

ANALISIS PEMILIHAN DESAIN STRUKTUR DAN PEMBUATAN PURWARUPA BILAH TURBIN ANGIN KOMPOSIT

M Ardi Cahyono¹, Hendrix NF²

*Sekolah Tinggi teknologi Adisutjipto¹
total_sacrifice@yahoo.com*

*Sekolah Tinggi teknologi Adisutjipto²
Firmansyah.hendrix@gmail.com*

Abstrak

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.

Desain struktur bilah yang baik adalah bilah yang mampu menunjang pengoperasian turbin angin sesuai dengan yang diharapkan. Kriteria Struktur bilah (blade) yang dibutuhkan adalah kuat dan ringan. Kriteria kuat dan ringan merupakan salah satu sifat material komposit. E/Glass merupakan salah satu jenis material komposit yang mampu mengakomodasi kriteria material bilah turbin angin. Harga yg relatif murah dan stok yang mencukupi menambah nilai positif dalam pemilihan material bilah turbin angin. Dalam pembuatan bilah harus memperhatikan proses pemilihan desain struktur dan pemilihan proses produksi.

Tegangan merupakan komponen yang digunakan sebagai parameter pemilihan desain. Nilai tegangan yang terjadi dapat dihasilkan dari analisis model dengan menggunakan perangkat lunak MSC Patran / Nastran. Pada penelitian ini juga dilakukan kovergensi dan validasi model yang berguna untuk keakuratan dan kebenaran hasil tegangan. Margin of safety yang terjadi pada ketiga bilah menunjukkan nilai yang positif, yang mana artinya bilah tersebut aman. Nilai MS terbesar terjadi pada disain bilah sandwich. Pemilihan disain master molding dan cetakan didasarkan pada kemudahan dan kecepatan saat pembuatan. Pilihan cetakan dan master molding yang digunakan adalah model 2. Jenis material yang digunakan adalah E/Glass Hasil purwarupa dengan disain menunjukkan kesamaan bentuk pada ketiga jenis

bilah tersebut. Hasil analisis pemilihan bilah yang direkomendasikan untuk diproduksi adalah bilah komposit sandwich (foam core)

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

Abstract

The Scarcity of the electrical energy occurs due to the insufficient amount of its productions. Wind turbine is one the alternative technologies that effective to resolve the issue. The mechanism of wind turbine is utilizing the wind flow to drive a generator so that can produce electricity. Blade (bilah) is a structural component that utilizes the wind flow as the driving generator.

The Good design for the wind blade structures are the ability for supporting the operation of the wind turbines as expected. The criteria for designing wind blades are strong in structure and light in weight. Thus Criteria can be obtained by using composite materials. E/Glass is one of its types which accommodate wind turbine blades material criteria. The E/Glass price also relatively inexpensive, and have sufficient stock so make more positive values in material selection of wind turbine blades. In the manufacture of blades should pay attention to the election process and the selection of the structural design of production processes.

The stress levels are used as one of design parameter selections. The stress levels are generated from the model that analyzed using MSC Patran / Nastran. This research also conducts the convergence method and validation for accuracy and reliability of the stress results. The margin of safety (MS) shows positive values, which means that the blades are strong enough. The highest MS values occur in the design of the composite sandwich wind blade. The method for selection master moulding and mould design based on ease and speed during manufacture. Then the analysis shows that the models 2 are the best one. The Results shows that the prototypes have the same shape to the three types of blades. The recommendation blades that to be produced are the composite sandwich wind blade (foam core).

