

SISTEM STRUKTUR *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS* SEBAGAI PENAHAN BEBAN LATERAL

Pratiwi Dyah Lestari^{1*}, Henry Apriyatno²

^{1,2} *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah*

**pratiwidylezta25@gmail.com, henryapriyatno@gmail.com*

ABSTRAK

Sistem struktur merupakan gabungan dari beberapa elemen struktur yang dirangkai sedemikian rupa hingga membentuk suatu kesatuan struktur yang mampu menopang beban-beban yang direncanakan, baik beban vertical maupun horizontal/lateral. Beban lateral menyebabkan timbulnya simpangan pada struktur yang memungkinkan struktur mengalami keruntuhan sehingga memerlukan sistem struktur untuk dapat mereduksi simpangan tersebut. Penentuan besarnya simpangan perlu ditinjau dari arah x dan arah y, serta tidak boleh melewati batas simpangan yang diijinkan. Semakin tinggi bangunan maka risiko kerusakan akibat beban lateral semakin tinggi. Sistem struktur Outrigger dan Belt Truss dapat menambah kekakuan serta mereduksi simpangan akibat beban lateral khususnya beban angin. Outrigger merupakan salah satu sistem struktur yang membuat bangunan menjadi lebih kaku, berupa lengan terikat pada core wall. Penggunaan outrigger pada gedung tinggi dapat dikombinasikan dengan belt truss. Belt-truss berperan membantu outrigger dalam memperkaku struktur secara horizontal.

Kata kunci : Sistem Struktur, Outrigger, Belt Truss, Beban lateral

ABSTRACT

The structural system is a combination of various structural elements arranged in such a way as to form a unified structure capable of carrying the loads planned, both vertical and horizontal/lateral loads. Lateral loads cause deviation in the structure which allows the structure to collapse so that it requires a structural system to reduce these deviations. Determination of the amount of deviation must be viewed from the x-direction and y-direction, and must not exceed the allowable deviation. The higher the building, the higher the risk of damage due to lateral loads. Outrigger and Belt Truss structural systems can increase rigidity and reduce drift due to lateral loads, especially wind loads. Outrigger is a structural system that makes buildings more rigid, in the form of arms tied to the core wall. The use of outriggers in tall buildings can be combined with a belt truss. The belt-truss helps the outrigger to rig the horizontal structure.

Key Word: Structural Systems, Outriggers, Belt Truss, Lateral loads

PENDAHULUAN

Istilah bangunan bertingkat tinggi sering dipakai untuk merujuk pada bangunan dengan jumlah bertingkat yang banyak atau bangunan yang mempunyai struktur menjulang tinggi.

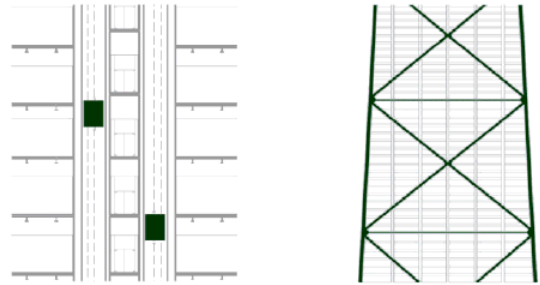
Gedung tinggi tidak mempunyai definisi secara pasti, akan tetapi suatu bangunan dapat dikategorikan sebagai bangunan bertingkat tinggi berdasarkan beberapa aspek [1]. Aspek yang dimaksud yaitu kriteria tinggi relative terhadap lingkungannya, kriteria tinggi berdasarkan proporsinya, kriteria tinggi berdasarkan teknologi yang digunakan dan, kriteria bangunan super tinggi. Suatu bangunan tidak dapat dikategorikan sebagai gedung tinggi hanya dari jumlah lantai saja, dikarenakan bergantung dari fungsinya dapat berbeda satu dan yang lainnya (misalnya, perumahan berbeda dengan rumah sakit), namun bangunan dengan ketinggian lebih dari 14-50 meter dapat dijadikan indikator bangunan untuk dikategorikan sebagai gedung tinggi [2].



