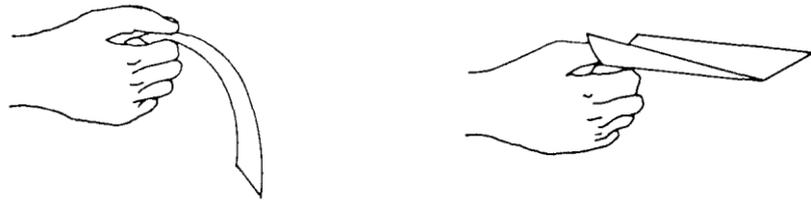


Struktur dengan Bentuk yang Bertahan Sendiri

Suatu lembaran kertas datar bilamana dipegang ujungnya akan melengkung ke bawah. Apabila kertas itu dibengkokkan kedua sisinya seperti dalam gambar, akan dapat memikul sedikit beban, disamping beratnya sendiri. Kekuatannya berasal dari bentuk yang tepat, memanfaatkan tebal, dan luas permukaan bidang, bahwa lekukan mengubah sebagian ketinggian lembaran, sehingga momen energi yang menahan momen lengkung lebih besar. Pada dasarnya hal ini sama dengan keadaan pada konstruksi lipatan.



Struktur yang diberi bentuk sesuai dengan jalannya gayagaya pada permukaan bidang dan mempunyai kekuatan memikul beban-beban disebut struktur dengan bentuk tahan gaya bentuk-bentuk struktur yang termasuk dapat bertahan sendiri adalah struktur:

1. Cangkang Tebal
2. Cangkang Tipis
3. Membran
4. Kubah

Dengan beraneka ragam variasinya.

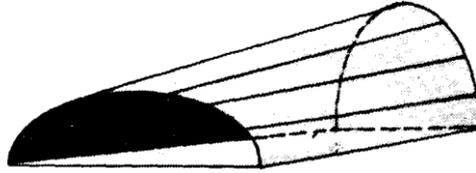
Membran hanya dapat menahan gaya tarik karena tipisnya dan akan bergoyang bilamana memikul beban terpusat. Cangkang tipis dengan bentuk yang tepat dapat menahan gaya tarik, tekan, dan geser karena cukup tebal daripada membran. Dengan terbatasnya ketebalan, maka tidak dapat menahan momen lengkung. Bahan untuk pembuatan cangkang tipis adalah kayu, baja, plastik, tetapi yang tepat adalah beton tulang.

Struktur cangkang dapat menutupi bentangan besar dengan pelat cangkang yang tipis. Disamping ekonomis, dapat pula memberikan ekspresi yang mengagumkan dalam perencanaan struktur modern. Untuk mengetahui seluk beluk struktur cangkang harus mengkaji karakteristik aslinya dari bentuk-bentuk geometri. Tiap bidang dipandang sebagai garis-garis yang jumlahnya banyak dan berimpitan. Garis yang tegak lurus mempunyai lengkungan dan tiap-tiap titik pada garis itu keadaannya berubah. Garis lengkung atau bagiannya mempunyai lengkungan yang konstan dengan jari-jari yang sama panjangnya.

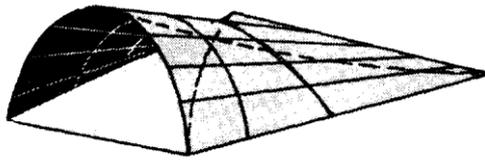
Kebanyakan luas permukaan bidang yang melengkung didapat dengan memutar satu garis lurus melalui dua lengkungan terhadap garis yang sejajar.

A. Permukaan Bidang yang Teratur

Apabila ujung suatu garis lurus diputar melalui suatu lingkaran besar dan ujung lainnya melalui lingkaran kecil, maka terbentuklah suatu permukaan bidang yang disebut bidang konoidal.



