
EKSPLORASI STRUKTUR CANGKANG UNTUK BANGUNAN TINGGI

Oleh :

Megawati Karamoy

(Mahasiswa Prodi Arsitektur, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado)

Suryono

(Staf Pengajar Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado)

Abstrak

Bangunan tinggi sudah mulai dibangun sejak zaman dahulu di kota-kota Kerajaan Romawi dengan ketinggian sepuluh lantai. Sistem struktur yang digunakan yaitu struktur yang semakin tebal dan berat saat bangunan semakin tinggi. Kemudian muncul sistem struktur beton bertulang yang paling sering digunakan pada perancangan bangunan tinggi. Setelah struktur beton, muncul sistem struktur rangka baja ringan

Struktur cangkang merupakan sebuah sistem struktur lengkung, namun tipis dan kuat. Sistem struktur ini kebanyakan digunakan pada bangunan berbentuk lebar serta bangunan fungsional dengan satu lantai saja, hingga Viljo Revel dan I. M. Pei merancang bangunan tinggi berlantai banyak dengan sistem struktur cangkang. Munculnya Toronto City Hall karya Revel dan The Hyperboloid karya Pei ini membuka kemungkinan-kemungkinan baru untuk perancangan gubahan bentuk bangunan tinggi menjadi lebih luas.

Adanya desain-desain bangunan tinggi berlantai banyak yang menerapkan struktur cangkang, ternyata struktur cangkang memiliki potensi-potensi yang tidak dimiliki sistem struktur lain yang mampu menciptakan bangunan tinggi berlantai banyak dengan berbagai bentukan tanpa menggunakan struktur sekunder (sekunder skin) pada fasade bangunan.

Kata Kunci : Bangunan tinggi, Struktur Cangkang

PENDAHULUAN

Bangunan tinggi atau bangunan berlantai banyak merupakan model rancangan arsitektur yang dirancang berdasarkan pertimbangan kebutuhan luas lantai bangunan dengan eksisting tapak.

Di kota-kota besar saat ini banyak muncul bangunan-bangunan berlantai banyak akibat makin langka dan mahalnya lahan di kota besar. Oleh karena itu, bangunan tinggi menjadi pilihan yang dilakukan untuk mengoptimalkan nilai ekonomis bangunan tersebut.

Sistem struktur yang diterapkan pada bangunan tinggi merupakan salah satu aspek penting. Kebanyakan sistem struktur yang diterapkan pada bangunan tinggi yaitu sistem struktur rangka kaku. Namun, selain sistem struktur rangka kaku, terdapat sistem-sistem struktur lainnya yang juga memiliki potensi untuk

diterapkan pada bangunan tinggi, salah satunya yaitu struktur cangkang (shell-structure).

Aplikasi struktur cangkang pada bangunan umumnya pada bangunan berbentuk lebar yang kemudian bentukannya yang didominasi oleh lengkung sering dimanfaatkan sebagai atap bangunan bentang lebar. Contohnya yaitu Sidney Opera House, Smithfield Poultry Market, Gedung MPR Jakarta, dan masih banyak lagi bangunan berbentuk lebar yang menerapkan sistem struktur cangkang. Adapun contoh penerapan struktur cangkang pada bangunan tinggi, yaitu bangunan office, yaitu the Hyperboloid karya arsitek I.M. Pei yang diajukan untuk dibangun di Grand Central New York pada tahun 1956. Bangunan ini merupakan satu-satunya bangunan berlantai banyak dengan aplikasi struktur cangkang yang dapat menjadi salah

satu skyscraper di New York jika saja bangunan ini direalisasikan.