Key words : blade, composite, E/Glass, MSC Patran/Nastran, prototype, sandwich

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. Desain struktur bilah yang baik adalah bilah yang mampu menunjang pengoperasian turbin angin sesuai dengan yang diharapkan. Kriteria Struktur bilah (*blade*) yang dibutuhkan adalah kuat dan ringan. Kriteria kuat dan ringan merupakan salah satu sifat material komposit. Maryono Ismail (2009) Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN judul penelitian “Desain Arsitektur Struktur Penampang Potong Sepanjang Bentang Sudu Aerodinamik Turbin Angin 50 Kw”. Dalam penelitiannya dia memilih *hat spar* dan 3 layer lamina. Material yang digunakan pada penelitian tersebut adalah komposit. Komposit digunakan karena memiliki kelebihan (*strength to weight ratio*) dibanding penggunaan material logam. E/Glass merupakan salah satu jenis material komposit yang mampu mengakomodasi kriteria material bilah turbin angin. Model desain yang akan digunakan ada 3 jenis yaitu model bilah berongga (*hollow*) tanpa ada struktur penguat yang lain (penerima beban) selain kulit, model dengan penguat spar, dan model bilah dengan foam sebagai pengisi rongga (*sandwich*) yang ditujukan untuk menambah kekakuan. Dari ke tiga model tersebut selanjutnya dipilih untuk menjadi desain pilihan Pemilihan desain didasarkan atas analisis tegangan yang terjadi (MS), kecepatan saat pembuatan dan tingkat kesulitan. Analisis tegangan pada proses pemilihan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MSC Patran / Nastran. Beban yang digunakan adalah beban aerodinamika dan beban inersia. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pemilihan desain model bilah yang sesuai dengan kriteria.
2. Melakukan analisis pemilihan jenis tipe produksi bilah turbin yang akan digunakan untuk membuat purwarupa bilah sesuai pilihan.
3. Melakukan analisis kesesuaian bentuk purwarupa hasil produksi dengan desain yang dipilih.

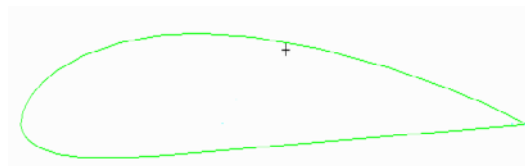
2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu metode pengumpulan data dan metode analisis data.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data-data penelitian yang terkait.. Data yang dikumpulkan adalah data jenis material, dan metode dalam proses produksi komposit.

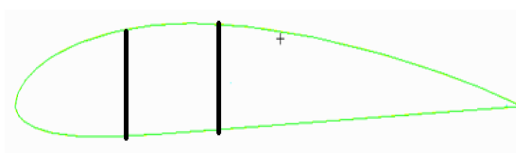
Jenis material yang digunakan dipilih berdasarkan nilai property, ketersediaan barang, dan harga. Dari hasil analisis jenis material yang digunakan adalah *fibreglass* (E/Glass). Pemilihan metode produksi didasarkan pada kemampuan perseorangan dalam menguasai teknologi metode produksi tertentu. Jenis metode produksi yang digunakan adalah hand layup dengan vakum.

Pada penelitian ini diusulkan 3 bentuk struktur dalam, yaitu model 1 (tanpa struktur dalam/*hollow*)^[11], model 2 (dengan struktur dalam/*spar* ganda), dan *sandwich* (dengan *foam* sebagai *core*). Model 1 merupakan bilah angin yang hanya menggunakan kulit (laminat) sebagai struktur utama dan satu-satunya menahan beban.



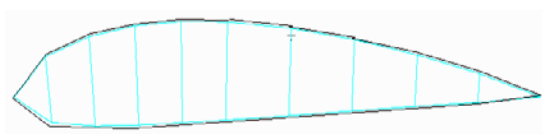
Gambar 1. Bilah angin model 1 tanpa struktur dalam (*hollow*)

Model 2 menggunakan dua buah *spar* tampak pada gambar 3.3



Gambar 2. Model 2 dengan sebuah *spar*

Pada model 3 ini struktur dalam bilah angin inti akan diberikan *foam* pada inti.



Gambar 3. Model 3 *sandwich core foam* (*expanded polystyrene*)

