak digunakan, dasar-dasar perilaku gedung 3D dalam mendukung beban perlu dipertimbangkan untuk dibahas dalam kurikulum teknik sipil. Di samping itu, di masa yang akan datang tuntutan untuk melakukan analisis 3D semakin tinggi sehingga dasar-dasar analisis gedung 3D perlu difahami oleh seorang sarjana teknik sipil. Dengan keterbatasan yang ada saat ini, analisis gedung 3D dengan model-model portal bidang sebagai elemen pembentuk gedung yang dihubungkan dengan lantai sebagai diafragma yang kaku merupakan pilihan yang bijaksana untuk diberikan dalam kurikulum teknik sipil. Sesuai dengan perkembangan yang ada model gedung 3D seperti yang digunakan dalam beberapa

perangkat lunak populer dapat diberikan sejauh cara-ara uraian dapat lebih difahami dan realistik diajarkan di kelas.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y. (1995). "Beberapa formulasi persamaan untuk analisis gedung tiga dimensi dengan model diafragma kaku." *Seminar 75 tahun perkembangan rekayasa sipil di Indonesia*, Institut Teknologi Bandung.
- Arfiadi, Y. (1996). "Pengembangan program bantu simbolik untuk analisis struktur dengan menggunakan Matlab", *Laporan Penelitian, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Arfiadi, Y. (2000). "Optimal passive and active control mechanisms for seismically excited buildings." A thesis submitted to the University of Wollongong.
- Arfiadi, Y. (2003). "Program bantu untuk pengajaran dan pemahaman metoda matriks kekakuan bagi mahasiswa teknik". *Lokakarya Sekitar Mekanika Rekayasa*, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung, 21 Agustus.
- Arfiadi, Y (2004). "Static and dynamic analyses of three dimensional structures", *Jurnal Teknik Sipil, 1(1), 10-21, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Arfiadi, Y. and Hadi, M. N. S. (2000). "Passive and active control of three-dimensional buildings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 29, 377-396.
- Arfiadi, Y and Hadi, MNS (2002). "Development of matrix method based structural analysis toolbox in Matlab", *Proceedings of The Sixth International Conference on Computational Structures Technology*, BHV Topping and Z. Bitmar (editors), Civil Comp Press, Stirling, Scotland.
- Beaufait, FW, Rowan, W. H. Hoadley P. G. and. Hacket, R. M. M (1970) "Computer methods of structural analysis". Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Balfour, J.A.D. (1986). "Computer Analysis of Structural Frameworks", Collin, London.
- Kanak-Nukulchai, W. (1992), "Lecture notes on computer methods of structural analysis"; Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Kanak-Nukulchai, W. (1993). "AIT 1993". Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Wilson, E.L. (1986). "CAL86: Computer Assisted Learning of Structural Analysis and the CAL/SAP Development System" *Report no. UCB/SESM-86/05*. Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, California.
- Wilson, E. L., Dovey, H. H. and Habibullah, A. (1980). *Three-dimensional analysis of building systems TABS 80 volume 1 theoretical manual*. Computer/Structures International.
- Wilson, E. L., Holling, J. P. and Dovey, H., H (1975). "Three dimensional analysis of building system (extended version)" *Report no EERC 75-12*, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, California.

PENULIS

Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil dan Ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, e-mail: yoyong@mail.uajy.ac.id


```

k11=klf(E,A11,I11,L11); %matriks kekakuan batang-1 portal-1 dalam koordinat lokal
k21=klf(E,A21,I21,L21);
k31=klf(E,A31,I31,L31);

K11=kg(k11,T11); %K global
K21=kg(k21,T21);
K31=kg(k31,T31);

id11=[0 0 0 5 1 2];
id21=[0 0 0 5 3 4];
id31=[5 1 2 5 3 4];

tdf=5; %total degrees of freedom
Ks1=assf(K11,id11,tdf);
Ks1=Ks1+assf(K21,id21,tdf);
Ks1=Ks1+assf(K31,id31,tdf) %matriks kekakuan portal 1
nc=4; %number of rows/columns to be condensed
nr=1; %number of rows/columns to be retained

Klat1=kcon(Ks1,nc,nr) %K lateral after condensation

Ks2=Ks1;
Klat2=Klat1;

aA=[1 0 2.25]; %matriks transformasi portal A
aB=[1 0 -2.25]; % ====="===== portal B
a1=[0 1 -2.5];
a2=[0 1 2.5];

K3DA=aA*KlatA*aA; %K3D portal A
K3DB=aB*KlatB*aB;
K3D1=a1*Klat1*a1;
K3D2=a2*Klat2*a2;

K3D=K3DA+K3DB+K3D1+K3D2

R3D=[0;80;120]; %Vektor beban luar Hx=0 kN; Hy=80 kN; Mt=120 kNm

U3D=solv(K3D,R3D) %Global displacement
%-----hitungan berikut untuk memperoleh gaya batang portal A -----

ULA=aA*U3D %lateral displacement portal A;
FA=KlatA*ULA %gaya lateral portal A;
RcA=zeros(4,1); %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-4 (vertikal dan rotasi)
KccA=KsA(1:nc,1:nc);
KclA=KsA(1:nc,nc+1:nc+nr);
UcA=inv(KccA)*(RcA-KclA*ULA) %perpindahan vertikal dan rotasi portal A
UA=[UcA;ULA]; %perpindahan portal A

u1A=disf(UA,id1A, T1A) %deformasi batang 1 portal A
So1A=zeros(6,1); %beban titik ekuivalen batang 1 portal A
S1A=stref(k1A,u1A,So1A)

u2A=disf(UA,id2A, T2A) %deformasi batang 2 portal A
So2A=zeros(6,1); %beban titik ekuivalen batang 2 portal A
S2A=stref(k2A,u2A,So2A)

u3A=disf(UA,id3A, T3A) %deformasi batang 3 portal A
So3A=zeros(6,1); %beban titik ekuivalen batang 3 portal A
S3A=stref(k3A,u3A,So3A)
%-----hitungan berikut untuk memperoleh gaya batang portal B -----
id1B=id1A;
id2B=id2A;
id3B=id3A;

T1B=T1A;
T2B=T2A;
T3B=T3A;

k1B=k1A;
k2B=k2A;
k3B=k3A;

