

## PERKEMBANGAN STRUKTUR PNEUMATIK MEMPERKAYA DISAIN ARSITEKTUR

LMF. Purwanto

Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Arsitektur – Universitas Katolik Soegijapranata Semarang

### ABSTRAK

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 yang bermacam-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.

**Kata kunci:** struktur pneumatik, desain dan aplikasi.

### ABSTRACT

*Pneumatic Structure is one of the structural system in the Soft Shell Structure. The main characteristic of this structure is that all the forces occurred in the membrane are in the form of tensile strength. In the Pneumatic, the tensile strength Occurs because of the air pressure inside the pneumatic structure is different from the one outside this structure. Pneumatic structure is classified into two major groups, Air Inflated Structure and Air Supported Structure. Each of this group is developed from the side, the various shaping, the functions, even recently is has been developed vertically.*

*At the beginning, Pneumatic structure was merely developed as the roof covering, and for the horizontal-span structure it has been used to support the floor in the Medium Rise Building? Multy Story Building.*

*It is interesting to pay close attention to the development of pneumatic structure as the structural system which has typical shapes and working systems. This progress is not as fast as the other simple structures, however this structure is appealing to be developed due to its typical working principles and innovative shape.*

**Keywords:** *pneumatic structure, design and application.*

### PENDAHULUAN

Sistem Struktur yang ada pada akhir dasa warsa ini semakin menunjukkan perkembangan yang pesat. Sistem struktur yang inovatif menciptakan kekayaan desain bagi dunia arsitektur. Keragaman bentuk struktur tidak hanya pada sisi olah bentuknya saja, melainkan juga keragaman sistem bekerjanya struktur tersebut. Heino Engel dalam bukunya *Structure Systems* mengelompokkan struktur dalam 5 kelompok besar berdasarkan kesamaan cara bekerjanya dari masing-masing sistem struktur.

Salah satu struktur yang unik untuk dicermati adalah *Pneumatic Structure*, karena

sistem struktur ini memanfaatkan gaya tarik, namun berusaha menentang 'hukum alam' dari bentuk struktur yang memanfaatkan gaya tarik ini. Semua struktur yang memanfaatkan gaya tarik akan membentuk bentuk dasar dan primer berupa garis lengkung atau parabola yang membuka ke atas. Hal ini disebabkan bahan dari struktur yang memanfaatkan gaya tarik adalah lentur dan lemas, sehingga akan membuat garis lengkung atau parabola yang membuka ke atas. Hal ini disebabkan bahan dari struktur yang memanfaatkan gaya tarik adalah lentur dan lemas, sehingga akan membuat garis lengkung membuka ke atas (seperti kalung). Namun pneumatik ingin membentuk satu bentuk dasar

berupa garis lengkung yang membuka ke bawah. Bentuk ini diilhami oleh bentuk *shell*, sedangkan shell banyak memanfaatkan gaya tekan. Sisi usaha membuat bentuk yang menentang 'hukum alam' ini dilakukan dengan menciptakan semacam *shell* yang ditiup. Tekanan udara di dalam diterima oleh membrane penutup dan bidang membrane ini menegang dan menderita gaya tarik. Maka tidak berlebihan jika ada yang mengelompokkan pneumatik ini dalam *Soft Shell Structure*. Tentunya bentuk struktur pneumatik ini banyak memiliki kelemahan yang terus menerus disempurnakan. Problem terbesar dari sistem ini adalah kebocoran udara yang ada didalamnya. Bahan pembuatnya diperbaiki terus dan diusahakan cara-cara penanggulangannya.

Pada akhir-akhir ini pneumatik dikembangkan untuk menahan beban secara vertikal. Baik dia sebagai penerima beban langsung maupun tidak langsung. Perkembangan desain dari struktur pneumatik dapat dikatakan sangat cepat, walaupun secara sepintas merupakan sistem struktur yang kelihatan lemah, penuh resiko dan banyak kelemahannya, namun pengembangan fungsi dan bentuk terus diupayakan. Hal inilah yang menarik untuk dicermati dan diambil satu pengamatan yang mendalam untuk olah inovasi di bidang arsitektur.

