

# ANALISIS TEGANGAN KULIT BILAH TURBIN ANGIN KOMPOSIT (QUASI ISOTROPIC) MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

**Hendrix NF**

Teknik Penerbangan  
STT Adisutjipto  
Jalan Janti Blok R lanud Adisutjipto Yogyakarta  
Email : [firmansyah.hendrix@gmail.com](mailto:firmansyah.hendrix@gmail.com)

## Abstrak

Turbin angin merupakan salah satu teknologi alternatif pembangkit energy listrik. Prinsip kerja turbin angin adalah memanfaatkan aliran angin memutar rotor bilah yang kemudian menggerakkan generator sebagai alat penghasil listrik. Desain struktur bilah yang baik adalah bilah yang mampu menunjang pengoperasian turbin angin sesuai dengan yang diharapkan. E/Glass merupakan salah satu jenis material komposit yang dapat memenuhi kriteria tersebut.

Kekuatan material komposit terletak pada susunan dan arah serat. Susunan dan arah serat yang dilakukan pada penelitian ini quasi isotropic yaitu komposit dengan susunan arah serat [0/-45/90/90/+45/0]. Pemodelan menggunakan program MSC Patran/Nastran yang merupakan salah satu program komputasi numerik berdasarkan metode elemen hingga. Section yang divalidasi diambil pada daerah yang terbebas dari variasi tegangan yang fluktuatif (daerah konsentrasi tegangan). Beban yang digunakan adalah beban aerodinamika dan beban inersia. Hasil analisis tegangan yang terjadi menunjukkan bahwa dengan pembebanan tersebut model bilah angin masih kuat.

Kata kunci : bilah, komposit, E/Glass, MSC Patran/Nastran, tegangan

## Abstract

*Wind turbine is one of the alternative technologies to produce electricity or power plants. It works by using the wind energy to drive rotor blades which connected to the generator to produce electricity. The Good design of blades structure is capable to support the operation as expected. The E / Glass is one of composite material that can meet these criteria.*

*The strength of composite materials lies in the composition and direction of the fiber. Composition and direction of the fibers in this study is quasi isotropic and the direction are [0/-45/90/90 / +45 / 0]. The modeling process is done by using MSC Patran / Nastran. Program which is based on the finite element method. Model validation is performed and the result is below 10% compare to the analytical calculations. The loads used in this study are aerodynamic load and inertia load. The Results of the analysis indicate that the model still strong enough.*

*Key words: Blade, composite, E/Glass, MSC Patran/Nastran, stress*

## 1. Pendahuluan

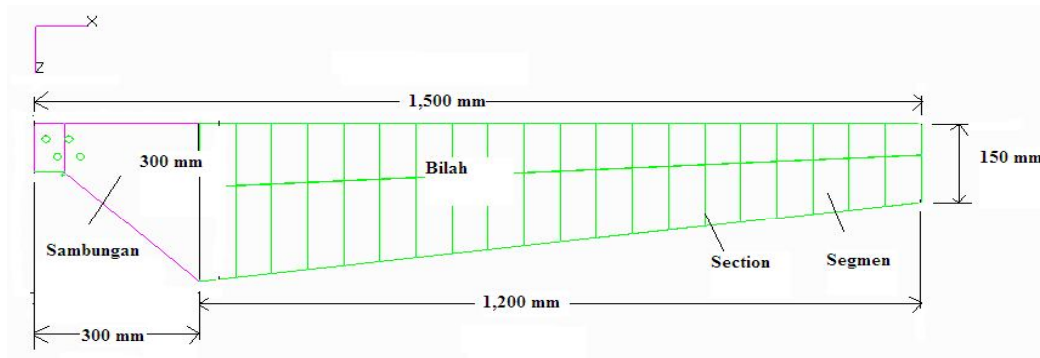
Kelangkaan energi listrik sering terjadi akibat jumlah produksi tidak mencukupi permintaan yang ada. Pembangkit listrik turbin angin merupakan salah satu teknologi alternatif yang efektif untuk mengatasi masalah tersebut. Prinsip kerja turbin angin adalah memanfaatkan aliran angin untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Bilah (blade) merupakan komponen struktur yang memanfaatkan aliran angin sebagai penggerak generator. Terdapat 2 tipe turbin angin yang biasa digunakan, yaitu turbin angin sumbu horisontal (horizontal axis wind turbine) dan turbin angin sumbu vertikal (vertical axis wind turbine). Horizontal axis wind turbines. Desain struktur bilah yang baik adalah bilah yang mampu menunjang pengoperasian sesuai dengan yang diharapkan. Kriteria Struktur bilah (blade) yang dibutuhkan adalah kuat dan ringan. Kriteria kuat dan ringan merupakan salah satu sifat material komposit.