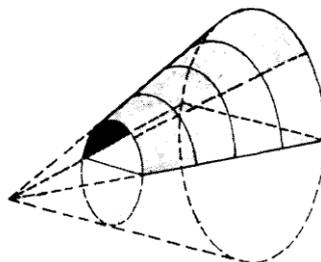
Suatu garis lurus diputar setengah lingkaran, sedang ujung garis digeser melalui garis lurus pada bidang datar terbentuk pula suatu konoida. Bidang-bidang lengkung yang tegak dapat berbentuk lengkungan, setengah lingkaran dan setengah elipsis. Konoida termasuk permukaan bidang pelana karena garis-garis lengkungan pada permukaan ada yang mengerah keatas dan sebelah yang berseberangan melengkung ke bawah. Konoida dapat digunakan sebagai cangkang konsol dengan membalikkan permukaan bidang.



Sektor konis terbentuk apabila suatu garis lurus diputar melalui dua lingkaran yang berlainan. Sumbu ujung sisi lainnya berpusat pada titik. Dapat digunakan sebagai atap konsol yang menonjol.

B. Permukaan Bidang Rotasi

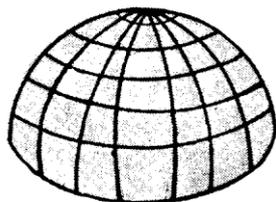
Permukaan bidang rotasi terbentuk dengan memutar garis lengkung melalui sumbu vertikal. Pada potongan melintang vertikal dari permukaan bidang itu terdapat garis meridian dan potongan melintang horizontal terdapat garis paralel.



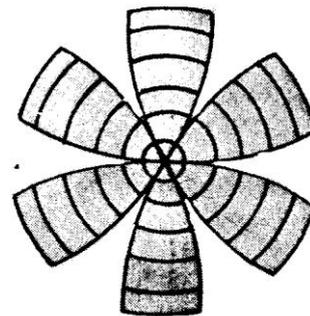
Rotasi bidang yang berbentuk bola untuk tangki penyimpanan bahan cairan didukung oleh satu atau banyak tiang.

Kubah Berbentuk Ellips

Suatu garis setengah ellips diputar melalui sumbu vertikal. Maka terbentuklah suatu permukaan bidang yang dapat menutup ruangan. Fungsinya tidak begitu efisien seperti kubah dengan ketinggian setengah lingkaran karena lebih pendek sehingga lebih melengkung. Lain halnya dengan parabola dengan puncak lengkungan yang lebih tinggi dari jari-jari lingkaran.



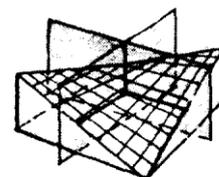
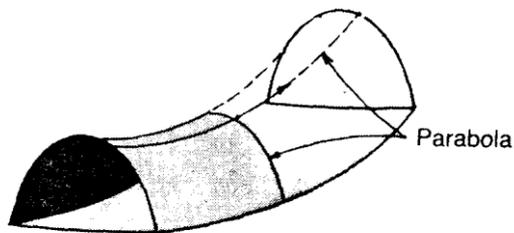
③ Tertutup



④ Terbuka

Permukaan bidang yang terbentuk dari pemutaran suatu garis lurus terhadap sumbu vertikal disebut *cone*. Permukaan bidang yang konis disebut konstruksi payung, apabila didukung oleh satu tiang di tengah. Bila didukung tiang di sekitar ujung sisi lingkaran disebut kubah lancip. Penulangan beton untuk bentuk yang demikian lebih mudah dari pada yang melengkung.

Suatu paraboloida hiperbolik terbentuk dengan memutar suatu parabola pada potongan melintang ke bawah dan pada arah memanjang menurunkan lengkungan parabola kemudian menaikannya ke atas. Potongan bidang alas datar dengan permukaan bidang itu merupakan dua hiperboloida berhadapan. Permukaan bidang menyerupai pelana kuda.



C. Permukaan Bidang yang Kompleks

Permukaan bidang matematika dapat dikombinasikan untuk membentuk permukaan bidang yang kompleks. Dua cangkang setengah silinder dapat dibuat sedemikian rupa agar

saling berpotongan. Setengah silinder berganda yang disusun berdampingan dan naik-turun dapat membentuk struktur lipatan pelat lengkung dan disebut permukaan silinder berombak.