## METODA

Beberapa pengamatan literatur, baik pemahaman dasar-dasar Pneumatic Structure maupun bentuk-bentuk pengembangannya, digunakan untuk dasar diskripsi umum. Pengamatan yang lebih mendalam dari struktur advance pneumatik didapat dari sebuah riset doctoral di Department of Architectural Science di University of Sydney, Australia yang dilakukan oleh Henry J. Cowan dan Jens G. Pohl dari University of New South Wales. Struktur pneumatik ini dikembangkan ke arah vertikal, untuk bangunan bertingkat menengah (*Medium Rise Building*). Dengan studi literatur dari beberapa buku ini akan digambarkan perjalanan struktur pneumatik dan kemungkinan-kemungkinan pengembangannya.

## AIR SUPPORTED STRUCTURE

*Air Supported 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, kedekatan 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
- 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*.

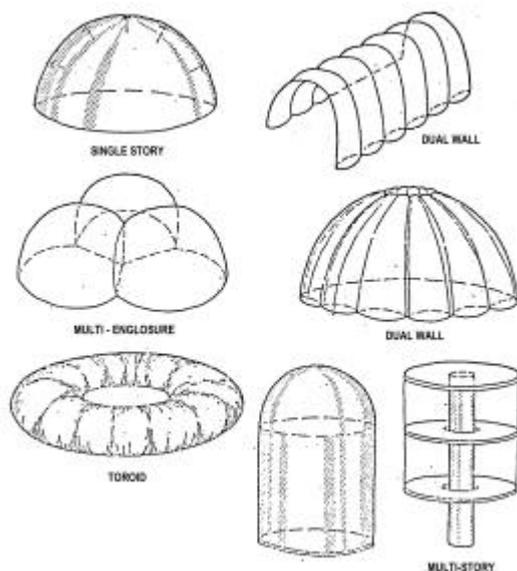
## AIR INFLATED STRUCTURE

*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.

### DISAIN STRUKTURAL DAN PERMASALAHAN KONSTRUKSI

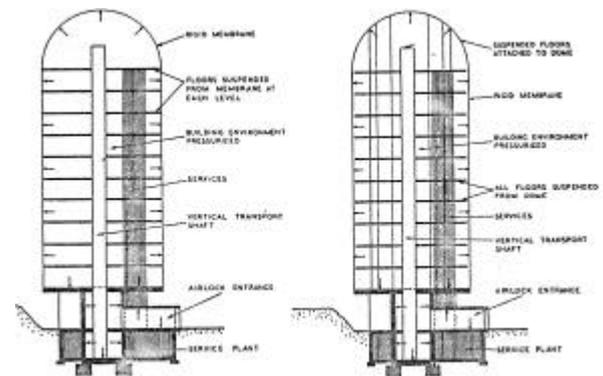
Pneumatik adalah sebuah sistem struktur yang memiliki bentuk yang unik. Sistem struktur ini dapat dikembangkan pada bentuk, fungsi maupun bentang dan ketinggiannya. Pengembangan desain struktur pneumatik ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 1. Macam Desain Struktural Pneumatik**  
 Sumber: International Symposium, [n.d], International Symposium on Air Supported Structures, Milano, [n.n], p. 296.

Perkembangan desain bentuk semakin inovatif, demikian pula dari sisi fungsi. Hal yang menarik untuk dicermati adalah penggunaan pneumatik untuk bangunan *multy-story*. Pneumatik direncanakan untuk mampu menahan beban, baik sebagai dinding pemikul maupun

sebagai bidang penggantung yang menerima beban tarikan yang sangat berat. Pneumatik untuk bangunan *multy-story* ini dibagi dalam dua sistem juga, yaitu *Air Supported Structure* dan *Air Inflated Structure*. Pada bangunan dengan menggunakan sistem *Air Supported Structure* ini, ruang di dalam bangunan yang digunakan untuk aktifitas pengguna bangunan diberi tekanan udara. Semua sisi bidang membran dimanfaatkan pula untuk memikul dan menerima gaya tarik untuk menahan berat lantai. Pada sistem *rigid, membrane building with built in floor system* (gambar 2.a.) membran pada sisi vertikal memikul beban lantai bangunan. Semua sisi vertikal membran akan menegang dan direncanakan mampu memikul beban. Sedangkan pada sistem *rigid, membrane building with suspended floor system* (gambar 2.b), bidang atap dimanfaatkan pula sebagai penerima/penggantung kabel yang menahan beban lantai. Lantai digantung dengan menggunakan kabel (*suspended system*). Kedua sistem ini diuji coba dengan menggunakan maket, memiliki kelemahan berupa besarnya beban yang dipikul oleh membran sangat tinggi sehingga dinilai tidak efisien bagi penentuan bahan membran.

