

PERANCANGAN KONFIGURASI STRUKTUR *TOWER* DAN PEMBUATAN BILAH KOMPOSIT (*SANDWICH*) UNTUK APLIKASI TURBIN ANGIN

Hendrix Noviyanto Firmansyah¹, M Ardi Cahyono²

Prodi Teknik Penerbangan
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jalan Janti Blok R Lanud Adisutjipto, Yogyakarta
¹firmansyah.hendrix@gmail.com, ²total_sacrifice@yahoo.com

Abstract

Tower is a structure vertically designed that the blades and other components attached. The process for structural design for the tower starts by identifying all of the requirements, and then specifies the desired design criteria. The desired design criteria are high strength, low cost, lightweight, does not require a large area, ease of assembly and transport. The proposed tower types are guyed, lattice, and tubular. The analysis result shows that the lattice tower type matches with the design criteria. The next processes are modeling and stress analyzing using MSC Patran/Nastran. The maximum stress is 42 Newton per millimeters square and the Margin of safety (MS) value is 7.815, so the structure is safe. In the process of making the composite sandwich wind blades, it is starts with the creation of the master molding, mold, foam cores and assembly. The results of the three blades were made indicate by a difference in weight. It is caused by the manufacturing system (manual). However, the difference is still relevant or good because it is less than 5 percent.

Keywords: wind turbine, tower, lattice, composite, sandwich, Patran/Nastran.

Abstrak

Tower merupakan sebuah struktur yang didesain vertikal sebagai tempat bilah dan komponen yang lainnya. Proses perancangan struktur *tower* dimulai dengan mengidentifikasi semua kebutuhan dan kemudian baru memberikan kriteria disain yang diinginkan. Kriteria desain yang dimunculkan adalah kuat, biaya yang murah, ringan, tidak membutuhkan lahan yang besar, mudah dalam transportasi dan pemasangan. Jenis *tower* yang diusulkan adalah jenis *guyed*, *lattice*, dan *tubular*. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis *lattice* yang cocok dengan kriteria rancangan yang diinginkan. Proses selanjutnya adalah memodelkan dan analisis tegangan dengan menggunakan MSC Patran/Nastran. Nilai tegangan maksimum hasil analisis menunjukkan 42 Newton per milimeter kuadrat, dan nilai MS sebesar 7,815 sehingga struktur tersebut aman. Pada proses pembuatan bilah komposit *sandwich* diawali dengan pembuatan *master molding*, cetakan, *foam core*, dan *assembly*. Hasil ketiga bilah yang dibuat menunjukkan adanya perbedaan berat. Perbedaan tersebut dikarenakan metode pembuatan yang masih manual. Namun hasilnya tergolong baik karena perbedaan masing-masing bilah sangat kecil, yaitu kurang dari 5 persen.

Kata kunci: *wind turbine, tower, lattice, composite, sandwich, Patran/Nastran.*

1. Pendahuluan

Tower merupakan struktur yang menjulang tinggi (berdiri vertikal) untuk meletakkan bilah dan komponen yang lainnya agar bisa menggerakkan bilah sehingga akan memutar generator untuk menghasilkan listrik. Proses perancangan untuk konfigurasi struktur *tower* turbin angin haruslah dilakukan dengan benar dan sistematis agar sesuai dengan yang diharapkan. Selain merancang konfigurasi struktur *tower*, pada penelitian ini juga dilakukan pembuatan bilah angin komposit (*sandwich*) dilakukan dengan menggunakan metode *hand layup* dan vakum. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membuat rancangan konfigurasi struktur *tower*
2. Melakukan pemilihan konfigurasi struktur *tower* yang sesuai dengan desain kriteria
3. Membuat 3 buah bilah komposit (*sandwich*).

Pada penelitian pemilihan jenis *tower* didasarkan kajian literatur dan *survey* lapangan dengan melihat contoh struktur yang relevan. Beban yang digunakan diasumsikan sesuai dengan kondisi pembebanan struktur saat operasi yaitu beban *thrust*, beban angin, beban mati (beban struktur).

2. Tinjauan Pustaka

Tower merupakan struktur yang berdiri vertikal yang digunakan untuk menahan beban *nacelle*, bilah, *hub*, dan beban akibat variasi terpaan angin. Dengan melihat beban yang diterima oleh *tower*, maka struktur *tower* haruslah kuat. Struktur *tower* yang digunakan pada turbin angin sangat bervariasi.

