

PENERAPAN PENUTUP BIDANG STRUKTUR CANGKANG DENGAN MATERIAL KARDUS PADA STUDIO STRUKTUR BENTUK

Fibria Conytin Nugrahini¹⁾

¹⁾Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surabaya,

¹⁾Jl. Sutorejo 59 Surabaya, Kode pos 60113,

Email: ¹⁾fibrisan@gmail.com.

Abstract

The shell structure is a structure that is affected by the curvature of its space, also is known for its shape resistance. In learning wide-span structures in the shape structure studio, students need to be introduced directly to the advantages of shell structure types. Students are required to produce a shell membran formation and be able to understand the transfer of forces that occurs. One group made a space folding plate shell structure with the idea of using origami paper and produced a model and size of the planar, although the implementation was slightly different from the basic idea model due to the constraints of the cardboard material. Cardboard material is used because it is easy to obtain, cheap, and easy to cut. The second group used autocad-assisted modeling, and produced a dome-shell membrane using a hollow grid that would be linked to one another. By using cable ties, the two groups produce a shell structure according to the model. In terms of strength and rigidity of the structure, the first group managed to load the shell with loads, while the second group only with minimal load. The expected goal is to increase understanding of wide-span structures by applying the shell membrane as a representation of the shell structure.

Keywords: shell structure, wide span structure, folded plat, shell membrane, cardboard.

Abstrak

Struktur cangkang merupakan struktur yang dipengaruhi oleh kelengkungan ruangnya serta dikenal dengan ketahanan bentuknya. Dalam pembelajaran struktur bentang lebar di studio struktur bentuk, mahasiswa perlu dikenalkan secara langsung kelebihan jenis struktur cangkang. Mahasiswa dituntut untuk menghasilkan bentuk penutup cangkang dan dapat memahami transfer gaya yang terjadi. Satu kelompok membuat penutup cangkang plat lipat ruang dengan ide bentuk menggunakan kertas origami serta menghasilkan model dan ukuran bidang, meskipun pada implementasinya agak berbeda dengan model ide dasar dikarenakan kendala material kardus. Material kardus digunakan karena mudah didapat, murah serta pemotongan yang mudah. Kelompok kedua menggunakan permodelan dengan bantuan autocad, dan menghasilkan membran cangkang kubah ruang bidang dengan menggunakan grid berongga yang akan dikaitkan satu dan lainnya. Dengan menggunakan ikatan *cable ties*, kedua kelompok menghasilkan struktur cangkang disesuaikan dengan model. Dalam hal kekuatan dan kekakuan struktur, kelompok pertama berhasil membebani cangkang, sedang kelompok kedua hanya dengan beban minimal. Tujuan yang diharapkan adalah meningkatkan pemahaman akan struktur bentang lebar dengan penerapan membran cangkang sebagai representasi dari struktur cangkang.

Kata Kunci: struktur cangkang, struktur bentang lebar, plat lipat, membran cangkang, kardus.

PENDAHULUAN

Struktur cangkang adalah salah satu struktur pada bangunan yang termasuk dalam *surface active system* dimana gaya bekerja dan disalurkan melalui seluruh permukaannya. Struktur ini merupakan struktur paling kuno yang iinspirasi oleh alam dan merupakan struktur yang efektif untuk ditiru oleh para perencana. Karena bentuknya yang khusus dengan kelengkungan ruangnya serta bahan yang digunakan cukup tipis dibanding bentang yang dapat dicapai. Struktur cangkang juga dikenal sebagai struktur yang tahan bentuk (Farshad, 2013). Struktur cangkang merupakan struktur yang sangat menarik karena rasio antara kekuatan dan beratnya serta bentang yang mampu dicapainya dengan ketebalan yang cukup tipis. Hal tersebut disebabkan kelengkungan geometri yang dimiliki serta penyebaran dan transfer gayanya. Struktur cangkang juga menghasilkan bentuk dengan desain yang estetis serta strukturnya yang cukup efisien. Beberapa macam struktur cangkang yang diajarkan kepada mahasiswa struktur bentuk sangat perlu untuk diimplementasikan secara nyata. Dalam pembelajaran studio struktur bentuk 2 yang merupakan struktur bentang lebar, mahasiswa diajak untuk bereksplorasi membuat, menemukan bentuk, mengimplementasikan dan