Komposit adalah material yang terbentuk dari gabungan jenis material dua atau lebih yang memiliki karakteristik berbeda menjadi satu material yang memiliki karakteristik lebih baik daripada material pokok pembentuk. Komponen pembentuk komposit ada 2, yaitu resin (pengikat) dan *fiber* (penguat). *E/Glass* merupakan salah satu jenis material komposit yang mampu mengakomodasi kriteria material bilah turbin angin.

Pada penelitian ini beban yang digunakan adalah beban inersia dan aerodinamika. Model yang digunakan adalah model bilah berongga, dimana tanpa ada struktur penguat yang lain (penerima beban) selain kulit. Model ini didisain dimana hanya kulit bilah menerima dan menahan beban yang terjadi selama operasi. Oleh karena itu pada penelitian ini mengkaji bagaimana tegangan yang terjadi pada kulit bilah dengan susunan arah serat [0/-45/90/90/+45/0].

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan membuat model FEM dengan model FEM referensi yang digunakan adalah model penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Benito Siahaan<sup>[11]</sup> yang berjudul “ pemodelan dan analisis sambungan mekanik pada struktur komposit bilah turbin angin menggunakan metode elemen hingga”. Data geometri bilah turbin angin yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Geometri model

Material yang digunakan adalah material komposit *E-Glass* yang didapatkan dari penelitian yang sama<sup>[11]</sup> seperti model referensi. Tabel 3.1 dillihatkan nilai properti mekanik material *E-Glass* yang digunakan pada pemodelan pada penelitian ini.

Tabel 1. Data Material Lamina<sup>[11]</sup>

Karakteristik	Nilai	Satuan
E11	43,500,000	KPa
E22	11,500,000	KPa
E12	3,450,000	KPa
$\sigma_f$ (tensile)	400,000	KPa
$\sigma_f$ (kompresi)	390,000	KPa
$\nu_{12}$	0.27	
$\rho$	2E-06	Kg/mm <sup>3</sup>

Susunan komposit yang digunakan pada kesemua model adalah [0/45/-45/90]<sub>s</sub> dengan ketebalan tiap lamina 0,25 mm. Ketebalan yang digunakan pada pemodelan adalah 2 mm. Beban yang digunakan dalam analisis ini adalah beban aerodinamika<sup>[11]</sup> dan inersia<sup>[11]</sup>. Beban aerodinamika yang diaplikasikan ke model adalah beban tekan yang merata pada permukaan atas dan bawah bilah angin. Beban inersia adalah beban karena putaran bilah sebanyak 350 rpm.

Pembebanan aerodinamika didasarkan pada data beban yang diperoleh dari laporan *Perancangan Struktur Turbin Angin Dengan Bahan Komposit*<sup>[13]</sup>. Distribusi tekanan yang diaplikasikan pada model adalah persamaan linier hasil penyederhanaan distribusi tekanan pada kulit bilah atas dan kulit bilah bawah.

Analisis tegangan dilakukan setelah beban dan material tersebut dimasukkan kedalam model yang dibuat dengan menggunakan MSC Patran/Nastran.

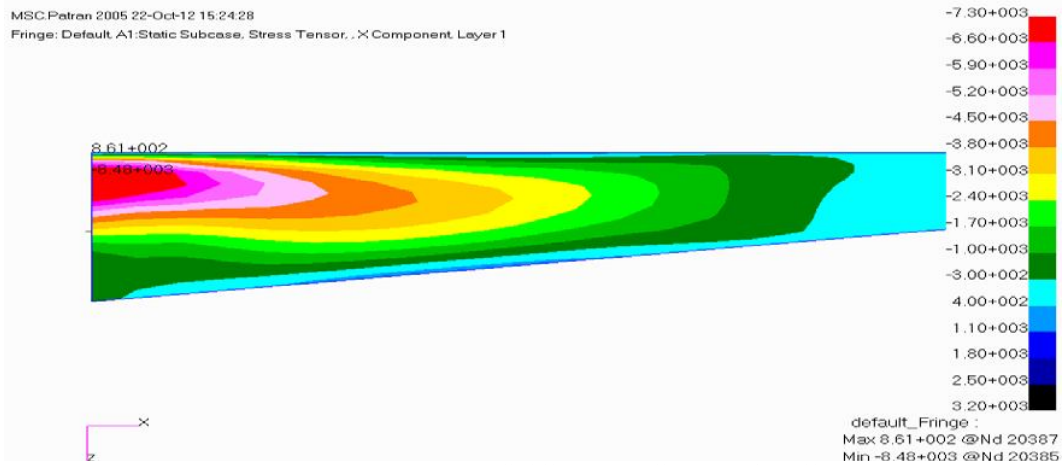
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Perbandingan tegangan hasil FEM dengan Analitik