Gambar 1. Ketinggian relative terhadap lingkungan sekitarnya [2]



Gambar 2. Kriteria tinggi berdasarkan proporsinya [2]



Gambar 3. Kriteria tinggi berdasarkan teknologi yang digunakan [2]

Struktur merupakan rangkaian dari beberapa elemen yang dirancang sedemikian rupa agar dapat memikul berat sendiri ataupun beban luar tanpa timbul perubahan bentuk/deformasi yang sudah disyaratkan. Struktur yang dirancang diharuskan sanggup untuk menopang beban, berupa beban vertikal yaitu beban mati dan beban hidup ataupun beban horizontal/lateral (beban angin dan beban gempa) yang di desain berdasar pada peraturan pembebanan yang sudah ditetapkan. Suatu sistem struktur dapat disebut baik apabila memenuhi kriteria seperti:

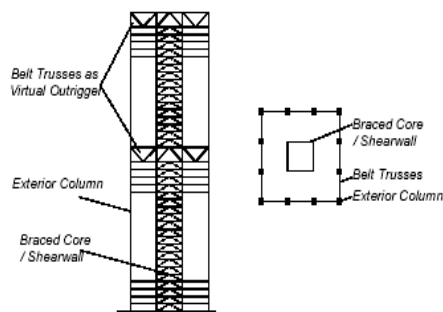
1. Mempunyai susunan dan konstruksi struktur yang simetris.
2. Skala dan denah struktur proporsional.
3. Tidak terdapat perubahan secara tiba-tiba dari tahanan dan kekakuan lateral
4. Pengelompokkan struktur yang teratur dan seragam.
5. Mempunyai titik berat massa yang nyaris sama dengan titik berat kekakuan.
6. Mudah dalam pembangunannya, serta anggaran pengerjaan yang sesuai dengan batasan RAB.

Ada berbagai jenis sistem struktur yang biasa digunakan dalam desain konstruksi bangunan bertingkat tinggi, yaitu:

1. Dinding pendukung sejajar (*Pararel bearing wall*)
2. Inti dan dinding pendukung fasade (*Core and fasade bearing wall*)
3. Plat rata (*Flat slab*)
4. Interspasial
5. Gantung/suspention
6. Rangka Kaku (*Rigid frame*)
7. Rangka Kaku dan Inti (*Rigid frame and core*)
8. Rangka Trussed (*Trussed frame*)
9. Rangka Belt trussed dan inti (*Belt trussed frame and core*)
10. Tabung dalam tabung (*Tube in tube*)
11. Kumpulan tabung (*Bundled tube*)

Sistim struktur yang dibahas kali ini adalah *Outrigger* dan *Belt Truss* sebagai sistem penahan beban lateral. Pembahasan lebih dalam perihal sistem struktur tersebut dapat dilihat pada bab selanjutnya berikut ini.

ANALISIS PEMECAHAN MASALAH Outrigger Dan Belt-Truss



Gambar 4. Sistem Outrigger dan Belt-truss

Outrigger merupakan struktur yang membuat bangunan menjadi lebih kaku, yaitu berupa lengan terikat pada *core wall*. *Outrigger* umumnya terbuat dari baja (dapat juga terbuat dari beton atau komposit) namun karena beberapa pertimbangan misalnya anggaran dana, kesiapan dan waktu pelaksanaan, tidak

sedikit bangunan tinggi memakai *outrigger* dari beton. Dalam perencanaan sebuah bangunan berbertingkat tinggi yang memakai *outrigger truss* bisa juga digabungkan dengan sistem struktur lain misalnya *belt truss*. *Belt truss* pertama kali dikenalkan oleh Nair (1998) dengan julukan virtual *outrigger* dikarenakan letaknya yang tidak di pusat bangunan namun masih berperan sebagai *outrigger* [3]. *Belt-truss* membantu *outrigger* dalam memperkaku struktur secara horizontal dengan mengikat kolom luar dalam menyangga rotasi yang terbentuk di kolom inti. *Belt-truss* ditempatkan mengitari semua bagian paling luar dari struktur yang menyatukan beberapa kolom yang letaknya paling luar tersebut dari bangunan secara horizontal. *Belt Truss* juga tidak dapat ditempatkan di semua lantai pada bangunan, hanya bisa ditempatkan di lantai yang terpasang *outrigger*. *Outrigger truss* yang dipakai pada bangunan bertingkat tinggi tidak dapat ditaruh di setiap lantai, namun pemasangannya perlu sesuai dengan kebutuhan dan konsep bangunan tersebut yang biasanya ditempatkan tiap 10 ataupun 20 lantai. Pemakaian *belt-truss* pada bangunan dapat menambah kekakuan sebanyak 25%-35% [4]. *Outrigger* sebagai salah satu member struktural yang sangat penting pada bangunan tinggi dan sempit, dan secara tepat dirancang untuk menyangga beban lateral dari angin maupun gempa dengan tindakan elastis untuk mencegah kerusakan akibat beban lateral yang signifikan [7][9].

