

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PURWARUPA STRUKTUR *HUB* DAN *NACELLE* UNTUK APLIKASI TURBIN ANGIN

Hendrix Noviyanto F, ST., MT.¹ Ir. Sudarmanto, M.T.²

Departemen Teknik Penerbangan¹
Departemen Teknik Mesin²
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Yogyakarta
Jl. Janti, Blok R, Lanud Adisutjipto Yogyakarta
hendrix@stta.ac.id

Abstract

Wind turbine is one of the technology to produce electricity. Wind turbine consists of wind blade, nacelle, hub and tower. Hub is the structure which connect wind blade to the shaft of the generator to generate electricity. Nacelle is the structure that cover the generator from its environment. Nacelle is not design for strength, so there is no stress analysis for this structure. The purpose of this research is to design and make prototype for hub and nacelle. There are three models for hub, slot model (2 design) and lap joint design, and 1 model for nacelle design. Hub is selected by the simplicity of process of production and assembly, and by stress analysis. Then the lap joint design is the selected one, so that will be made for prototype. The prototype is made of composite sandwich structure, which is teak wood as its core. The composite sandwich structures are designed for its stiffness criteria.

Keyword : Wind Turbines, Hub, Nacelle, prototype

Abstrak

Turbin angin adalah salah satu teknologi sebagai penghasil listrik terbarukan. Struktur pembentuk turbin angin antara lain *bilah*, *nacelle*, *hub*, dan *tower*. *Hub* merupakan suatu struktur yang digunakan untuk menghubungkan *bilah* dengan poros (*shaft*) yang memutar generator supaya dapat menghasilkan listrik. *Nacelle* merupakan struktur yang bertujuan untuk melindungi generator / kelistrikan dari lingkungan sekitar. Struktur *nacelle* ini bukan untuk mensupport turbin angin dalam kaitannya dengan kekuatan sehingga *nacelle* pada rancangan ini tidak dilakukan analisis tegangan. Pada penelitian ini bertujuan merancang dan membuat purwarupa *hub* dan *nacelle* untuk aplikasi turbin angin. Model yang diusulkan untuk struktur *Hub* ada tiga, yaitu 2 jenis slot dan 1 jenis *lap joint*. Untuk *Nacelle* hanya mengusulkan 1 model dikarenakan *nacelle* adalah struktur yang hanya dibuat untuk melindungi generator dari udara sekitar bukan untuk kekuatan. Proses pemilihan *hub* didasarkan pada kemudahan saat proses pembuatan dan pemasangan *bilah* dengan *hub*. *Hub* yang dipilih adalah jenis *lap joint*. *Nacelle* yang diusulkan adalah jenis yang mudah dibuka dan ditutup sehingga mudah dalam membantu proses perawatan. Proses pembuatan purwarupa dimulai dengan pembuatan *Hub* dan kemudian *nacelle*. Proses pembuatan *Hub* dimulai dengan membuat desain komposit *sandwich* dengan kayu jati sebagai *core*. Desain *sandwich* ini ditujukan membantu *hub* untuk memperoleh kekakuan.

Kata kunci : Turbin angin, *Hub*, *Nacelle*, Purwarupa

1. Latar Belakang Masalah

Struktur yang dibutuhkan didalam pembuatan sistim turbin angin adalah struktur *bilah*, *Tower*, *nacelle*, *Hub*, dan *base*. *Bilah* dan struktur tower telah dilakukan perancangan dengan hasil yang sesuai dengan harapan. Komponen yang akan dirancang pada penelitian ini adalah *Hub* dan *nacelle*. *Hub* merupakan suatu struktur yang digunakan untuk menghubungkan *bilah* dan poros (*shaft*). Struktur *Hub* harus dapat menahan beban angin sekaligus beban saat pengoperasian. Rancangan yang ingin didapatkan adalah *Hub* yang kuat menahan beban dan ringan. Pemilihan jenis material akan berkaitan dengan kriteria tersebut



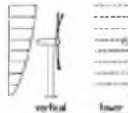
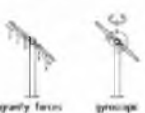


Nacelle merupakan rumah atau tempat pelindung komponen listrik dan mekanik dari kondisi lingkungan sekitar. Membuat rancangan yang sederhana namun mudah untuk dilakukan pemasangan (*assembly*) merupakan tujuan yang ingin dicapai. Rancangan *nacelle* akan berkaitan dengan penataan letak generator dan komponen mekanik pendukung yang ada didalamnya.

