

PENGEMBANGAN KOMPOSIT SERAT ALAM RAMI DENGAN CORE KAYU SENGON LAUT UNTUK APLIKASI SUDU TURBIN ANGIN

Sriyono

Program Studi D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nusa Putra
Jl. Raya Cibolang No. 21, Cibolang Kaler, Cisaat, Sukabumi, Jawa Barat 43152
Email: nozenergy@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bahan komposit berpenguat serat rami core KSL dengan matriks *epoxy resin* pada aplikasi sudu turbin angin NACA 4412. Penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan. Tahap pertama pembuatan model komposit, setelah itu dibuatlah komposit dengan fraksi volume 30%, 40%, 50%, dengan arah serat 0°, 45°, 90°. Pembuatan spesimen dengan metode cetak tekan. Tahap kedua yaitu pengujian material komposit. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik dan uji bending. Uji tarik dilakukan menggunakan standar ASTM D 638 dan bending ASTM D 790. Tahap ketiga yaitu hasil analisa data dan pembahasan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kekuatan tarik (tensile strength) untuk serat rami core KSL terbesar pada fraksi volum 40% arah serat 45° dengan nilai 27.13 MPa. Kekuatan Bending untuk serat rami core KSL pada fraksi volume 30% arah serat 0° dengan nilai 5.08 MPa. Diharapkan pemanfaatan serat rami dan kayu sengon laut sebagai pengganti serat gelas pada pengembangan sudu turbin angin dapat memperbaiki sifat mekanis bahan sudu turbin angin yang telah dibuat sebelumnya.

Kata kunci : Serat rami, kayu sengon laut, *epoxy resin*, fraksi volume, arah serat.

1. PENDAHULUAN

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dengan cara memanfaatkan sumber energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan adalah energi angin. Angin merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui. Pada awal 2000, angin mulai menjadi sumber energi pembangkit tenaga listrik yang diminati.

Kapasitas energi listrik yang dihasilkan dari turbin angin yang telah dibangun diseluruh dunia pada tahun 2013 adalah 318.105 MW. Turbin angin merupakan penghasil energi terbarukan dengan memanfaatkan angin sebagai sumber energi, hal ini mendorong para ilmuwan untuk menciptakan turbin angin yang dapat menghasilkan daya listrik yang besar. Turbin angin tidak terlepas dari

beberapa komponen penting salah satunya adalah sudu turbin atau *wind blade*.

Sudu turbin angin pada awalnya dibuat dari kayu, tetapi karena kepekaan terhadap kelembaban dan biaya pengolahan, bahan modern seperti kaca diperkuat serat-plastik (GFRP), serat karbon yang diperkuat plastik (CFRP), baja dan aluminium yang menggantikan unit kayu tradisional. Pada akhir abad ke-19, kayu diganti dengan lembaran tipis dari baja galvanis dan dilakukan penelitian tentang perilaku logam untuk aplikasi turbin angin. Baja paduan menjadi pilihan yang optimal untuk sudu turbin, tapi segera ditinggalkan karena berat dan tingkat kelelahan rendah. Bahan aluminium digunakan tetapi menghadapi masalah seperti ketahanan lelah rendah dan biaya tinggi. Kemudian bahan yang paling banyak digunakan untuk sudu turbin angin disebut komposit, lebih khusus komposit matriks polimer

(PMC) juga disebut sebagai plastik yang diperkuat serat (FRP). Komposit ini disusun dari 2 bagian; matriks dan serat, kedua bagian gabungan membentuk bahan yang berguna untuk aplikasi sudu turbin.

Ada beberapa faktor yang menentukan dalam kekuatan material pada orientasi serat acak diantaranya panjang serat, arah serat dan fraksi volum dari material itu sendiri. Untuk mengatasi kurangnya kekuatan dan kekakuan dalam arah diluar sumbu ini, struktur – struktur berlapis harus dibuat dengan berbagai arah lapisan 0° , dengan menamai lapisan dalam arah membujur sebagai lapisan 0° , maka struktur ini ditunjukkan sebagai: 0° , 90° , $+45^\circ$, -45° .

Sesungguhnya orientasi serat acak ini sudah dibuat oleh pabrik dan diperjual belikan secara bebas. Namun kenyataannya apakah panjang serat yang telah dibuat oleh pabrik sudah memberikan kekuatan maksimal. Selain itu apakah ada pengaruh sifat mekanis pada arah serat (0° , 45° , 90°) dan fraksi volum. Pada penelitian ini akan dikembangkan komposit sandwich dengan core KSL dan serat rami sebagai penguat untuk bahan baku pembuatan sudu turbin angin. Komposit yang dibuat memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi, densitas rendah, tahan korosi, kekuatan lelah (fatigue) yang

tinggi, dan mudah dibentuk. Potensi sumber daya alam rami dan KSL perlu dimanfaatkan untuk mereduksi penggunaan bahan sintesis impor pada sudu turbin angin.