Kelebihan Penggunaan Outrigger

Berikut ini merupakan beberapa kelebihan memakai *outrigger system*:

- 1) Perputaran momen pada inti serta kenaikan *deformasi* (kerusakan) yang

timbul dapat diminimalisir dengan berputarnya momen yang bekerja secara berlawanan arah pada *shear wall* di tiap-tiap persimpangan *outrigger*.

- 2) Penyusutan yang terlihat secara jelas serta kemungkinan lenyapnya gaya regang dan gaya ke atas terjadi melewati kolom dan pondasi.
- 3) Jarak kolom dibagian terluar tidak hanya berdasarkan dari pertimbangan struktural saja namun bisa dipertimbangkan juga berdasarkan dari keindahan arsitektural dan fungsi bangunan.
- 4) Framing pada bagian paling luar bisa berupa balok biasa yang sederhana serta framing kolom tidak selalu memerlukan sambungan frame yang kaku, sehingga dana yang dikeluarkan menjadi lebih ekonomis.

Kekurangan Penggunaan Outrigger

Pada setiap sistem perencanaan dan material struktur pastinya mempunyai kelebihan serta kekurangannya masing-masing. Seperti halnya dengan *outrigger*, juga mempunyai beberapa kelemahan yaitu:

1. Penggunaan *outrigger* menghabiskan banyak tempat pada lantai yang ditempatkan *outrigger*, sehingga memungkinkan suatu lantai yang terpasang *outrigger* tidak bisa dipakai semestinya, selain untuk ruang penyimpanan atau ruang genset.
2. *Outrigger* mempunyai kekakuan yang sangat tinggi, dan lendutan vertikal yang kecil akibat dari rangka inti dan tepi yang menyusut terutama akibat dari lendutan elastis susut dan rangkai, yang mengakibatkan daya yang amat besar pada elemen *outrigger*. Meskipun dapat diperkirakan dengan baik seberapa

besar pengurangan tersebut, semua kembali tergantung pada faktor waktu. Hal tersebut juga menerangkan jika susut dan rangkai tidak mungkin timbul pada waktu bangunan sudah berdiri atau masih dalam tahap pelaksanaan.

3. Menyatukan *outrigger* dan inti dapat menjadi masalah yang cukup sulit dan kompleks, Karena tingkat kesulitan akan semakin besar apabila terdapat perbedaan material pada sistem *outrigger* dan inti (beton dan baja).
4. Pengaruh pemasangan *outrigger truss* yang tersambung dengan inti di posisi tengah bangunan, dapat menjadi sebuah permasalahan dalam segi arsitektural serta fungsional dari bangunan.

Beban Angin

Berdasarkan SNI [5], terdapat beberapa parameter untuk menentukan beban angin antara lain yaitu :

1.) Kecepatan Angin Dasar

Kecepatan angin dasar (V), yang dipakai untuk menetapkan beban angin rencana pada suatu bangunan gedung atau struktur lain ditetapkan oleh lembaga yang berkuasa, sesuai kategori risiko bangunan gedung dan struktur. Nilai kecepatan angin dasar perlu dinaikkan apabila terdapat catatan atau kejadian yang menyatakan bahwa kecepatan angin lebih besar dari pada yang tercatat di dalam Buku Peta Angin Indonesia serta angin dianggap datang dari segala arah.