Menurut Cracks (2012), dalam “*in onshore wind power*”, *tower* terdiri atas 5 jenis yaitu: *Guyed Tower*, *Lattice Tower*, *Tubular tower*, *Hybrid Concrete and Tubular Steel Tower*, dan *Ferro-Concrete Tubular Tower*.

Jenis beban yang terjadi pada *tower* terdiri atas beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban mati merupakan beban yang dimiliki oleh *tower* berupa beban konstruksi sendiri dan material pendukungnya. Beban hidup merupakan beban yang diterima *tower* atau *tower* dari operator yang bekerja pada *tower* tersebut baik pada saat perawatan maupun perbaikan. Beban angin merupakan beban alami yang akan selalu ada. Beban angin diperoleh dari tekanan udara yang ada disekeliling *tower* atau *tower*. Beban angin dipengaruhi oleh posisi dan tempat kedudukan *tower*. Beban gempa merupakan beban yang terjadi akibat adanya pergerakan tanah atau bumi disekitar konstruksi *tower*.

3. Metode Penelitian

Secara umum urutan penelitian ini diawali dengan perancangan konfigurasi struktur *tower* yang meliputi memunculkan rancangan konfigurasi struktur *tower*. Selain itu dilakukan pemilihan jenis material, beban, dan kondisi batas. Langkah selanjutnya adalah analisis rancangan konfigurasi struktur *tower* yang akan dipilih untuk dimodelkan dan dianalisis tegangannya. Untuk pembuatan bilah komposit meliputi persiapan alat dan bahan, proses pembuatan, dan evaluasi kesesuaian.

3.1 Pemilihan Konfigurasi Turbin

Kriteria rancangan konfigurasi struktur *tower* yang diinginkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan *tower* mensupport operasi turbin angin.
2. Biaya *tower* (*cost*) yang murah meliputi biaya materi *tower*, biaya pembuatan, dan biaya perawatan.
3. Berat *tower* yang relatif ringan dengan struktur yang tidak kompleks.
4. Proses *assembly* dan perawatan yang mudah.
5. Kemudahan transportasi dari tempat produksi ke tempat pemasangan.

Berdasarkan hasil *survey* materi, tempat produksi, dan tempat pemasangan, maka dalam penelitian ini dibatasi pada tiga model *tower* yaitu model *guyed*, *lattice*, dan *tubular*.



Gambar 1. Jenis *tower* yang akan dibandingkan (1. *Tubular*, 2. *Lattice*, dan 3. *Guyed*)

Untuk mempermudah analisis pemilihan konfigurasi maka perbandingan ketiga *tower* akan disusun menggunakan tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kriteria struktur *tower*

Model <i>Tower</i>	Kemampuan	Bobot	Assembly	Transportasi	Kemudahan Perawatan	Kebutuhan Lahan
<i>Guyed</i>	Kecil	Ringan	Mudah	Sedang	Sulit	Sempit
<i>Lattice</i>	Sedang	Sedang	Mudah	Mudah	Mudah	Sempit
<i>Tubular</i>	Besar	Berat	Sulit	Sulit	Mudah	Luas

Karena biaya (*cost*) terdiri atas biaya materi properti, pembuatan, dan perawatan maka akan dibuat tabel tersendiri sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan Biaya *Tower*

Model <i>Tower</i>	Biaya		
	Materi Bahan	Pembuatan	Perawatan
<i>Guyed</i>	Murah	Murah	Sedang
<i>Lattice</i>	Murah	Murah	Sedang
<i>Tubular</i>	Mahal	Mahal	Mahal

Untuk membantu membuat keputusan, dibuatlah sistem pembobotan sederhana yang mana hasil pembobotan variabel dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pembobotan variabel

