

# Perhitungan Beban Angin Komponen Air RIB pada Struktur Pneumatik yang Digelembungkan Udara

## *Wind Load Calculation of Air RIB Component in Air Inflated Pneumatic Structure*

Salmon Priaji Martana

Program Studi Arsitektur, Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipati Ukur 110, Bandung 40132

Email: [ketuapt@unikom.ac.id](mailto:ketuapt@unikom.ac.id)

**Abstrak** – Seiring perkembangan teknologi, dewasa ini di Indonesia telah banyak ditemui bangun pneumatik sederhana menggunakan prinsip balon yang mawujud dalam penggunaan struktur digelembungkan udara. Walaupun masih lebih sering difungsikan sebagai sarana bangunan promosi produk, sistem ini potensial untuk dikembangkan, dirangkai antar komponen menjadi shelter cepat bangun yang sangat berguna untuk mawadahi berbagai keperluan temporer yang mendesak. Meski sudah banyak diproduksi, sistem ini tidak banyak dikaji kemampuannya menghadapi musuh terbesarnya, beban angin. Penelitian ini bertujuan memaparkan dengan simulasi matematis perhitungan beban angin yang mungkin terjadi pada komponen struktur air inflated berbentuk rib yang dirangkai menjadi suatu kesatuan. Dengan mengetahui beban angin yang diperoleh akan memungkinkan penentuan sistem tumpuan struktur yang digunakan untuk melawan besaran gaya angin yang menerpa bangunan.

**Kata kunci** : pneumatic structure, air rib, wind load

**Abstract** – Simple pneumatic building structure has been found more often in Indonesia, along with the development of technology using the principle of balloons that manifest in the use of air inflated structures. Although still more often functioned as a means of promotional device, this system is potential to be developed into a quick build shelter useful to accommodate various urgent temporary needs. Although already widely produced, it is still rare to find the study of its ability to face the biggest enemy of lightweight structures; the wind load. This study aims to describe by mathematical simulation a wind load that may occur on the component of the rib-shaped inflated structure assembled into a unity. Knowing the measurement of wind loads will enable one to determine the base and foundation system to fight the external force.

**Keyword** : pneumatic structure, air rib, wind load

### I. PENDAHULUAN

Pada dasarnya, struktur pneumatik –baik yang digelembungkan udara maupun yang ditumpu udara– adalah jenis struktur membran tipis yang distabilkan oleh tekanan internal zat cair atau gas yang berada di dalamnya. Kata pneumatik berasal dari kata Yunani pneuma yang berarti "bernafas dengan udara". Keunikan dari struktur pneumatik adalah menjadikan udara yang tersedia dalam jumlah berlimpah di sekeliling sebagai elemen struktur yang terintegrasi.

Salah satu bentuk struktur pneumatik yang sering terlihat adalah struktur air rib yang sebenarnya merupakan balon tabung yang dibentuk melengkung dan dibuat kaku dengan tekanan udara internal pada tingkat tertentu. Struktur semacam ini manakala dijejerkkan dalam jumlah banyak dengan jarak rapat akan membentuk sebuah shelter temporer yang dapat dimanfaatkan berbagai kepentingan. Bisa digunakan sebagai penampungan sementara pengungsi [1] sebagaimana sering terjadi di Indonesia, atau pun sebagai peneduh bagi panggung konser musik.

Sejauh ini pengembangan ke arah jejeran majemuk struktur jenis ini belum banyak dilakukan. Padahal, kemungkinannya terbuka lebar karena produksi sudah bisa dilakukan di tanah air [2].