Permukaan bidang kompleks yang lain adalah yang berbentuk konis berombak, silinder parabolis berombak dan sektor bulat berombak. Paraboloida hiperbolik dapat digunakan untuk membentuk berfungsi sebagai atap. Pada tempat yang lengkungnya tinggi dapat diberi penerangan alam dan ventilasi ruangan.

Empat paraboloida datar miring kepusat dimana satu tiang sebagai pendukung, merupakan bentuk lain. Untuk struktur cangkang tipis tidak ada pembatasan bentuk-bentuk geometri. Perancang harus memahami perilaku struktur dengan dasar bentuk geometri.

D. Aksi Membran dalam Kubah Bulat

Kubah bulat terbentuk dari bidang rotasi yang seluruh tepi bawahnya didukung landasan dan dibebani secara tegak lurus simetris. Dari segi struktural, kubah itu mempunyai karakter geometri.

Pada cangkang kubah aksi simetri potongan-potongan yang melalui garis meridian dan potongan-potongan tegak lurus kepadanya merupakan lengkungan prinsip dan juga menjadi potongan-potongan tahanan utama.

Gaya-gaya pada potongan-potongan tersebut adalah gaya tekan dan tarik murni, terbagi rata melalui tebalnya cangkang yang tipis. Kubah berikut beban-bebannya adalah simetris terhadap sumbu karena gaya tekan pada arah meridian konstan sepanjang arah paralel. Tiap meridian berlaku seolah-olah kabel dari batang-batang segi banyak gaya suatu lengkungan untuk memikul beban-beban, sehingga tidak terjadi tegangan lengkung.

Busur lengkungan mempunyai sifat furnikuler atau sifat seperti batang-batang segi banyak gaya pada lengkungan untuk satu pasang beban-beban. Tetapi meridian-meridian kubah mempunyai sifat untuk tiap pasangan beban-beban yang simetris. Hal ini disebabkan oleh karena tingkah laku lengkungan tertutup tidak mendapat dukungan dari sisi samping.

Meridian kubah didukung oleh lengkungan lingkaran paralel yang menahan goyangan sisi samping dengan mengadakan kumpulan tegangan. Maka tingkah laku yang menyerupai batang-batang segi banyak gaya pada lengkungan pembebanan sembarang beban yang simetris, sehingga kubah tidak berubah bentuk dan tetap stabil. Bantuan dari paralel terhadap tingkah laku sifat furnikuler dari kubah yang menerima beban, terlihat pada deformasi-deformasi meridian.

Pada kubah-kubah yang pendek, meridian-meridian yang dibebani akan melendut dan menciut kearah dalam. Pada lengkungan kubah dua dimensi, lendutan garis-garis paralel menampilkan radius yang mengecil. Paralel-paralel tertekan, ketahanan berkurang, mengakibatkan mengecil kearah dalam. Hal ini menimbulkan tegangan-tegangan tekan pada paralel-paralel dan meridian-meridian. Maka kubah bulat dapat dibangun dengan bahan yang hanya tahan tekan tanpa daya tahan terhadap tarik.

Bahan-bahan yang dimaksud adalah batu alam dan batu buatan. Pada kubah yang tinggi bagian atas akan melendut bilamana dibebani dan bagian bawah akan tergerak keluar dari lingkaran alas kubah. Paralel-paralel bagian atas memendek, sedangkan yang bagian bawah memanjang, mengakibatkan tegangan tarik dan membebani meridian-meridian.

Diantara bagian atas dan bagian bawah ada paralel yang tetap pada tempatnya. Letak paralel itu bergantung pada cara pembebanan. Pada kubah bulat dengan beban mati yang terbagi rata kedudukan paralel tadi ada pada sudut 45. gaya-gaya yang terpikul oleh kubah adalah gaya tekan dan tarik murni. Tegangan-tegangan lain yang berhubungan hanya kecil, sehingga kekakuan kubah bulat menjadi besar.

Membran dapat berubah bentuk bilamana memikul beban. Perubahan bentuk itu akibat dari tegangan tekan. Tetapi cangkang kuda dapat menahan tekan beban langsung pada paralel dan meridian tidak dapat seluruhnya dipikul.