```

```

ULB=aB*U3D          %lateral displacement portal B;
FB=KlatB*ULB        % gaya lateral portal B;
RcB=zeros(4,1);     %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-4 (vertikal dan rotasi)
KccB=KsB(1:nc,1:nc);
KclB=KsB(1:nc,nc+1:nc+nr);
UcB=inv(KccB)*(RcB-KclB*ULB) %perpindahan vertikal dan rotasi portal B
UB=[UcB;ULB];      %perpindahan portal B

u1B=disf(UB,id1B, T1B) %deformasi batang 1 portal B
So1B=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 1 portal B
S1B=stref(k1B,u1B,So1B)

u2B=disf(UB,id2B, T2B) %deformasi batang 2 portal B
So2B=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 2 portal B
S2B=stref(k2B,u2B,So2B)

u3B=disf(UB,id3B, T3B) %deformasi batang 3 portal B
So3B=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 3 portal B
S3B=stref(k3B,u3B,So3B)
%-----hitungan berikut untuk memperoleh gaya batang portal 1 -----
UL1=a1*U3D          %lateral displacement portal 1;
F1=Klat1*UL1        % gaya lateral portal 1;
Rc1=zeros(4,1);     %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-4 (vertikal dan rotasi)
Kcc1=Ks1(1:nc,1:nc);
Kcl1=Ks1(1:nc,nc+1:nc+nr); %rev *****
Uc1=inv(Kcc1)*(Rc1-Kcl1*UL1) %perpindahan vertikal dan rotasi portal 1
U1=[Uc1;UL1];      %perpindahan portal 1

u11=disf(U1,id11, T11) %deformasi batang 1 portal 1
So11=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 1 portal 1
S11=stref(k11,u11,So11)

u21=disf(U1,id21, T21) %deformasi batang 2 portal 1
So21=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 2 portal 1
S21=stref(k21,u21,So21)

u31=disf(U1,id31, T31) %deformasi batang 3 portal 1
So31=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 3 portal 1
S31=stref(k31,u31,So31)

%-----hitungan berikut untuk memperoleh gaya batang portal 2 -----
id12=id11;
id22=id21;
id32=id31;

T12=T11;
T22=T21;
T32=T31;

k12=k11;
k22=k21;
k32=k31;

UL2=a2*U3D          %lateral displacement portal 2;
F2=Klat2*UL2        % gaya lateral portal 2;
Rc2=zeros(4,1);     %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-4 (vertikal dan rotasi)
Kcc2=Ks2(1:nc,1:nc);
Kcl2=Ks2(1:nc,nc+1:nc+nr);
Uc2=inv(Kcc2)*(Rc2-Kcl2*UL2) %perpindahan vertikal dan rotasi portal 2
U2=[Uc2;UL2];      %perpindahan portal 2

u12=disf(U2,id12, T12) %deformasi batang 1 portal 2
So12=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 1 portal 2
S12=stref(k12,u12,So12)

u22=disf(U2,id22, T22) %deformasi batang 2 portal 2
So22=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 2 portal 2
S22=stref(k22,u22,So22)

u32=disf(U2,id32, T32) %deformasi batang 3 portal 2
So32=zeros(6,1);     %beban titik ekuivalen batang 3 portal 2
S32=stref(k32,u32,So32)

```

LAMPIRAN 2: Program untuk contoh 2

```

%SemMekRek

%
format bank
%-----
% PORTAL 1/2
%-----
n1=coor(0,0);
n2=coor(4,0);
n3=coor(8,0);

n4=coor(0,4);
n5=coor(4,4);
n6=coor(8,4);

n7=coor(0,8);
n8=coor(4,8);
%-----
[L1,T1]=memf(n1,n4);
[L2,T2]=memf(n2,n5);
[L3,T3]=memf(n3,n6);
[L4,T4]=memf(n4,n7);
[L5,T5]=memf(n5,n8);

[L6,T6]=memf(n4,n5);
[L7,T7]=memf(n5,n6);
[L8,T8]=memf(n7,n8);

%-----
E=2.5e7; %%%

Ac=0.3*0.3;
Ic=1/12*0.3*0.3^3;

Ab=0.25*0.45;
Ib=1/12*0.25*0.45^3;
%-----
k1=klf(E,Ac,Ic,L1);          %k lokal
k2=klf(E,Ac,Ic,L2);
k3=klf(E,Ac,Ic,L3);
k4=klf(E,Ac,Ic,L4);
k5=klf(E,Ac,Ic,L5);

k6=klf(E,Ab,Ib,L6);
k7=klf(E,Ab,Ib,L7);
k8=klf(E,Ab,Ib,L8);
%-----
K1=kg(k1,T1);               %k global
K2=kg(k2,T2);
K3=kg(k3,T3);
K4=kg(k4,T4);
K5=kg(k5,T5);
K6=kg(k6,T6);
K7=kg(k7,T7);
K8=kg(k8,T8);
%-----
id1=[0 0 0 11 1 2];        %vektor arah
id2=[0 0 0 11 3 4];
id3=[0 0 0 11 5 6];
id4=[11 1 2 12 7 8];
id5=[11 3 4 12 9 10];
id6=[11 1 2 11 3 4];
id7=[11 3 4 11 5 6];
id8=[12 7 8 12 9 10];
%-----
dof1=12;
Ks1=assf(K1,id1,dof1);     %assembly
Ks1=Ks1+assf(K2,id2,dof1);
Ks1=Ks1+assf(K3,id3,dof1);
Ks1=Ks1+assf(K4,id4,dof1);
Ks1=Ks1+assf(K5,id5,dof1);
Ks1=Ks1+assf(K6,id6,dof1);

```

```

KsI=KsI+assf(K7,id7,dofI);
KsI=KsI+assf(K8,id8,dofI);          %K portal 1

KlatI=kcon(KsI,10,2)                %K lateral portal 1

KsII=KsI; %%
KlatII=KlatI                        %K lateral portal 2

%-----
% PORTAL A
%-----
n1=coor(0,0);
n2=coor(6,0);

n3=coor(0,4);
n4=coor(6,4);

n5=coor(0,8);
n6=coor(6,8);
%-----
[L1A,T1A]=memf(n1,n3);
[L2A,T2A]=memf(n2,n4);

[L3A,T3A]=memf(n3,n5);
[L4A,T4A]=memf(n4,n6);

[L5A,T5A]=memf(n3,n4);
[L6A,T6A]=memf(n5,n6);
%-----
k1A=klf(E,Ac,lc,L1A);               %k lokal
k2A=klf(E,Ac,lc,L2A);
k3A=klf(E,Ac,lc,L3A);
k4A=klf(E,Ac,lc,L4A);

k5A=klf(E,Ab,lb,L5A);
k6A=klf(E,Ab,lb,L6A);
%-----
K1A=kg(k1A,T1A);                    %k global
K2A=kg(k2A,T2A);
K3A=kg(k3A,T3A);
K4A=kg(k4A,T4A);
K5A=kg(k5A,T5A);
K6A=kg(k6A,T6A);
%-----
id1A=[0 0 0 9 1 2];
id2A=[0 0 0 9 3 4];
id3A=[9 1 2 10 5 6];
id4A=[9 3 4 10 7 8];
id5A=[9 1 2 9 3 4];
id6A=[10 5 6 10 7 8];
%-----
dofA=10;
KsA=assf(K1A,id1A,dofA);             %assembly
KsA=KsA+assf(K2A,id2A,dofA);
KsA=KsA+assf(K3A,id3A,dofA);
KsA=KsA+assf(K4A,id4A,dofA);
KsA=KsA+assf(K5A,id5A,dofA);
KsA=KsA+assf(K6A,id6A,dofA);       %K portal A

KlatA=kcon(KsA,8,2)                 %K lateral portal A

KsB=KsA; %%
KlatB=KlatA

%-----
% PORTAL C
%-----
n1=coor(0,0);
n2=coor(6,0);

n3=coor(0,4);
n4=coor(6,4);