Proses perancangan *Hub* dilakukan dengan memunculkan beberapa desain struktur dan mengidentifikasi jenis beban yang akan dialami selama pengoperasian. Analisis tegangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Hasil analisis tegangan tersebut dijadikan acuan didalam pemilihan rancangan atau desain. Rancangan yang dipilih kemudian akan dibuat purwarupanya.

2. Kajian Pustaka

Klair, Sandeep Singh (2013), merancang struktur *Hub* dan *nacelle* dengan menggunakan material metal, dan proses perancangan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. *Community Research and Development Information Service – CORDIS* merupakan suatu wadah dan tempat untuk menyebar luaskan informasi penelitian yang dananya didanai oleh uni eropa. Salah satu proyek yang dikerjakan adalah penelitian tentang perancangan *Hub* untuk *wind* turbin dengan nama proyek *NOI COMHUB (Innovative Composite Hub for Wind Turbines)*. Dari proyek tersebut mengusulkan menggunakan material komposit untuk menggantikan material metal.

Beban yang terjadi pada turbin angin selama operasi bervariasi. Untuk beban pada struktur *Hub* adalah beban aerodinamika akibat *bilah*, dan beban saat operasi. Beban tersebut akan digunakan untuk melihat respon tegangan yang akan terjadi. Tegangan digunakan untuk memastikan kekuatan berdasarkan *Margin of safety*.

	Aerodynamic forces	Inertial and gravity forces
steady loads	 steady wind speed	 centrifugal forces
unsteady loads	 vertical wind shear tower shadow effects	 gravity forces gyroscopic forces
	 tower wake effects tower shadow effects	
non-cyclic loads	 wind turbulence	

Gambar 1. beban pada turbin angina

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengambilan Data dan Identifikasi Masalah yang Terjadi di PLTH Pandansimo Bantul.

Penelitian dimulai dengan melihat langsung kondisi turbin angin yang ada pada PLTH Pandansimo bantul. Kondisi yang dapat dilihat adalah kondisi dimana ada turbin angin yang masih aktif, ada beberapa yang sengaja dimatikan (tidak dipoerasikan) dan beberapa diantaranya memang sudah rusak. Kemungkinan penyebab kerusakan yang terjadi adalah terdegradasinya komponen turbin angin akibat korosi.

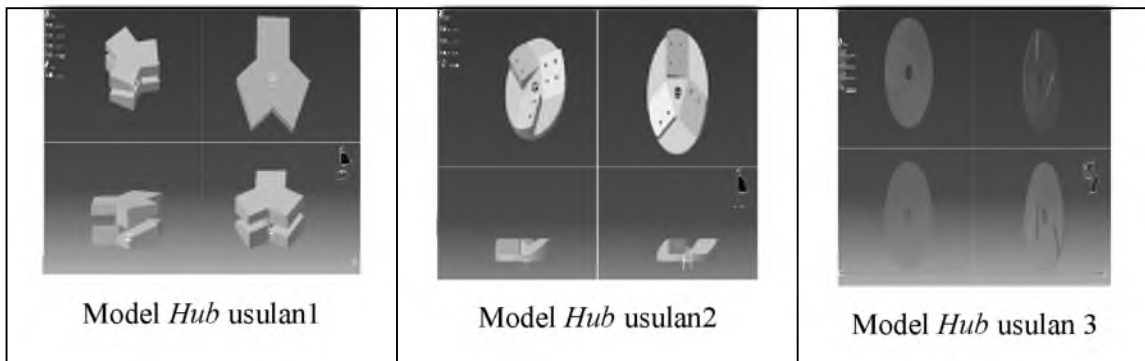


Gambar 2. Pengecekan Turbin Angin *On site*

Korosi yang terjadi menyebabkan generator susah untuk dilepas, sehingga proses pelepasan generator membutuhkan waktu yang lama. Pada bagian *bilah* masih aman dari korosi karena terbuat dari bahan komposit. Korosi yang terjadi pada *Hub* dikarenakan cat pelindung dari *Hub* yang mengelupas akibat pemakaian sehingga korosi dapat menyerang *Hub* yang terbuat dari besi baja, begitu juga yang terjadi pada generator. Untuk mengatasi hal tersebut perubahan jenis material menjadi solusinya. Jenis material yang digunakan adalah jenis komposit. Untuk mengetahui kekuatan *Hub* komposit, maka pengujian lab akan dilaksanakan. Untuk korosi yang terjadi pada generator solusi yang diberikan adalah pemberian casing yang tahan korosi supaya generator yang terpasang terlindungi, dan meminimalkan terjadinya korosi.