Tentunya ada mekanisme ketiga yang ditimbulkan untuk keseimbangan, yaitu mekanisme yang menahan geser. Tegangan-tegangan tidak akan terlampaui karena gaya tekan dan tarik murni. Gaya geser pada permukaan bidang membuat keseimbangan antara beban luar dan cangkang kubah bulat, tanpa mengubah bentuk. Dalam keadaan tertentu struktur kubah adalah stabil, termasuk juga tahan beban tekanan angin dari sisi samping.

E. Tegangan Lengkung pada Kubah

Kubah dapat memikul beban terutama karena tegangan-tegangan membran, yaitu tekan, tarik, dan geser. Karena dengan tibulnya gaya geser memungkinkan menjadi funikuler untuk pembebanan bermacam-macam beban. Tetapi karena kubah biasanya tipis, Ada kemungkinan terjadinya tegangan lengkung yang dapat melampaui tegangan yang diperkenankan. Maka diperlukan perhitungan apakah tendensi itu akan terjadi.

Kapasitas kubah tipis dapat mengadakan lendutan atas terjadinya tegangan tekan pada membran. Apabila bagian atas kubah melendut dan tidak ada pengaman, maka tekanan membran akan terjadi pada sekitar tempat itu. Terjadilah situasi yang berlainan pada sekeliling alas.

Apabila reaksi kubah tidak menyinggung seluruh lingkaran alas kubah, maka terjadi tegangan-tegangan lengkung disekitar tepi bawah. Jadi dengan reaksi pada beberapa tempa pendukung dari lingkaran alas kubah menyebabkan pula kolom pendukung menimbulkan reaksi mendatar pada tepi alas kubah. Maka beban terpusat tidak dapat dipikul oleh tegangan-tegangan membran.

Jadi pada struktur cangkang perlu dibuat agar cangkangnya lebih tebal untuk menanggulangi tegangan tekan membran. Tebalnya cangkang juga diperlukan untuk menampung tulangan beton yang harus dipasang dua lapis.

Cangkang tipis dapat melengkung. Beban yang menimbulkan lengkung pada cangkang tipis bergantung pula pada modul elastisitas bahan, luas permukaan bidang dan perbandingan antara radii lingkaran kubah dengan tebal cangkang. Di dalam struktur cangkang yang tepat dapat terjadi tegangan-tegangan membran dimana-mana. Maka dapat dikatakan

”memikul beban dengan aksi cangkang tipis.” Dalam perencanaan kubah perlu diperhatikan tiga faktor:

- Kubah harus tipis, agar tidak dapat menimbulkan tegangan lengkung
- Lengkung kubah harus tepat, supaya kuat dan kaku karena bentuknya mempunyai daya tahan terhadap beban
- Kubah harus diberi dukungan landasan yang sesuai, agar tidak menimbulkan lengkung dalam cangkang yang melewati kemampuan.

Apabila dalam perencanaan hanya dititik beratkan pada estetika atau kebutuhan arsitektur saja, maka efisiensi struktur cangkang akan berkurang.

F. Aksi Membran dalam Silinder

Cangkang berbentuk setengah silinder atau “barrel” dipakai untuk atap suatu ruang yang persegi panjang. Biasanya didukung oleh rangka yang kaku pada bidangnya di ujung-ujung dan tegak lurus kearah memanjang barrel yang membengkok. Cangkang itu dapat dianggap sebagai kombinasi balok-balok dalam arah memanjang dan dalam arah melintang sebagai lengkungan busur funikuler yang istimewa.

Tegangan membran arah memanjang terbagi rata dalam potongan lengkungan pada seluruh panjang. Serat-serat bagian atas tertekan dan serat-serat bagian bawah tertarik.

Cangkang sebagai balok itu menyalurkan beban ke rangka pengaku di ujung-ujung. Karena cangkang fleksibel dalam arah memanjang dan tidak dapat bekerja langsung, maka yang menyalurkan adalah aksi mekanisme geser daripada cangkang.