Dengan melihat aplikasinya pada bangunan, masih banyak keraguan yang muncul bagi para arsitek untuk merancang bangunan berlantai banyak dengan sistem struktur cangkang ditinjau dari segi aplikasi struktur yang masih sangat jarang digunakan. Oleh karena itu, dengan melakukan eksplorasi terhadap bentuk-bentuk cangkang dan sistem strukturnya, struktur cangkang ternyata memiliki beberapa potensi untuk menjadi sistem struktur untuk bangunan tinggi berlantai banyak. Pertama, struktur cangkang dapat membuka bentuk-bentuk baru pada bangunan tinggi berlantai banyak yang selama ini didominasi oleh bentuk persegi dan tabung dengan sistem struktur rangka. Kedua, dilihat dari aplikasinya di alam, jenis-jenis hewan yang hidup didalam cangkang dapat bertahan hidup sangat lama. Sifat cangkang yang melindungi penghuni dapat diterapkan pada bangunan tinggi berlantai banyak dengan memanfaatkan kekuatan cangkang yang tipis namun sangat kuat dalam melindungi penghuninya. Ketiga, khusus pada bentuk cangkang tipe Trellised Hyperbolic Paraboloid yang pada penerapannya dapat menciptakan permukaan lengkung dengan perpaduan antara garis-garis lurus, tipe ini membuktikan bahwa struktur cangkang tidak selalu menggunakan garis lengkung untuk menciptakan permukaan lengkung yang mengakibatkan terciptanya permukaan lengkung, namun dengan sistem struktur garis lurus dan kaku. Hal ini menjadi salah satu potensi yang sangat menguatkan aplikasi struktur cangkang pada bangunan tinggi dengan tidak mengabaikan kekakuan karena

kekakuan struktur merupakan salah satu aspek penting dalam proses perancangan bangunan tinggi berlantai banyak.

Makalah ini bertujuan untuk membahas penerapan struktur cangkang, khususnya pada bangunan tinggi berlantai banyak, sehingga dapat menambah wawasan mengenai struktur cangkang dan bangunan tinggi.

Makalah ini diharapkan dapat menginspirasi penulis sehingga dapat mempertimbangkan penggunaan struktur cangkang pada bangunan tinggi.

PEMBAHASAN

A. Bangunan Tinggi

Bangunan tinggi pertama telah ada pada zaman purba. Struktur dinding penahan beban setinggi 10 lantai sudah digunakan di kota-kota Kerajaan Romawi. Kota-kota di Barat berkembang sangat cepat pada abad ke sembilan belas, dan kepadatan penduduk menyebabkan timbul kembalinya bangunan-bangunan tinggi yang menghilang dengan runtuhnya Kerajaan Romawi. Prinsip struktur dinding penahan dari bahan batu digunakan kembali. Akan tetapi, keterbatasan sistem struktur jenis ini adalah bahwa dengan bertambahnya tinggi bangunan, ketebalan dinding (yang berarti berat bangunan) harus bertambah pula, berbanding langsung dengan sifat gaya gravitasi (Schueller, 1989).

Seiring perkembangannya, telah dibuat berbagai macam sistem struktur dengan memanipulasi kekuatan dan kekakuan struktur sehingga peningkatan tinggi bangunan tidak harus diiringi dengan penebalan struktur dinding.

Menurut Schueller (1989), penggunaan sistem rangka yang ringan tampaknya merupakan jawaban paling tepat karena rangka besi, dan kemudian baja, memungkinkan bangunan menjadi lebih tinggi serta bukaan yang lebih besar dan banyak.

Pada tahun 1890-an, muncul beton sebagai salah satu bahan struktur yang kemudian banyak digunakan. Beton dengan sifat kaku disandingkan dengan besi yang memiliki sifat lentur. Saat keduanya bekerja sama pada bangunan tinggi, terciptalah sebuah struktur yang dapat menahan gaya vertikal dan horizontal. Auguste Perret adalah orang pertama yang menggunakan rangka beton bertulang dalam konstruksi bangunan tinggi.