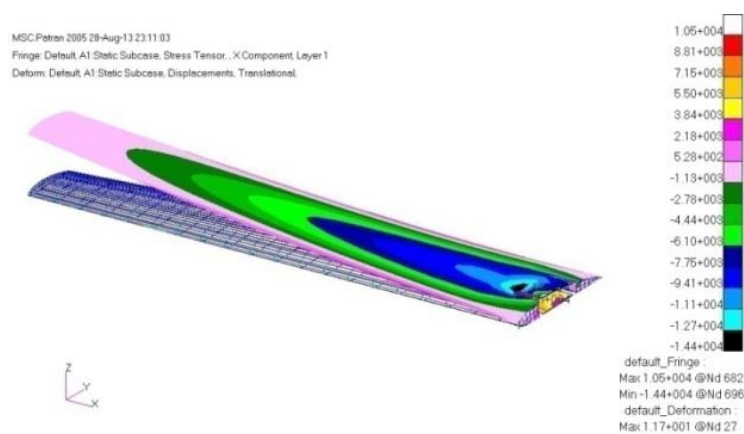
Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MSC Patran / Nastran. Pertimbangan yang diperlukan adalah kesesuaian geometri model, proses *meshing*, pemasukan parameter properti mekanik, beban, konstrain dan jenis analisis yang digunakan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemilihan disain yang akan dibuat purwarupa salah satunya berdasarkan pada analisis tegangan. Analisis tegangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MSC Patran / Nastran. Berikut adalah analisis tegangan untuk tiap desain bilah turbin angin.

3.1 Analisis tegangan bilah turbin *hollow*

Hasil analisis menunjukkan besarnya tegangan tekan maksimal adalah sebesar 14.4 MPa dan tegangan tarik maksimal sebesar 10.5 MPa. Tegangan tersebut terjadi pada layer terluar atau layer 1. Untuk kontur tegangan dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 4 Kontur tegangan pada bilah turbin angin *hollow*

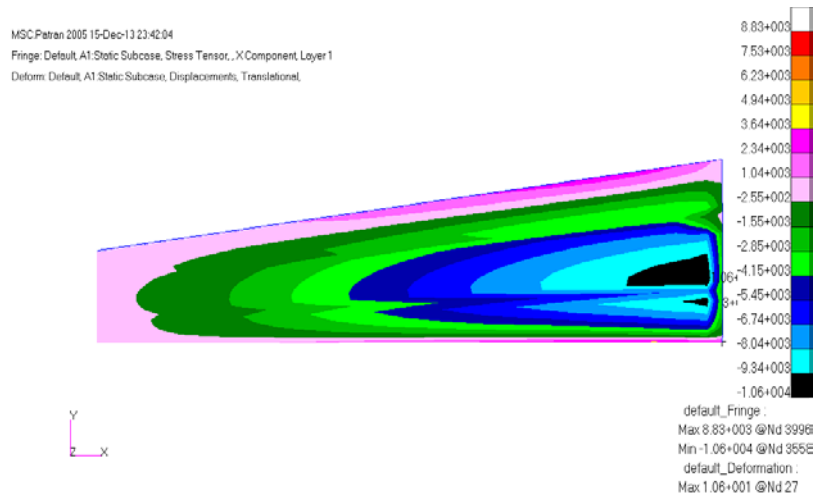
Dari hasil analisis tegangan dapat diketahui besarnya margin of safety, berikut adalah nilai MS bilah turbin angin *hollow*.

$$MS_{\text{tekan}} = \frac{390}{14.4} - 1 = 26.084$$

$$MS_{\text{tarik}} = \frac{400}{10.5} - 1 = 37.095$$

3.2 Analisis Tegangan Bilah *Spar* Ganda

Kontur tegangan dapat dilihat pada gambar 4.2 kontur tegangan pada bilah *spar* ganda. Pada layer 1, tegangan tarik terbesar adalah 8.83 MPa, dan tegangan tekan tersebut adalah 10.6 MPa. Namun pada layer tersebut tidaklah menjadi tegangan maksimal. Tegangan maksimal Pada desain ini sebesar 11.1 MPa (tegangan tekan) dan 16.2 MPa (tegangan tarik) yang terjadi pada layer paling dalam atau layer 8.



