

UJI PEMBEBANAN PADA SISTEM STRUKTUR “CYLINDRICAL SHELL” DITOPANG KOLOM

Oleh:
Yohana Nursruwening
Wita Widyandini

ABSTRAK

Bentuk struktur permukaan bidang yang merupakan struktur cangkang atau shell, di alam dapat ditemukan pada bentuk perisai dari tumbuh-tumbuhan maupun binatang, meskipun bentuknya tipis, tapi kuat dan kokoh. Seperti kulit labu yang kering, kulit telur, kulit kerang dan tempurung kepala kita. Ciri-ciri dari perisai yang kokoh adalah bentuknya yang lengkung dan berbahan keras dan padat.

Cangkang pada umumnya menerima beban merata yang dan dapat menutup ruangan besar dibandingkan dengan tipisnya pelat cangkang tadi. Oleh karena itu struktur cangkang paling baik digunakan pada bangunan dengan bentang besar tanpa pembagian pada interior seperti stadion, stasiun, pasar, masjid exhibition hall, dang bangunan bentang besar lainnya.

Ketahanan pada cylindrical shell lebih besar karena tegangan-tegangan tekan hanya terjadi di sebagian dari permukaan atas dalam arah memanjang, bagian atas merupakan bahaya tekuk besar yang merupakan titik lemah dari struktur ini. Berhubungan dengan tegangan tekan pada cylindrical shell utama dan tegangan tekan pada kantilever mengakibatkan bahaya tekuk pada sambungannya.

Kata kunci: struktur cangkang, bentang lebar, tipis, keras, kuat, ulet

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan dunia struktur dan konstruksi dewasa ini yang sebelumnya hanya menggunakan struktur klasik yakni dinding pemikul (*bearing wall*), kemudian berubah sejak ditemukannya material semen dan material beton bertulang yang lainnya. Perkembangan tersebut sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pengetahuan tentang prinsip-prinsip mekanika dan matematis yang terkait dengan bidang keteknikan, serta didukung juga oleh teknologi peralatan konstruksi. Beberapa rekayasa struktur berkembang dari waktu ke waktu sesuai tuntutan ekspresi bangunan yang diinginkan perencananya.

Advence structure merupakan salah satu perwujudan dari perkembangan dunia struktur dan konstruksi tersebut dimana di dalamnya terdiri dari antara lain kelompok struktur cangkang dan kelompok struktur kabel, struktur lipat, *pre stress concrete*, *hollow*, *skew grid*, dan lain sebagainya. Semua kelompok dan jenis struktur yang dimaksudkan merupakan struktur dengan bentangan lebar. Dalam bentuk yang sangat elementar, berbagai macam struktur menurut Daniel L. Schodek, 1998, secara geometris dasar diklasifikasikan sebagai salah satu bentuk elemen garis atau sebagai bentuk elemen permukaan.

Dalam analisis perancangan struktur, sangatlah penting ditentukan kriteria-kriteria yang dapat digunakan untuk menilai apakah suatu struktur sesuai atau tepat dalam kondisi tertentu.

Kriteria-kriteria tersebut adalah: (1) struktur harus mampu mendukung beban secara aman dengan tidak menimbulkan tegangan dalam dan deformasi yang berlebihan, (2) ada kemungkinan suatu penyelesaian struktur tertentu membutuhkan jumlah material lebih sedikit dibandingkan dengan penyelesaian struktur yang lain, (3) cara konstruksi (pelaksanaan) dimana cara pelaksanaan sering mempengaruhi pilihan struktur yang selalu dikaitkan dengan efisien, (4) harga bangunan sangat berkaitan dengan efisien, bahan dan kemudahan pelaksanaan merupakan faktor yang menentukan dalam pemilihan struktur, (5) sifatnya subyektif, yaitu pandangan estetik arsitek yang merancang struktur tersebut (Sidharta, at all)

Struktur cangkang (*shell*) silindris mempunyai bentangan longitudinal dan kelengkungannya tegak lurus terhadap diameter bentang, karenanya cangkang yang panjang akan berperilaku seperti balok penampang melintangnya lengkungan. Tiga syarat yang harus dipenuhi oleh struktur *Shell* (Sidharta, 1998) adalah sebagai berikut: (1) harus memiliki bentuk lengkung, tunggal maupun ganda (*single or double curved*); (2) harus tipis terhadap permukaan atau bentangnya; (3) harus dibuat dari bahan yang sangat keras, kuat, ulet dan tahan terhadap tarikan dan tekanan.