```

```

%-----
[L1C,T1C]=memf(n1,n3);
[L2C,T2C]=memf(n2,n4);

[L3C,T3C]=memf(n3,n4);
%-----
k1C=klf(E,Ac,lc,L1C);           %k lokal
k2C=klf(E,Ac,lc,L2C);

k3C=klf(E,Ab,lb,L3C);
%-----
K1C=kg(k1C,T1C);               %k global
K2C=kg(k2C,T2C);
K3C=kg(k3C,T3C);
%-----
id1C=[0 0 0 5 1 2];
id2C=[0 0 0 5 3 4];
id3C=[5 1 2 5 3 4];
%-----
dofC=5;
KsC=assf(K1C,id1C,dofC);       %assembly
KsC=KsC+assf(K2C,id2C,dofC);
KsC=KsC+assf(K3C,id3C,dofC);  %K portal C

KlatC=kcon(KsC,4,1);
KlatC=[KlatC 0; 0]             %supaya berukuran sama dgn. portal lain
%=====

%-----
%Transformasi ke dlm koord. global gedung
%-----
AtI=[1 0 3 0 0 0;             %Matriks transformasi
     0 0 1 0 3];
AtII=[1 0 -3 0 0 0;
      0 0 1 0 -3];
AtA=[0 1 -4 0 0 0;
     0 0 0 1 -2];
AtB=[0 1 0 0 0 0
     0 0 0 1 2];
AtC=[0 1 4 0 0 0
     0 0 0 0 0];
K3D=AtI*KlatI*AtI;
K3D=K3D+AtII*KlatII*AtII;
K3D=K3D+AtA*KlatA*AtA;
K3D=K3D+AtB*KlatB*AtB;
K3D=K3D+AtC*KlatC*AtC       %K3D gedung
%-----
R3D=[0 15 0 0 25 0]'         %vektor beban luar

format long
U3D=K3D\R3D                   %perpindahan pada sumbu global
%-----
ULI=AtI*U3D                   %lateral displacement portal I
ULII=AtII*U3D
ULA=AtA*U3D
ULB=AtB*U3D
ULC=AtC*U3D
%-----
format bank
FI=KlatI*ULI                   %gaya lateral portal I
FII=KlatII*ULII
FA=KlatA*ULA
FB=KlatB*ULB
FC=KlatC*ULC

%-----
%GAYA BATANG PORTAL 1
%-----
Rcl=zeros(10,1);              %vektor beban luar yang berkaitan dgn. dof 1-10 (vertikal dan rotasi)
Kccl=Ksl(1:10,1:10);          %dari 1 s/d 10
KcLI=Ksl(1:10,11:12);        %Baris: dari 1 s/d 10 --- Kolom: dari 11 s/d 12

format long

```

```

Ucl=inv(Kccl)*(Rcl-KcLI*ULI);          %perpindahan vertikal dan rotasi portal I
Ul=[Ucl;ULI];                          %perpindahan portal I
%-----
u1=disf(Ul,id1,T1);                    %deformasi batang 1 portal I
u2=disf(Ul,id2,T2);
u3=disf(Ul,id3,T3);
u4=disf(Ul,id4,T4);
u5=disf(Ul,id5,T5);
u6=disf(Ul,id6,T6);
u7=disf(Ul,id7,T7);
u8=disf(Ul,id8,T8);
%-----
format short
So1=zeros(6,1);                        %beban titik ekuivalen batang 1 portal I
S1I=stref(k1,u1I,So1I)                 %gaya batang 1 portal I

So2=zeros(6,1);
S2I=stref(k2,u2I,So2I)

So3=zeros(6,1);
S3I=stref(k3,u3I,So3I)

So4=zeros(6,1);
S4I=stref(k4,u4I,So4I)

So5=zeros(6,1);
S5I=stref(k5,u5I,So5I)

So6=zeros(6,1);
S6I=stref(k6,u6I,So6I)

So7=zeros(6,1);
S7I=stref(k7,u7I,So7I)

So8=zeros(6,1);
S8I=stref(k8,u8I,So8I)

%-----
%GAYA BATANG PORTAL 2
%-----
RcII=zeros(10,1);                      %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-10 (vertikal dan rotasi)
KcII=KsII(1:10,1:10);                  %dari 1 s/d 10
KcLII=KsII(1:10,11:12);                %Baris: dari 1 s/d 10 --/-- Kolom: dari 11 s/d 12

format long
UcII=inv(KcCII)*(RcII-KcLII*ULII);     %perpindahan vertikal dan rotasi portal II
UlI=[UcII;ULII];                       %perpindahan portal II
%-----
u1II=disf(UlI,id1,T1);                  %deformasi batang 1 portal II
u2II=disf(UlI,id2,T2);
u3II=disf(UlI,id3,T3);
u4II=disf(UlI,id4,T4);
u5II=disf(UlI,id5,T5);
u6II=disf(UlI,id6,T6);
u7II=disf(UlI,id7,T7);
u8II=disf(UlI,id8,T8);
%-----
format short
So1II=zeros(6,1);                      %beban titik ekuivalen batang 1 portal II
S1II=stref(k1,u1II,So1II)               %gaya batang 1 portal I

So2II=zeros(6,1);
S2II=stref(k2,u2II,So2II)

So3II=zeros(6,1);
S3II=stref(k3,u3II,So3II)

So4II=zeros(6,1);
S4II=stref(k4,u4II,So4II)

So5II=zeros(6,1);
S5II=stref(k5,u5II,So5II)

```

So6ll=zeros(6,1);
S6ll=stref(k6,u6ll,So6ll)

So7ll=zeros(6,1);
S7ll=stref(k7,u7ll,So7ll)

So8ll=zeros(6,1);
S8ll=stref(k8,u8ll,So8ll)

%-----
%GAYA BATANG PORTAL A
%-----
RcA=zeros(8,1); %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-8 (vertikal dan rotasi)
KccA=KsA(1:8,1:8); %dari 1 s/d 8
KcLA=KsA(1:8,9:10); %Baris: dari 1 s/d 10 --/-- Kolom: dari 11 s/d 12

format long
UcA=inv(KccA)*(RcA-KcLA*ULA); %perpindahan vertikal dan rotasi portal A
UA=[UcA;ULA]; %perpindahan portal A

%-----
u1A=disf(UA,id1A,T1A); %deformasi batang 1 portal A
u2A=disf(UA,id2A,T2A);
u3A=disf(UA,id3A,T3A);
u4A=disf(UA,id4A,T4A);
u5A=disf(UA,id5A,T5A);
u6A=disf(UA,id6A,T6A);
%-----

format short
So1A=zeros(6,1); %beban titik ekivalen batang 1 portal A
S1A=stref(k1A,u1A,So1A) %gaya batang 1 portal A

So2A=zeros(6,1);
S2A=stref(k2A,u2A,So2A)

So3A=zeros(6,1);
S3A=stref(k3A,u3A,So3A)

So4A=zeros(6,1);
S4A=stref(k4A,u4A,So4A)

So5A=zeros(6,1);
S5A=stref(k5A,u5A,So5A)

So6A=zeros(6,1);
S6A=stref(k6A,u6A,So6A)

%-----
%GAYA BATANG PORTAL B
%-----
RcB=zeros(8,1); %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-8 (vertikal dan rotasi)
KccB=KsB(1:8,1:8); %dari 1 s/d 8
KcLB=KsB(1:8,9:10); %Baris: dari 1 s/d 10 --/-- Kolom: dari 11 s/d 12

format long
UcB=inv(KccB)*(RcB-KcLB*ULB); %perpindahan vertikal dan rotasi portal B
UB=[UcB;ULB]; %perpindahan portal B