Gambar 5 Kontur tegangan layer 1 pada desain bilah *spar* ganda

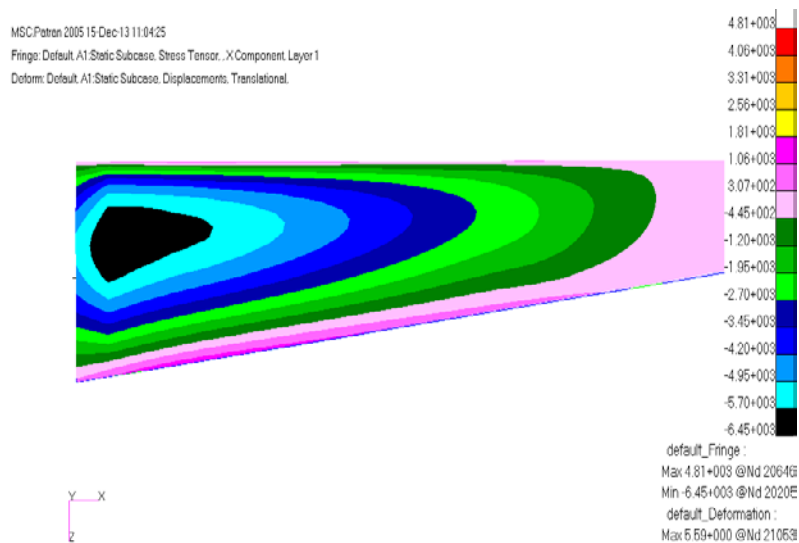
Untuk nilai *margin of safety* (MS) adalah sebagai berikut

$$MS_{tekan} = \frac{390}{11.1} - 1 = 34.13$$

$$MS_{tarik} = \frac{400}{16.2} - 1 = 23.69$$

3.2 Analisis tegangan bilah *sandwich* (*core foam*)

Setelah dianalisis bilah turbin angin komposit *sandwich core foam* maka didapat nilai Tegangan tekan maksimal sebesar 6.45 MPa pada nodal 20205 dan tegangan tarik maksimal adalah 4.81 MPa pada nodal 20646 yang terdapat pada layer 1.



Gambar 6. Kontur tegangan kulit bilah turbin *sandwich* (*core foam*)

Berdasarkan hasil analisis pada bilah turbin komposit *sandwich core foam* dengan material E-glass maka tegangan tekan maksimum terletak pada layer 1 yaitu 6.45 MPa dan tegangan

tarik maksimum terletak pada layer 8 yaitu 5.28 MPa. Berikut adalah nilai *margin of safety* (MS).

$$MS_{tekan} = \frac{390}{6.45} - 1 = 59.465$$

$$MS_{tarik} = \frac{400}{5.28} - 1 = 74.758$$

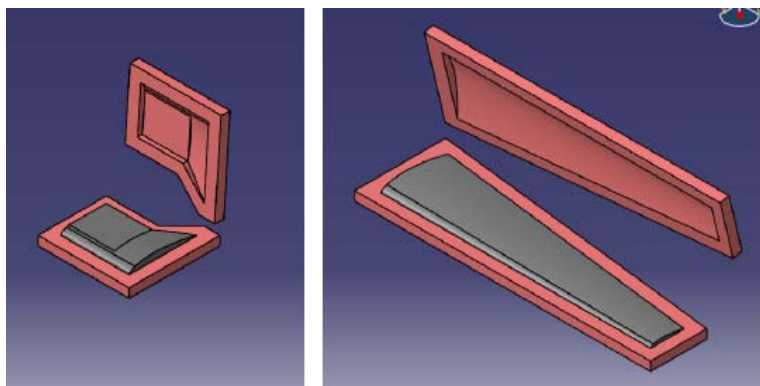
Karena nilai hasil perhitungan MS tekan dan tarik material e-glass lebih besar dari nol (0), maka bilah dengan material ini aman.

Hasil analisis tegangan yang berdasarkan *Margin of safety* diketahui bahwa desain *sandwich* adalah yang terbaik.

3.4 Desain *Master molding* dan Cetakan

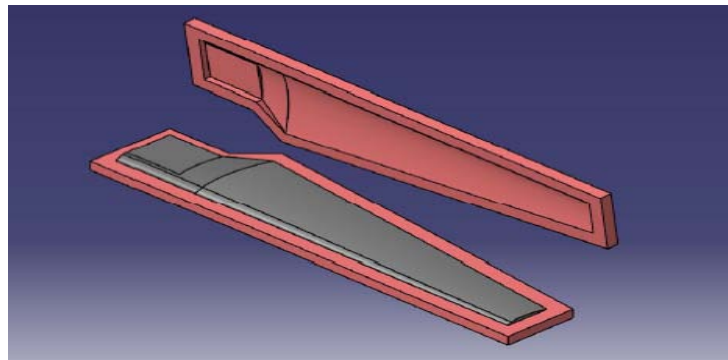
Master molding dan cetakan digunakan untuk membuat purwarupa dari bilah yang akan dibuat. Rancangan *master molding* dan cetakan yang baik akan menentukan hasil yang baik pula. Kriteria rancangan yang digunakan pada rancangan ini adalah kemudahan dan kecepatan dalam proses pembuatan serta kesesuaian hasil cetakan. Rancangan yang diusulkan adalah sebagai berikut:

1. Model 1



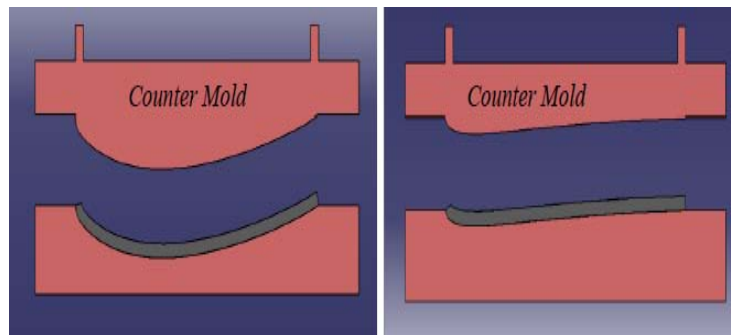
Gambar 7. Rancangan *master molding* dan cetakan model 1

2. Model 2



Gambar 8. Rancangan *master molding* dan cetakan model 2

3. Model 3



Gambar 9. Rancangan *master molding* dan cetakan model 3

Dari analisis rancangan tiap model, rancangan yang dipilih dan yang akan digunakan pada pembuatan atau proses produksi purwarupa adalah model 2. Model 2 adalah membuat cetakan untuk satu kesatuan bilah turbin yang utuh, dengan membagi *master molding* menjadi 2 bagian yaitu atas dan bawah, sehingga untuk model ini memiliki cetakan bagian atas dan cetakan bagian bawah. Dibandingkan dengan model 1, pengerjaan model 2 sedikit lebih rumit karena luas penampangnya lebih besar, namun waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat dan biaya produksi lebih murah karena tidak memakai terlalu banyak bahan material.

Hasil pembuatan master molding dan cetakan bias dilihat pada gambar berikut



Gambar 10. master molding dan cetakan

3.5 Pembuatan Purwarupa Bilah

Proses pembuatan purwarupa dilakukan dengan metode hand lay up dan bantuan vakum. Vakum digunakan untuk mengurangi kadar resin yang terdapat pada kulit bilah. Pada pembuatan purwarupa ini akan ditekan pada waktu dan kesulitan didalam pembuatan. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut

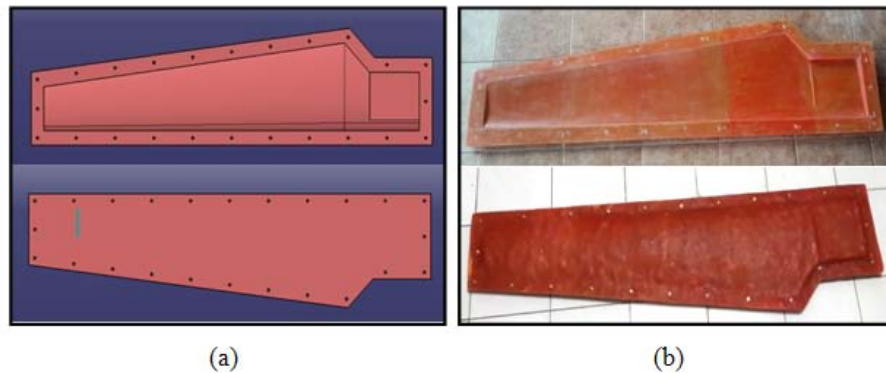


Gambar 11. Bilah Turbin Angin Komposit *Hollow, Spar Ganda dan Core Foam*

3.6 Kesesuain Desain Model dengan Hasil Produksi

Proses produksi tidak akan berjalan baik sebelum kegiatan perancangan diselesaikan. Dari hasil perancangan akan diketahui deskripsi dari benda yang akan dibuat. Hal ini akan sangat memudahkan proses produksi. Desain model bilah turbin angin komposit menggunakan *software* CATIA V5R16. Kesesuain desain model dengan hasil produksi menjadi sebuah indikator keberhasilan suatu pekerjaan. Namun faktanya ketika dilapangan tidak sepenuhnya proses pembuatan dapat mengikuti desain model yang telah dirancang, ada beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut.