Cangkang sebagai balok menyalurkan beban rangka ke pengaku ke ujung-ujungnya dimana timbul geser tangensial dengan komponen ke bawah, ditambah berat beban pada pengaku rangka ujung yang kemudian disalurkan ke tanah (Sutrisno, 1983).

Permasalahan

Secara teoritis penyaluran gaya dari setiap jenis dapat dipelajari melalui ilmu gaya (Mekanika Teknik), namun tidak banyak arsitek menguasai ilmu ini dengan baik, sehingga dalam perancangan bangunan seringkali harus bekerja sama dengan ahli bangunan sipil untuk mengatasi persoalan tersebut. Kebanyakan rancangan-rancangan struktur bangunan yang dibuat arsitek berpedoman pada struktur-struktur bangunan yang sudah dibangun, tanpa memahami secara pasti perilaku struktur yang sesungguhnya, beban maksimal yang dipikul, hingga penentuan dimensi elemen struktur tersebut serta dimensi tulangnya.

Prinsip penyaluran beban/gaya dari cangkang yang diteruskan ke struktur rangka penyangganya dan beban maksimal yang dipikul, dimensi elemen struktur serta dimensi tulangnya, yang dilanjutkan dengan perilaku-perilaku kegagalan yang akan terjadi akibat beban yang bekerja, merupakan suatu proses yang menarik untuk diteliti.

Dalam upaya untuk mendekati permasalahan bangunan yang sesungguhnya maka penelitian ini mengambil obyek canopy gedung Perpustakaan Pusat Universitas Kristen Satya

Wacana Salatiga yang dibuat dalam skala lebih kecil dari gedung yang sesungguhnya agar dapat dikerjakan di laboratorium.

Perumusan Masalah

Dengan bertolak pada latar belakang dan permasalahan tersebut di atas, maka perumusan masalahnya merupakan tahap-tahap penyelesaian yang perlu diketahui lebih lanjut yang menyangkut:

1. Rancangan bekesting untuk paduan kedua jenis struktur di atas.
2. Menetapkan dimensi tulangan baik untuk struktur cangkang maupun untuk struktur penopangnya.
3. Menetapkan dimensi untuk stuktur cangkang (penebalan) maupun untuk struktur rangka (panjang dan lebar penampang kolom dan balok)
4. Jenis-jenis beban yang bekerja dan deformasi yang akan terjadi
5. Besar beban maksimum yang dipikul dan pola retaknya bila pembebanan melampaui beban maksimum

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat lebih memahami fenomena-fenomena yang terjadi pada sistem struktur, khususnya yang terjadi dalam paduan struktur cangkang dengan struktur penopangnya, melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Mengetahui pembuatan bekesting untuk struktur cangkang dan struktur penopangnya.
2. Mengetahui dimensi dan tata letak tulangan untuk stuktur cangkang (*Shell*)
3. Mengetahui dimensi untuk struktur cangkang (penebalan) maupun untuk struktur struktur rangka/penopangnya (panjang dan lebar penampang kolom dan balok)
4. Memahami jenis-jenis beban yang bekerja dan deformasi yang akan terjadi pada paduan struktur cangkang dan struktur rangka
5. Mengetahui beban maksimum yang dipikul dan pola retaknya, bila pembebanan melampaui beban maksimum.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode deskriptif yang diklasifikasikan menjadi dua (2) yaitu, analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Proses penelitian ini dilakukan secara deskriptif oleh karena merupakan suatu proses modeling yang dimulai dari pembuatan hingga pengujian model struktur yang dipilih, analisis kualitatif digunakan pada penentuan model struktur yang dapat

diteliti di laboratorium dan komposisi campuran dan penentuan material yang dipakai, dan analisis kuantitatif digunakan pada perhitungan-perhitungan Mekanika Teknik dan perhitungan matematis yang lainnya.

Selanjutnya dalam pengujian pembebanan pada struktur yang telah memenuhi syarat (sesuai dengan umur beton), akan digunakan metoda Pembebanan Fisik dengan muatan terbagi rata.

Hasil dari Penelitian diharapkan akan memberikan deskripsi dan pemahaman tentang perilaku suatu sistem struktur akibat adanya pembebanan. Jika hasilnya ternyata mengalami deviasi dari kajian-kajian teoritis yang digunakan, maka penelitian ini merupakan cerminan dari perilaku struktur prototipe.