memahami transfer gaya pada struktur cangkang. Material yang tipis, murah dan mudah ditemukan yaitu dari kardus selain juga karena kemudahan dalam pemotongan menjadikan kardus material yang dipilih. Mahasiswa dibagi menjadi kelompok besar yang mengimplementasikan susunan cangkang yang sesuai dengan imajinasi mahasiswa. Satu kelompok mengerjakan model struktur bentang lebar dengan struktur cangkang plat lipat dengan susunan elemen-elemen plat lipat ruang dan disatukan menjadi satu kesatuan cangkang. Ide dasarnya menggunakan kertas origami untuk menghasilkan bentuk serta ukuran. Sedang kelompok lain menggunakan bantuan komputer untuk membuat model struktur cangkang kubah. Implementasinya yaitu cangkang dengan bantuan bidang2 kardus tipis berongga dengan yang disatukan menjadi struktur cangkang kubah. Kedua hasil kelompok akan dilakukan pembebanan secara manual dengan beban yang ada di sekitar mahasiswa sehingga mahasiswa memahami penyebaran gaya pada membran cangkang sebagai representasi dari struktur cangkang. Artikel ini merupakan hasil observasi dalam pembuatan ide dan model dari struktur bentang lebar dengan struktur cangkang pada pembelajaran struktur bentuk 2.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan hasil dari percobaan yang dilakukan oleh mahasiswa mata kuliah Struktur Bentuk 2. Metode yang dilakukan adalah dalam melakukan penelitian adalah observasi terhadap kegiatan mahasiswa di studio struktur. Penelitian bersifat kualitatif berdasarkan hasil pengamatan penulis.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Macam Struktur Cangkang

Pada dasarnya cangkang merupakan sistem struktur yang diinspirasi oleh alam. Contoh cangkang yang terdapat di alam antara lain cangkang telur, cangkang kura-kura, cangkang keong dan lain sebagainya. Struktur cangkang harus mempunyai syarat tipis, solid dan mempunyai kelengkungan. Struktur cangkang merupakan sistem struktur yang berperilaku seperti membran yang menerima gaya tekan, tarik dan geser pada keseluruhan permukaannya. Cangkang mendistribusikan gayanya kepada keseluruhan permukaannya serta tidak cocok untuk gaya yang sifatnya memusat. Struktur cangkang terbagi menjadi kurva tunggal, kurva ganda sinklastik dan kurva ganda antiklastik. Kurva tunggal mempunyai satu kelengkungan sedangkan kurva ganda mempunyai kelengkungan ke dua arah yang berbeda. contoh cangkang jenis kurva ganda adalah dome atau kubah yang merupakan jenis sinklastik dan bentuk sadel mempunyai dua kelengkungan dengan dua arah yang berbeda serta jenis kelengkungan yang berbeda yaitu membentuk U dan lainnya membentuk U terbalik.

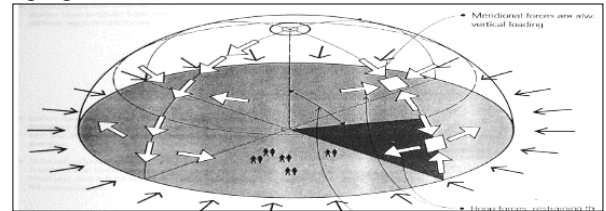


Gambar 1., Cangkang tunggal dan cangkang ganda (sinklastik dan antiklastik/tengah dan kanan).
Sumber: Nugrahini, 2020

Kubah

Kubah merupakan struktur permukaan yang mempunyai denah bulat dan dibangun secara menerus dengan material yang kaku seperti beton bertulang atau tersusun dari elemen linear seperti kubah geodesic. Kubah sangat mirip dengan lengkungan yang diputar namun gaya keliling pada kubah ini berlaku tekan pada area mahkota(atas) dan tarik pada sisi bawah. Perpindahan dari gaya tekan ke gaya tarik dapat dilihat pada gambar 2, yaitu terjadi pada sudut 45° sampai dengan 60° dari sumbu vertikal. Cincin tarik dibutuhkan untuk mengelilingi dasar dari kubah yang memiliki kecenderungan keluar dengan gaya dorongnya. Pada kubah beton, cincin ini diperkecil dan beton akan mengatasi tekanan bending yang disebabkan perbedaan perubahan bentuk yang elastis dari cincin dan cangkang. Sedangkan kubah geodesic mempunyai batang yang mengikuti prinsip pertemuan pada 60° berupa batang baja, serta membagi permukaan kubah menjadi segitiga equilateral yang mengitari kubah bulat. Sedang kubah

lattice mempunyai batang yang mengikuti secara garis lintang dan dua arah diagonal yang membentuk segitiga sama kaki. Untuk kubah schwedler merupakan struktur kubah baja yang batangnya mengikuti garis lintang dan garis bujur dan membentuk diagonal membentuk segitiga.