Perhitungan analitik dilakukan untuk memberikan nilai referensi yang akan dijadikan nilai pembandingan untuk validasi model. Pada perhitungan analitik ini dilakukan dengan 3 tahapan, yaitu Perhitungan tegangan akibat beban aerodinamika, Perhitungan tegangan akibat inersia, dan Perhitungan tegangan kombinasi akibat beban aerodinamika dan inersia. Karena susunan komposit yang quasi isotropic, maka perhitungan tegangan analitik menggunakan persamaan isotropik untuk menghitung tegangan akibat beban aerodinamika sebagai berikut.

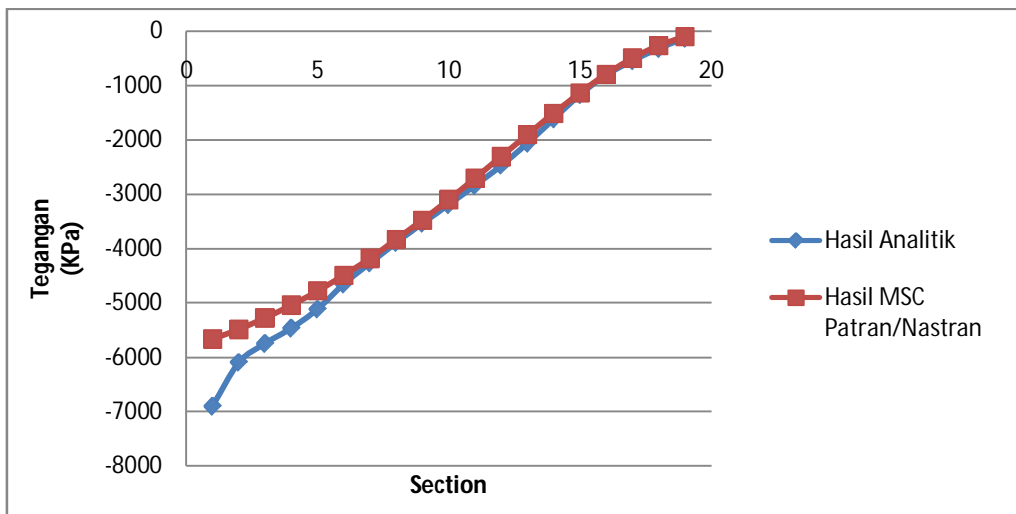
$$\sigma_{bm} = -\frac{M_{xx} y}{I_{xx}} \quad (1)$$

Keterangan  $\sigma_{bm}$  : Tegangan akibat bending momen (aerodinamika) (KPa)  
 $M_{xx}$  : Momen lentur arah xx (Nm)  
 $y$  : posisi jarak terhadap sumbu netral (m)  
 $I_{xx}$  : *Momen of inersia* arah xx (m<sup>4</sup>)



Gambar 2. Plot tegangan kulit bilah atas akibat aerodinamika

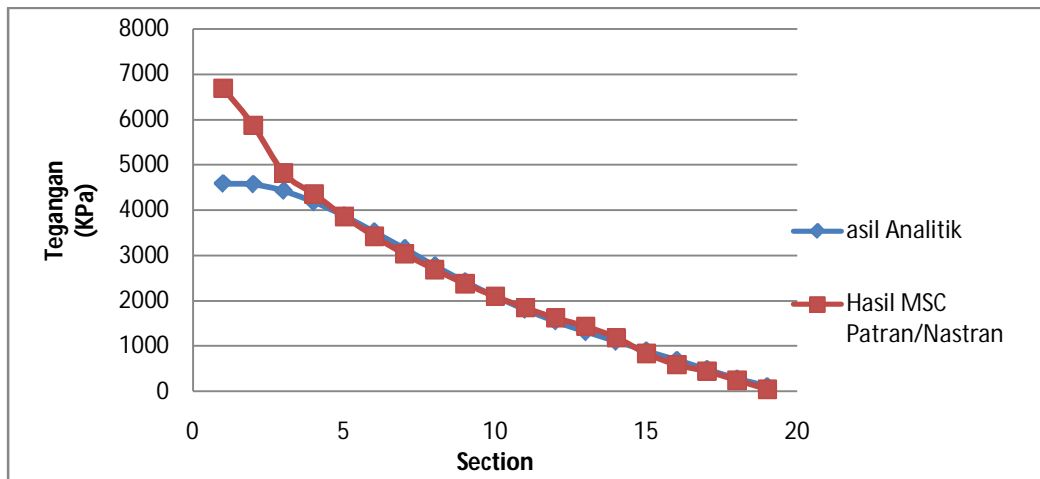
Gambar 2 merupakan plot pola tegangan hasil FEM yang terjadi pada kulit bilah angin atas dengan beban aerodinamika. Hasil tegangan FEM kemudian dibandingkan dengan tegangan hasil perhitungan analitik untuk beban yang sama yaitu beban aerodinamika yang tampak pada gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan tegangan kulit bilah atas