II. TINJAUAN TEORI

Struktur Cangkang

Cangkang adalah bentuk struktural tiga dimensional yang kaku dan tipis yang mempunyai permukaan lengkung dengan berbagai bentuk. Bentuk yang umum adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap satu sumbu (permukaan bola, elips, kerucut dan parabola), permukaan translasional yang dibentuk dengan menggeser kurva bidang di atas kurva bidang lainnya (parabola eliptik dan silindris), permukaan yang dibentuk dengan menggeser dua ujung segmen garis pada dua kurva bidang (hiperbolik dan konoid), dan berbagai bentuk kombinasi dari bentuk tersebut.

Struktur cangkang dapat sangat tipis dan mempunyai bentangan relatif besar. Perbandingan bentang tebal sebesar 400 atau 500 dapat digunakan ketebalan 8 cm dan dapat digunakan untuk kubah berbetang 30 – 38 m. (Schodek, 1998)

Bentuk permukaan bidang yang bertahan sendiri mempunyai pengaruh besar pada perencanaan dalam arsitektur. Dari sudut konstruksi mempunyai keuntungan antara lain: bentuk permukaan bidang yang bertahan sendiri dapat menutup ruang yang besar dan luas tanpa menggunakan tiang di tengah. Pemakaian bahan relatif sedikit dan adanya kebebasan mengatur interior. Kerugiannya bentuk permukaan bidang yang bertahan sendiri merupakan bentuk yang monoque atau senada, dan tidak fleksibel dalam proposi antara bentuk luar dan ruangan yang ditutup. (Sutrisno, 1983)

Tegangan-tegangan Membran dalam Barrel

Barrel bundar panjang yang ujung-ujungnya ditumpu di atas pengaku-pengaku, busur-busur atau diafragma yang kaku pada arah vertikal dan fleksibel pada arah horisontal, berkelakuan seperti balok-balok berpenampang melintang bundar yang ditumpu bebas.

Berat setiap luas satuan dari kulit kerang setengah lingkaran dengan w (kN/m^2), jari-jarinya R , tebal h , panjang l , maka beratnya setiap panjang satuan adalah πwR , dan momen lentur maksimum di dalam kubah silinder adalah:

$$M_{\text{maks}} = 1/8 (\pi wR) l^2 = 0,393 \pi wR l^2$$

Gaya-gaya satuan tekan dan tarik maksimum akibat M_{maks} adalah :

$$N_{xj\text{maks}} = f_x l_{\text{maks}} h = \frac{0,393 w R l^2}{0,83 h R^2} h = 0,47 (1/R) w l$$

$$= \frac{0,393 w R l^2}{0,47 h R^2} h = -0,83 (1/R) w l$$

Gaya geser satuan $N_{x\phi}$ dievaluasi dengan menentukan dahulu tegangan-tegangan geser balok f_s

$$f_s = \frac{VS_y}{bl}$$

V adalah gaya geser balok, h lebar balok horisontal, l momen lembam balok, dan S_y status momen dari potongan di atas serat di mana f_s dievaluasi f_s maksimum terdapat pada sumbu netral dari potongan-potongan ujung.

Penampang melintang dari suatu kubah bundar berbeda keadaannya, penampang ini berubah bentuk di bawah beban. Untuk barrel panjang dengan $l > 4R$, perubahan tegangan akibat pengaruh perubahan bentuk ini dapat diabaikan, akan tetapi untuk barrel pendek, dengan $l < 2R$ pengaruh ini sangat menentukan. Dalam barrel-barrel pendek distribusikan tegangan melalui kedalaman barrel tidak linear dan dapat menimbulkan tarikan pada kedua-duanya: puncak dan dasar kulit kerang, sedangkan pada serat-serat dalam terjadi tekanan (Salvadori, 1992)

III HUBUNGAN MODEL DENGAN PROTOTYPE

Prototipe digunakan untuk struktur yang akan dibangun (dalam keadaan sebenarnya), sedangkan model adalah replika dari prototipe yang lebih kecil.

Pertimbangan dalam pemilihan skala model adalah sebagai berikut:

1. Tingkat kerumitan dalam pembuatan model, karena pada dasarnya semakin kecil model struktur, maka akan semakin rumit pula pembuatannya.
2. Keterbatasan ruangan laboratorium yang ada
3. Tingkat ketelitian dalam pembuatan model.