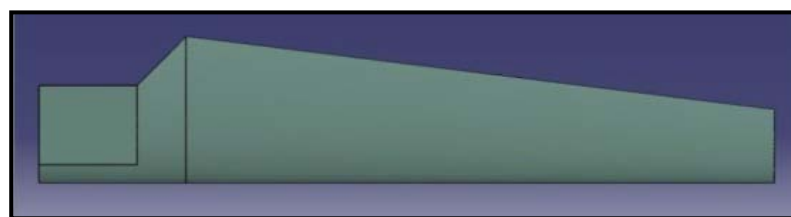
Seperti halnya dalam pembuatan cetakan *molding*, permukaan dalam cetakan yang dibuat telah sesuai dengan desain model yang digambar, namun ketebalan cetakan yang dibuat lebih tipis dari pada desain model yang digambar, hal ini dikarenakan untuk meminimalkan material yang dipakai, dan untuk mengurangi bobot dari cetakan agar menjadi lebih ringan. Sehingga tampak sedikit perbedaan pada permukaan luar cetakan seperti pada gambar 4.17



Gambar 12.

- (a) Desain Model Cetakan *Molding*;
- (b) hasil Produksi Cetakan *Molding*

Sedangkan untuk hasil produksi bilah turbin komposit bentuk konstruksi beserta dimensinya telah sesuai dengan desain model yang digambar. Untuk ke dua penampakan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 13. Desain Model Bilah Turbin Komposit



Tabel 1. Perbandingan Massa Desain Model

Bilah			
Turbin	<i>Hollow</i>	<i>Spar</i>	<i>Core</i>
Angin		Ganda	<i>Foam</i>
Komposit			
Massa	2.80	3.00	2.85
(Kg)			

Dari data tabel perbandingan massa diatas, model yang memiliki bobot paling ringan adalah model bilah turbin angin komposit *hollow* dengan berat sebesar 2.80 kg. Pada hasil produksi yang sesungguhnya, massa untuk masing-masing bilah turbin angin komposit adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Perbandingan Massa Hasil Produksi

Bilah	<i>Hollo</i>	<i>Spar</i>	<i>Core</i>
Turbin	<i>w</i>	Ganda	<i>Foam</i>
Angin			
Komposit			
Massa	2.40	2.70	2.60
(Kg)			

Data tabel perbandingan massa diatas menunjukkan bilah turbin angin komposit *hollow* juga memiliki bobot yang paling ringan dengan berat sebesar 2.40 kg. Dari perbandingan data ke dua tabel, terdapat sedikit selisih perbedaan antar massa pada desain model dengan massa pada hasil produksi.

Durasi waktu pengerjaan bilah turbin angin komposit *hollow*, *spar ganda* dan *core foam* berbeda-beda. Dengan adanya penambahan *spar* atau *core foam* maka waktu pengerjaannya akan lebih lama dibandingkan dengan yang *hollow*, dan tentunya terdapat selisih waktu yang berbeda di antara ketiga model bilah turbin tersebut. Berikut adalah table perbandingan yang digunakan untuk pemilihan bilah komposit.

Tabel 3. Perbandingan

	BILAH TURBIN ANGIN <i>HOLLOW</i>	BILAH TURBIN ANGIN <i>SPAR GANDA</i>	BILAH TURBIN ANGIN <i>CORE FOAM</i>
MS_{tekan}	26.084	34.13 (+30,9 % > <i>hollow</i>)	59.465 (+128 % > <i>hollow</i>)
MS_{tarik}	37.095	23.69 (-36,2 % < <i>hollow</i>)	74.758 (+101,5 % > <i>hollow</i>)
Durasi pembuatan	34 Jam 55 menit	49 Jam 10 menit (40,8 % > <i>hollow</i>)	37 Jam 55 menit (8,5 % > <i>hollow</i>)
Massa (kg)	2,40	2,70	2,60
Tingkat Kesulitan	Mudah	Sulit	Sedang