2.) Faktor Arah Angin

Dalam penentuan beban angin, faktor arah angin perlu diperhitungkan dengan analisis untuk kecepatan angin [8]. Faktor arah angin (K_d) hanya akan dipakai dalam penentuan beban angin jika kombinasi pembebanan yang ditetapkan dipakai dalam desain.

3.) Eksposur

Parameter yang perlu diperhatikan selanjutnya adalah eksposur. Sesuai dengan arah angin yang telah ditetapkan sebelumnya, eksposur lawan angin ditentukan oleh kekasaran permukaan tanah berdasarkan dari vegetasi, topografi alam, serta sarana dan prasarana yang didirikan.

4.) Faktor Topografi

Pengaruh penambahan nilai kecepatan angin perlu diinput kedalam perencanaan beban angin desain, dengan memakai faktor K_{zt}

$$K_{zt} = (1 + K_1K_2K_3)^2 \quad (1)$$

Jika kondisi serta letak bangunan gedung atau struktur lain tidak mencakupi semua kondisi yang telah ditetapkan, maka nilai $K_{ZT} = 1,0$.

5.) Efek Tiupan Angin

Efek tiupan angin menjadi salah satu parameter yang cukup penting dalam penentuan beban angin. Sesuai dengan peraturan pembebanan yang dipakai, SNI [5] pengaruh tiupan angin (G) yang dipakai adalah sebesar 0,85 untuk bangunan gedung atau struktur lain yang kaku. Dan untuk bangunan sensitif fleksibel atau bangunan sensitif dinamis atau struktur lain, penentuan faktor efek tiupan angin dapat dihitung dengan memakai persamaan:

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1+1,7I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1+1,7g_v I_z} \right) \quad (2)$$

6.) Koefisien Tekanan Internal

Parameter selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi}) yang nilainya didapatkan sesuai dengan klasifikasi tertutupan gedung dan bangunan seperti yang disyaratkan dalam SNI [5].

7.) Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

Sesuai dengan SNI [5] untuk kategori eksposur, nilai Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_z atau K_h diperoleh dari tabel 1.

Tabel 1. Nilai Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_z atau K_h [5]

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur			
ft	m	B	C	D	
0 - 15	0 - 4,6	0,57 (0,70) ^h	0,85	1,03	
20	6,1	0,62 (0,70) ^h	0,90	1,08	
25	7,6	0,66 (0,70) ^h	0,94	1,12	
30	9,1	0,70	0,98	1,16	
40	12,2	0,76	1,04	1,12	
50	15,2	0,81	1,09	1,27	
60	18,0	0,85	1,13	1,31	
70	21,3	0,89	1,17	1,34	
80	24,4	0,93	1,21	1,38	
90	27,4	0,96	1,24	1,40	
100	30,5	0,99	1,26	1,43	
120	36,6	1,04	1,31	1,48	
140	42,7	1,09	1,36	1,52	
160	48,8	1,13	1,39	1,55	
180	54,9	1,17	1,43	1,58	
200	61,0	1,20	1,46	1,61	
250	76,2	1,28	1,53	1,68	
300	91,4	1,35	1,59	1,73	
350	106,7	1,41	1,64	1,78	
400	121,9	1,47	1,69	1,82	
450	137,2	1,52	1,73	1,86	
500	152,4	1,56	1,77	1,89	

8.) Tekanan Velositas:

Tekanan Velositas dapat dihitung dengan rumus:

$$q_z = 0,613K_2K_{ZT}K_dV^2(N/m^2) \quad (3)$$

K_d = nilai faktor arah angin.

K_z = nilai koefisien eksposur tekanan velositas.

K_{zt} = nilai faktor topografi.

V = kecepatan angin dasar (m/s)

q_z = nilai tekanan velositas di ketinggian z .

q = nilai tekanan velositas di ketinggian rata rata h .