Sistem pembebanan yang dilakukan pada model struktur *cylindric shell* harus memperhatikan beberapa hal, yaitu:

- a. beban merata
- b. beban statis

c. arah beban

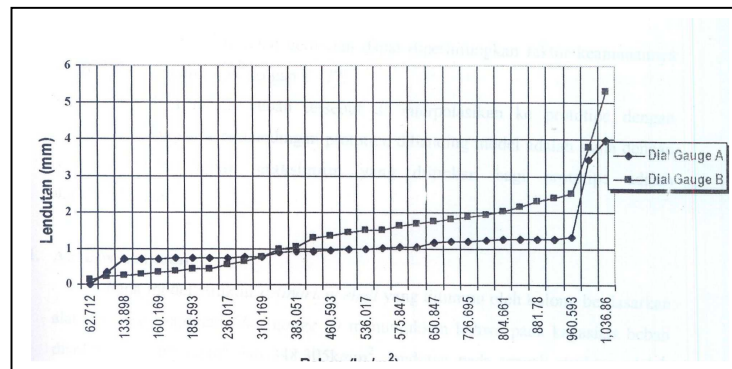
Sistem skala yang akan digunakan dalam percobaan adalah dengan perbandingan :

Model Struktur : Prototipe Struktur = 1 : 5

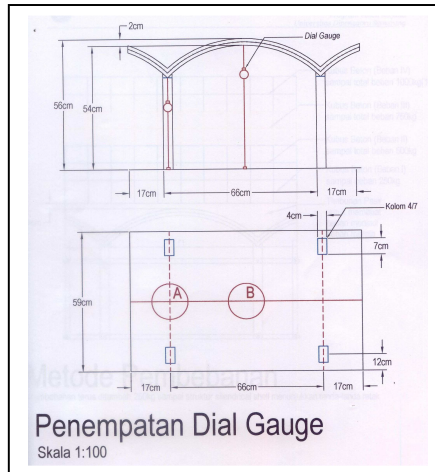
IV HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Struktur *Cylindrical Shell* ditopang kolom

Data hasil pengamatan dari hubungan beban-lendutan pada pembebanan struktur *Cylindrical shell* dapat dibuat dalam grafik:



Grafik. Hubungan Beban – Lendutan antara *Dial Gauge A* dengan *Dial Gauge B*



Pada beban diantara 310.169kg/m² dan 348.305kg/m² sudah mulai terjadi retak rambut pada permukaan bawah struktur *Cylindrical Shell* di bagian tengahnya (pada posisi B), yang sejajar dengan arah bentang pendeknya. Retak pada permukaan bawah struktur ini berlanjut hingga pada pembebanan 960.593 kg/m² yang merupakan batas runtuh/putus disebut juga dengan beban batas linier (perubahan dari elastis ke plastis). Setelah itu pembebanan dihentikan pada pembebanan 1.036.864kg/m² dikarenakan keamanan peralatan (*dial gauge*) sehingga beban runtuh tidak dapat diketahui.

Analisis Lendutan

Pada model struktur *Cylindrical Shell* yang ditumpu oleh kolom, berdasarkan alat pengukur lendutan (*dial gauge B*) menunjukkan bahwa pada kapasitas beban diantara 310.169 kg/m² dan 348.305 kg/m², lendutan pada tengah struktur adalah diantara 0.780 mm dan 0.973 mm. Sedangkan pada bagian antara kolom yang diletakkan *dial gauge A* menunjukkan lendutan diantara 0.780 mm dan 0.905 mm. Perubahan sifat struktur dari elastis menjadi plastis pada lendutan sebesar 2.532 mm, hal ini ditandai dengan apabila ditambahkan sedikit akan terjadi deformasi atau lendutan yang besar.

Deformasi dalam bentuk lendutan akibat beban pada suatu sistem struktur, khususnya struktur cylindrical shell akan dipengaruhi oleh 4 hal, yaitu beban, penampang struktur, bentangan antar kolom dan bahan (modulus elastisitas).