Gambar 2. Penyebaran gaya pada cangkang kubah
Sumber: D. Ching, Francis D.K(2013)

Pencarian Bentuk pada Struktur Cangkang

Efisiensi cangkang jika dirancang dengan baik, merupakan tingkat struktur yang tinggi. Ada beberapa cara untuk pendekatan pencarian bentuk. Antara lain adalah bentuk analitik yang dijelaskan oleh matematika, evolusi struktur dua dimensi, bentuk mekanis atau funikular, bentuk pneumatik, bentuk bebas, dan bentuk yang diperoleh dengan optimasi numerik. (H. Haakonsen , 2013). Cangkang analitik menggunakan fungsi matematis sehingga beberapa bentuk shell seperti ini dapat dijelaskan dengan lengkap. Untuk cangkang dengan evolusi dua dimensi diperoleh dengan memutar, mengekstrusi elemen dua dimensi. Contohnya adalah struktur barrel dan kubah menggunakan pendekatan ini. Salah satu fungsi matematis yang banyak digunakan dalam merancang struktur cangkang antara lain adalah struktur silinder, konoid, parabola hiperbolik, sferis, torus dan hipar. Bentuk bebas dapat dibentuk menggunakan desain dengan bantuan komputer digital. Tetapi kelemahannya terdapat adanya kesulitan praktis selama konstruksi meskipun bentuk bebas ini sebenarnya bisa lebih estetik. Bentuk pneumatik merupakan struktur cangkang yang diperoleh dengan bantuan penggunaan pneumatik gas. Cangkang diperoleh dengan memompa gas dalam balon sehingga ditempatkan pada struktur dinamis yang akan berubah bentuk sesuai dengan pengelembungan yang terjadi akibat pemompaan gas. Model yang dibangun menyesuaikan dengan model komputer dan untuk mendapatkan bentuk yang lebih realistis adalah bentuk mekanis atau funikular. Model bentuk mekanis ini dapat dibuat dengan menggunakan rantai yang digantung dan saling berhubungan. Model bentuk mekanis dibangun di atas rangka khusus dan rantai gantung bebas di bawah bobotnya. Interkoneksi berbagai rantai memungkinkan pengembangan bentuk sesuai kebutuhan. Setelah bentuk yang diinginkan diperoleh, perpindahan sepanjang rantai diukur pada lokasi yang sesuai dengan model komputer. Kemudian pengukuran perpindahan dilakukan dengan memindahkan koordinat pada Excel kemudian dibandingkan dengan model komputer. Z. Asmaljee(2013).

Teknik Lipat pada Struktur Cangkang

Teknik lipat merupakan teknik yang termudah dalam meningkatkan kekakuan dari permukaan planar, dan juga merupakan salah satu strategi mendapatkan perkerasan secara menyeluruh. Hal tersebut didapat dengan membongkar ruang strktur yang ada menjadi segmen plannar dan bertemu di tepi yang berdekatan. Hal ini menjadikan permukaan planar sederhana berubah menjadi sistem ruang dari plat (untuk menumpu beban gaya). Dengan bentuk ruang yang dapat terbentuk secara lebih rumit, maka kemungkinan hal tersebut dapat menyebabkan momen lentur besar terjadi di tengah plat tipis. Hal ini akan menyebabkan beberapa runtutan gaya dalam berupa tekan dan tarik. Dengan menggunakan beberapa lipatan maka struktur dapat dihasilkan ketinggian yang bisa diharapkan dengan bantuan kekuatan struktur yang aktif. Pada struktur dengan menggunakan teknik lipatan maka sisi atas lipatan akan berada dibawah gaya tekanan maksimal dan sisi bawah berada di bawah gaya tarik maksimal. Pada cangkang lipat, dikarenakan terjadi gaya aksial pada tiap bagian bidang, maka perilaku tekuk setiap plat juga harus dapat diatasi. Semakin besar ukuran setiap elemen atau bidang maka resiko terjadinya tekuk juga akan semakin besar.



