

## STRUKTUR MEMBRAN DALAM BANGUNAN BENTANG LEBAR

Sukawi

Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof Sudarto SH Tembalang Semarang 50131

### Abstrak

Membran adalah struktur permukaan fleksibel tipis yang memikul beban dengan mengalami tegangan tarik. Struktur membran adalah sebuah alternatif untuk struktur bentang lebar yang dapat diterapkan untuk penutup atap bangunan.

Dasar mekanisme pikul beban pada struktur membran adalah tarik. Membran yang memikul beban tegak lurus terhadap permukaannya dapat mengalami deformasi secara tiga dimensi (bergantung pada kondisi tumpuan dan pembebanannya). Aksi pikul beban ini serupa dengan yang terjadi pada sistem kabel menyilang. Selain tegangan tarik, terjadi juga tegangan geser tangensial pada struktur membran.

Sistem membran pada bangunan bentang lebar biasanya masih harus dibantu oleh struktur lainnya seperti kabel atau space frame, karena sistem membran bila terkena gaya dari angin maka harus ada daya tarik menuju tumpuan (pondasinya).

Sistem membran yang dipakai kebanyakan untuk bangunan skala besar harus mempertimbangkan bahan tenda dan arah angin. Tiang-tiang penyangga flaksibel terhadap gaya tekan oleh angin, hal ini menyebabkan tenda dapat terus berdiri.

**Kata Kunci :** Membran, Bangunan , Bentang lebar

### Abstract

The membrane is a thin flexible surface structures that bear the burden by having tensile stress. Membrane structure is an alternative to long span structures that can be applied to cover the roof of the building.

Basic mechanisms carry the load on the tensile membrane structures. Who bear the burden of membrane perpendicular to the surface can be deformed in three dimensions (depending on the pedestal and the assignment). Bear the burden of action is similar to what happened on cable systems intersect. In addition to tensile stress, there is also a tangential shear stress on membrane structure.

Membrane system in the long span buildings are still to be assisted by other structures such as cables or space frame, because the membrane system when exposed to the force of the wind there should be an appeal to the pedestal (the foundation).

Membrane system that is used mostly for large scale buildings should consider the tent material and wind direction. Supporting poles flaksibel against compression force by the wind, this caused the tent to keep standing.

**Keywords:** Membrane, Building, Span width

### Pendahuluan

Definisi struktur dalam konteks hubungannya dengan bangunan adalah sebagai sarana untuk menyalurkan beban dan akibat penggunaannya dan atau kehadiran bangunan ke dalam tanah (Schodeck, 1980). Terdapat lima golongan bentuk struktur (Sutrisno, 1983), yaitu struktur massa, struktur rangka, struktur permukaan bidang (struktur lipatan dan cangkang), struktur kabel dan boimorfik. Struktur membran terbagi menjadi dua yaitu struktur membran tenda dan struktur membran pneumatis.

Struktur tenda merupakan struktur yang menggunakan bidang tenda sebagai pembentuk ruang dengan tali sebagai elemen penarik dan perentang tenda. Tenda dan tali berfungsi sebagai penahan gaya tarikan. Perlu dukungan elemen lain yang akan menerima gaya desakan yaitu tiang atau pelengkung, yang bentuknya beragam sesuai dengan gaya tarik yang bekerja pada tali dan tenda.

### Struktur Membran Tenda

Struktur jaring merupakan struktur yang menggunakan jaring dari tali-tali/kabel-kabel sebagai struktur dan pembentuk ruang

dilengkapi dengan bahan penutup ruang (misal tekstil, kaca, fiber).(Salvadory 1986)

Jaring dan membrane tenda sebagai pembentuk ruang dengan tali sebagai elemen penarik dan perentang tenda.

Untuk struktur-struktur yang mendapat kestabilannya dari gaya-gaya prategang eksternal, penerapan prinsip desain yang mengharuskan tarik permukaan harus dipertahankan, pada umumnya mengandung arti bahwa gaya prategang harus besar dan atau kelengkungan pada permukaan harus dipertahankan besar. Daerah yang luas dan datar pada membran biasanya dihindari karena untuk ini dibutuhkan gaya prategang relatif besar untuk mempertahankan luas tersebut apabila beban nonnal bekerja padanya. Perlu diingat bahwa apabila *sag* kabel mendekati nol, maka gaya tarik kabel akan menjadi besar tak hingga. Sebaliknya, gaya prategang yang sangat besar diperlukan untuk mempertahankan kabel pada konfigurasi *sag* nol dibebani. Fenomena umum yang sama juga terjadi pada struktur kulit bertegangan.