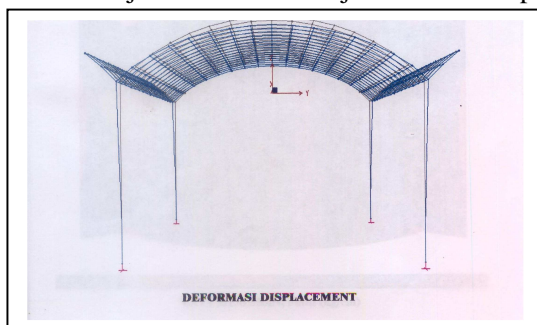
Hal yang sangat mempengaruhi terjadinya lendutan pada struktur *cylindrical shell* adalah penampang struktur dan bentangan antar kolom. Dengan menambah kekuatan kolom sangat memungkinkan dibuat bentukan *cylindrical shell* untuk bentukan bentang lebar.

Analisis Pola Retak

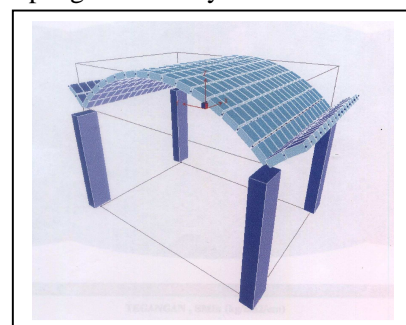
Retak rambut yang terjadi pada permukaan bawah struktur *cylindrical shell* dimulai pada pembebanan diantara 310.169 kg/m² dan 348.305 kg/m² yang tidak terlihat kasat mata. Pada pembebanan tersebut retak pada struktur terjadi secara bersamaan pada sisi pendek menjadi dua bagian. Sedangkan dimana diletakkan *dial gauge A*, terjadi retak di sisi bagian atas.

Komparasi Hasil Pembebanan Struktur *Cylindrical Shell* ditopang Kolom Dengan Analisis Komputasi

Terjadi hubungan yang sama antara pola retak model struktur dengan bentuk deformasi struktur dalam analisis komputasi dengan program SAP 2000. Lendutan terbesar akibat pembebanan pada struktur terjadi secara membujur antara keempat kolom penopang struktur Cylindrical Shell.

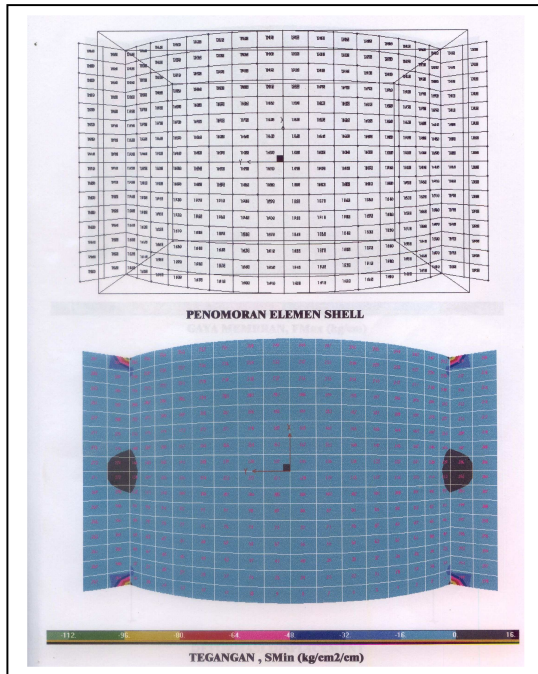


Gb. Analisa Deformasi Struktur (SAP 2000)
perspektif

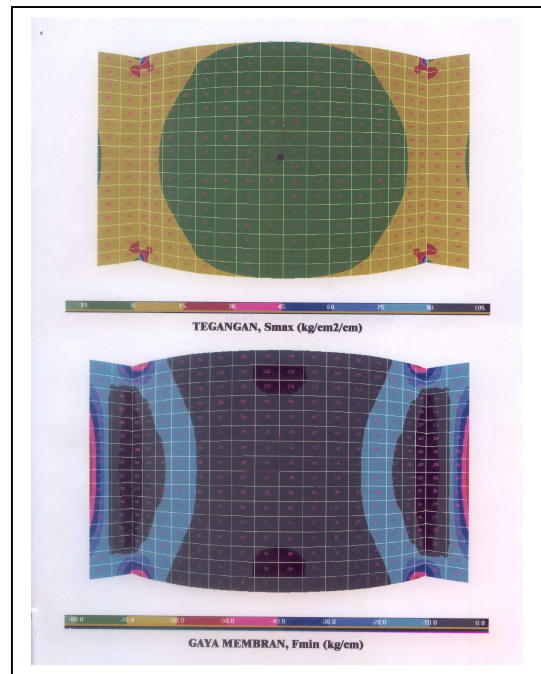


Gb. Analisa Deformasi Struktur Dalam bentuk

Analisis komputasi menunjukkan Tegangan dan gaya membran terbesar yang terjadi pada Struktur *Cylindrical Shell* adalah pada daerah diantara ke empat kolom.