Pada ujung cangkang timbul geser tangensial dengan komponen ke bawah, ditambah berat beban pada pengaku rangka ujung yang kemudian disalurkan ke tanah.

Sebetulnya aksi barrel tidak sama dengan aksi balok karena potongan lintang balok adalah *solid* dan tidak melengkung; sedangkan pada cangkang tipis potongan lintang mengakibatkan simpangan dan dapat mengecil kearah dalam.

Pada barrel yang pendek pengaruh deformasi pada potongan lintang lebih kecil. Tegangan arah memanjang lain daripada distribusi balok lurus.

Pada potongan melintang ada titik-titik yang pembagian tegangannya merupakan lengkungan. Di bagian atas dan bawah serat-serat tertarik, sedangkan di bagian tengah tertekan.

Apabila pada potongan melintang ada penjagaan terhadap deformasi dengan mengadakan pengaku-antara di sepanjang barrel atau diadakan sambungan menerus untuk barrel lainnya, maka distribusi tegangan menjadi linier.

G. Tegangan Lengkung pada Silinder

Apabila suatu barrel dibuat pendek, aksi busur dan aksi pelat memanjang perlu dipertimbangkan. Barrel terbagi dalam beberapa bagian kecil. Tegangan tekan pada lengkung yang melintang timbul di bagian atas, makin berkurang sampai pada ujung yang memanjang. Tegangan tekan lengkung menimbulkan momen lengkung di sekitar pengaku barrel. Dengan demikian serat-serat arah melintang dari barrel menjadi lebih pendek dan potongan itu bergerak. Ujung potongan lintang barrel dipegang oleh pengaku, tetapi pengaku itu juga menderita tarikan karena momen lengkung pada barrel.

Gangguan momen lengkung pada pengaku berkurang bilamana barrelnya pendek. Lebar cincin melintang yang terganggu oleh momen lengkung bergantung kepada perbandingan antara lebar dan tebal barrel. Untuk mengurangi gangguan dari momen lengkung ada salah satu jalan, yaitu dengan mempertebal pelat lengkung barrel.

Perubahan termis dengan pemuaian dan susut beton selama proses mengering dapat mengakibatkan gangguan lingkungan pada pengaku-pengaku yang biasanya lebih besar daripada akibat pembebanan. Oleh karena itu sudut-sudut pengaku dipertebal. Pendukung untuk cangkang harus tepat dan cermat dapat dimengerti, mengingat tegangan-tegangan membran yang akan mengganggu dalam cangkang barrel.

Suatu barrel panjang yang didukung ujung-ujungnya oleh pengaku, menimbulkan aksi busur yang penting karena strip-lintang dapat dianggap sebagai lengkungan yang didukung pada ujung-ujungnya dan dapat mengadakan gaya dorong yang dibutuhkan.

Apabila bentuk potongan lintang suatu silinder merupakan satu garis dengan beban-beban, tiap jalur akan menerima gaya lintang atau tekan dan bukan gaya yang arahnya memanjang. Ini pun keadaan tekanan membran, tetapi lain daripada pengaku arah memanjang, yang berfungsi sebagai pendukung barrel.

Apabila pada potongan lintang batang-batang segi banyak gaya menyimpang dari sumbu lengkungan (tidak funikuler), maka dalam strip-lengkungan terjadi momen lengkung. Momen lengkung ini tidak mengganggu ujung batas, tetapi menembus cangkang. Jadi barrel yang didukung oleh pengaku arah yang pendek dapat dibuat tipis, sedangkan yang didukung arah memanjang harus lebih tebal untuk menahan momen lengkung pada jalur lengkungan.

Barrel yang didukung oleh pengaku mendapat gangguan tepi sepanjang ujung panjang yang bebas. Gangguan itu tidak seberapa, tetapi dapat menjalar lebih ke tengah cangkang daripada ke peletakan pengaku. Hal ini mudah dimengerti sebab kalau kita bengkokkan cangkang tipis di ujung yang satu, ujung lainnya akan menyesuaikan diri karena hukum keseimbangan. Seluruh pelat membengkok karena aksi bengkokkan ini mengadakan perpindahan dari ujung ke ujung. Tetapi bilamana pelat tipis itu diubah menjadi silinder, bengkokkan pada ujung yang satu akan lenyap di perjalanan dalam menuju ke ujung yang lain.