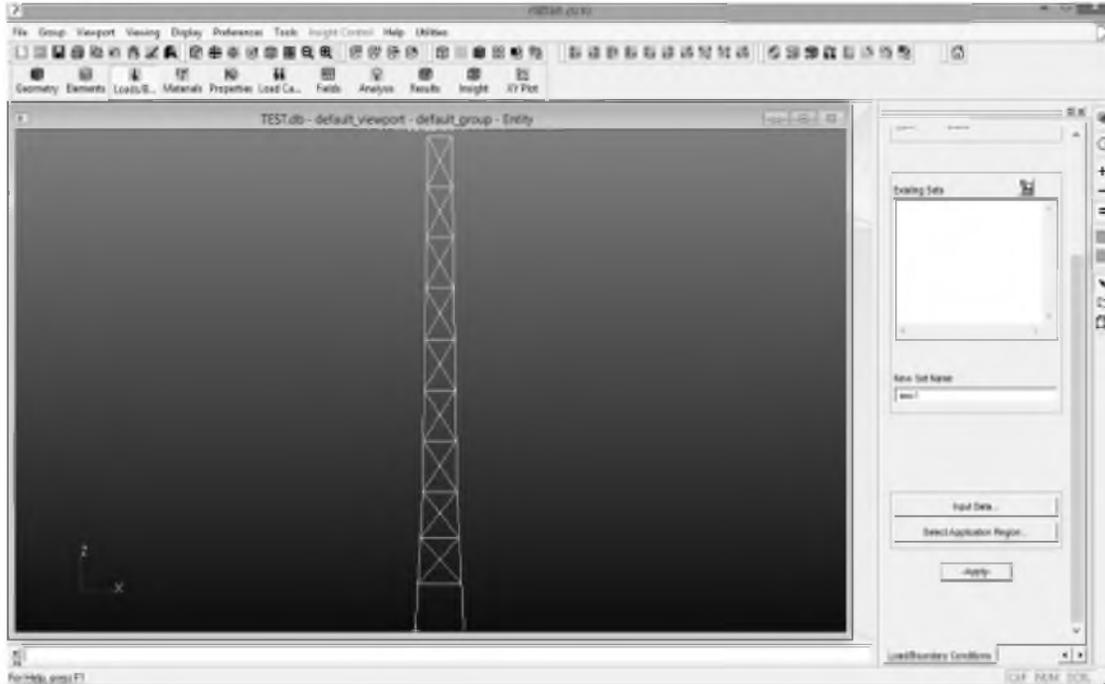
Model <i>Tower</i>	Kemampuan	Bobot	Assembly	Trasportasi	Kemudahan Perawatan	Kebutuhan Lahan	Materi/Bahan	Biaya Pembuatan	Biaya Perawatan	Total
<i>Guyed</i>	1	3	3	2	1	3	3	3	2	21
<i>Lattice</i>	2	2	3	3	3	3	3	3	2	24
<i>Tubular</i>	3	1	1	1	3	1	1	1	1	13

Keterangan :

bobot harga		bobot berat struktur		bobot kemampuan	
murah	3	ringan	3	besar	3
sedang	2	sedang	2	sedang	2
mahal	1	berat	1	kecil	1
bobot kebutuhan lahan		bobot kemudahan Perawatan			
sempit	3	mudah	3		
sedang	2	sedang	2		
luas	1	sulit	1		

Berdasarkan pertimbangan di atas, struktur *tower* yang cocok untuk penelitian ini adalah *lattice tower*. Hal ini dikarenakan material struktur *tower lattice* mudah didapat di wilayah Yogyakarta, biaya material dan pembuatan *tower* lebih murah, tempat produksinya tidak memerlukan lahan yang luas dan transportasi material dari tempat produksi ke tempat pemasangan relatif mudah. Dengan biaya pembuatan yang rendah, namun perlu ada tambahan biaya perawatan. tambahan biaya perawatan diperlukan untuk mempertahankan kemampuan dari *tower* maupun untuk inspeksi turbin angin. Kemudahan dalam hal perawatan merupakan salah satu pertimbangan didalam pemilihan konfigurasi. Besarnya biaya perawatan *lattice tower* relatif sama dengan jenis *guyed*, namun dari segi kemampuan *tower* jenis *lattice* lebih unggul. Jenis tubular memang memiliki kemampuan yang paling besar, karena mampu menopang turbin dengan diameter yang panjang (kapasitas pembangkit listrik besar) namun dilihat dari tujuan penelitian ini, tower jenis ini tidak direkomendasikan.

pemodelan strukturnya dilakukan dengan menggunakan bentuk konstruksi zig-zag dengan empat batang *truss*. Dimensi/ukuran tinggi *tower* adalah 10 meter dan lebar dasar konstruksi adalah 1.5 meter. Material yang digunakan untuk perancangan *tower* adalah *steel* jenis AISI 1018 (ST3).