Gb. Analisa Besar Tegangan, Smin (kg/cm2/cm)



Gb. Analisa Besar Tegangan, Smax dan gaya membran, Fmin (kg/cm)

V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Berdasarkan uji pembebanan yang telah dilakukan pada struktur *Cylindrical Shell*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Seluruh material di dalam suatu struktur memiliki kekuatan elastisitas hingga suatu batas tertentu. Apabila batas elastisitas tersebut telah dilampaui, maka akan terjadi kekakuan plastis dimana deformasi/lendutan yang terjadi pada struktur tidak dapat lagi dihindari. Batas ini dinamakan titik hancur. Sisa deformasi yang tertinggal akan bertambah setiap kali terjadi penambahan pembebanan. Oleh karena itu, suatu struktur dapat dikatakan tidak berfungsi lagi apabila telah melewati titik hancur.
2. Berdasarkan perhitungan dan perkiraan sebelumnya bahwa struktur *Cylindrical Shell* ini akan mencapai titik hancur pada pembebanan sebesar 650 kg/m^2 , namun di dalam penelitian ini struktur ini mengalami beban batas runtuh pada pembebanan sebesar 960.593 kg/m^2 , sehingga dapat dikatakan bahwa model ini telah dapat melebihi kekuatan struktur seperti yang diperhitungkan sebelumnya.

3. Dapat diperhitungkan faktor keamanan yaitu $960/650$ yaitu sama dengan 1.477. Seharusnya faktor keamanan dari struktur minimal adalah 1.6, hal ini disebabkan karena ketidakteelitian dalam pembuatan model struktur.
4. Titik lemah dari struktur *Cylindrical shell* ini berada pada puncak kurva dan daerah tumpuan.
5. Struktur *Cylindrical Shell* ini memiliki sifat elastisitas terhadap pembebanan secara merata hingga batas elastisitas tertentu sampai akhirnya menjadi plastis dan retak, dan pada akhirnya akan menjadi hancur.

Rekomendasi

Kesimpulan yang telah diambil sebelumnya merupakan hasil dari pengamatan dan pembuatan pemodelan yang menyerupai prototipe yang telah ada dan dilaksanakan di dalam laboratorium struktur dan hal ini belumlah dapat diambil kesimpulan secara *general* (umum)

Beberapa rekomendasi yang mungkin dapat dipertimbangkan lebih lanjut lagi yaitu:

1. Perlunya dibuat penelitian yang lain mengenai *Shell* namun dalam bentuk yang lain lagi.
2. Percobaan model struktur perlu dikembangkan lagi, terutama dengan bantuan program komputasi untuk mengenal perilaku struktur terlebih dahulu sebelum melaksanakan penelitian selanjutnya di dalam laboratorium struktur.
3. Perlunya pengenalan program komputasi mengenai struktur kepada mahasiswa arsitektur untuk menambah wawasan mahasiswa mengenai perilaku struktur terutama banyak struktur-struktur yang mempunyai nilai estetika tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Frick, Heinz, 1998. Sistem Bentuk Struktur Bangunan, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Rapson, Ralp, 1977. Structure System, Suddeutsche Verlagsanstalt, Ludwigsburg, Printed in Germany.
- Sutrisno, R, 1983, Bentuk Struktur Bangunan Dala Aritektur Modern, Penerbit PT Gramedia, Jakarta.
- Sidharta, et.al., Materi Kuliah Struktur Lanjut Semester III alur I PPS-MTA, Universitas Diponegoro, Semarang
- Salvadori, Amrio, 1992. Desain Struktur Dalam Arsitektur. Penerbit, Erlangga, Jakarta
- Schodek, Daniel, 1998. Struktur, Penerbit, PT Refika Aditama, Bandung
- Wigroho, HY, 2000, Analisa dan Perancangan Struktur Frame, Penerbit Andi, Yogyakarta