%-----
u1B=disf(UB,id1A,T1A); %deformasi batang 1 portal B
u2B=disf(UB,id2A,T2A); %KsB dari KsA
u3B=disf(UB,id3A,T3A); %[id] portal B = [id] portal A (tipikal)
u4B=disf(UB,id4A,T4A); %T portal A = T portal B
u5B=disf(UB,id5A,T5A);
u6B=disf(UB,id6A,T6A);
%-----

format short
So1B=zeros(6,1); %beban titik ekivalen batang 1 portal B
S1B=stref(k1A,u1B,So1B) %gaya batang 1 portal B (k lokal B = k lokal A)

So2B=zeros(6,1);
S2B=stref(k2A,u2B,So2B)

So3B=zeros(6,1);

S3B=stref(k3A,u3B,So3B)

So4B=zeros(6,1);
S4B=stref(k4A,u4B,So4B)

So5B=zeros(6,1);
S5B=stref(k5A,u5B,So5B)

So6B=zeros(6,1);
S6B=stref(k6A,u6B,So6B)

%-----

%GAYA BATANG PORTAL C

%-----

RcC=zeros(4,1); %vektor beban luar yang berkaitan dng. dof 1-4 (vertikal dan rotasi)
KccC=KsC(1:4,1:4); %dari 1 s/d 4
KcLC=KsC(1:4,5:5); %Baris: dari 1 s/d 4 ---//-- Kolom: dari 5 s/d 5

format long

ULC=ULC(1) %karena hanya 1 lantai (sesuai dgn. pembentukan awal)
UcC=inv(KccC)*(RcC-KcLC*ULC); %perpindahan vertikal dan rotasi portal C
UC=[UcC;ULC]; %perpindahan portal C

%-----

u1C=disf(UC,id1C,T1C); %deformasi batang 1 portal C
u2C=disf(UC,id2C,T2C);
u3C=disf(UC,id3C,T3C);

%-----

format short

So1C=zeros(6,1); %beban titik ekuivalen batang 1 portal B
S1C=stref(k1C,u1C,So1C) %gaya batang 1 portal B (k lokal B = k lokal A)

So2C=zeros(6,1);
S2C=stref(k2C,u2C,So2C)

So3C=zeros(6,1);
S3C=stref(k3C,u3C,So3C)

ARAH PERKEMBANGAN MODEL STRUKTUR DALAM MEKANIKA REKAYASA

Oleh
Andreas Triwiyono

Abstrak

Sejarah perkembangan model struktur dalam mekanika rekayasa klasik untuk menyelesaikan permasalahan struktur secara analitis hingga saat ini telah lama digunakan dan cukup berhasil diaplikasikan dalam perancangan, tentu saja dengan segala keterbatasannya. Dalam waktu yang relatif singkat, sejak tahun 1960-an, metode analitis ini telah berkembang menjadi metode yang berbasis metode numerik, misalnya *finite element method*. Didukung oleh kemajuan teknologi komputer, dengan metode numerik ini telah dihasilkan banyak *tools* berupa program-program analisis dan perancangan, yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya sendiri. Dengan metode ini, berbagai jenis struktur dan pembebanan yang rumit, besar dan kompleks serta dimensi dan ukuran yang hampir tak terbatas sekarang dengan mudah dapat diselesaikan. Dengan perkembangan tuntutan model struktur yang harus lebih mendekati kenyataan di lapangan, sekarang muncul pertanyaan, kemana arah perkembangan metode numerik yang harus dihadapi di masa yang akan datang. Penyederhanaan-penyederhanaan apa yang boleh tetap dipertahankan dan pengaruh-pengaruh apa saja yang harus diperhatikan sehingga model struktur menjadi lebih sesuai dengan kenyataan di lapangan. Dalam paper ini akan disajikan kemana arah perkembangan dalam waktu 20 tahun mendatang khususnya *tools* untuk *civil engineers* untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan struktur di lapangan.

1. PENDAHULUAN

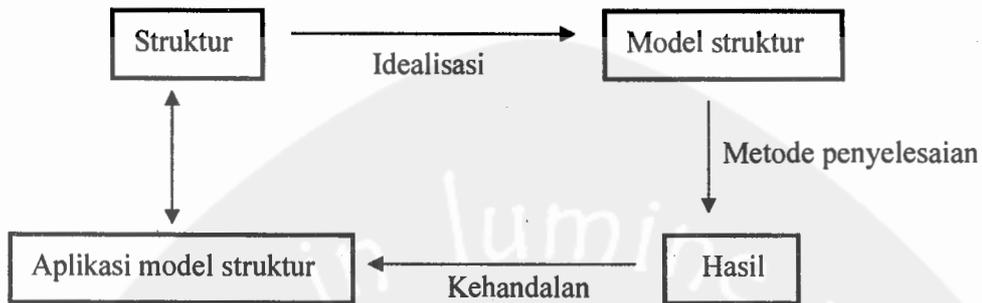
Dalam ilmu Mekanika Rekayasa dapat dipelajari antara lain respons struktur akibat pengaruh luar atau beban luar. Respons ini didapatkan dari penyelesaian permasalahan struktur tersebut. Strategi untuk memperoleh penyelesaian dari permasalahan yang dihadapi dapat dilakukan melalui salah satu atau kombinasi dari (Suhendro, 2000):

- a. pendekatan matematis (*mathematical approach*) yang dapat ditempuh secara analitis maupun numeris,
- b. pendekatan eksperimental (*experimental approach*) yang dapat ditempuh melalui pembuatan dan pengujian model dengan skala tertentu di laboratorium maupun melalui pengujian langsung *prototipe* di lapangan,
- c. pendekatan praktis berdasarkan *practical experiment* di masa lalu.