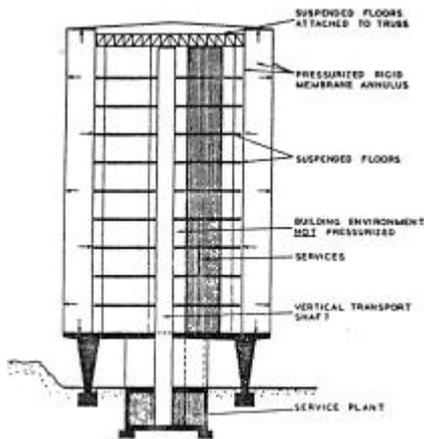


**Gambar 2. Multy Story Air Supported Building Construction**

Sumber: Cowan, Henry J. and Pohl, J. G. 1972, Multy Story Air Supported Building Construction, Sydney, Build International, March/April Edition, p. 17.

Perkembangan berikutnya dipikirkan menggunakan sistem *Air Inflated Structure*. Dengan memanfaatkan sisi luar berupa tabung dan bidang pemikul, maka struktur pneumatik digunakan dengan mengangkat bidang atap yang dapat direncanakan menggunakan konstruksi baja maupun plat lainnya. Bidang atap ini sendiri yang kemudian dimanfaatkan untuk menerima beban lantai. Lantai digantung (*suspended structure*) pada bidang atap tersebut. Dengan tekanan udara yang tinggi, maka sistem ini

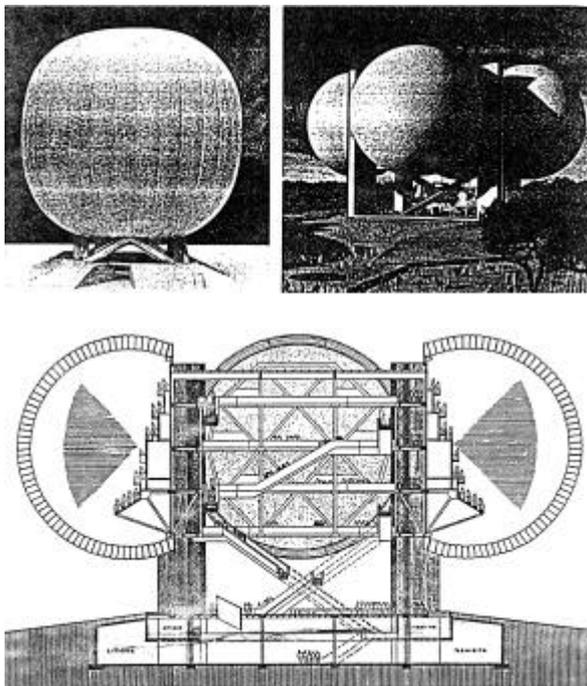
dinilai lebih efektif dan dapat secara optimal mengangkat beban maupun menahan beban lateral.



**Gambar 3. Multy Story Air Inflated Building Construction**

Sumber: Cowan, Henry J and Pohl, J. G., 1972, Multy Story Air Supported Building Construction, Sydney, Build International, March/April Edition, p. 117.

Membayangkan perkembangan ide kreatif dari disain pneumatik ini, seakan kita dibawa pada sebuah dunia penuh imajinatif. Seakan pula kita dibawa dalam alam dongeng fiksi ilmiah yang banyak berkembang akhir-akhir ini. Sebagai contoh usulan desain untuk USA Pavilion.



**Gambar 4. Usulan Desain USA Pavilion**

Sumber: Dent, Roger N, 1971, Principles of Pneumatic Architecture, London, The Architectural Press, p. 208.