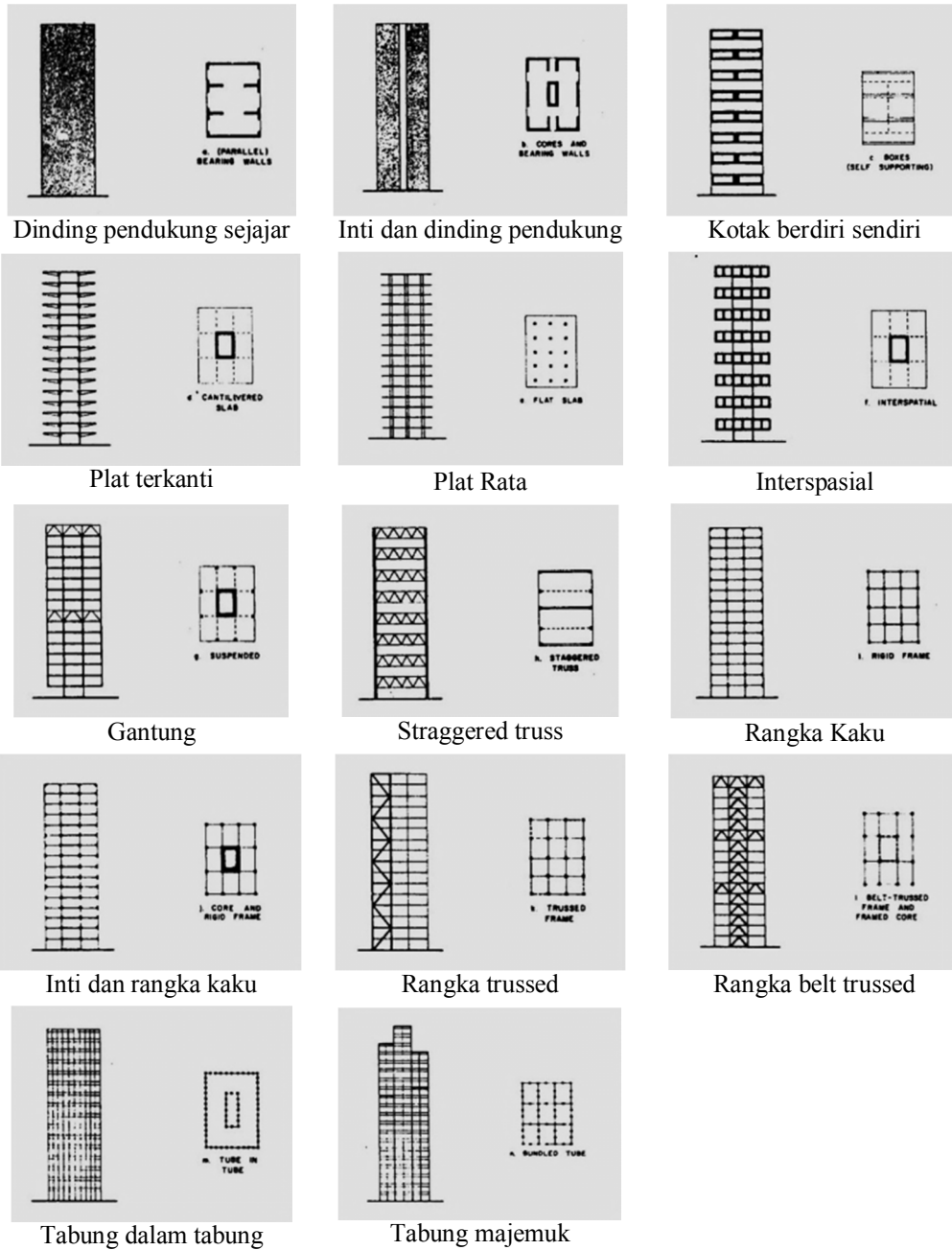
Gambar 1.
Auguste Perret dan Rue Apartment yang menggunakan beton bertulang pada strukturnya
(Sumber: alchetron.com/augusteperret)

Semakin tinggi sebuah bangunan, maka akan muncul gaya angin yang cukup mempengaruhi kekakuan struktur bangunan tersebut. Hal ini menjadi pertimbangan karena pada sistem bangunan tinggi, kekakuan merupakan aspek penting guna mempertahankan bentuk dan ketahanan bangunan terhadap gaya angin yang muncul. Untuk meningkatkan kekakuan sebuah bangunan dengan rangka baja, telah dibuat sistem dinding geser vertikal.