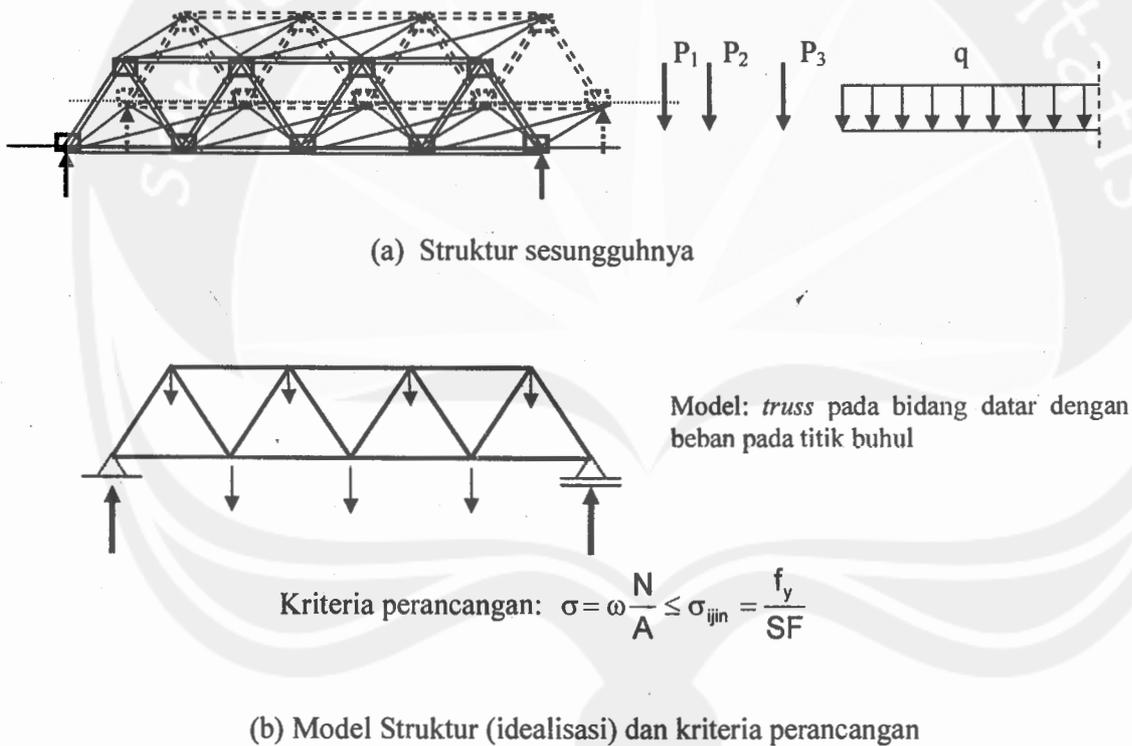
Sudah banyak analisis dan perancangan struktur diperoleh dengan mengidealisasikan struktur menjadi suatu model struktur yang diselesaikan dengan pendekatan matematis secara analitis yang sudah *establish*. Penyelesaian dengan metode ini telah dipraktikkan melalui beberapa pendekatan dan penyederhanaan, agar diperoleh penyelesaian yang mudah. Berdasarkan pengalaman, yang disatukan dengan pemberian faktor keamanan, hasilnya telah cukup mendekati kenyataan di lapangan.

Cara penyelesaian ini dapat dilakukan secara hitungan manual, sering dinamakan sebagai metode klasik. Sudah barang tentu hasil dari penyelesaiannya tidak terlepas model struktur yang dipilih, yang biasanya berupa idealisasi/penyederhanaan struktur (lihat Gambar 1). Sebagai contoh penyederhanaan dalam penyelesaian permasalahan struktur rangka batang (*truss*) antara lain: batang lurus sempurna dan prismatis, beban berat sendiri dan beban

lainnya dianggap bekerja pada join (pertemuan antar batang), join dianggap tidak ada gesekan dan bebas berputar (*pin*), dengan tumpuan berupa sendi atau rol (lihat Gambar 2). Untuk struktur rangka kaku (*frame*), dianggap hubungan antar batang kaku sempurna, kondisi tumpuan atau hubungan antara struktur dengan fondasi dianggap jepit, sendi atau rol.



Gambar 1. Strategi penyelesaian masalah struktur



Gambar 2. Idealisasi struktur *truss* jembatan

Namun demikian masih cukup banyak perencana struktur yang masih belum menyadari sepenuhnya tentang penyederhanaan-penyederhanaan yang selama ini diberlakukan. Hal ini tentu saja tidak terlepas dari pendidikan yang diperoleh selama kuliah, baik menyangkut materi kuliah, cara penyampaian, dosen yang memberikan, serta kurikulum lokal maupun nasional yang selama ini digunakan. Apalagi dengan begitu mudahnya diperoleh *software* atau program-program komputer di pasaran maupun gratis lewat *internet* yang membantu

dalam mendapatkan hasil analisis maupun perancangan struktur dengan cepat. Program-program ini biasanya didasarkan pada metode elemen hingga, sebagian besar masih didasarkan pada idealisasi struktur yang telah disebutkan di atas, terutama untuk struktur *truss* dan *frame* baik 2D maupun 3D.

Penyederhanaan lain diberlakukan pada sifat material struktur yang dianggap elastik linier, terutama pada kondisi struktur dalam memikul beban kerja (*working load*), dimana kemampuan bahannya dibatasi oleh tegangan ijin (*allowable stress*). Tegangan ijin diperoleh dari tegangan maksimum bahan dibagi dengan suatu faktor keamanan. Meskipun faktor keamanan sebenarnya tidak hanya berkaitan dengan kemampuan atau tegangan bahannya saja, namun sudah termasuk keamanan yang berkaitan dengan idealisasi model struktur serta metode penyelesaiannya. Sehingga kehandalan hasil dari suatu metode penyelesaian belum dapat diukur secara pasti, karena masih melibatkan berbagai faktor ketidakpastian dan keamanan tersebut.

Sekarang muncul pertanyaan, apakah idealisasi atau penyederhanaan-penyederhanaan yang selama ini digunakan masih dapat dipertahankan, bolehkah kita memanfaatkan *software* di pasaran untuk menyelesaikan segala permasalahan struktur, Dalam menjawab pertanyaan ini, perlu dikaji terlebih dahulu apakah idealisasi struktur yang dipilih sudah menjawab permasalahan yang dihadapi di lapangan.

Menurut Morisco (2003) dengan pendekatan sendi sempurna pada pertemuan batang untuk analisis struktur *truss* kuda-kuda atau jembatan rangka didapatkan kesalahan yang mencapai 62% dibandingkan dengan kenyataan. Pada analisis struktur *frame*, tumpuan jepit yang berasal dari fondasi tidak lagi sesuai dengan kenyataan, karena fondasi juga berputar akibat penurunan fondasi yang tidak merata. Pengaruh perubahan kekakuan pada analisis struktur *frame* beton bertulang dengan mengabaikan pengaruh tulangan dan retak beton bisa menimbulkan kesalahan hitung hingga 14% dibandingkan dengan memperhitungkan keduanya (Suwarso, 2003).

2. PERKEMBANGAN MODEL STRUKTUR HINGGA SAAT INI

Sebelum mengetahui sampai dimana perkembangan model struktur hingga saat ini, terlebih dahulu perlu dipahami permasalahan yang dihadapi, idealisasi apa yang sering diberlakukan, apa saja yang menyimpang dengan kondisi di lapangan serta apa tuntutan perancangan dalam *code* yang harus diperhatikan. Dengan demikian kita tahu di mana perkembangan model struktur hingga saat ini, penyederhanaan apa saja yang sudah harus ditinggalkan, serta pengaruh apa yang perlu dimasukkan agar model struktur lebih mendekati kenyataan.