Gambar 1. Penggunaan terkini struktur air inflated

Yang harus dicermati hanya beban angin, “musuh” utama dari struktur ringan ini. Gaya angin melahirkan perbedaan pemahaman pula bahwa pada struktur ringan seperti air inflated ini, gaya yang harus ditanggung selain geser adalah angkat. Berbeda dengan gaya pada bangunan konvensional yang mengarah ke bawah. Dengan demikian basis pondasi yang diperlukan justru adalah yang mampu melawan gaya angkat, baik dengan beban sendiri maupun dengan kemampuan berpegang pada tanah. Masalah utama yang dipotret oleh penelitian ini adalah belum jelasnya perhitungan beban angin yang harus diwadahi oleh pengembangan struktur semacam ini. Perhitungan yang melibatkan beban tarik membutuhkan pendekatan yang berbeda dengan konstruksi konvensional pada umumnya.

Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah melakukan simulasi perhitungan matematis yang kemudian akan memetakan beban-beban yang terjadi pada bangunan, mengkonversinya menjadi tanggungan beban pada tumpuan struktur yang dapat digunakan untuk penentuan sistem dan tipe pondasi saat bangunan didirikan dengan berbagai variasinya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu keunggulan sistem struktur pneumatik tergelembungkan udara adalah tekanan udara pada sistem hanya diberikan pada strukturnya, bukan pada ruang publik sehingga pemakai bangunan tidak berada dalam tekanan udara. Sistem ini lebih bebas dipakai sebagai penutup space, karena tidak membutuhkan air lock dan peralatan lain agar struktur ini tetap berdiri [4]

Sistem pneumatik tekanan tinggi (*air inflated structure*) seperti sistem rib pada penelitian ini sering dikategorikan sebagai struktur tabung karena umumnya berbentuk dasar tabung [1]. Fungsi yang diemban bervariasi namun umumnya mewakili struktur konvensional seperti

- Balok
- Arch
- Grid
- Shell

Oleh sebab penggolongan tersebut struktur pneumatik tekanan tinggi ini lebih sering digolongkan ke dalam struktur rigid.

Schodek [3] mendasarkan jenis-jenis struktur pneumatik tekanan tinggi yang paling sering digunakan orang, membaginya menjadi dua kategori:

- Struktur pneumatik dinding rangkap (*air mattress*). Terdiri atas membran sejajar yang digabungkan menjadi satu.
- Struktur rib (*inflated tube*), terdiri atas sederetan tabung yang digelembungkan. Tabung-tabung ini dapat dirangkai menjadi satu sekaligus langsung sebagai penutup atap, ada pula yang digunakan sebagai rangka bagi penutup atap lainnya. Tekanan udara pada struktur jenis ini menunjang dua kepentingan, pertama-tama memberi bentuk kepada struktur, kemudian mengimbangi beban-beban eksternal.

Dibandingkan dengan struktur penahan beban melintang yang lain (beton, baja) struktur pneumatik tekanan tinggi memiliki efisiensi yang lebih rendah. Oleh karena itu penggunaannya biasanya untuk alasan-alasan yang sangat tertentu seperti:

- Kemudahan dalam proses ereksi.
- Kemudahan dalam proses bongkar pasang.
- Bobot yang ringan.
- Volume yang kecil, mudah dalam transportasi (saat Kempis).

Berdasarkan pola elemen dan sistem sambungan, Herzog [5] membuat matriks yang membantu perancang untuk memilih kategori bentuk struktur seperti terlihat pada Gambar 2. Pilihan bentuk yang digunakan pada penelitian ini adalah bagian *Da*, *Discontinuous arched*.

high pressure systems			
	S single elements	D discontinuous	C continuous
s straight	Ss 	Ds 	Cs 
b buckled	Sb 	Db 	Cb 
a arched	Se 	De 	Ce 

Gambar 2. Segmen Bangunan

## III. PEMBAHASAN

Studi kasus yang ditinjau adalah bangunan shelter serba guna yang dapat difungsikan sebagai naungan panggung tempat penampungan sementara pengungsi atau fungsi sejenis, berjarak bentang 16 m hingga 20 m. Luas cakupan tidak terbatas, bisa ditambahkan jika ada tuntutan dengan memasang komponen tambahan pada arah memanjangnya. Namun demikian, dalam penelitian ini luas cakupan dibatasi 18 \* 9 m.