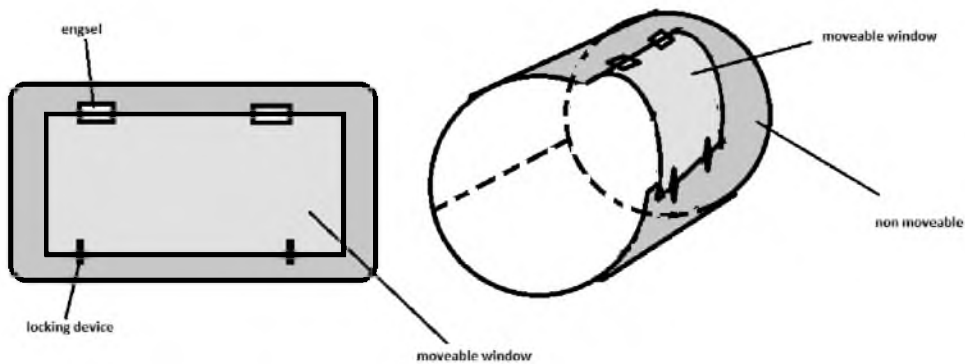
3.2 Perancangan *Hub* Dan *Nacelle*

Perancangan *Hub* dan *Nacelle* didasarkan pada kekuatan, dan kemudahan saat proses pemasangan atau assembly. Desain *bilah* yang telah dibuat tidak ada *Twist*, sehingga perlu ada rancangan *Hub* yang mampu untuk mengakomodasi *Twist* tersebut. *Twist* digunakan untuk mendapatkan sudut serang supaya *bilah* dapat berputar. Perancangan *Hub* dimulai dengan usulan desain *Hub*, berikut adalah desainnya.



Gambar 3. Model *Hub* yang diusulkan

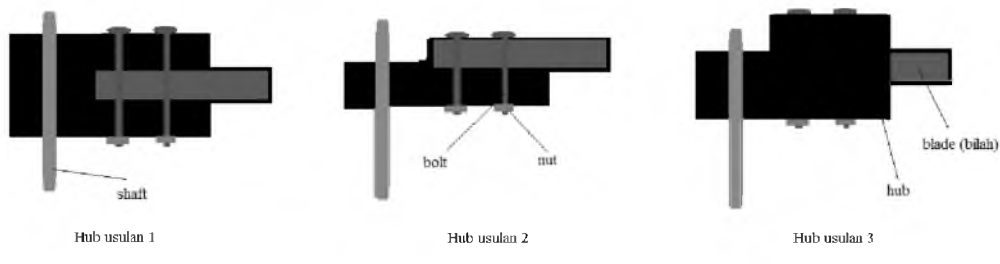
Struktur *nacelle* bukan ditujukan untuk kekuatan struktur, namun hanya sebagai pelindung generator udara sekitar. maka dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis struktur. Oleh karena itu desain yang dibuat hanya 1, Desain *nacelle* terdiri atas bagian yang tidak bergerak dan yang bergerak. Bagian yang bergerak (*moveable*) ditujukan untuk kemudahan dalam inspeksi atau perawatan generator. Jenis struktur yang digunakan adalah komposit laminat dari serat *E-Glass*.



Gambar 4. Desain Usulan *Nacelle*

3.3 Analisis Pemilihan *Hub*

Pemilihan utama desain *Hub* didasarkan pada kemudahan pembuatan dan proses pemasangan. Kemudahan pembuatan dan pemasangan berkaitan dengan kecepatan proses produksi dan pemasangan bilah ke *Hub*. Sebagai pendukung pemilihan, dilakukan analisis ketebalan minimal laminat yang dianggap masih aman menerima beban selama operasi. Beban yang diasumsikan diterima selama beroperasi adalah beban inersia dan aerodinamika.