Gambar 2. Model *tower*

4. Hasil dan Pembahasan

Kasus pembebanan yang diterima oleh turbin angin bisa bervariasi tergantung letak dan kondisi dimana *tower* tersebut ditempatkan. Penelitian ini menggunakan 3 jenis beban yang akan digunakan untuk analisis tegangan.

4.1 Beban akibat *Thrust*

Persamaan yang dipakai dalam menghitung beban *Thrust* yaitu :

$$T = C_T \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^2 \quad (1)$$

Di mana T adalah *Thrust*, ρ adalah kerapatan udara, v adalah kecepatan aliran udara, dan R adalah panjang bilah.

$$\begin{aligned} T &= 2 \times 0,5 \times 1,212802 \times 3,14 \times 1,5^2 \times 21,3^2 \\ &= 3889,391 \text{ N} \end{aligned}$$

Dikarenakan ada terdapat 4 batang *truss* pada turbine angin jenis *Lattice Tower*, maka beban tersebut dibagi 4 :

$$T/4 = \frac{3885.391 \text{ N}}{4}$$

$$= 972.347831 \text{ N}$$

4.2 Beban Angin

Beban angin yang dimaksud adalah beban terpaan aliran udara yang mengenai penampang struktur *tower*. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan beban angin ini adalah sebagai berikut :

$$F = A P C_d K_z G_h$$

Contoh perhitungan beban akibat angin pada ketinggian 9,5 m dari permukaan tanah adalah sebagai berikut.

$$F = A P C_d K_z G_h$$

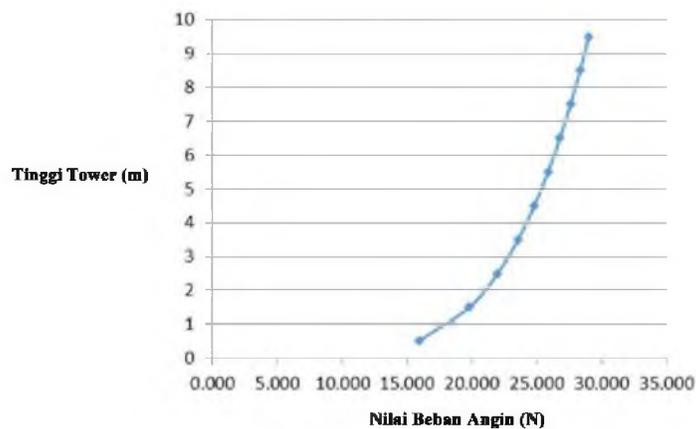
$$= 0.05 \times \frac{1}{2} \times 1.212802 \times 21.3^2 \times 2.2 \times \frac{9.5}{33}^{\frac{2}{7}} \times \frac{0.65 + 0.60}{\frac{9.5}{33}^{\frac{2}{7}}}$$

$$= 28.981 \text{ N}$$

Tabel 4. Nilai beban angin

Tinggi	Nilai Beban Angin
0.5m	15.922 N
1.5m	19.809 N
2.5m	21.971 N
3.5m	23.539 N
4.5m	24.793 N
5.5m	25.847 N
6.5m	26.763 N
7.5m	27.576 N
8.5m	28.310 N
9.5m	28.981 N

Nilai beban terhadap ketinggian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Beban tower pada tiap ketinggian

4.3 Beban Mati

a. Beban mati akibat komponen pendukung/aksesoris.

Beban ini diasumsikan berat dari semua komponen pendukung/aksesoris seperti *nacelle*, *bilah*, *hub*, dan lain sebagainya adalah tidak lebih dari 20 kg. Maka untuk memudahkan dalam analisis nantinya, berat komponen pendukung/aksesoris sebesar 20 kg ini harus di ubahkan ke dalam satuan Newton.