Beberapa permasalahan yang sekarang perlu diperhatikan dalam idealisasi struktur dan penyelesaiannya antara lain:

- Jika beberapa bidang struktur rangka saling bertemu tentunya tidak lagi rangka dianggap hanya terletak pada satu bidang datar, join (pertemuan antar batang) tidak lagi sebagai sendi yang bebas dari gesekan dan bebas berputar
- Untuk memperoleh beban maksimum (beban batas) yang dapat didukung struktur, seharusnya tidak didasarkan pada material yang masih kondisi elastik dan linier, tetapi pada kondisi non linier dan plastis
- *Buckling* tidak hanya diperhatikan pada masing-masing batang secara terpisah berdasarkan kelangsingannya, namun perlu juga ditinjau secara keseluruhan struktur secara global
- Pada struktur tertentu perlu diperhatikan pengaruh deformasi yang besar dan gaya-gaya dalam batang dihitung berdasarkan kondisi geometri struktur setelah terjadi deformasi (nonlinier geometri), misalnya efek $P-\Delta$

- Banyak perencanaan struktur yang tidak hanya didasarkan pada *strength based design* tetapi juga harus dipenuhi *performance based design* terutama pada saat kondisi mencapai beban batas keruntuhan
- Batang yang tidak lurus sempurna dan non prismatis perlu dimodelkan lebih realistis
- Material yang tidak terbuat dari satu jenis, tetapi gabungan beberapa material yang berbeda, penggunaan material yang bersifat orthotrop
- Retak pada struktur beton menyebabkan perubahan sifat linier menjadi non linier, isotrop menjadi orthotrop, akibat retak terjadi perubahan kontinuitas struktur, perubahan kekakuan dll.
- *Differensial settlement* fondasi, interaksi antara struktur atas dengan tanah pendukung dan deformasi nonlinier tanah dasar di bawah fondasi
- Beban dinamik seharusnya tidak lagi dianggap bekerja secara statik, misalnya beban gempa, angin, kendaraan, mesin, ledakan dll.
- Masih banyak permasalahan yang tidak bisa diselesaikan dengan teori-teori balok atau pelat, misalnya balok tinggi, *shear wall* dengan lobang bukaan, *corbel*, balok atau pelat berlobang, pertemuan batang sudut (*knee joint*), daerah *disturb region*, dll.

Penilaian model struktur apakah “sesuai” atau “tidak sesuai” dengan kondisi riil, ternyata juga mengalami perkembangan, seiring dengan perkembangan metode penyelesaiannya. Pada umumnya permasalahan struktur yang mempunyai geometri dan material yang kompleks dan pembebanan yang rumit tidak mudah dipecahkan secara analitis. Dengan metode analitis diperlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji diselesaikan.

Penyelesaian permasalahan ini akan lebih mudah dilakukan dengan metode numeris. Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah metode numeris yang telah berkembang pesat di bidang struktur. Dengan metode ini dilakukan pendekatan terhadap nilai-nilai yang belum diketahui pada setiap titik secara diskrit. Pemodelan dimulai dengan membagi struktur menjadi bagian atau elemen kecil-kecil (diskritisasi), yang secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan struktur secara keseluruhan. Dengan metode ini, berbagai jenis pembebanan, bahan dan struktur yang rumit, besar dan kompleks serta dimensi dan ukuran yang hampir tak terbatas dengan mudah dapat diselesaikan. Beberapa kelebihan penggunaan metode elemen hingga antara lain:

- a. Struktur dengan bentuk yang tidak teratur dapat diselesaikan
- b. Analisis beban yang kompleks dapat dilakukan dengan mudah
- c. Pemodelan struktur dengan komposisi bahan yang berlainan dapat dilakukan karena tinjauan yang dilakukan secara individu untuk setiap elemen
- d. Dapat menangani berbagai syarat batas dalam jumlah yang tidak terbatas
- e. Variasi ukuran elemen dapat dengan mudah diterapkan
- f. Dapat memecahkan masalah kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu, misalnya susut, rangkai, relaksasi
- g. Pengaruh deformasi yang besar dan nonlinieritas dapat diperhitungkan baik yang terjadi pada material maupun pada strukturnya, dan *buckling* secara global dapat diperoleh
- h. Pengaruh *loading step* dapat diperhitungkan.

Sebagaimana telah ditunjukkan bahwa untuk menyelesaikan permasalahan struktur, perlu dilakukan idealisasi struktur terlebih dahulu. Idealisasi model struktur lebih rinci dapat dipecah menjadi 4 (empat) komponen, yaitu pengaruh luar yang biasanya berupa beban, jenis struktur, material pembentuk struktur dan kriteria batas, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.

Keempat komponen tersebut telah berkembang sendiri-sendiri secara bebas dan terpisah, meskipun demikian keempat bagian ini dapat saling digabungkan menjadi satu kesatuan model struktur. Secara umum persamaan untuk menyelesaikan permasalahan struktur melibatkan beberapa persamaan, yaitu: persamaan keseimbangan, persamaan regangan-*displacement*, persamaan konstitutif, kondisi awal dan kondisi batas serta persamaan kompatibilitas.

Pengaruh luar	Struktur	Material	Kriteria batas
Beban: <ul style="list-style-type: none"> • Statik • Dinamik • Gempa • Suhu • Ledakan 	<ul style="list-style-type: none"> •Rangka •Pelat •Cangkang •Kontinum •Diskontinum •2D & 3D 	<ul style="list-style-type: none"> • Elastik • Plastis • Retak beton • Konsolidasi • Rangkak • Relaksasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Batasan nilai maksimum • Instabilitas • Kelelahan • Keruntuhan bahan

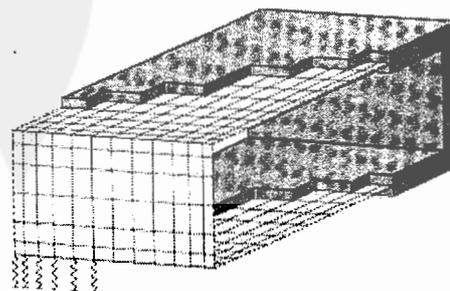
Gambar 3. Komponen model struktur

Pengaruh luar

Perkembangan model untuk menggambarkan pengaruh luar sudah cukup banyak mengalami kemajuan, dari pemodelan beban statik sampai dengan beban getaran/dinamik akibat angin, gempa, kendaraan, ledakan, pengaruh perubahan suhu, beban bolak-balik frekuensi rendah dll.

Model struktur

Dengan dikretisasi struktur, hampir semua jenis struktur akan dapat diselesaikan, baik struktur dengan deformasi kecil maupun besar. Pemodelan struktur 3D dengan memperhatikan pengaruh nonlinieritas, hingga saat ini sudah banyak perkembangan, meskipun pemakaian dengan *personal computer* masih terbatas kapasitasnya. Contoh model struktur yang cukup rumit adalah struktur beton bertulang, yang terdiri dari beton, baja tulangan dan interaksi antar kedua material ini, serta interaksi dengan tanah sekitarnya dan tanah fondasi, lihat Gambar 4. Karena sifat materialnya, beton yang lemah terhadap tarik akan mudah terjadi retak. Pada skala struktur, pemodelan retak dan *bond slip* antara beton-baja merupakan permasalahan yang penting.



Gambar 4. Pemodelan struktur yang cukup kompleks

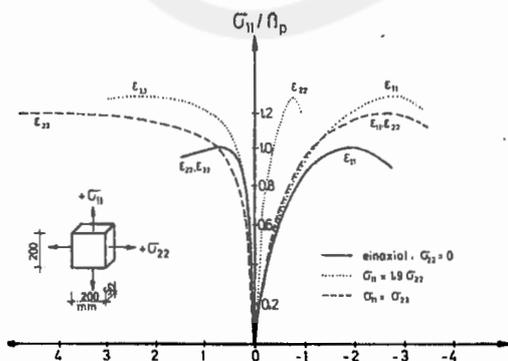
Penyelesaian struktur sudah dituntut sampai didapatkan respons pada kondisi maksimum, dan perlu diketahui penurunan kekuatannya, apakah secara bertahap (*gradual*), atau secara mendadak (*sudden failure*).