Gambar 2
Sistem Struktur Rangka Baja
(Sumber: angryits.blogspot.co.id/sistemstrukturrangkabaja)

Berikut adalah bermacam-macam sistem struktur yang lazim diterapkan pada bangunan tinggi.



Gambar 3
Sistem-sistem bangunan bertingkat tinggi
(Sumber: Schueller, 1989, hal. 82-83)

“Pada desain sistem struktural, ketidakstabilan lateral merupakan hal mendasar yang amat penting untuk dihindari. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan pada gedung dengan tinggi berapa pun, tetapi lebih penting lagi pada gedung bertingkat tinggi. Bagaimana suatu struktur menahan

gaya lateral tidak saja mempengaruhi desain elemen-elemen vertikal struktur, tetapi juga elemen-elemen horizontalnya.”¹

Dilihat dari jenis-jenis sistem struktur untuk bangunan bertingkat tinggi, setiap

¹ Daniel L. Schodek, *Structures*, terj. Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc. (Bandung: PT Eresco, 1991), hal: 516

sistem berupaya untuk menjadi sistem struktur terkuat dalam menahan beban lateral yang terjadi. Bentukkan persegi pun menjadi dasar dari setiap bentukan denah struktur karena pada bentukan persegi beraturan ini, setiap tumpuan dapat menerima beban merata.

B. Struktur Cangkang

1. Pengertian

“Cangkang adalah bentuk struktural tiga dimensional yang kaku dan tipis yang mempunyai permukaan lengkung. Permukaan cangkang dapat mempunyai sembarang bentuk. Bentuk yang umum adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap satu sumbu (misalnya permukaan bola, elips, kerucut, dan parabola), permukaan translasional yang dibentuk dengan menggeserkan dua ujung segmen garis pada dua kurva bidang di atas kurva bidang lainnya (misalnya permukaan parabola eliptik dan silindris), permukaan yang dibentuk dengan menggeserkan dua ujung segmen garis pada dua kurva bidang (misalnya permukaan hiperbolik paraboloid dan konoid), dan berbagai bentuk yang merupakan kombinasi dari yang telah disebutkan diatas”².

“Permukaan-permukaan pada mana kelengkungan berganti tanda lebih daripada empat kali di sekeliling suatu titik tertentu mungkin dapat dibayangkan: mereka “serupa kulit tiram” (“scalloped”) dan mempunyai tiga atau lebih garis-garis lurus yang terletak pada titik tertentu tersebut.”³

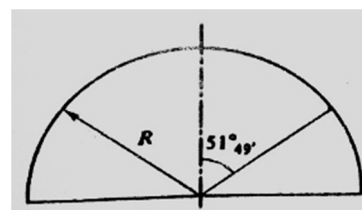
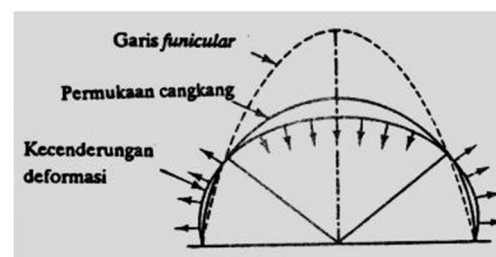
Jadi, struktur cangkang adalah bentuk struktural tiga dimensi dengan permukaan yang lengkung, dan memiliki sifat kaku dan tipis, serta sangat kuat.