9.) Tekanan Angin

Berdasarkan SNI [5], tekanan angin desain untuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama ($SPGAU$) bangunan gedung di seluruh ketinggian dalam lb/ft² (N/m²) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (4)$$

Tekanan perlu diaplikasikan secara serentak di semua bagian pada bagian dinding atas angin dan bawah angin serta pada permukaan atap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk dapat mengetahui pengaruh penggunaan *Outrigger* dan *Belt-Truss* pada bangunan bertingkat tinggi dalam kemampuan struktur menyangga beban lateral, maka perlu dilakukan perhitungan dengan memperhatikan beberapa parameter berupa:

1.) Kekakuan

Karakteristik paling utama sebuah struktur adalah kekakuan. Struktur bangunan bisa dikatakan kaku apabila nilai frekuensi fundamentalnya lebih besar atau setara dengan 1 Hz. Kekakuan dapat dihitung memakai rumus :

$$K = p_i d = \frac{A_i E d^2}{L^2} \quad (5)$$

2.) Daktilitas

Daktilitas diperoleh dari sistem struktur dan mekanisme keruntuhan, dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\mu = \Delta u / \Delta y \quad (6)$$

Dengan Δu adalah perpindahan maksimum dan Δy adalah perpindahan leleh. Struktur bangunan yang dirancang perlulah mempunyai nilai daktilitas yang cukup tinggi sebab, semakin besar daktilitas sebuah bangunan, maka akan semakin baik juga kemampuan bangunan tersebut dalam berdeformasi.

3.) Drift

Drift merupakan simpangan antar lantai yang dihitung dari dasar lantai di bawahnya. Dalam menentukan simpangan antar lantai bertingkat desain (Δ) perlu diperhitungkan sebagai selisih besarnya pergeseran (defleksi) di pusat massa pada tingkat paling atas dan paling bawah yang diamati. Jika letak pusat massa tidak berada satu garis pada arah vertikal, maka diperbolehkan untuk menghitung besarnya pergerakan atau pergeseran pada dasar tingkat sesuai dengan proyeksi vertikal dan

pusat massa pada angka diatasnya. Pergeseran pusat massa yang terjadi di tingkat x pada pusat massa dihitung menggunakan persamaan:

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \quad (7)$$

4.) Inter-storey Drift

Inter-storey drift merupakan selisih dari *displacement* antar lantai. *Displacement* yaitu simpangan suatu lantai yang dihitung dari dasar lantai. Hal ini sangat perlu diperhitungkan juga karena cukup berbahaya serta dianggap berisiko apabila timbul getaran atau guncangann pada suatu bangunan bertingkat tinggi. Persentase pengurangan inter-storey drift dihitung dengan:

$$\%ISD = \frac{ISD'_{max} - ISD_{max}}{ISD'_{max}} \times 100\% \quad (8)$$

SIMPULAN

Penerapan *Outrigger* dan *Belt Truss* pada bangunan bertingkat tinggi dengan memerhitungkan beban angin akan memberikan hasil yang optimal apabila direncanakan sesuai dengan pedoman pembebanan yang ada. Selain itu penerapan *Outrigger* dan *Belt Truss* dapat menyebabkan kekakuan yang tinggi pada bangunan sehingga dapat mengatasi deformasi akibat beban lateral khususnya beban angin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewobroto, W. (2012). *Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super-Tinggi Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super-Tinggi dan Mega-Tinggi di Indonesia*. June 2012, 1–97.
- [2] Choi, H. S., Ho, G., Joseph, L., Mathias, N., & Ctuh. (2020). CTBUH Height Criteria. *Outrigger Design for High-Rise Buildings*, 80–82.
- [3] Nair, R. S. (1998). *Belt Trusses and Basements as “Virtual” Outriggers for*

Tall Buildings. *Engineering Journal*, 35(4).

[4]Taranath, B. S. (2012). *Structural Analysis and Design of Tall Buildings* (Vol. 66). CRC Press.

[5]BSN. (2018). Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 196.

[6]BSN. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*.

[7]Lee, S., & Tovar, A. (2014). Outrigger placement in tall buildings using topology optimization. *Engineering Structures*, 74.

[8]Stathopoulos, T., & Alrawashdeh, H. (2020). Wind loads on buildings: A code of practice perspective. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 206(August), 104338.

[9]Po Seng Kian. (2001). the Use of Outrigger and Belt Truss System for High-Rise Concrete Buildings. *Civil Engineering Dimension*, 3(1), 36–41.