Persentase perbedaan tegangan yang terjadi bervariasi pada tiap *section*-nya. Pada daerah dekat dengan *root* dan dekat dengan *tip* nilai persentase tegangan tinggi melebihi 10%. Perbedaan tersebut terjadi karena pada daerah *root* terjadi konsentrasi akibat pengaruh bentuk model.

Tegangan yang terjadi pada kulit bilah bawah hampir sama seperti pada kulit bilah atas, namun tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik tidak seperti tegangan tekan yang terjadi pada kulit bilah atas. Pada gambar 4 dapat dilihat grafik perbandingan tegangan untuk kulit bilah bawah.



Gambar 4. Perbandingan tegangan kulit bilah bawah

Seperti tegangan akibat beban aerodinamika, beban akibat beban inersia juga dilakukan perbandingan antara tegangan hasil FEM dengan tegangan hasil perhitungan analitik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan akibat gaya inersia sebagai berikut

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Keterangan : F adalah Gaya inersia (N)  
A adalah luas area penampang ( $m^2$ )  
 $\sigma_i$  adalah tegangan inersia (KPa)

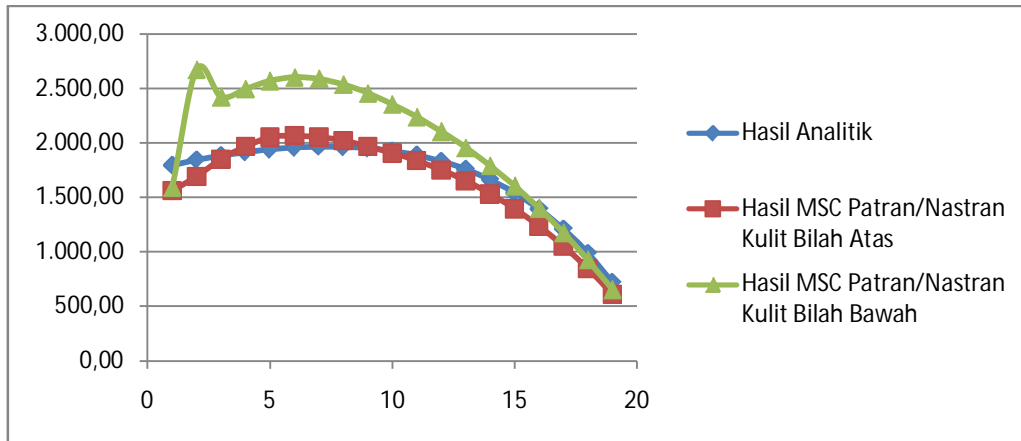
Dimana  $F = m \times \omega^2 \times R$  (3)

maka persamaan diatas menjadi

$$\sigma_i = \frac{m \times \omega^2 R}{A} \quad (4)$$

Keterangan : m adalah massa (Kg)  
 $\omega$  adalah kecepatan sudut (rad/s)  
R adalah *radius* (m)

Perbandingan tegangan kulit bilah bagian atas dan bagian bawah akibat beban inersia dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Tegangan kulit bilah akibat beban inersia

Asumsi yang digunakan pada perhitungan analitik adalah semua tegangan yang terjadi pada tiap *section* adalah positif atau tegangan tarik, karena arah gaya inersia yang diasumsikan keluar bilah (*outward*) sehingga hasil tegangan yang terjadi adalah positif. Namun hasil simulasi *MSC Patran/Nastran* menunjukkan terdapat tegangan kompresi pada daerah *leading edge* dekat *root*.