Gambar 5. Ilustrasi Pemasangan bilah ke *Hub*

Pada gambar 5 Model 1 dan model 3 secara penempatannya sama yaitu dengan sistem slot. Desain *Hub* 1 merupakan desain *Hub* dengan sistem slot terbuka, sedangkan model 3 dengan sistem slot tertutup. Sistem Slot menempatkan *bilah* diantara *skin Hub* dan diikat dengan *bolt* dan *nut*. Yang membedakan model 1 dengan model 3 adalah masih terlihatnya *bilah* karena tidak terbungkus seperti pada model 3. Model 2 menggunakan sistem *lapjoint*, yang mana *bilah* ditempatkan pada bagian atas *skin Hub* yang kemudian diikat dengan menggunakan *bolt* dan *nut* tidak seperti model 1 dan model 3 yang menggunakan slot. Sehingga model 2 merupakan model yang dipilih dalam pembuatan *Hub* dipenelitian ini. Untuk menunjang kekuatan *Hub* yang didesain, dilakukanlah analisis tegangan pada sambungan menggunakan FEM.

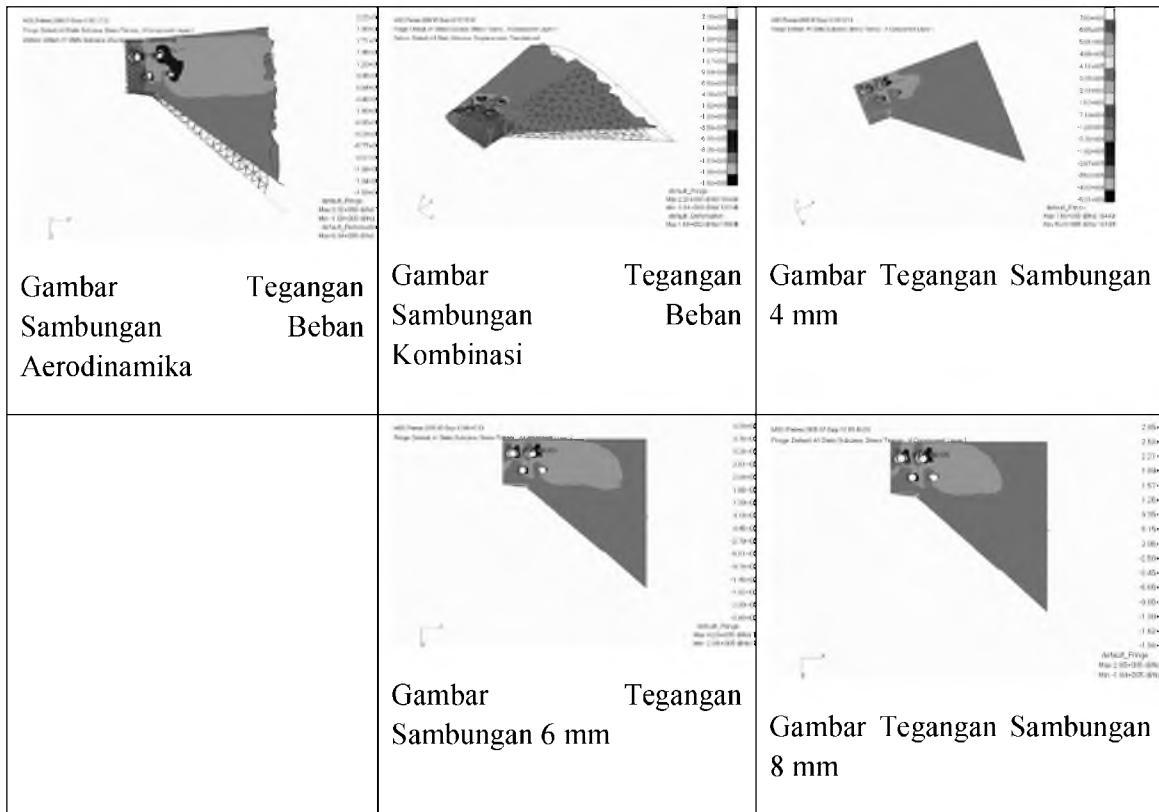
3.3.1 Analisis Tegangan Sambungan Menggunakan FEM

Penggunaan sambungan pada analisis *Hub* dikarenakan sistem *Hub* yang *lapjoint* yang mana nilai gaya yang diterima sambungan diasumsikan sama. Model sambungan adalah model *bilah full* yang diikat dengan pembebanan *inersia* dan aerodinamika. . 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 360 rpm. Batasan maksimal tegangan kompresi yang boleh terjadi adalah sebesar 3,9E5 Kpa (390 Mpa), sedangkan batasan maksimal tegangan tarik sebesar 4E5 Kpa (400 Mpa).