Dapat difahami bahwa lengkungan mendapat suatu "jasa" dari pelat dengan dimatikannya penyaluran gangguan lengkung pada arah tegak lurus terhadap lengkungan. Gangguan di tempat peletakan ditiadakan oleh bentuk lengkungan silinder tegak lurus pada pengaku.

Pada cangkang, kebanyakan jarak gangguan dalam arah memanjang ada dua kali jarak gangguan di tepi lengkungan. Lengkukan dalam arah memanjang lebih lambat “dimatikan” daripada dalam arah lengkungan.

Cangkang barrel tidak begitu kaku daripada cangkang kubah, karena lengkungan ke satu arah agak mirip balok. Maka untuk menambah kekakuan biasanya dalam arah memanjang ditambah balok pada ujung-ujung lengkungan.

Penambahan ini ada di tempat tarik potongan lintang, sehingga sebagian besar dari lengkungan dibebani oleh tekan dan bagian tarik dipikul oleh balok tambahan yang berfungsi untuk menerima geser dalam arah memanjang yang terjadi di ujung cangkang.

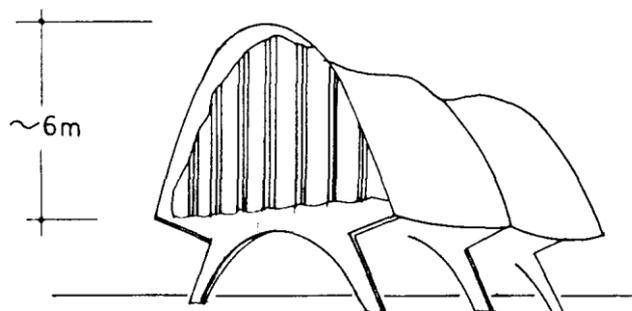
Flens bagian dari balok satu akan melengkung oleh pembebanan tekan, begitu pula seratus-serat dari cangkang barrel akan melengkung bilamana dibebani tekan arah memanjang. Ketahanan cangkang barrel panjang terhadap lengkung lebih besar daripada kubah karena tegangan-tegangan tekan hanya terjadi di sebagian dari atas cangkang dalam arah memanjang.

Walaupun pada cangkang barrel panjang ketahanan terhadap lekuk besar, bahaya lengkung tadi dapat diatasi dengan menebalkan cangkang daripada semestinya sehubungan dengan tegangan-tegangan membran.

Kecuali mengurangi aksi membran dengan mempertebal cangkang juga dipertingginya daya tahan terhadap momen lengkung. Cara yang lebih ekonomis ialah dengan mengadakan rusuk-rusuk penguat dalam arah memanjang. Tetapi pembuatan rusuk-rusuk itu menambah biaya buruh dan cetakan beton, maka sistem itu lebih sesuai untuk cangkang baja.

H. Tekanan-tekanan pada Cangkang Translasi yang Sinklastik

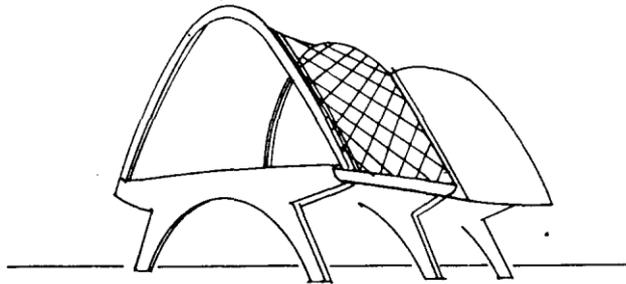
Ada varitas lengkungan dari kombinasi macam-macam lengkungan cangkang. Umpamanya campuran bidang lengkungan lingkaran dengan bidang lengkungan parabola. Cangkang translasi didukung oleh tegangan geser pada lengkungan busur tepi, jadi barrel didukung oleh geser pada pengaku tepi.