Sebuah sistem struktur dapat dikatakan cangkang apabila:

- Harus memiliki bentuk lengkung tunggal maupun ganda (single or double curved)
- Harus tipis terhadap bukaan atau bentangannya
- Harus dibuat dari bahan yang keras, kuat, ulet dan tahan terhadap tarikan dan tekanan

2. Prinsip-Prinsip Umum

Prilaku permukaan cangkang yang dibebani dapat dipandang sebagai sebuah membran yang tipis sehingga hanya gaya tarik yang muncul. Menurut Schodek (1991), gelembung sabun atau lembaran tipis dari karet adalah contoh-contoh membran. Membran yang memikul beban tegak lurus dari permukaannya akan berdeformasi secara tiga dimensional disertai terjadinya gaya tarik pada permukaan membran.



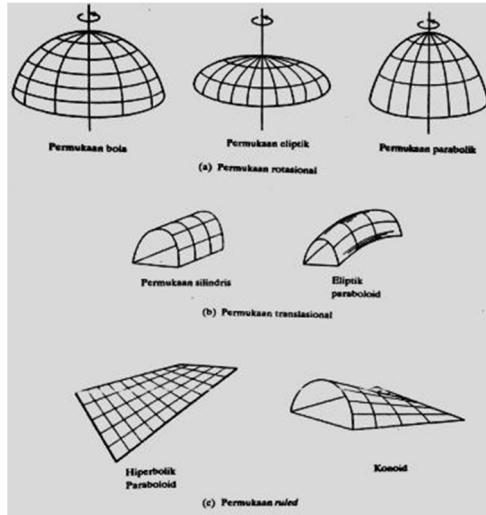
Gambar 4
Permukaan cangkang yang berdeformasi saat menerima beban atau gaya tarik di permukaan (Sumber: Schodek, Structure, 1991 hal. 455, 464)

² Daniel L. Schodek, *Structures*, terj. Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc. (Bandung: PT Eresco, 1991), hal: 450

³ Mario Salvadori dan Matthys Levy, *Structural Design in Architecture 2nd Edition*, terj. Ir. Elly Madyayanti (Jakarta: Erlangga, 1986), hal:

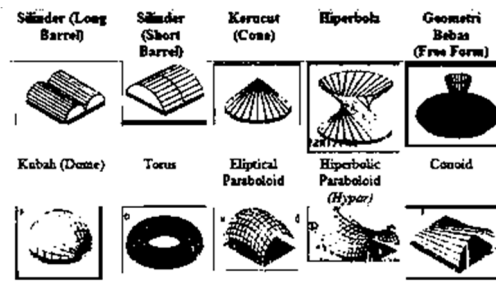
Berikut adalah jenis-jenis permukaan cangkang.

a) Berdasarkan bentuk terjadinya



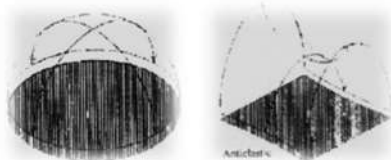
Gambar 5
Contoh-contoh berbagai jenis permukaan cangkang berdasarkan bentuk terjadinya
(Sumber: Schodek, Structure, 1991 hal. 451)

b) Berdasarkan bentuk geometris



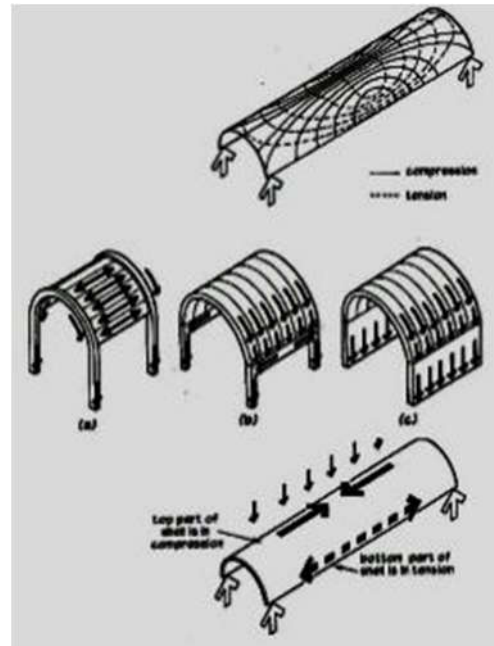
Gambar 6
Struktur cangkang berdasarkan bentuk geometris
(Sumber: pramudyawardhani.files.wordpress.com/2010/07/penggolongan-shell.jpg)