Tabel 1. Data Material Lamina

Karakteristik	Nilai	Satuan
E11	43,500,000	KPa
E22	11,500,000	KPa
E12	3,450,000	KPa
σ_f (<i>tensile</i>)	400,000	KPa
σ_f (kompresi)	390,000	KPa
ν_{12}	0.27	
P	2E-06	Kg/mm ³

Sambungan didesain tidak hanya menerima beban aerodinamika saja melainkan adanya beban *inersia* yang menyebabkan pada bagian lubang terjadi konsentrasi tegangan yang sangat tinggi melebihi batasan aman. Desain ini dipilih karena diasumsikan beban yang diterima hanya pada bagian kulit (*laminat skin*).



Gambar 6. Tegangan Hasil Analisis FEM

Variasi ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm tersebut merubah nilai tegangan yang terjadi pada sambungan, namun nilai yang masuk dalam batasan aman adalah sambungan dengan ketebalan 8. Sehingga ketebalan 8mm adalah batas minimal yang dapat diaplikasikan pada sambungan atau *Hub*.

3.4 Pembuatan Prototipe

Hub yang menghubungkan *bilah* dengan *shaft* membutuhkan kekakuan yang baik supaya dapat melakukan fungsinya. Desain laminat yang didesain masih kurang kaku, sehingga perlu *core* sebagai penambah kekakuan. *Core* yang dipilih adalah kayu yang sifatnya keras, sehingga pada saat diikat dengan *bolt* dan *nut* laminat dibantu kayu mampu menahan dan tidak pecah. Pada tabel 1 diperlihatkan perbandingan propertis material kayu jati dengan kayu balsa.

Tabel 2. Perbandingan kayu jati vs balsa^[8]

No	Mechanical Properties	Teak (Jati)	Balsa
1	Average Dried Weight	41 lbs/ft3 (655 kg/m3)	9 lbs/ft3 (150 kg/m3)
2	Janka Hardness	1,070 lbf (4,740 N)	67 lbf (300 N)
3	Modulus of Rupture	14,080 lbf/in2 (97.1 MPa)	2,840 lbf/in2 (19.6 MPa)
4	Elastic Modulus	1,781,000 lbf/in2 (12.28 GPa)	538,000 lbf/in2 (3.71 GPa)
5	Crushing Strength	7,940 lbf/in2 (54.8 MPa)	1,690 lbf/in2 (11.6 MPa)

Tabel 2 memperlihatkan kayu jati memiliki nilai propertis yang lebih baik dari pada kayu balsa, namun tidak pada karakteristik beratnya. Kebutuhan *Hub* yang kaku terpenuhi dari nilai *elastic modulus* yang lebih besar dibanding balsa. Selain kaku, kayu yang kuat akan

membantu laminat menahan beban yang terjadi. Kayu jati memiliki nilai *hardness* dan *crushing strength* yang lebih baik dibanding dengan balsa. Semakin tinggi nilai, maka kekuatan dan kekerasan akan semakin baik. Sehingga Kayu jati sebagai *core* komposit *sandwich* yang akan dibuat pada penelitian ini.

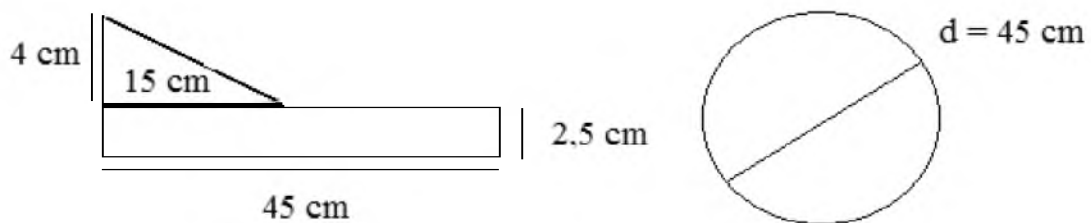
Selain itu pada dasarnya kayu jati tahan terhadap pelapukan akibat air asin. Karena kayu jati banyak digunakan sebagai material pembuat kayu tradisional.