Gambar 3., Kerangka grid spasial dengan lembaran tipis bidang
Sumber: Genzel & Voigt, 2005)

Penutup Cangkang Ruang Plat Lipat dengan Model Origami

Untuk kelompok satu mahasiswa menggali ide dasar dari model origami. Dengan menggunakan kertas origami tersusunlah sebuah bentukan dasar dari membran cangkang. Gambar 1 memperlihatkan penutup cangkang yang berupa grid ruang dari bidang yang disusun dari segitiga. Struktur ruang dengan plat lipat dengan kubah plat lipat merupakan polyhedral folded plate structure (strktur plat lipat polyhedral). Struktur ruang dengan plat lipat adalah kombinasi konstruksi lipat merupakan sebuah struktur yang menggunakan dasar geometrik secara kompleks.

Struktur cangkang yang dihasilkan merupakan penutup cangkang grid plat lipat dengan menggunakan bidang-bidang ruang yang disusun dengan teknik lipat. Denah pada struktur tetap berupa dasar lengkung. Sedangkan kelengkungan yang dihasilkan merupakan kelengkungan cangkang dome/ kubah yaitu merupakan

struktur kurva ganda sinklastik dengan kelengkungan kearah dua sisi.

Desain diimplementasikan dengan ukuran yang diskalakan serta diimplementasikan pada material kardus.



Gambar 4. Ide dasar dengan model origami
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur, 2020



Gambar 5. Pembuatan pola dasar cangkang plat lipat ruang
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020

Dalam desain cangkang permasalahan utama dalam mendesain cangkang adalah ketebalan penampang dan desain potongan, lubang dan kekuatan jika terjadi lubang dan tumpuan atau tepi cangkang (Wang Xiang 2017). Oleh karena itu potongan atau tepi akan menjadi hal yang harus diperhatikan. Untuk kekakuan, penggunaan cable ties membantu mempermudah penguatan pada bagian potongan. Dengan bahan yang murah mahasiswa dapat mengimplementasikan penutup cangkang dengan cukup baik.

Gambar 6 menunjukkan ikatan potongan pola dengan pola lainnya serta hasil akhir yang disatukan dengan menggunakan *cable ties*. Karena kekuatan lipatan sangat mempengaruhi tepi lipatan cangkang. Maka kekuatan tepi harus diperhatikan dengan baik dan maksimal.



Gambar 6., Ikatan cable ties yang digunakan pada cangkang
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020



Gambar 7., Segitiga sama kaki yang disusun menjadi segi enam
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020

Gambar 7 merupakan segi enam yang akan disatukan. Pada tahap implementasi model ke terjadi perubahan yaitu di tengah ditambahkan lagi segi enam yang menghadap ke atas. Sehingga dari gambar terlihat terdapat 6 bidang grid ruang yang terdiri dari 6 segitiga sama kaki. Dasar dari desain ini dibangun dengan menggunakan kombinasi figur geometri sederhana yaitu segitiga dan membentuk konstruksi melingkar. Terlihat pada gambar 8, cangkang dimodifikasi dengan menambahkan penyokong di 5 sisi tepat dibagian kerucut 6 bidang. Kemudian ditengah ditambahkan struktur tengah untuk menyokong cangkang dan juga didukung dengan penyokong luar.

Pada proses pembebanan untuk mengetahui penyebaran gaya yang terjadi, mahasiswa mencoba membebani secara sederhana struktur cangkang. Dari kelompok pertama, imajinasi mahasiswa dan usaha yang dikeluarkan dinilai penulis cukup baik untuk mencapai tujuan dari pembelajaran.



Gambar 8. Cangkang dari tampak atas dan samping
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020



Gambar 9., Pembebanan struktur cangkang kelompok 1
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020

Struktur Cangkang Kubah dengan Grid Berongga

Untuk kelompok kedua menghasilkan cangkang kubah dengan grid berongga dengan menggunakan material kardus. Grid tersebut disusun dengan desain yang didapat dari literatur penelitian serupa. Untuk pemasangan tiap grid berongga menggunakan cable ties. Namun kekurangan dari cangkang yang dibuat tidak dapat dengan sempurna membentuk kelengkungan yang sesuai dengan model yang diinginkan. Akhirnya dengan segala keterbatasan mahasiswa memberikan penutup datar yang difungsikan untuk menutup lubang kecil atap cangkang.