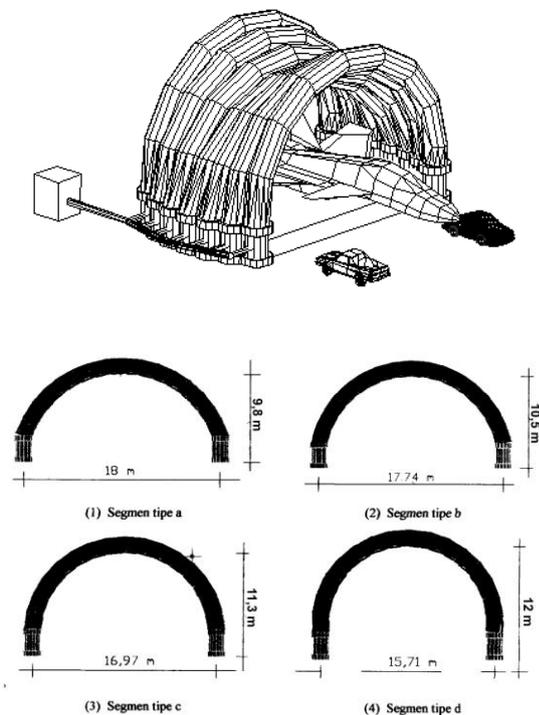
Adapun kriteria yang harus dipenuhi oleh bangunan meliputi:

- Kemudahan dan kecepatan dalam ereksi.
- Mampu menaungi area yang luas.
- Dapat dibongkar pasang dengan cepat.
- Bobot yang ringan.
- Mobilitas dalam transportasi.
- Ketahanan menghadapi gaya-gaya luar.
- Keamanan pengguna bangunan.

Bentuk struktur secara parsial merupakan tabung lengkung (*arch tube*) yang kedua ujungnya bertumpu pada tanah. Bentuk ini merupakan bentuk yang sangat sederhana namun cukup efektif dalam menanggulangi gaya-gaya luar dalam penyaluran bebannya, khususnya gaya angin yang akan banyak sekali mempengaruhi struktur akibat bobotnya yang ringan.

Untuk mendapatkan covered area yang diinginkan, tabung yang merupakan bentuk dasar ini dijejerkan dalam jumlah tertentu sehingga membentuk lebar bangunan.

Penampang dari tiap tabung dibuat berdiameter 1,6 m dengan ketinggian ssgmen (jari-jari kelengkungan) yang berbeda untuk mengantisipasi beban tekanan angin serta fungsi rencana yang akan diwadahi. Untuk lebih jelasnya bentuk dan ukuran segmen-segmen tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Bentuk dan segmentasi komponen**

Dikarenakan sistem pneumatik yang digelembungkan udara memiliki tekanan udara yang mencapai 100 hingga 1.000 kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan sistem yang didukung udara, bahan dasar membran beserta lapisan (*coating*) yang digunakan juga berbeda untuk menyokong kekuatannya.

Untuk membentuk segmen tabung ini digunakan fiberglass fabric dengan teflon sebagai lapisannya. Bahan teflon termasuk *incombustible* sehingga lebih aman terhadap bahaya api, lebih tahan lama dan tidak memerlukan pembersihan karena sifatnya yang tidak menempeli debu, sehingga cocok untuk dibongkar pasang dan dipindahkan dalam kekerapan yang tinggi. Data teknis bahan ; berat 0,54 kg/m<sup>2</sup>, tebal 0,97 mm dan kekuatan tarik maksimal 715 kp/5 cm [6].