Tegangan tekan yang terjadi sebagai akibat dari bending momen akibat offset konstrain yang terpasang di model pada bagian sambungan (baut). Sedangkan pada hitungan analitik konstrain diletakkan pada *section 1 (root)*. Titik pusat gaya model dengan hitungan analitik yang berbeda menyebabkan terjadinya momen arah *y*.

Validasi yang dilakukan selanjutnya adalah dengan beban kombinasi aerodinamika dan inersia. Pembebanan ini adalah penjumlahan beban akibat aerodinamika dan beban inersia seperti pada persamaan berikut

$$\sigma_t = \sigma_{bm} + \sigma_i \tag{5}$$

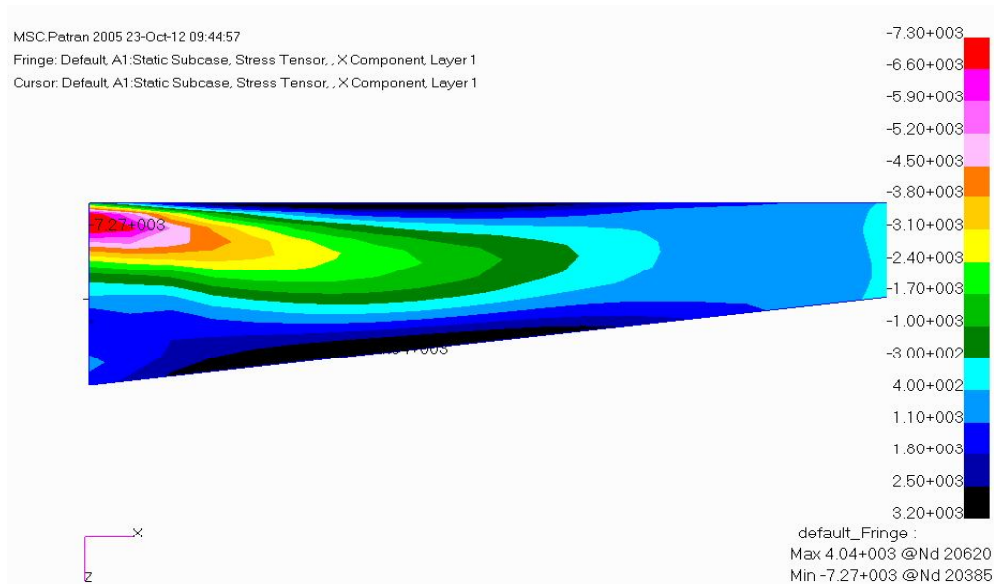
Keterangan  $\sigma_t$  : Tegangan total  
 $\sigma_{bm}$  : Tegangan akibat aerodinamika  
 $\sigma_i$  : Tegangan akibat beban inersia

Perbandingan tegangan akibat beban kombinasi dilakukan pada *section 15* sampai *section 19*. Pengambilan *section* tersebut untuk meminimalisasi pengaruh konsentrasi tegangan serta pengaruh momen akibat inersia yang tidak dilakukan perhitungan.

Tabel 2. Perbandingan Tegangan Kombinasi Kulit Bilah Atas Hitungan Analitik dengan Tegangan Hasil *MSC Patran/Nastran*

Section	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Nodal	Tegangan Hasil	%
	Akibat Aerodinamika KPa	akibat inersia KPa	Kombinasi KPa		MSC Patran/Nastran KPa	
15	-1,137.05	1,541.06	4.04E+02	20467	4.49E+02	10.0
16	-795.35	1,392.01	5.97E+02	20473	6.33E+02	5.8
17	-499.47	1,209.17	7.10E+02	20479	6.89E+02	-2.9
18	-262.88	986.65	7.24E+02	20485	6.73E+02	-7.5
19	-98.33	717.08	6.19E+02	20491	5.82E+02	-6.3

Dari hasil perbandingan tegangan pada *section 15* sampai *section 19* terlihat nilai persentase tegangan dalam rentang 10%.