Model Material

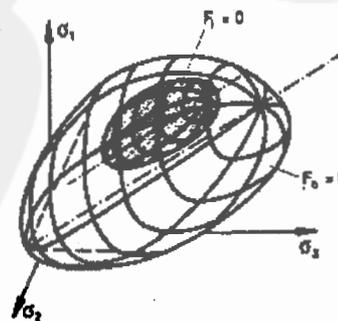
Aplikasi model material yang kompleks sudah tidak terbatas pada studi atau penelitian-penelitian saja, tetapi sudah banyak diterapkan dalam praktek. Pemodelan material tidak cukup dengan anggapan linier elastik. Banyak *software* yang sudah difasilitasi dengan model material yang cukup kompleks, material nonlinier, elasto-plastik, pemodelan material beton dll. Model material berkaitan dengan persamaan konstitutif material. Sifat-sifat mekanika bahan yang sudah perlu diperhatikan antara lain hubungan tegangan-regangan, tegangan leleh, tegangan maksimum, *strain-hardening*, pengaruh tegangan dari arah lainnya (model 2D dan 3D). Pada Gambar 5 diperlihatkan contoh hubungan tegangan-regangan beton yang menerima tegangan biaksial, arah 11 dan arah 22, yang diambil dari Mehlhorn dan Kolleger (1995). Model material untuk beton bertulang perlu melibatkan sifat beton, baja dan interaksi antara keduanya, serta variasi tulangan dari berbagai arah. Fenomena retak pada struktur beton, selain mengakibatkan perubahan struktur yang dimodelkan pada skala struktur, dapat juga dimodelkan pada skala material. Sebelum mengalami retak, beton sering dimodelkan sebagai material isotrop, setelah mengalami retak beton akan berubah menjadi orthotrop (Triwiyono dan Hadiwidodo, 2003). Transfer tegangan antara beton dan baja akibat lekatan (*bond*) pada *interface* antara ke dua bahan perlu dimodelkan. Setelah retak akan terjadi *strain incompatibility* dan *relative displacement* antara beton dan baja yang berdekatan.

Kriteria batas

Pada saat berkembangnya teori elastisitas, kriteria batas ditentukan berdasarkan tegangan ijin (skala material) atau lendutan ijin (skala struktur). Untuk mengetahui kondisi batas keruntuhan struktur, kriteria tersebut tentunya tidak dapat digunakan lagi. Kondisi batas struktur dapat ditentukan dari kondisi batas material maupun strukturnya. Kondisi batas material dapat diperoleh dari persamaan-persamaan yang melibatkan parameter-parameter penentu, misalnya pada model 2D dan 3D memperhatikan kuat tekan, kuat tarik, kondisi tegangan-tegangan pada arah lainnya (lihat Gambar 6). Kerusakan atau kondisi batas struktur secara keseluruhan akan ditentukan antara lain oleh diskontinuitas akibat kondisi batas yang terjadi pada material penyusunnya. Kondisi batas struktur juga dapat ditentukan karena kondisi instabilitas dan diskontinuitas struktur.



Gambar 5.
Hubungan tegangan-regangan 2D

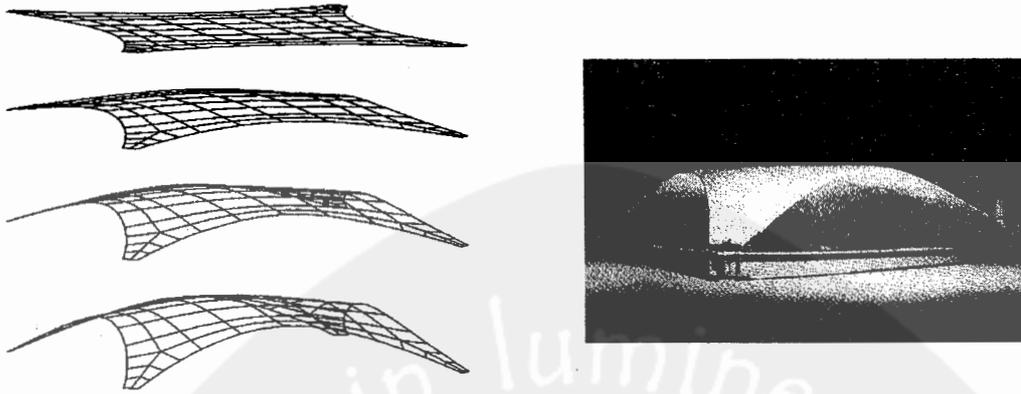


Gambar 6.
Kriteria keruntuhan bahan

3. PERKEMBANGAN MODEL STRUKTUR DAN PRODUK *SOFTWARE* DI MASA YANG AKAN DATANG

Setelah diketahui perkembangan model struktur dan metode penyelesaian yang telah dicapai selama ini serta permasalahan struktur yang masih perlu dihadapi dan dipecahkan, maka perlu dicermati tendensi arah perkembangannya atau kemana seharusnya perkembangan di masa yang akan datang. Kecenderungan perkembangan pemodelan struktur dan produk *software* di masa yang akan datang, antara lain:

- a. Perlu ditemukan/dikembangkan algoritma-algoritma yang melengkapi dan menyempurnakan empat komponen model struktur (lihat Gambar 3), mulai dari pengaruh luar sampai dengan kriteria batas, masing-masing bisa secara terpisah maupun terpadu
- b. Dengan perkembangan parameter-parameter sifat material dari data hasil pengujian eksperimental, formulasi sifat-sifat material perlu lebih mendekati kenyataan. Dengan berbagai pengalaman keruntuhan struktur di lapangan juga dapat dikembangkan kriteria batas struktur yang lebih sesuai kenyataan
- c. Pengaruh waktu, misalnya *relaxation*, *shrinkage* dan *creep*, dapat lebih diperhatikan dalam pemodelan permasalahan dalam struktur
- d. Jumlah *software* paket terutama yang berbasis FEM, baik secara gratis maupun komersial, yang masing-masing menawarkan kelebihanannya, seharusnya akan semakin berkurang. Namun perlu dikembangkan suatu program yang sudah memasukkan penggabungan berbagai elemen-elemen khusus, berbagai material dan berbagai aplikasi
- e. Alternatif lain, di masa yang akan datang berkembang program *pre and postprocessor* yang bisa *link* dengan berbagai paket *software*. Sebagai contoh program *pre and postprocessor* GID mempunyai fasilitas memasukkan data geometri struktur, jenis elemen, sifat material yang berlaku pada beberapa paket *software* tanpa harus keluar-masuk ke masing-masing *software*
- f. Dengan kemajuan kapasitas komputer dan teknik visualisasi yang lebih baik dapat diketahui respons struktur antara lain deformasi struktur, arah dan besar tegangan dalam suatu bagian tertentu, sehingga daerah-daerah kritis suatu struktur dapat dengan mudah mendapatkan perhatian khusus
- g. Pemakaian *software* tidak hanya untuk menyelesaikan struktur yang sudah terdefinisi bentuk geometrinya, namun juga berfungsi membantu proses *design* agar diperoleh bentuk dan geometrinya sehingga akan dihasilkan perencanaan yang optimal. Pada Gambar 7 diperlihatkan sebuah contoh bentuk struktur cangkang ditemukan. Pertimbangan pemilihan bentuk antara lain dimensi minimal, tulangan yang minimal, lebar dan jumlah retak minimal (untuk struktur beton bertulang), kapasitas dukung yang besar namun masih mempunyai perilaku struktur yang diinginkan. Bentuk dan geometri yang didapatkan ini kemudian diterapkan di lapangan.