Dengan data di atas dapat dihitung berat sendiri dari membran pada tiap segmen:

Segmen tipe a	144	m <sup>2</sup> * 0,54 kg =	78 kg
Segmen tipe b	127	m <sup>2</sup> * 0,54 kg =	67 kg
Segmen tipe c	133	m <sup>2</sup> * 0,54 kg =	72 kg
Segmen tipe d	158	m <sup>2</sup> * 0,54 kg =	85 kg

Bangunan dalam bahasan ini akan menggunakan dua buah segmen tipe b, c dan d sementara segmen tipe a ditempatkan di tengah-tengah sehingga berat sendiri membran untuk bangunan seluas 160 m<sup>2</sup> ini = 78 kg + (2 \* 67 kg) + (2 \* 72 kg) + (2 \* 85 kg) = 526 kg.

Karena sisi ini terbagi atas beberapa segmen, maka perhitungan angin pun dilakukan per segmen. Untuk itu berikut ini akan ditinjau beban angin mulai dari beban angin yang terjadi pada segmen tipe a hingga d.

Kecepatan angin rencana ditentukan dari observasi empiris pada daerah yang akan dibangun. Biasanya ditetapkan perperiode, antara 1 hingga 50 tahun [6]. Kecepatan angin untuk daerah pantai umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan di perkotaan, dapat mencapai 53 m/detik. Untuk hitungan kecepatan angin yang harus ditanggung oleh bangunan ini digunakan standar minimum negara Jepang untuk bangunan berstruktur pneumatik, yaitu 35 m/detik [5].

Perhitungan dilakukan pertama pada segmen tipe a, tekanan statis angin dengan formula (1):

$$q = \frac{Ve^2}{16} \sqrt[4]{(h/10)}$$

Ve = kecepatan angin (ditetapkan 35 m/detik)

h = tinggi bangunan.

$$q = \frac{1225 * 0,92}{16} = 70,77 \text{ kg/m}^2$$

Diketahui untuk bentuk bangunan setengah silinder, koefisien drag = 1,4 dikalikan tinggi bangunan dibagi lebar bentangan, sementara koefisien lift = -0,7 dikurangi tinggi bangunan dibagi lebar bentangan .

Dari rumusan ini diperoleh

$$Clift = -0,7 - (7,3/18) = -1,11$$

$$Cdrag = 1,4 * (7,3/18) = 0,57$$

Gaya reaktif struktur untuk melawan gaya angin hisap (*lift*) dan geser (*drag*) yang terjadi pada segmen ini dihitung dengan formula (2)

$$F = Cn.q.A$$

di mana

$C_n$  = koefisien drag atau lift.

$A$  = luas proyeksi penampang bangunan terhadap arah angin

$$F_{lift} = -1,11 * 70,77 * 11,68 = -917,52 \text{ kg.}$$

$$F_{drag} = 0,57 * 70,77 * 11,68 = 471,16 \text{ kg.}$$

Dengan cara serupa, perhitungan dilakukan pula pada ketiga segmen yang lain secara terpisah. Hasilnya seperti terlihat berikut ini.

SEGMENT TIPE "b"

$$q = \frac{1225}{16} * 0,95$$

$$= 72,41 \text{ kg/m}^2$$

$$C_l = -0,7 - (8/17,74) = -1,15$$

$$C_d = 1,4 * (8/17,74) = 0,63$$

$$F_{lift} = -1,15 * 72,41 * 12,8 = -1.065,9 \text{ kg.}$$

$$F_{drag} = 0,63 * 72,41 * 12,8 = 583,91 \text{ kg.}$$

SEGMENT TIPE "c"

$$q = \frac{1225}{16} * 0,97$$

$$= 74,15 \text{ kg/m}^2$$

$$C_l = -0,7 - (8,8/16,97) = -1,22$$

$$C_d = 1,4 * (8,8/16,97) = 0,73$$

$$F_{lift} = -1,22 * 74,15 * 14,08 = -1.273,72 \text{ kg.}$$

$$F_{drag} = 0,73 * 74,15 * 14,08 = 762,19 \text{ kg.}$$

SEGMENT TIPE "d"