Luasan datar harus dihindari dengan cara memperhatikan geometri eksak dari permukaan cangkang. Penggunaan model biasanya berguna untuk mempelajari hal tersebut pada taraf desain prarencana.

Besar gaya prategang yang diberikan untuk menstabilkan tidak boleh menyebabkan babkan tegangan membran melebihi kapasitas material yang digunakan untuk struktur berbentuk besar, biasanya membran terdiri atasjaring kabel baja berjarak dekat yang mampu memikul gaya prategang relatif besar.

Masalah desain yang kritis pada membran kulit bertegangan adalah kondisi tumpuan atau tepinya, penggunaan tumpuan titik, misalnya dapat menyebabkan terjadinya tegangan lokal yang sangat besar pada membran di titik pertemuan membran dan tumpuan. Ada syarat khusus yang perlu diperhatikan untuk mengatasi hal ini.

### **Struktur Membran Pneumatis**

Pneumatic Structure merupakan salah satu sistem struktur yang termasuk dalam kelompok Soft Shell. Structure yang memiliki ciri khas semua gaya yang terjadi pada membran-nya berupa gaya tarik. Pada

Pneumatic, gaya tarik terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara di dalam struktur pneumatic dengan tekanan udara diluar struktur ini. Pneumatic Structure dibagi dalam dua kelompok besar yaitu Air Insulated Structure dan Air Supported Structure. Dari kedua kelompok ini masing-masing dikembangkan dari sisi; olah bentuk yangbermacam-macam, fungsinya dalam sebuah bangunan, bahkan kini telah dikembangkan secara vertikal.

Pneumatic Structure pada mulanya hanya dikembangkan sebagai bidang penutup atap dan untuk bangunan berbentuk lebar, sekarang mulai dipikirkan untuk memikul beban lantai pada bangunan bertingkat sedang (*Medium Rise Building*). Mencermati perkembangan pneumatic structure sebagai sistem struktur yang memiliki bentuk dan sistem kerja yang khas ini, sangatlah menarik. Walaupun pengembangannya tidak secepat sistem struktur lain yang lebih sederhana, namun sistem struktur ini ternyata menarik perhatian untuk dikembangkan karena kekhasannya prinsip kerjanya dan bentuknya yang inovatif.

✚ Ada dua kelompok utama pada struktur pneumatis

a.) Struktur yang ditumpu udara (air supported structure)

*Air Suppoerted Structure* disebut juga *Single Membrane Structure* karena hanya menggunakan satu lapis membrane dan membutuhkan tekanan udara yang rendah (*Low Pressure System*). Ciri-ciri dari sistem *Air Supported Structure* ini adalah membutuhkan sedikit perbedaan tekanan udara untuk mengangkat membran-nya. Tekanan udara yang dibutuhkan sekitar 2-20 Psf (*pon per feet*) di atas tekanan atmosfer. Besarnya tekanan udara ini direncanakan berdasar kondisi angin, ukuran struktur, kedap udara (perembesan udara melalui membran, tipe dan jumlah jendela/pintu, dsb). Tekanan udara pada sistem ini mempunyai pengaruh terhadap geometri membran. Memperbesar radius kurvatur (lengkung) akan menambah kekuatan membran, pengurangan kekuatan membran (*membrane force*) dapat dilakukan dengan mereduksi kurvatur melalui penggunaan kabel atau kolom tarik. Pada

umumnya Air Supported Structure ini dirancang untuk dapat mengantisipasi pengaruh angin, mengingat beban angin paling besar pengaruhnya, maka sedapat mungkin gaya kritis angin harus diketahui untuk menentukan besaran tegangan membrane dan gaya pada angkutnya.

Berdasarkan perhitungan:  $T = (P1.R)/2$ , (dimana T = Tegangan pada membrane, P1 = Tekanan udara di dalam dan R = radius kurvatur), terjadi sebuah kontradiksi pemborosan, oleh karena itu didapat tinggi kubah optimum adalah: 20% terhadap bentang, bila tidak menggunakan struktur dasar yang kaku, dan 6% terhadap bentang, bila menggunakan struktur dasar yang kaku, untuk menahan gaya positif.

Sistem struktur ini membutuhkan angkur pengikat membran ke tanah dan membutuhkan sistem pencegah kebocoran. Air Supported Structure mampu mencapai bentang lebih besar dibandingkan dengan Air Inflated Structure.