Gambar 10. Pembuatan Cangkang kelompok 2
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020

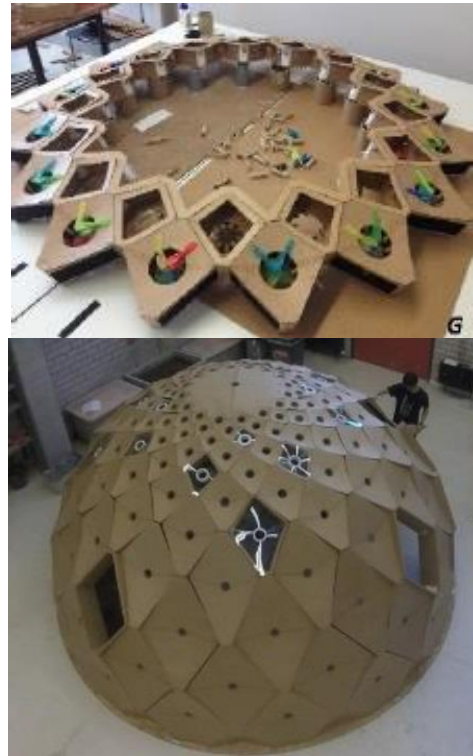
Meskipun kelompok yang kedua tidak berhasil menyatukan kelengkungan sesuai desain, namun usaha yang dihasilkan dapat memberikan pengetahuan tentang kerumitan cangkang grid.



Gambar 11. Hasil akhir Cangkang Grid Berongga
Sumber: Dokumentasi Studio Struktur 2020

Pada dasarnya cangkang grid yang dihasilkan harus tepat dan sesuai ukuran yang dihasilkan oleh komputer. Kelemahan mahasiswa pada ketidaktepatan pada proses pengukuran dari komputer kepada proses pembuatan grid dan pemasangan. Untuk dihasilkan cangkang dengan kelengkungan yang baik maka ketepatan dari bagian atas cangkang yang harusnya memiliki grid semakin mengecil seharusnya diperhatikan dengan presisi. Selain itu jumlah grid yang dihasilkan tidak sesuai dengan model komputer karena mengikuti bahan yang terbatas dan menyesuaikan dengan diameter yang diinginkan.

Pada gambar 12 merupakan cangkang grid berongga yang menjadi ide dasar dari kelompok 2, namun pada akhirnya belum dapat diimplementasikan sesuai model yang diinginkan.



Gambar 12. Ide dasar cangkang grid berongga
Sumber: Xiang, Wang (2017)

KESIMPULAN

Penggunaan penutup bidang pada struktur cangkang membutuhkan tingkat presisi yang sangat tinggi. Penyebaran gaya yang terjadi pada penutup cangkang juga harus dapat diatasi oleh struktur utama dari cangkang. Meskipun pada perkembangannya struktur cangkang menarik minat untuk dipelajari, namun kerumitannya dalam hal material dan desain bidang pada cangkang bidang menjadi pertimbangan tersendiri. Meskipun desain struktur cangkang baik dari bidang berongga atau bidang ruang yang dihasilkan sangat menarik namun membutuhkan usaha yang maksimal pula. Dengan melakukan penelitian dengan implementasi cangkang dengan material kardus diharapkan mahasiswa dapat memahami dengan baik struktur bentuk lebar dengan tingkat kerumitan yang ada yang sebanding dengan estetika yang ditawarkan oleh struktur cangkang ini.

ACKNOWLEDGMENT

Terimakasih penulis ucapkan kepada mahasiswa struktur bentuk 2 ganjil 2019/2020 yang sangat bersemangat melakukan percobaan penutup struktur cangkang.

DAFTAR PUSTAKA

- D. Ching, Francis D.K Onouye, Barry S; Zuberbuhler (2013). *Building Structures Illustrated, Patterns, Systems and Design*. Wiley.
- Genzel, E., & Voigt, P. (2005). *Kunststoffbauten: Teil 1: Die Pioniere*. Bauhaus Universitätsverlag.
- Xiang, Wang (2017). *Cellular Cavity Structure and its Building Technology for Shell Structure with Thin Sheet Materials*. Fachbereich Architektur, Technische Universität Darmstadt.
- Z. Asmaljee(2013). *Form-Finding of Thin Shell Structures*. Master Thesis, Faculty of Engineering and the Built Environment University of Witwatersrand.
- Nugrahini, Fibria Conyтин. (2020). *An Overview of Structural Designs and Building Materials in Shell Structure for The Mosque and The Future Development*. Journal of Physics : Conference Series 1517 012038.
- Farshad, M. (2013). *Design and analysis of shell structures* (Vol. 16): Springer Science & Business Media.