c) Berdasarkan penggolongan kedudukan kurva

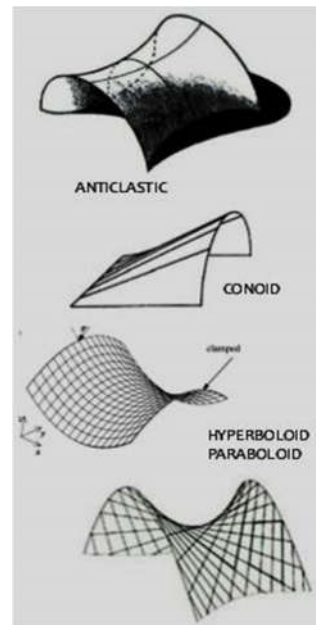


Gambar 7
Kurva-kurva membuka kearah yang sama dan saling berlawanan.
(Sumber:3.bp.blogspot.com)

d) Berdasarkan kelengkungan permukaan



Gambar 8
Cangkang dengan permukaan kurva tunggal.
(Sumber:image.slidesharecdn.com)



Gambar 9
Cangkang dengan permukaan kurva ganda.
(Sumber:image.slidesharecdn.com)

3. Bangunan Dengan Struktur Cangkang

Berikut ini adalah beberapa contoh bangunan yang menerapkan sistem cangkang pada strukturnya.



Gambar 10
Aneka Bangunan dengan Struktur Cangkang

C. Penerapan Struktur Cangkang pada Bangunan Bertingkat Tinggi

Penggunaan struktur cangkang seringkali hanya diterapkan pada bangunan berbentuk lebar dikarenakan sifat dari struktur cangkang yang lengkung, tipis, serta kuat yang dipandang sangat cocok untuk

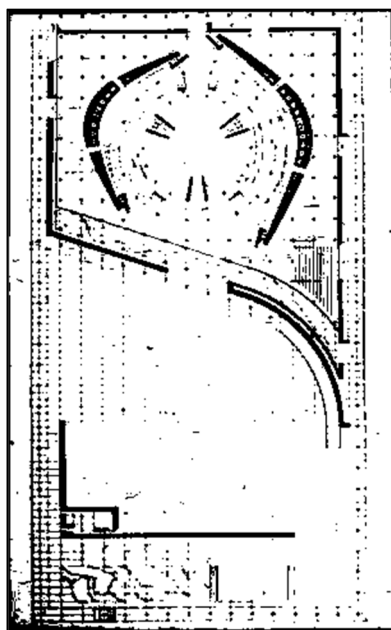
dijadikan sebagai sistem struktur bangunan berbentuk lebar, khususnya pada atap bangunan. Penggunaan struktur cangkang untuk bangunan tinggi sangat jarang. Hal ini disebabkan oleh pemahaman sistem struktur bangunan tinggi yang harus benar-benar mempertimbangkan kekakuan dan kekuatan

struktur terhadap gaya lateral, sedangkan struktur cangkang yang merupakan struktur lengkung dianggap kurang memiliki kekakuan saat akan menerima beban dari sebuah bangunan berlantai banyak. Namun, Viljo Revell menggunakan titik lengkungan pada struktur cangkang menjadi aspek untuk menambah kekakuan dari suatu bangunan sehingga dapat menjadi bangunan berlantai banyak. Hal ini dibuktikan pada Toronto City Hall yang dibangun dengan bentuk bulan sabit saling berhadapan.