Gambar 1. Struktur yang ditumpu udara (air supported structure)  
Sumber : Schodeck, 1980

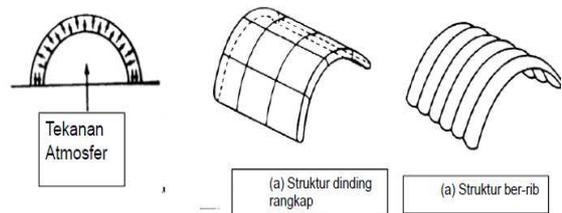
b.) Struktur yang digelembungkan udara (air inflated structure)

Air Inflated Structure disebut pula Double Membrane Structure dan membutuhkan tekanan udara yang lebih besar dibandingkan dengan Air Supported Structure sehingga sering disebut juga dengan nama High Pressure System. Tekanan udara pada sistem ini hanya diberikan pada strukturnya bulan pada space bangunannya, sehingga pemakai bangunan tidak berada dalam tekanan udara. Dari sebab itu sistem ini lebih bebas dipakai sebagai penutup space, karena tidak membutuhkan air lock dan peralatan lain agar struktur ini tetap berdiri.

Elemen dari sistem ini lebih berlaku sebagai elemen rigid (kaku), sehingga lebih

tahan terhadap tekuk maupun lendutan (momen) dibandingkan dengan sistem Air Supported Structure. Sistem struktur ini membutuhkan tekanan udara sebesar 2-100 Psi (0,2 – 7 Atm) besarnya sekitar 100 sampai 1000 kali dibandingkan sistem Air Supported Structure. Karena membutuhkan tekanan udara yang besar, maka dibutuhkan material membran yang kuat dan kedap udara.

Secara prinsip dapat digunakan untuk elemen batang (Tubular System) dan elemen bidang (Dual Wall System), Perilaku struktur dengan sistem ini sangat kompleks, sehingga sampai sekarang belum diketahui prosedur perancangan yang tepat.



Gambar 2. Struktur yang digelembungkan udara (air inflated structure)  
Sumber : Schodeck, 1980

1. Proteksi Terhadap Kebakaran

Satu hal sangat penting untuk diproteksi dari struktur pneumatik, selain kebocoran bidang membran yang mengakibatkan tekanan udara berkurang dan struktur tidak dapat bekerja dengan semestinya, adalah penanggulangan terhadap bahaya kebakaran. Hal yang harus perlu diperhatikan dalam pemikiran tentang bahaya kebakaran adalah sebagai berikut:

- Bahan dari membran terbuat dari bahan sintetik, thermoplastik alami dan memiliki titik lebur yang rendah. Semua bahan tersebut mudah terbakar.
- Kestabilan struktur pneumatik dipengaruhi oleh membran-nya yang harus selalu dalam keadaan kedap udara, terkontrol dan mendapat cukup tekanan udara sesuai kebutuhan
- Runtuhnya membran akan mengubah konfigurasi bentuk bangunan. Kebocoran udara dapat dihalangi dengan melokalisir keruntuhan. Penurunan ruang bebas bangunan dapat menambah konsentrasi asap

dari satu kasus kebakaran dengan konsekuensi penurunan jarak pandang dalam bangunan.

- Jalan masuk dan keluar untuk pemakai bangunan harus selalu dalam kondisi terkontrol dan terawat. Karena jalan ini merupakan jalan terpenting untuk mengevaluasi para pemakai bangunan.
- Tidak direncanakannya pintu darurat untuk keluar dengan sistem *air lock* dapat menambah jumlah lubang-lubang kebocoran pada membran dan mempercepat keruntuhan struktur ini.
- Sistem pencegah kebakaran aktif merupakan tindakan yang dapat mencegah keruntuhan yang parah dari struktur. Efektifitas proteksi dari sprinkler banyak dipengaruhi oleh perubahan geometri bangunan.

Dari pemahaman dasar tentang struktur pneumatik dari sisi bahan material pendukungnya, kelemahan-kelemahannya, maka perencanaan sistem pemadam kebakaran dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain:

- Memberi lapisan *Polyurethane foam*, untuk melapisi bidang-bidang membran sehingga tidak mudah terbakar oleh api.
- Pemilihan bahan membran yang memiliki titik lebur yang tinggi seperti; Campuran *Polyethylene* dan PVC memiliki titik lebur antara 100o – 150o C, *Polyethylene* 341oC dan *Polyvinyl chloride* 391oC
- Merencanakan penempatan sprinkler dan memberi partisi pelindung pada sisi di dalam bangunan dekat membran. Hal ini dapat dilihat melalui gambar berikut ini.