Lengkungan pendukung adalah kaku di bidangnya sendiri dan fleksibel dalam arah tegak lurus pada bidang itu sendiri, sehingga tegangan tekan dan tarik tegak lurus pada lengkungan tidak terjadi pada tepi-tepi cangkang.

Pada cangkang translasi, aksi dapat dianggap sebagai aksi barrel dalam dua arah karena lengkungannya juga mempunyai dua arah. Cangkang bagian bawah yang ada di atas lengkungan pendukung dapat gangguan momen lengkung, tetapi dapat diatasi oleh cangkang dengan lengkungannya yang kedua arah yang tegak lurus. Dengan memperlebar cangkang di tepi ujung bawah dapat diatasi hal tersebut di atas tadi.

Suatu tipe cangkang translasi yang istimewa ciptaan Salvadori banyak digunakan di Eropa. Cangkang paraboloida elastis dibuat dari bata berongga dan beton dengan penulangan ringan yang dipasang di atas cetakan dengan ukuran beberapa inci yang dapat dipindah-pindahkan. Bentuk mengikuti lengkungan dan cetakan dapat digeser-geser pada lengkungan kayu.



Cangkang dibuat dalam kerat-kerat yang merupakan lengkungan terpisah-pisah dengan penulangan. Kemudian seluruh permukaan bidang dicor beton sehingga menjadi monolit. Ini merupakan cangkang tipis yang telah dicoba, baik dengan pembebanan sebagian maupun pembebanan seluruh permukaan bidang. Tegangan lengkung pada tepi-tepi cangkang masuk sedikit ke dalam pada permukaan. Cangkang tidak bergerak keluar pada sisi tepinya karena tegangan-tegangan tadi dipikul oleh gaya geser tepi.

Kekokohan cangkang ini ternyata tinggi, dengan pembebanan 1,6 kg/m di atas permukaan bidang seluas 20 meter x 30 meter, puncaknya hanya melendut 3 milimeter. Perbandingan bentang terhadap lendut = 10.000 : 1

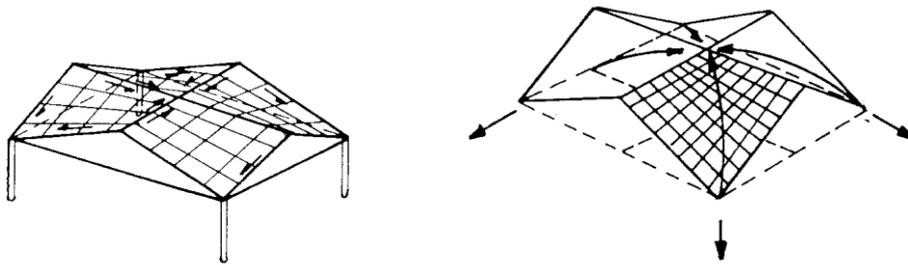
I. Aksi Cangkang Pelana

Cangkang pelana berbentuk paraboloida hiperbolik mempunyai tingkah laku yang tergantung dari aksi struktur terhadap kondisi pendukung. Permukaan ini adalah perpaduan antara bidang parabola yang melengkung kebawah dalam arah pendek dengan bidang parabola yang turun-naik dan mengecil-melebar di antara kedua ujung dalam arah memanjang. Apabila cangkang itu didukung oleh lengkungan parabola sebagai pengaku, maka penyaluran tegangan berjalan melalui tegangan geser pada pendukung.