Gambar 6. Plot tegangan kulit bilah atas beban kombinasi

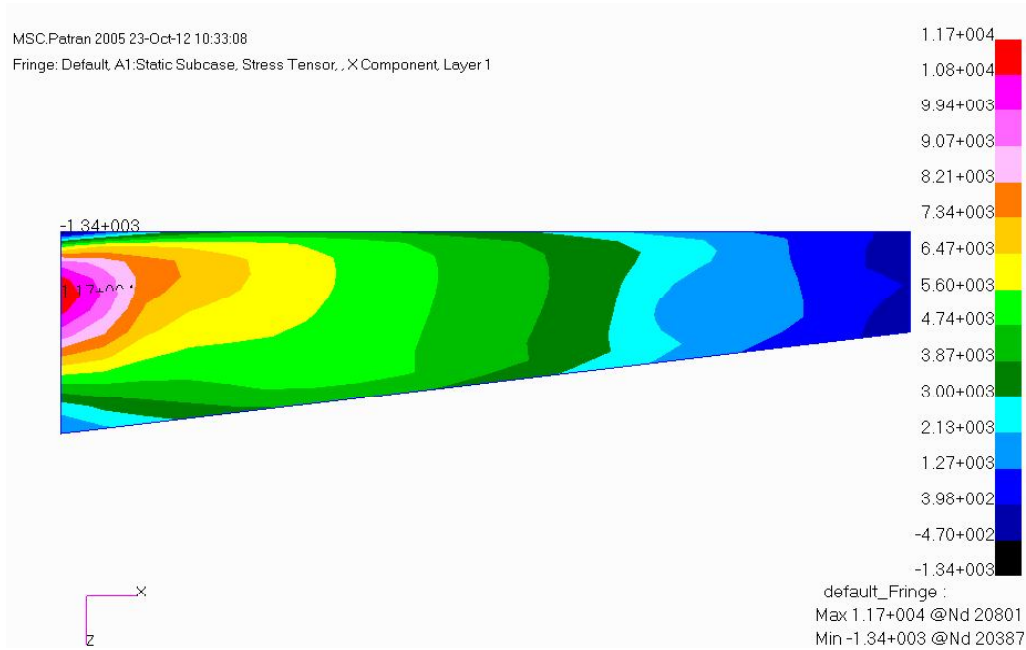
Tegangan yang terjadi terkonsentrasi pada bagian depan (*leading edge*) bilah dengan tegangan tekan maksimal yang terjadi sebesar 7.27 MPa, sedangkan tegangan tarik maksimal sebesar 4.04 MPa pada bagian *trailing edge*. Dengan besarnya tegangan tersebut kulit bilah atas masih aman.

Plot tegangan pada kulit bawah bilah dapat dilihat pada gambar 7 dengan validasi pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Tegangan Kombinasi Kulit Bilah bawah Hitungan Analitik dengan Tegangan Hasil MSC Patran/Nastran

Section	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Nodal	Tegangan Hasil	%
	Akibat Aerodinamika KPa	akibat inersia KPa	Kombinasi KPa		MSC Patran/Nastran KPa	
15	900.4366758	1,541.06	2.44E+03	20808	2.73E+03	10.5
16	691.2166386	1,392.01	2.08E+03	20807	2.25E+03	7.5
17	487.509541	1,209.17	1.70E+03	20806	1.85E+03	8.4
18	282.2871258	986.65	1.27E+03	20805	1.35E+03	6.2
19	115.3994419	717.08	8.32E+02	20804	8.35E+02	0.3

Seperti pada kulit bilah atas, nilai persentase perbandingan tegangan dari *section* 15 sampai *section* 19 menunjukkan kurang dari 10%.



Gambar 7. Plot tegangan kulit bilah bawah beban kombinasi

Seperti pada kulit bilah atas terjadi tegangan tarik dan tekan pada kulit bilah bawah. Besarnya nilai tegangan tekan yang terjadi tidak sebesar pada kulit bilah atas yaitu sebesar 1,34 MPa. Sedangkan pada untuk tegangan tarik, nilai yang terjadi lebih besar dari kulit bilah atas, yaitu sebesar 11.7 MPa sehingga kulit bilah masih aman.

### 3.2 Pembahasan

Setelah validasi dilakukan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan hasil FEM dengan perhitungan analitik, langkah selanjutnya adalah uji konvergensi. Uji konvergensi ditujukan untuk melihat tren tegangan yang terjadi akibat perubahan jumlah mesh. Tren yang baik adalah rentang tegangan variasi jumlah mesh (elemen) menunjukkan konvergensi (mengerucut).

Berikut adalah variasi jumlah elemen yang digunakan.