Pneumatik seakan merangsang ide-ide yang imajinatif. Hal yang tidak mungkin dilakukan oleh struktur lain, dapat dilakukan oleh pneumatik ini. Sebagai contoh, bentuk adanya gelembung atau bidang yang besar di tumpu pada sebuah kolom yang ukuran perbandingannya lebih kecil dari bidang bebannya. Tidaklah mungkin dilakukan oleh struktur-struktur yang lain, tetapi hal ini dapat dengan mudah dilakukan oleh desain pneumatik. Tidak berlebihan kiranya jika pneumatik dikatakan sebagai sebuah sistem struktur yang banyak menentang 'hukum alam'. Distribusi gaya, hukum gaya tarik, faktor tekuk, dapat dengan mudah di abaikan karena sistem struktur ini cenderung lebih ringan dibanding struktur lainnya.

### PROTEKSI TERHADAP KEBAKARAN

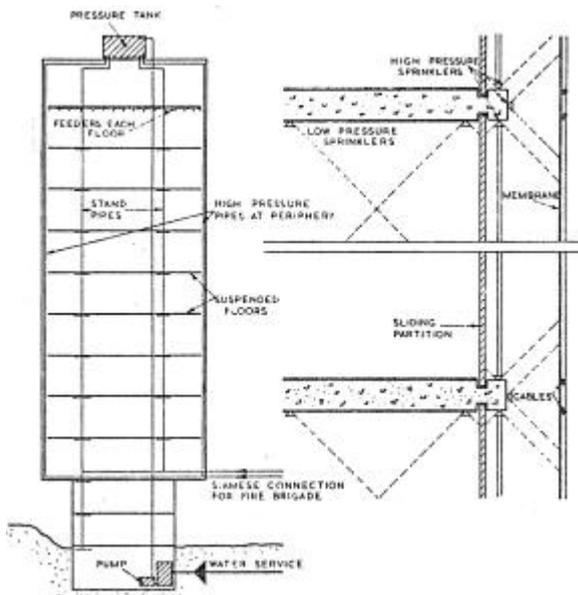
Satu hal sangat penting untuk diproteksi dari struktur pneumatik, selain kebocoran bidang membran yang mengakibatkan tekanan udara berkurang dan struktur tidak dapat bekerja dengan semestinya, adalah penanggulangan terhadap bahaya kebakaran. Hal yang harus perlu diperhatikan dalam pemikiran tentang bahaya 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  $100^{\circ} - 150^{\circ} C$ , *Polyethylene*  $341^{\circ}C$  dan *Polyvinyl chloride*  $391^{\circ}C$
- Merencanakan penempatan sprinkler dan memberi partisi pelindung pada sisi di dalam bangunan dekat membran. Hal ini dapat dilihat melalui gambar berikut ini.



**Gambar 5. Sistem Pengaman Terhadap Kebakaran dengan Spinkler**

Sumber: Cowan, Henry J and Pohl, J. G., 1972, *Multy Story Air Supported Building Construction*, Sydney, Build International, March/April Edition, p. 117.

Dalam kasus kebakaran tertentu, efektivitas dari sistem proteksi pencegah kebakaran sangat memegang peranan penting. Perencanaan pola penempatan harus sedemikian rupa, tidak hanya melindungi pemakai bangunan dan barang-barang yang ada di dalam bangunan, namun juga untuk melindungi struktur bangunan adalah hal yang sangat penting. Melindungi struktur

bangunan, bahkan merupakan hal yang perlu diutamakan, mengingat struktur ini sangat rentan terhadap kebakaran yang mengakibatkan kebocoran udara yang merupakan pendukung utama dari struktur pneumatik.

## KEMUNGKINAN PENERAPAN DAN PENGEMBANGAN PNEUMATIK DI INDONESIA

Dalam hal ini, Struktur Pneumatik dapat pula dikembangkan disemua tempat di dunia ini, termasuk di Indonesia. Namun perlu satu kajian kelayakan tertentu untuk mengetahui keuntungan dan kerugian, kemungkinan dan faktor penghambat, dan sebagainya. Sehingga keberadaannya dapat dinilai layak atau masih menunggu kurun waktu tertentu untuk layak diadakan.