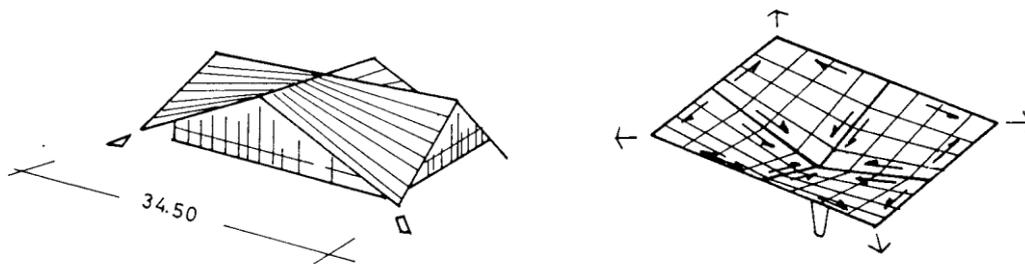
Hal ini mirip keadaan dalam barrel dengan perbedaan pada pelana bahwa bentuk parabola yang naik ke atas lebih menguntungkan terhadap lekuk. Pada waktu parabola yang menghadap ke bawah hendak memperpendek diri dibantu oleh parabola yang menekuk ke atas dengan tegangan tarik. Dan hal ini menstabilkan tegangan tekan.

Bentuk paraboloida hiperbolik yang keseluruhan sampai di tanah mempunyai garis potongan dengan bidang tanah empat buah, yaitu dua garis lurus dan dua garis atau satu set hiperbola.

Ada pula paraboloida hiperbolik yang didukung oleh dua pondasi dan ada yang didukung oleh empat pondasi. Pengaku ujung harus memikul gaya mendatar dan vertikal pada cangkang sebagai lengkungsan yang menggantung pada dua dan empat titik. Atap dapat dibuat dari kombinasi segmen-segmen berbentuk bidang paraboloida hiperbolik. Umumnya terdiri atas empat buah segmen, di sudut-sudut didukung oleh tiang. Dalam hal ini pengaku luar yang miring ke bawah dan pengaku dalam yang mendatar menderita tekanan akibat menumpulkan geser pada tepi-tepi segmen. Maka pada pengaku luar dipasang kabel tarik, sedangkan balok sebelah dalam arah mendatar dalam keadaan seimbang dengan adanya tekan yang ada di depannya pada setengah sisi keempat segmen.



Pada keempat sudut, aksi terhadap tiang-tiang hanya tekan dan pada tiap batang pengikat hanya tarik. Kombinasi segmen paraboloida hiperbolik dapat digunakan sebagai atap dengan satu tiang di tengah-tengah yang menyerupai payung. Dalam hal ini pengaku-pengaku sisi luar masing-masing tertarik oleh tumpuan geser dan tarik pada satu pengaku segmen mengadakan keseimbangan dengan pengaku segmen lainnya.



Sebelah dalam dari atap ada dalam keseimbangan oleh gaya-gaya tekan dari keempat sisi dalam keempat segmen, sedangkan pengaku luar segmen-segmen merupakan batang tarik. Berat pengaku tepi luar yang mendatar sebagian dipikul oleh cangkang dan ini menimbulkan tegangan lengkung.

Kombinasi yang tidak seimbang dari dua buah segmen paraboloida hiperbolik konoid dapat digunakan sebagai atap bilamana diperlukan cahaya alam dari atas belakang (untuk Eropa di sebelah utara, untuk Australia sebelah selatan). Rusuk-rusuk tepi yang miring akan melendut yang ditahan oleh batang tarik mendatar. Tetapi di ujung tepi lainnya terdapat dua gaya tekan yang berkumpul sepanjang sisi segmen. Dan ini menimbulkan momen lengkung. Dalam hal ini cangkang mengalami aksi lengkung dalam proyeksi datar. Jadi rusuk cangkang pada segmen yang miring mengalami tekan di bagian atas dan tarik di bagian bawah, akibat pembebanan yang terkumpul di bagian tengah atap.

Dua gaya tarik di tepi bawah cangkang mengimbangi beban terpusat dan hal ini sama keadaannya seperti dalam balok.

Paraboloida hiperbolik digunakan untuk atap yang tinggi, kadang-kadang hampir vertikal. Dalam hal ini tingkah lakunya berlainan sekali dengan atap yang agak mendatar atau seperti paraboloida yang melengkung rendah mirip burung layang-layang.

DAFTAR PUSTAKA

Sutrisno, R. Ir. Ars., IAI , Arsitektur Modern, PT. Gramedia, Jakarta, 1983.

Salvadari, Mario dan Matthys Levy, Struktur Dalam Arsitektur, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1992.