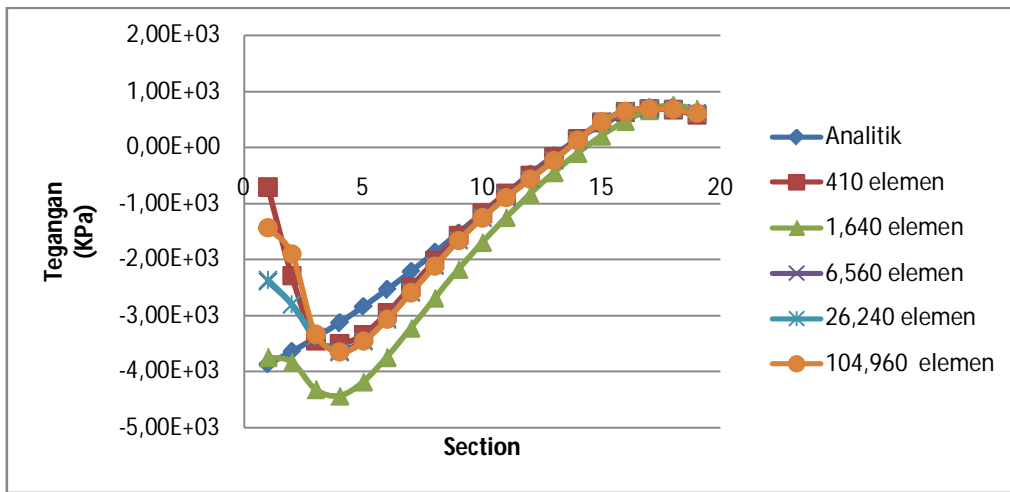
- a. Model 1\_1 : 410 elemen
- b. Model 1\_2 : 1,640 elemen
- c. Model 1\_3 : 6,560 elemen
- d. Model 1\_4 : 26,240 elemen
- e. Model 1\_5 : 104,960 elemen

Tabel 2. Perbandingan Hasil Tegangan Variasi Jumlah Elemen Kulit Bilah Atas

No	Analitik	Hasil MSC Patran/Nastran Kulit Bilah Atas										
		Nodal	410 %		1,640 %		6,560 %		26,240 %		104,960 %	
15	2,441.50	20808	2,729.55	10.55	2,835.30	13.89	2,702.19	9.65	2,707.68	9.83	2,710.80	9.93
16	2,083.22	20807	2,251.52	7.47	2,313.68	9.96	2,234.16	6.76	2,239.68	6.99	2,242.46	7.10
17	1,696.68	20806	1,849.48	8.26	1,794.26	5.44	1,884.27	9.96	1,882.31	9.86	1,881.57	9.83
18	1,268.94	20805	1,351.01	6.07	1,293.94	1.93	1,314.11	3.44	1,311.75	3.26	1,310.96	3.21
19	832.48	20804	833.85	0.16	817.56	-1.82	807.45	-3.10	806.07	-3.28	805.70	-3.32

Tegangan akibat beban kombinasi pada kulit atas menunjukkan persentase tegangan kurang dari 10% pada semua variasi model pada section 15 sampai section 19.