$$q = \frac{1225}{16} * 0,99$$

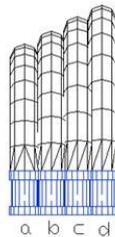
$$= 75,59 \text{ kg/m}^2$$

$$C_l = -0,7 - (9,5/15,71) = -1,30$$

$$C_d = 1,4 * (9,5/15,71) = 0,85$$

$$F_{lift} = -1,3 * 75,59 * 15,2 = -1.493,66 \text{ kg.}$$

$$F_{drag} = 0,85 * 75,59 * 15,2 = 976,62 \text{ kg.}$$



#### IV. HASIL

Dari perhitungan ini terlihat bahwa segmen yang menanggung gaya angin terbesar adalah segmen tipe d, dengan gaya geser 977 kg dan gaya angkat 1.494 kg.

Dengan mengasumsikan bahwa keempat tipe segmen di atas diterpa oleh angin yang sama, maka perhitungan beban selanjutnya akan berpatokan pada segmen yang mengalami gaya serta menanggung beban paling besar, dalam hal ini segmen d. Segmen d merupakan segmen yang memiliki bentang paling lebar, meski juga paling pendek dari permukaan tanah dibandingkan segmen a, b dan c. Dengan kata lain, di sini terlihat bahwa segmen dengan penampang paling besar menghadap pada arah terpaan angin akan menghadapi beban geser serta gaya angkat yang paling besar juga.

Segmen rib ini dapat diibaratkan sistem portal pada bangunan berstruktur kaku yang ditumpu pada dua lokasi, di bagian ujung-ujung struktur.

Dengan begitu, beban geser dan angkat pada masing-masing tumpuan merupakan setengah dari angka tertera. Setiap tumpuan menanggung 488,5 kg gaya geser dan 747 kg gaya angkat.

Dengan kesederhanaan stuktur maka hanya dua beban tersebut yang berpengaruh signifikan sehingga langkah selanjutnya berupa penentuan pondasi atau tumpuan yang tepat dilakukan berdasarkan angka-angka di atas. Penyesuaian selanjutnya akan ditentukan dari jenis tanah serta tipe pondasi yang dipilih. Pada kondisi tanpa angin maka komponen rib dapat berdiri bebas tanpa memikirkan jenis tumpuan yang digunakan.

#### V. KESIMPULAN

Disimpulkan bahwa beban angin pada sistem pneumatik bertekanan tinggi dapat dihitung secara sederhana dengan memodelkan struktur ringan ini sebagaimana layaknya struktur kaku lainnya. Kekakuannya sendiri diperoleh melalui besar kecilnya volume udara yang dipompakan ke dalamnya yang merupakan bahasan selanjutnya dari penelitian ini. Perhitungan tekanan angin pada bangunan secara langsung menghasilkan gambaran beban yang terjadi pada masing-masing tumpuan struktur sehingga bentuk dan tipe pondasi dapat langsung ditentukan pada proses berikutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiyanto, H., "Struktur Bangunan Tenda Pneumatik Sistem Knock Down Sebagai Tempat Penampungan Sementara Untuk Korban Bencana", *Seminar Nasional Pascasarjana VIII*, Surabaya, 13 Agustus 2008.
- [2] Martana, S.P., *Struktur Pneumatik dalam Arsitektur*, Yogyakarta, Dee Publish, 2015.
- [3] Schodek, D, *Struktur*, Bandung, Eresco, 1991
- [4] Purwanto, L.M.F., "Perkembangan struktur pneumatik memperkaya disain arsitektur", *Dimensi Arsitektur*, vol. 28, no. 1, 31-36, Juli 2000.
- [5] Herzog, T, *Pneumatic structures a handbook for the architect and engineer*, London: Lockwood Staples, 1977.
- [6] Scheller, W., *Horizontal span building structure*, New York, John Wiley & Sons, 1983