Tabel A.1 Jenis kayu yang dapat dipergunakan untuk bagian konstruksi perkapalan

No	Nama Dagang (Huruf besar) Nama lainnya (huruf kecil)	Nama lain (Famili dalam tanda kurung)	Kelas		Berat Jenis Kering Udara			Penggunaan	Persebaran
			Awet	Kuat	Min	Max	Rata ²		
1	AMPUPU	<i>Eucalyptus alba</i> Reinw (Myrtaceae)	II-III	I-II	0.68	1.02	0.89	Gading, galar, kulit, papan geladak	Maluku, Nusa Tenggara
2	BALAM Nyatoh, Suntai, Maneo, Somaran, Sambun, Aruba, Gofiri.	<i>Palaquium ridleyi</i> K. ot G, (Sapotaceae)	II	I	0.90	1.12	1.04	Papan, kulit, gading, galar, balok geladak, papan geladak	Seluruh Indonesia
21	JATI Teak, Tack, Jatos, Deleg, Dodolan, Jate, Kiati	<i>Tectona grandis</i> Lf. (Verbenaceae)	I-(II)	II	0.59	0.82	0.70	Semua bagian kapal	Jawa, Sulawesi, Nusa Tenggara
22	JOHAR	<i>Casia siamea</i> Lamk. (Caesalpinaceae)	I-II	II-I	0.68	0.96	0.84	Papan geladak, dinding rumah geladak	Jawa, Sumatra

Gambar 7. Tabel SNI jenis kayu untuk konstruksi perkapalan

Proses pembuatan dimulai dengan membeli kayu jati sesuai dengan ukuran pada gambar 8.



Gambar 8. dimensi *core*

Untuk hasil pembuatannya bisa dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. kayu jati sebagai *core*

Langkah selanjutnya adalah membuat pola pada serat *E-Glass* untuk nanti dipasang sebagai laminat.



Gambar 10. membuat pola dan memotong

Pengukuran ketebalan fiber dilakukan untuk memastikan laminat total yang dibuat tidak boleh kurang dari 8 mm, karena laminat minimum yang disarankan adalah sebesar 8 mm. Hasil pengukuran didapat ketebalan laminat sebesar 0.7 mm. Untuk memberikan keamanan, maka ketebalan laminat yang akan dibuat adalah sebesar 10.5 mm dengan total 15 laminat.



Gambar 11. proses vakum laminat *lowersurface*

Pembuatan *Hub* dilakukan dengan membuat laminat pada bagian bawah (*lowersurface*) terlebih dahulu. Pada proses pembuatan dilakukan dengan metode hand layup dan vakum. Vakum dilakukan untuk mengurangi jumlah resin yang menempel pada laminat. Setelah kurang lebih 10 jam divakum, laminat yang menempel pada *core* dikeluarkan dari plastik vakum. Hasil laminat pada *Hub* bisa dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. hasil vakum

Untuk merapikan laminat, hal yang selanjutnya dilakukan adalah memotong dan mengikis bagian yang tidak diperlukan. Setelah semua bagian bersih, langkah selanjutnya adalah memastikan bahwa laminat yang dibuat sesuai dengan rencana awal. Maka langkah selanjutnya adalah mengukur ketebalan laminat dengan jangka sorong. Pengukuran laminat bisa dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. pengukuran ketebalan laminat

Hasil pengukuran didapatkan ketebalan laminat hanya sebesar 1 cm saja, bukan sebesar 10,5 mm. Hasil ini dikarenakan pada saat proses vakum serat akan tertekan sehingga mengurangi ketebalan. Langkah selanjutnya adalah membuat lamina pada bagian atas yang menggunakan metode yang sama.



Gambar 14. *Hub* yang sudah jadi

Langkah selanjutnya adalah pembuatan *nacelle*. Pembuatan *nacelle* diawali dengan membuat ukuran sesuai dengan yang direncanakan. Dengan proses yang sama seperti pembuatan *Hub*, *nacelle* ini dibuat.