Faktor yang memungkinkan untuk dikembangkan di Indonesia antara lain:

- Pengembangan dan riset keilmuan dapat dilakukan, sejauh hal tersebut benar-benar memiliki manfaat, baik secara teori, akademisi maupun praktek di lapangan.
- Kondisi iklim di Indonesia, terutama masalah angin, bukanlah masalah yang berarti dan dapat dipastikan dengan perhitungan tekanan udara di dalam struktur pneumatik.
- Struktur pneumatik dapat dijadikan satu alternatif bentuk disain bangunan yang inovatif.
- Telah ada arsitek Indonesia (Ir. Henriza, MT) yang memenangkan lomba disain pneumatik di Jepang. Hal ini berarti telah adanya tenaga-tenaga handal yang memahami tentang struktur pneumatik di Indonesia.
- Bentuk struktur pneumatik dapat diperkaya kasanah ide iamajinatif disain arsitektur di Indonesia.
- Struktur pneumatik telah dikenalkan dalam bangunan komersial non permanen dalam pertunjukan tertentu (pada saat demam *Jurasic Park*, ada satu 'bangunan' berbentuk Dinosaurus yang dapat dimasuki pengunjung, dengan memanfaatkan struktur pneumatik *Air Supported Struktur*).

Namun disisi lain, ada hal-hal yang masih perlu dipertimbangkan untuk penggunaan struktur Pneumatik ini, antara lain:

- Perilaku, kondisi sosial dan budaya masyarakat Indonesia perlu ditingkatkan,

berkaitan dengan menjaga dan memelihara bangunan. Yang dikhawatirkan di Indonesia, bukannya adanya usaha sabotase, namun keisengan masyarakat dalam memandang dan memerlukan bangun/fasilitas umum. Kerusakan bangunan akibat keisengan masyarakat telah banyak dijumpai, seperti perusakan telepon umum, pencoret-coretan dinding, dsb, sedangkan struktur Pneumatik adalah struktur yang riskan terhadap hal-hal tersebut.

- Masyarakat Indonesia, terutama pemilik bangunan, kebanyakan memiliki sifat, lebih mudah membangun daripada merawat bangunannya. Kerusakan-kerusakan kecil atau kebocoran kecil pada struktur Pneumatik akan sangat berbahaya jika tidak ditangani secara serius dan dini.

Tetapi bagaimanapun juga, pengenalan bangunan dengan struktur baru perlu sesegera mungkin dilakukan dan diterapkan di Indonesia, apakah hal tersebut dimulai dari bangunan yang bersifat percobaan (maket/mock up) maupun bangunan non permanen (insidental). Hal ini akan secara positif membantu masyarakat untuk belajar pada satu kondisi, bentuk, perilaku ataupun peradaban baru, yang diajarkan melalui tampilan visual suatu benda.

## PENUTUP

Perkembangan teknologi bahan bangunan dan sisten struktur, merangsang kreatifitas yang tidak pernah berhenti sepanjang masa. Struktur pneumatik merupakan salah satu contohnya, yang tidak hanya berhenti pada olah bentuk secara horisontal, melainkan telah dimungkinkan untuk dikembangkan ke arah vertikal. Oleh sebab itu, kemajuan teknologi ini harus diimbangi pula oleh pemahaman yang benar dari semua sistem struktur, baik secara mendasar maupun aplikasinya yang inovatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cook, Jeffrey, *Seeking Structure From Nature, The Organic Architecture of Hongary* Basel, Birkhäuser. 1996.
- Cowan, Henry J and Pohl, J. G., *Multy Story Air Supported Building Construction*, Sydney, Build International, March/April Edition. 1972.

Dent, Roger N., *Principle of Pneumatic Architecture*, London, The Architectural Press Eekhout, Mick, [n.d], *Tubular Structures in Architecture*, Delft, TU Delft. 1971.

Firt, Vladimir, *Statics, Formfinding and Dynamics of Air-upported Membrane Structures*, Netherland, Martinus Nijhoff Publishers. 1983.

Frick, Heinz dan Purwanto, LMF, *Sistem Bentuk Struktur Bangunan, Dasar-Dasar Konstruksi Dalam Arsitektur*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta. 1998.

International Symposium, [n.d], *International Symposium on Air Supported Structures*, [n.p], [n.n].

Leder, Gerhard, *Hochbaukonstruktionen, Band I: Tragwerke*, Berlin, Springer-Verlag Patnaik, S.N and Srivastava, N.K., [n.d], *Optimum Design of Pneumatic Structures*, in *International Symposium on Air Supported Structures*, [n.p], [n.n]. 1985,

Schueller, Wolfgang, *Horizontal-Span Building Structures*, New York, John Wiley & Sons, Inc. 1983.