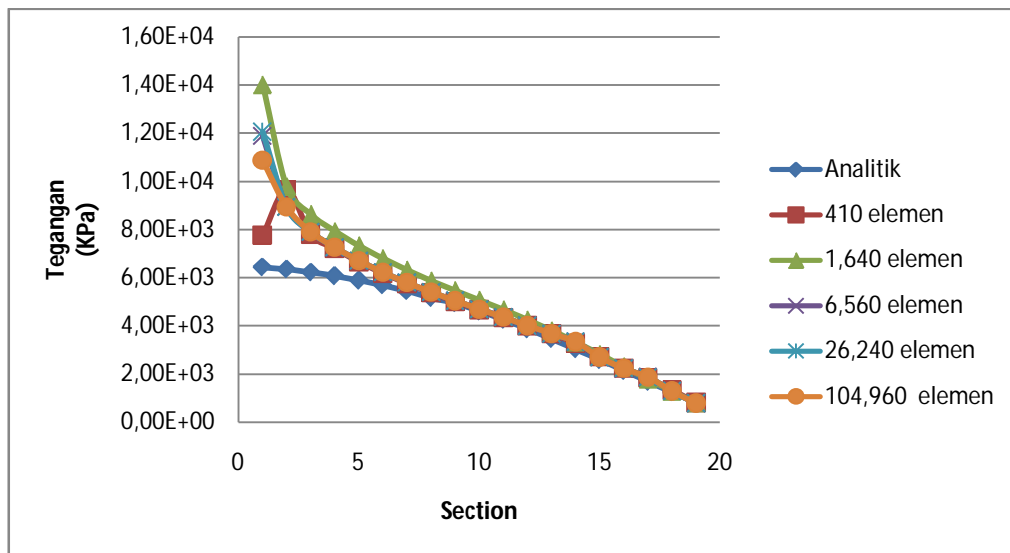


Gambar 8. Tegangan kulit bilah atas hasil analitik dengan variasi jumlah elemen

Tabel 3. Perbandingan Hasil Tegangan Variasi Jumlah Elemen Kulit Bilah Bawah

No	Analitik	Hasil MSC Patran/Nastran Kulit Bilah Bawah										
		Nodal	410 %	1,640 %	6,560 %	26,240 %	104,960 %					
15	404.01	20808	449.07	10.03	210.79	-91.67	459.60	12.09	459.23	12.02	458.33	11.85
16	596.66	20807	633.48	5.81	467.52	-27.62	647.11	7.80	647.19	7.81	646.63	7.73
17	709.70	20806	689.42	-2.94	662.32	-7.15	694.85	-2.14	692.69	-2.46	691.54	-2.63
18	723.77	20805	673.42	-7.48	752.12	3.77	686.33	-5.45	685.30	-5.61	684.50	-5.74
19	618.75	20804	581.82	-6.35	686.68	9.89	611.92	-1.12	613.05	-0.93	612.94	-0.95

Dengan bertambahnya jumlah elemen berdampak pada nilai tegangan yang terjadi dan persentase tegangan untuk tiap variasi jumlah elemen juga berubah. Pada kulit bilah bawah juga dilakukan perbandingan terhadap jumlah variasi elemen. Tegangan yang terjadi pada kulit bilah bawah adalah tegangan tarik dilihat dari notasi nilai positif pada nilai tegangan yang terjadi. Tabel 3 menunjukkan perbandingan nilai tegangan analitik dengan variasi jumlah elemen untuk section 15 sampai section 19.



Gambar 9. Tegangan kulit bilah bawah hasil analitik dengan variasi jumlah elemen

Persentase perbedaan yang terjadi pada kulit bilah bawah kurang dari 10% dari *section* 15 sampai *section* 19. Secara keseluruhan persentase perbedaan variasi jumlah elemen 26.240 dengan 104.960 sangat kecil, sehingga penggunaan model dapat menggunakan model dengan jumlah variasi 26.240. Jika komputer yang digunakan memiliki spesifikasi yang tinggi dapat menggunakan jumlah variasi elemen 104.940 atau lebih untuk mendapatkan hasil yang baik. Gambar 4.16 menunjukkan persentase perbedaan antar jumlah variasi untuk *section* 17.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Tegangan yang terjadi pada bilah akibat beban aerodinamika dan beban inersia memberikan variasi jenis tegangan yang berbeda. Pada kulit bilah atas didominasi oleh tegangan tekan, dan pada kulit bilah bawah didominasi tegangan tarik. Dari kedua beban tersebut, beban yang paling dominan adalah beban akibat inersia.
2. Kulit bilah masih aman karena tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan yang merusak ( $\sigma_f$ ).

#### Daftar Pustaka

- [1] Applied stress analysis, *section XI, composite Material Analysis*, General Dynamics, Convair Division
- [2] Hansen, Martin O. L., *Aerodynamics of wind turbines*, 2nd edition., Earthscan, 2008
- [3] Burton. Tony., *Handbook of wind energy*, John Wiley & Sons, Ltd, 2001
- [4] [www.google.com/wind-turbine](http://www.google.com/wind-turbine)
- [5] [www.wikipedia.org/wind-turbine](http://www.wikipedia.org/wind-turbine)
- [6] Jensen, F Mølholt, *Ultimate Strength Of A Large Wind Turbine Blade*, Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Roskilde & Kgs. Lyngby, Denmark, 2008
- [7] Burton, Tony., Sharpe, David., Jenkins, Nick., Bossanyi, Ervin, *Wind Energy Handbook*, JOHN WILEY & SONS, 2001
- [8] Callister, William D. *Materials science and Engineering*. Jhon Willey & Son Inc.
- [9] <http://www.goodfellow.com/catalogue>
- [10] Niu, Michael Chun-Yung. *Composite Airframe Structures*. Conmilit Press LTD. Hongkong
- [11] Sbastian, Benito, *Pemodelan Dan Analisis Sambungan Mekanik Pada Struktur Komposit Bilah Turbin Angin Menggunakan Metode Elemen Hingga*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Mesin Dan Dirgantara, ITB, 2011