$$1 \text{ Kg} = 9,81 \text{ N}$$

$$\text{Maka, } 20 \text{ Kg} = 196,2 \text{ N}$$

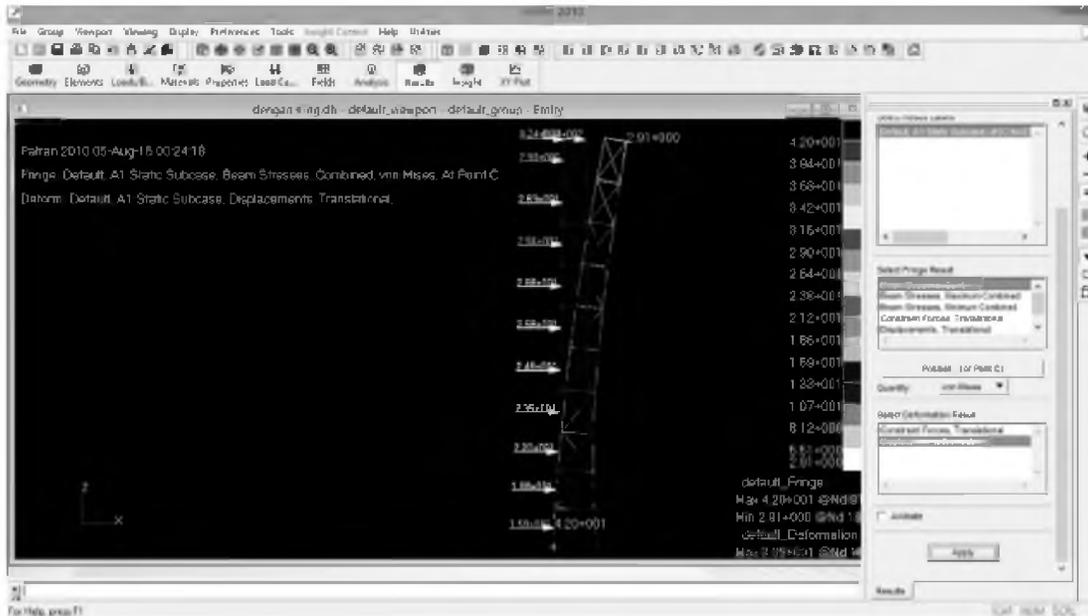
Dikarenakan ada terdapat 4 batang thrust pada turbin angin jenis *Lattice Tower*, maka beban tersebut dibagi 4:

$$\frac{196,2 \text{ N}}{4} = 49,05 \text{ N}$$

Jadi pertitik 4 batang tersebut akan menerima beban kebawah sebesar 49,05 N.

b. Beban mati akibat berat dari struktur *tower*.

Juga sama dengan point a di atas, diasumsikan berat beban dari struktur *tower* itu sendiri diasumsikan 1G.



Gambar 4. Hasil Analisis

Hasil analisis menunjukkan tegangan maksimal yang terjadi sebesar 42 N/mm² dengan nilai MS sebesar 7.815 dan struktur dengan pembebanan tersebut aman.

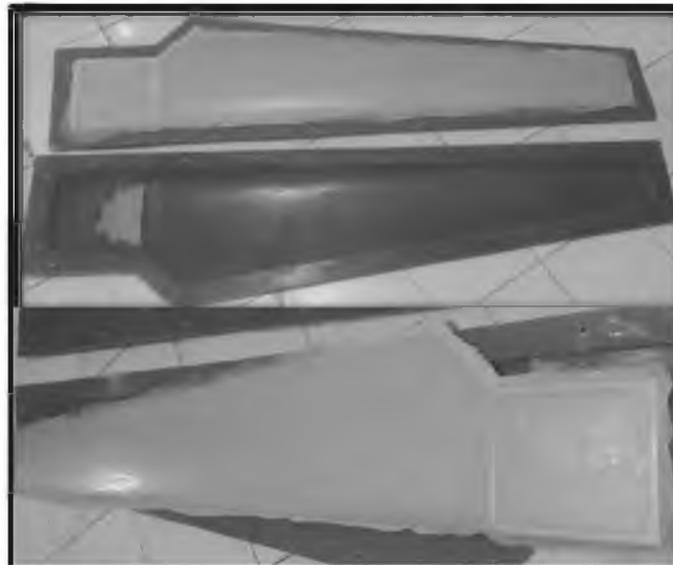
4.4 Proses Pembuatan Bilah Komposit *Sandwich*

Proses produksi dimulai dengan pembuatan *master molding*, cetakan, pembuatan *core foam* (isi), dan penggabungan sehingga menjadi bilah komposit *sandwich (core foam)*. Hasil pembuatan 3 buah bilah komposit *sandwich (core foam)* menunjukkan hasil yang baik, biarpun terjadi perbedaan berat. Bilah 1 memiliki berat 2.245 g, bilah 2 memiliki berat 2.215 g, dan berat bilah yang ke 3 2.165 g.

Tabel 5. Perbandingan berat bilah

Bilah	Berat (g)	Berat (g)	%
1	2.245	0	0
2	2.215	30	-1.3363
3	2.165	80	3.56347

Perbedaan terjadi karena pengerjaan masih manual sehingga dirasa perbedaan tersebut masih dimaklumi.