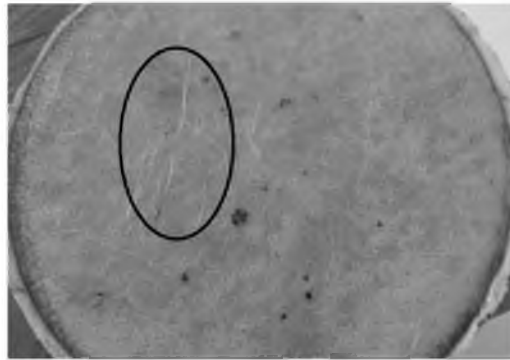


Gambar 15. proses pembuatan *nacelle*

Pembuatan *nacelle* hanya membutuhkan 4 lapis laminat yang tersusun 0 -45 45 dan 90.

3.5 Analisis Hasil Pembuatan Purwarupa

Dari hasil pembuatan didapatkan analisis yang berkaitan dengan resin atau matrik. Pada saat pencampuran resin dengan *hardner* sering kali *geling time* yang tidak sama antara pembuatan adonan yang satu dengan yang lainnya. Kemungkinan yang bisa terjadi adalah dikarenakan masih belum menemukan campuran yang pasti sehingga adonan cepat mengental sebelum habis digunakan. Namun pada saat tertentu proses pengeringan membutuhkan waktu yang lama. Ini terjadi pada pembuatan laminat pada bagian bawah. Setelah 2 hari dan dilepas dari mesin vakum, resin yang menempel pada laminat masih lengket atau belum kering sempurna.



Gambar 16. resin masih belum kering sempurna

Yang jadi masalah adalah bekas wadah campuran yang digunakan sudah kering keras seperti batu. Kejadian yang selanjutnya adalah daya ikat resin ke kayu dirasa kurang maksimal, sehingga perlu diberikan pengikat atau tali supaya bisa mengikat sempurna. Berat total *hub* sebesar 7,5 kg.



Gambar 17. terkelupasnya ikatan antar laminat dengan *core*

Dari beberapa hal tersebut penulis merasa untuk melakukan penelitian lanjutan tentang kualitas resin dan adonannya supaya bisa diketahui penyebab sebenarnya.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Model yang diusulkan untuk struktur *Hub* ada tiga, yaitu 2 jenis slot dan 1 jenis *lap joint*. Untuk *Nacelle* hanya mengusulkan 1 model dikarenakan *nacelle* adalah struktur yang hanya dibuat untuk melindungi generator dari udara sekitar.
- b. Proses pemilihan *Hub* didasarkan pada kemudahan saat pembuatan dan pemasangan *bilah* dengan *Hub*. *Hub* yang dipilih adalah jenis yang kesua atau jenis *lap joint*. Selain itu dilakukan pula analisis tegangan sambungan untuk melihat ketebalan minimal dalam rancangan *Hub* supaya aman. *Nacelle* yang diusulkan adalah jenis yang mudah dibuka dan ditutup sehingga mudah dalam membantu proses perawatan.
- c. Proses pembuatan purwarupa dimulai dengan pembuatan *Hub* terlebih dahulu, yang setelah itu adalah *nacelle*. Proses pembuatan *Hub* dimulai dengan membuat desain komposit *sandwich* dengan kayu jati sebagai *core*. Alasan penggunaan kayu jati karena kebutuhan kekerasan dan kekuatan serta tahan terhadap kondisi laut sehingga dapat mensupport operasi *Hub*. Kayu jati dibuat sesuai dengan desain dan kemudian dilapisi dengan laminat yang terbuat dari serat *E-glass*. Untuk pembuatan *nacelle* memiliki proses yang sama seperti pembuatan *Hub*.

Daftar Pustaka

- Klair, Sandeep Singh, *Design of Nacelle and Rotor Hub for NOWITECH 10MW Reference Turbine*, Master's thesis. Norwegian university of science and technology. 2013.
- Burton, Tony. *Handbook of wind energy*. John Wiley & Sons Ltd. 2001
- Burton, Tony., Sharpe, David., Jenkins, Nick., Bossanyi, Ervin. *Wind Energy Handbook*. John Wiley & Sons Ltd. 2001
- SNI 01-7210-2006 _Jenis kayu untuk bangunan perkapalan
http://cordis.europa.eu/result/rcn/31212_en.html
- http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/Hub_type.htm.
- http://cordis.europa.eu/result/rcn/81383_en.html
- <http://www.wood-database.com>