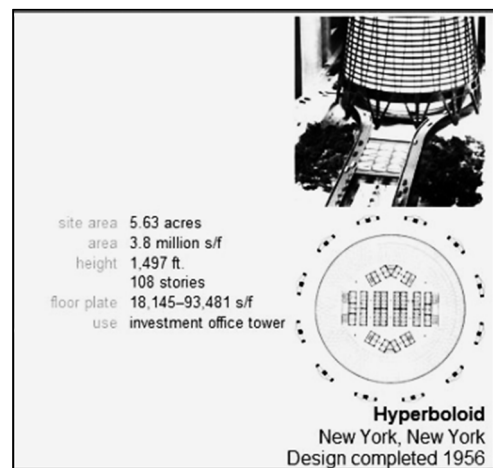
Penggunaan struktur cangkang pada Toronto City Hall membuka bentuk-bentuk struktur baru terhadap fasade bangunan sehingga tidak lagi harus selalu menggunakan sekunder skin untuk menciptakan lengkungan. Adapun aplikasi struktur cangkang pada bangunan berlantai banyak dilakukan oleh I. M. Pei pada bangunannya, the Hyperboloid yang pada tahun 1956 diajukan untuk menjadi kompetitor untuk dibangun di kota New York, menduduki tempat Grand Central saat ini.



Gambar 11
Toronto City Hall
(Sumber: www.wikipedia.com/torontocityhall)



Gambar 12
Denah Toronto City Hall
(Sumber: www.wikipedia.com/torontocityhall)



Gambar 13
Gambar Rencana Office 'The Hyperboloid'
(Sumber: www.wikipedia.com/impei)



Gambar 14
Tampilan tiga dimensi The Hyperboloid karya I.M.Pe
(Sumber: www.wikipedia.com/impei)

The Hyperboloid merupakan bentukan struktur cangkang, namun memiliki banyak bukaan. Bangunan ini dapat dikategorikan sebagai cangkang karena merupakan hasil bentukan dari

sifatnya yang tipis namun kuat, dapat menciptakan lengkungan pada permukaan atau fasade bangunan sehingga tidak perlu membuat struktur sekunder (sekunder skin) untuk menciptakan lengkungan,

PENUTUP

A. Kelebihan dan Kekurangan Struktur Cangkang

Setelah memahami sifat-sifat struktur cangkang dan bentuk-bentuk yang dihasilkannya, kajian mengenai kelebihan dan kekurangan struktur cangkang yaitu:

a. Kelebihan

- Hemat dalam penggunaan material. Menurut Schodek (1991), struktur cangkang dapat sangat tipis dan mempunyai bentang yang relative besar. Perbandingan bentang-tebal sebesar 400 atau 500 dapat saja digunakan (misalnya tebal 8 cm mungkin saja digunakan untuk kubah yang berbentang 30 – 38 meter.
- Menciptakan bentuk permukaan yang lengkung, baik vertikal, horizontal, maupun diagonal.
- Desain struktur yang kuat dan kokoh walaupun tipis.

b. Kekurangan

- Tidak dapat memiliki banyak bukaan.

B. Potensi Struktur Cangkang untuk Bangunan Tinggi

Dengan melihat kelebihan dan kekurangan dari struktur cangkang, potensi yang dimiliki struktur cangkang yang dapat diterapkan pada bangunan tinggi yaitu dapat meminimalisir penggunaan material karena

DAFTAR PUSTAKA

- Schodek, Daniel L. 1991. Structures. Terj. Ir. Bambang Suryoatmono. Bandung: Eresco.
- Schueller, Wolfgang. 1989. High-rise Building Structures. Terj. Januar Hakim. Bandung: Refika Aditama.
- Salvadori, Mario dan Matthys Levy. 1986. Structural Design in Architecture. Terj. Ir. Elly Madyayanti. Jakarta: Erlangga.
- Lin, T. Y. dan Sidney D. Stotesbury. 1981. Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers. New York: John Wiley & Sons.
- Pramudya Wardhani. (2010, 1 Juli). Penggolongan Shell. Diperoleh 11 November 2016, dari <http://pramudyawardhani.files.wordpress.com/2010/07/penggolongan-shell.jpg>