Dari table tersebut rekomendasi peneliti untuk bilah yang akan dibuat untuk diproduksi adalah bilah dengan jenis *sandwich (core foam)*

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan desain yang dipilih berdasarkan beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah tegangan (*margin of safety*), durasi pembuatan, massa benda purwarupa, dan tingkat kesulitan didalam proses produksi. *Margin of safety* dipilih sebagai salah satu indikator kekuatan struktur bilah jika dikenai beban statik. Durasi pembuatan dikaitkan dengan seberapa lama bilah tersebut bisa diproduksi, karena semakin cepat waktu yang dibutuhkan akan semakin baik. Massa benda dikaitkan dengan besarnya beban pada saat operasi. Tingkat kesulitan dikaitkan dengan kemampuan *man power* dalam penyelesaian pembuatan dan cepat atau lamanya proses produksi. Selain itu metode yang digunakan pada proses produksi juga digunakan sebagai pertimbangan.
2. Jenis produksi yang dimaksud pada penelitian ini berkaitan dengan pemilihan metode produksi dan desain cetakan dan *master molding*. Setelah dilakukan analisis metode produksi yang digunakan adalah hand lay up dengan vakum. Metode produksi ini dipakai karena mudah untuk diaplikasikan dan perlengkapan yang digunakan sederhana. Faktor yang perlu diperhatikan adalah kemampuan *man power*. Vakum digunakan untuk mengurangi jumlah resin pada lamina. Desain *master molding* dan cetakan sangat

menentukan dalam kecepatan dan kemudahan dalam proses pembuatan purwarupa. Hasil analisis didapatkan metode 2 (model 2) yang cocok untuk pembuatan purwarupa.

3. Hasil dari analisis kesesuaian menunjukkan hasil rancangan sudah sesuai dengan hasil produksi biarpun terdapat beberapa kekurangan. Kekurangan yang dimaksud adalah bentuk gelombang pada cetakan permukaan luar. Namun gelombang pada permukaan luar tidak mempengaruhi hasil cetakan karena permukaan cetakan pada bagian dalam (yang digunakan untuk mencetak bentuk) sudah halus dengan bentuk atau kontur yang sesuai dengan desain.

5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang bisa dilaksanakan untuk penyempurnaan penelitian ini

1. Perlu dilakukan analisis kelelahan (*fatigue*). Analisis kelelahan digunakan untuk mengetahui seberapa lama bilah tersebut masih mampu untuk dioperasikan.
2. Uji benda untuk beban statis maupun dinamis (uji lab)

Ucapan Terima Kasih

Direktorat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, DIKTI.

Daftar Pustaka

Applied stress analysis, section XI, *composite Material Analysis*, General Dynamics, Convair Division

Hansen, Martin O. L., *Aerodynamics of wind turbines*, 2nd edition., Earthscan, 2008

Burton, Tony., *Handbook of wind energy*, John Wiley & Sons, Ltd, 2001

www.google.com/wind-turbine

www.wikipedia.org/wind-turbine

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

Burton, Tony., Sharpe, David., Jenkins, Nick., Bossanyi, Ervin, *Wind Energy Handbook*, JOHN WILEY & SONS, 2001

Callister, William D. *Materials science and Engineering*. Jhon Willey & Son Inc.

<http://www.goodfellow.com/catalogue>

<http://faisalpupa.blogspot.com>

<https://www.kompulsa.com>

[https://www. archiexpo.com](https://www.archiexpo.com)

Niu, Michael Chun-Yung. *Composite Airframe Structures*. Conmilit Press LTD. Hongkong

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

Maryono Ismail, *Desain Arsitektur Struktur Penampang Potong Sepanjang Bentang Sudu Aerodinamik Turbin Angin 50 Kw*, Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol 7, Jakarta, 2009

Sulistyo Atmadi, Firman Hartono, Ahmad Jamaludin.F., *Penelitian dan Perancangan Sudu Turbin Angin LPN 10000 E*, jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 3, Jakarta, 2005