Gambar 5. Bilah hasil cetakan

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Konfigurasi *tower* yang diusulkan adalah jenis *lattice*. Konfigurasi tersebut didasarkan atas biaya yang murah, kemudahan dalam perawatan, kemampuan *support* turbin yang cukup, lahan yang digunakan sedikit (sempit) dan proses pembuatan dan transportasi yang mudah.

2. Konfigurasi yang digunakan adalah tipe persegi (*tower* dengan empat batang pondasi memiliki panjang yang sama). Konfigurasi empat kaki memiliki kekakuan dan kekuatan yang baik jika dibandingkan dengan jenis *triangle* dan *pole*. Konfigurasi ini adalah tipe konvensional dan banyak digunakan sebagai *tower* turbin angin maupun listrik. Tinggi *tower* ini adalah 10 m dengan jarak *beam* pondasi 1.5 m. Hasil analisis menunjukkan tegangan maksimal yang terjadi sebesar 42 N/mm^2 dengan nilai MS sebesar 7.815 dan struktur dengan pembebanan tersebut aman.

3. Proses pembuatan bilah dilakukan dengan mempersiapkan semua alat dan bahan. Persiapan diperhatikan untuk kelancaran proses produksi. Proses produksi dimulai dengan pembuatan *master molding*, cetakan, pembuatan *core foam* (isi), dan penggabungan sehingga menjadi bilah komposit *sandwich (core foam)*. Hasil ketiga bilah yang dibuat menunjukkan adanya perbedaan berat. Perbedaan tersebut dikarenakan sistem pembuatan yang masih manual. Namun perbedaan yang dihasilkan masih relevan atau baik karena persentase berat bilah kurang dari 5%.

Daftar Pustaka

- Amara, I., 2014, *Desain Proses Produksi Untuk 3 Bilah Turbin Angin Komposit*, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta.
- Anderson, John D., 2007, *Fundamentals of Aerodynamics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Burton, Tony., Sharpe, David., Jenkins, Nick., Bossanyi, Ervin, 2001, *Wind Energy Handbook*. John Wiley & Sons Ltd.
- Corbert Nicholson, 2011, *Effect of dust on the performance of wind turbines*.
- Desalination, 2007, pp. 209–220.
- Cracks, 2012, *Wind Energy system: Electronic edition*. Manhattan.
- Erinofiaridi, Hendra, 2012, *Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga*, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Ginting, Paham dan Syafrizal Helmi Situmorang, 2008, *Filsafat Ilmu dan Metode Riset*, USU Press, Medan.
- Jamil Fahad, 2008, *Jenis Struktur Tower Turbin Angin*, Jakarta.
- Hansen, Martin O. L., 2008, *Aerodynamics of wind turbines*, 2nd edition. Earthscan.
- Lavassas I, Nikolaidis G, Zervas P, Baniotopoulos CC, Doudoumis IN., 2002, *Analysis and design of the 1 MW steel wind turbine towers at mount Kalogerovouni Lakonia*, Proc. 4th Nat. Conf. on Steel Structures Patras 2002, p. 272–280.
- Huskey A, Prascher D., 2005, *Tower Design Load Verification on a 1-kW Wind Turbine*. To be presented at the 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit Reno. Nevada January 10-13. 2005
- M Hani, Negm, Y Karam. Maalawi., 2000, *Structural design optimization of wind turbine towers*. Computers and Structures 74. page 649 -666.
- Jamil, Fahad , Saad, bin zia, Abbasi, Parvez ali, Ansari, Moiz., 2012, *To Study Of Wind Resistant Stability of Tubular Wind Turbine Tower*. NED University of Engineering & Technology.
- Sukmadinata, NS., 2007, *Metode Dalam Penelitian*, Yudhistira, Jakarta.
- Sumargo, Achmad Djihad, Iwan Setiawan, Dudi Arief Mulyadi, 2008, *Analisa Respon Struktur Menara Pemancar Tipe “Monopole“ 120 M Akibat Beban Angin Rencana Dengan Periode Ulang 10 Tahunan Di Stasiun Badan Meteorologi Dan Geofisika Semarang*. Jurnal Teknik Sipil Volume VIII Nomor 1, Semarang.
- <http://k7nv.com/notebook/topics/windload.html>.