### Sejarah Struktur Membran

Insinyur Rusia Vladimir Sukhov adalah salah seorang yang pertama yang mengembangkan perhitungan praktis mengenai tegangan dan lendutan pada struktur lentur, shell dan membran. Shukhov mendesain dan merancang 8 struktur lentur dan aula pameran berstruktur cangkang tipis pada Nizhny Novgorod untuk gereja Colonia Guell. Dia menciptakan sebuah model lentur menggantung untuk menghitung kekuatan tekan dan untuk menentukan kolom dan geometri. (Salvadory 1986)

Konsep berikutnya kemudian dipelopori oleh arsitek sekaligus insinyur Jerman, Frei Otto, yang pertama kali menggunakan ide konstruksi tensil itu pada aula Jerman saat Expo 67 di Montreal. Otto kemudian menggunakan ide itu untuk atap Stadium Olympiade Munich tahun 1972.

Kemajuan teknologi yang statis telah meningkatkan Fair 1896 pada area seluas 27000 m<sup>2</sup>. Struktur tensil pertama yang menggunakan membrane secara luas yaitu Syney Myer Music Bowl, baru dibuat pada tahun 1958.

Antonio Gaudi menggunakan konsep kebalikannya popularitas struktur atap fabrikasi. Material yang ringan membuat konstruksi lebih murah dan mudah daripada desain standar, terutama ketika ruang terbuka harus tertutup.

### Penerapan Struktur Membran (Tenda) Dalam Arsitektur

Music Pavilion ini berlokasi di Sun Valley , Idaho , USA. Di bangun tahun 2008. Bangunan ini merupakan bangunan yang berfungsi sebagai Music Hall. Konsep bangunan ini terinspirasi oleh tatanan alam dan berfungsi sebagai tempat berkumpul suatu komunitas tertentu dalam sebuah acara. Pemandangan gunung dan hamparan langit yang luas, menjadi focal point dari bangunan tersebut. View buatan yang ada di sekitarnya merupakan taman berkontur seperti sebuah amphitheatre. Hal ini memberikan stimulus bagi pengunjung yang datang untuk bersantai dengan keranjang piknik dan menikmati musik orchestra.

Struktur bangunan terdiri dari struktur yang permanent dan non permanent. Struktur permanent pada bangunan ini terletak pada bagian panggung, dan fasilitas penunjangnya. Struktur non permanent terletak pada atap bagian depan yang terbuat dari membrane. Pada musim dingin, atap ini tidak di fungsikan, sedangkan pada musim panas, atap berfungsi untuk menaungi pavilion. Kombinasi antara struktur permanent dan non permanent memberikan satu keunikan tersendiri dari bangunan ini.



*pneumatik* jarang dipakai pada bangunan rendah dan sedang karena membutuhkan tekanan udara yang menyulitkan dalam aplikasi.

Sistem membran pada bangunan bentang lebar biasanya masih harus dibantu oleh struktur *kabel* atau struktur *space frame*, karena sistem membran bila terkena gaya dari angin maka harus ada daya tarik menuju tumpuan(pondasinya). Oleh karena itu kabel berfungsi sebagai penyalur beban, namun untuk struktur membran (tenda) murni maka gaya akan disalurkan langsung ketumpuan(patok) tanpa bantuan kabel sebagai penyalur. Contoh pada kemah-kemah kecil dengan bentang kecil.

Sistem membran yang dipakai kebanyakan untuk bangunan skala besar harus mempertimbangkan bahan tenda dan arah angin. Tiang-tiang penyangga flaksibel terhadap gaya tekan oleh angin, hal ini menyebabkan tenda dapat terus berdiri. Tiap gaya yang terjadi pada jaring(tenda) akan disalurkan ke kabel-kabel silang di bagian bawah jaring yang kemudian disalurkan menuju tiang dan disalurkan ke kabel dan tanah. Pada bagian tertentu ada pula gaya yang langsung disalurkan menuju kabel dan tanah tanpa melalui tiang penyangga.

### Daftar Pustaka

Schodeck, Daniel L; 1980, Structure, USA Prantise Hall- Inc

Sutrisno, R; 1983, Bentuk Struktur Bangunan Dalam Arsitektur Modern, Gramedia, Jakarta

Salvadori, Mario, M. Levy, 1986, Desain Struktur Dalam Arsitektur (Terjemahan), Erlangga, Jakarta

[www.greatbuildings.com](http://www.greatbuildings.com)

[www.arcspace.com/architects/shigeru\\_ban/metz\\_index.html](http://www.arcspace.com/architects/shigeru_ban/metz_index.html)

[www.building.co.uk/story.asp?storycode=1000620](http://www.building.co.uk/story.asp?storycode=1000620)

[www.designboom.com/contemporary/metz\\_p.html](http://www.designboom.com/contemporary/metz_p.html)

[www.designbuild-network.com/projects/centre\\_pompidou/](http://www.designbuild-network.com/projects/centre_pompidou/)