Gambar 7. Proses penemuan bentuk struktur cangkang

Penggunaan *software* mekanika rekayasa

Saat ini banyak *software* bebas maupun komersial yang berkemampuan cukup baik, tentu saja dengan kelebihan dan keterbatasan masing-masing. Banyak para perencana struktur memanfaatkannya, namun masih belum memahami secara benar kemampuan dan idealisasi model yang digunakan. Banyak yang masih beranggapan bahwa program akan mampu menyelesaikan segala permasalahan struktur. Hal ini patut diakui, karena sebagian besar pemakai di Indonesia adalah para sarjana lulusan S1 yang dalam masa pendidikannya masih banyak keterbatasan dalam menyerap teori-teori tentang mekanika rekayasa, terutama tentang metode elemen hingga. Banyak pemakai yang tidak mencoba program dari yang sederhana dahulu, kemudian dipelajari masukan dan membaca hasil secara benar, namun cenderung langsung digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks, misalnya untuk perancangan gedung bertingkat banyak. Sering masih ditemui beberapa permasalahan dalam pemakaian program-program tersebut, oleh karena itu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Hasil yang didapatkan bisa salah, jika problem yang dihadapi diluar batasan pemakaian program, misalnya formulasi material tidak berlaku untuk kondisi *loading and reloading*. Ukuran elemen-elemen terlalu kecil, atau perbandingan sisi-sisi pada elemen-elemen terlalu besar.
2. Pertanyaan yang perlu dijawab: apakah hasil akhir betul-betul diperlukan, ataukah hanya menginginkan kecenderungan responnya strukturnya saja, karena tidak jarang hasil sangat dipengaruhi atau sangat peka terhadap input data. Input data yang sangat minim, program akan memanfaatkan nilai-nilai *default* yang sudah ditetapkan oleh program. Penyederhanaan dan kesalahan input akan sangat berpengaruh pada hasil akhir yang didapatkan.
3. Dalam penerapannya, perlu dilihat hasilnya, terutama hasil yang dapat dilihat secara visual. Hasil secara visual ini dapat menggambarkan, apakah secara numeris perhitungan masih stabil atau tidak. Sering dengan perubahan input yang sangat kecil dengan besaran yang besar, didapatkan hasil yang sangat berbeda. Kenapa perbedaan yang begitu tajam terjadi dalam perhitungan, apakah dalam kenyataan juga akan terjadi dan bagaimana hal itu akan terjadi.

4. DAFTAR PUSTAKA

- GID, *GID the Personal Pre and Postprocessor*, User Manual Version 7, <http://gid.cimne.com>
- Mehlhorn, G. ung Kolleger, J., 1995, *Anwendung der Finite Elemente Methode im Stahlbetonbau*, Ernst & Sohn, Berlin
- Morisco, 2003, Beberapa Pendekatan dalam Perancangan Struktur, Prosiding Seminar Nasional “Komputasi dalam Bidang Teknik Sipil”, Jurusan Teknik Sipil FTSP dan Ceedes UII, Yogyakarta.
- Suhendro, B., 2000, Mekanika Kontinum, Program Studi Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada
- Suwarso, S., 2003, Analisis Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Menggunakan Momen Inersia yang Memperhitungkan Kontribusi Tulangan dan Pengaruh Retak Beton, tesis, Program Pasca Sarjana UGM
- Triwiyono, A. dan Hadiwidodo, YS., 2003, Studi Pengaruh *Bearing Plate Area* terhadap Distribusi tegangan pada *Anchorage Zone* dengan menggunakan Program Komputer Berbasis Elemen Hingga Nonlinier, Prosiding Seminar Nasional “Komputasi dalam Bidang Teknik Sipil”, Jurusan Teknik Sipil FTSP dan Ceedes UII, Yogyakarta.

PENULIS

Dr.-Ing. Ir. Andreas Triwiyono, Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Selamat & Sukses

**SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL**

PT. HARMONI CIPTA PRIMAGRAHA

Ir. HARDIANTO

HP. 0816 80 1954

GENERAL CONTRACTOR :

Jl. Sunter Karya Timur II A Blok HB V No. 6 B
Sunter Agung Podomoro Jakarta Utara
Telp. (021) 6404575 Fax. (021) 6404575

Selamat & Sukses

**SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL**

P P K T

**(Pusat Perencanaan dan Konsultasi Teknik)
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

Menerima Jasa Pekerjaan Konstruksi :

- Perancangan Struktur Gedung Bertingkat dan Bangunan Sipil lainnya
- Konsultasi masalah bangunan (Studi kelayakan, Amdal, Bahan bangunan, Rehab gedung lama, Evaluasi pasca kebakaran)
- Konsultasi kasus kegagalan pada pekerjaan struktur
- Desain ulang untuk menghemat biaya struktur dan kemudahan pelaksanaan di lapangan
- Kursus singkat bagi teknisi bangunan tentang struktur bangunan dan teknologi pelaksanaan
- Pemeriksaan / pengujian bahan bangunan

HUBUNGI : (0274) 487711 Ext. 1153

Selamat & Sukses

**SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL**

**SANS PRO & ACECOMS
SOFTWARE ANALISIS STRUKTUR**

HUBUNGI :

DR. Ir. Nurwadji Wibowo, M.Sc.

LABORATORIUM KOMPUTASI TEKNIK SIPIL

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Telp. (0274) 487711 Ext. 1260

Selamat & Sukses

SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL



CHRISTA
design

Ir. Yunus Indra T.

KAMAJAYA - KALTIM

RM 'DEWI SRI'
Jl. Moh. Yamin 36
Telp. 0541 - 203510
Samarinda

Home :
Jl. Kenanga 52
Telp. 0541 - 732728
Samarinda

Selamat & Sukses

SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL



NUSANTARA JAYA

ALUMINIUM • KACA • STAINLESS STEEL • ART GLASS • INTERIOR • EXTERIOR

KRISTIANTO WIJAYA, ST

CIVIL ENGINEERING

JL. JEND. A. YANI 132 TELP. (0275) 22353 PURWOREJO

Selamat & Sukses

SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL

J u r n a l T E R A K R E D I T A S I
TEKNIK SIPIL ISSN 1411-660X

Wadah informasi bidang Teknik Sipil berupa hasil penelitian,
studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait.

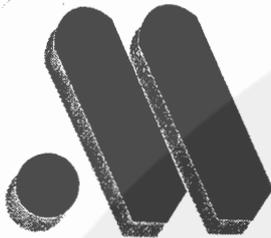
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

Jl. Babarsari No. 44 Yogyakarta 55281
Telp.(0274) 487711 psw. 1151 Fax.(0274) 487748

E-mail : jurnalsipil@mail.uajy.ac.id

Selamat & Sukses

**SEMINAR DAN WORKSHOP NASIONAL
MEKANIKA REKAYASA TEKNIK SIPIL**



Megatech
Computer

Hardware - Software - Operation - Repair

Jl. Laksda Adi Sucipto No. 133 c Yogyakarta

Telp. (0274) 543062

E-mail : megatek@indosat.net.id