Permasalahan yang akan dikaji dan dicari penyelesaiannya dalam penelitian tesis ini adalah orientasi serat (0° , 45° , 90°) dan fraksi volume (30%, 40% dan 50 %), pada teknologi komposit sandwich serat rami dan core kayu sengon laut untuk pengembangan sudu turbin angin yang mampu memperbaiki sifat mekanis sudu turbin angin.

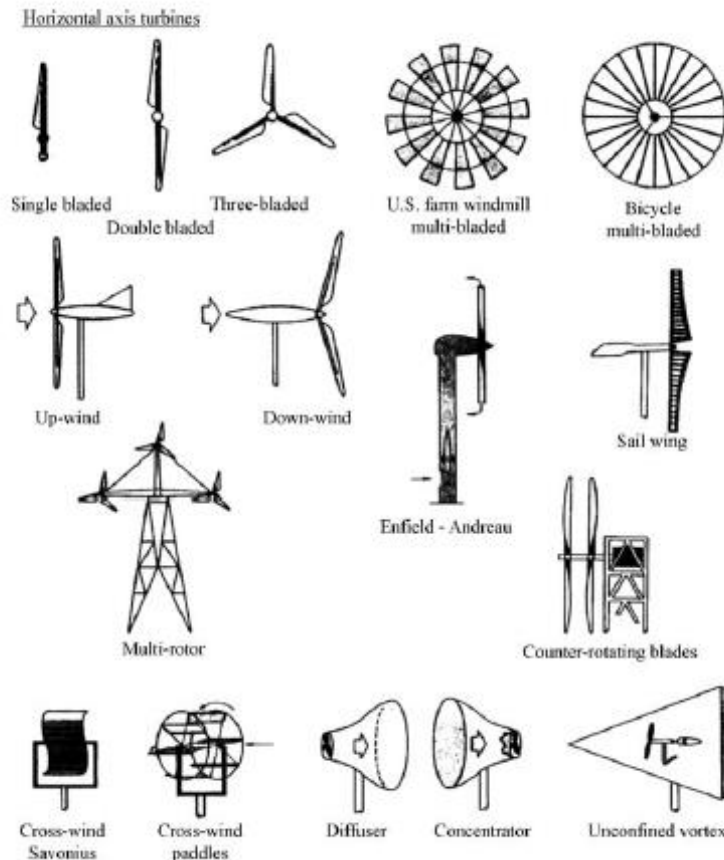
Sudu turbin angin sebelumnya terbuat dari material logam, dampak adanya perkembangan teknologi saat ini menyebabkan sudu turbin angin telah mulai dibuat dari material komposit skin GFRP (*glass fiber reinforced plastic*). Hal ini dikarenakan material sudu turbin angin tersebut diharapkan mempunyai bobot yang ringan agar mudah berputar ketika ditiup angin. Selain ringan, struktur sudu turbin angin harus kuat menahan beban luar. Potensi sumber daya alam rami dan KSL perlu dimanfaatkan untuk mereduksi penggunaan bahan sintesis impor. Proses fabrikasi yang dipilih untuk membuat material komposit epoxy resin, kayu sengon laut dan serat rami adalah metode cetak tekan 1 lapis dan 2 lapis serat rami.

alat yang dapat digunakan adalah turbin angin. Turbin angin ini akan menangkap energi angin dan menggerakkan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik. Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu horizontal dan vertikal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Turbin Angin

Energi listrik tidak dihasilkan langsung oleh alam maka untuk memanfaatkan angin ini diperlukan sebuah alat yang bekerja dan menghasilkan energi listrik,



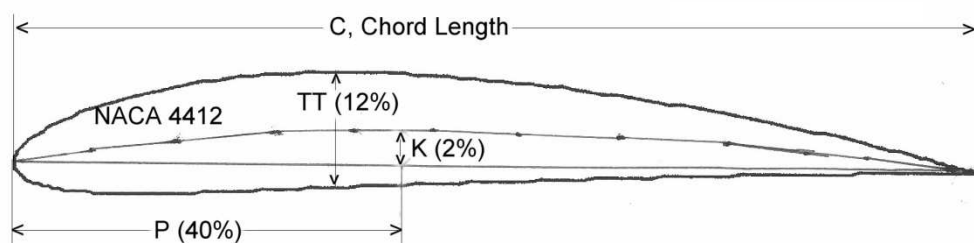
Gambar 1. Berbagai Jenis Turbin Angin

Sudu Turbin Angin NACA 4412

Sudu turbin yang digunakan adalah tipe sudu turbin NACA 4412 yang mempunyai pengertian sebagai berikut:

- Jumlah 4 digit dalam 4412 digunakan untuk dimensi baling-baling (*chord*) yang kecil dan untuk ukuran panjang di bawah 5 m.
- Arti dari 4412 adalah, angka pertama

menunjukkan *persentase chamber* maksimum pada chord (panjang airfoil) sebesar 4%. Angka kedua menunjukkan letak *chamber* maksimum dari *leading edge* sebesar 40%. Angka ketiga dan keempat menunjukkan prosentase ketebalan maksimum airfoil pada chord (*maximum thickness*) sebesar 12%.



Gambar 2. Penampang sudu turbin NACA 4412

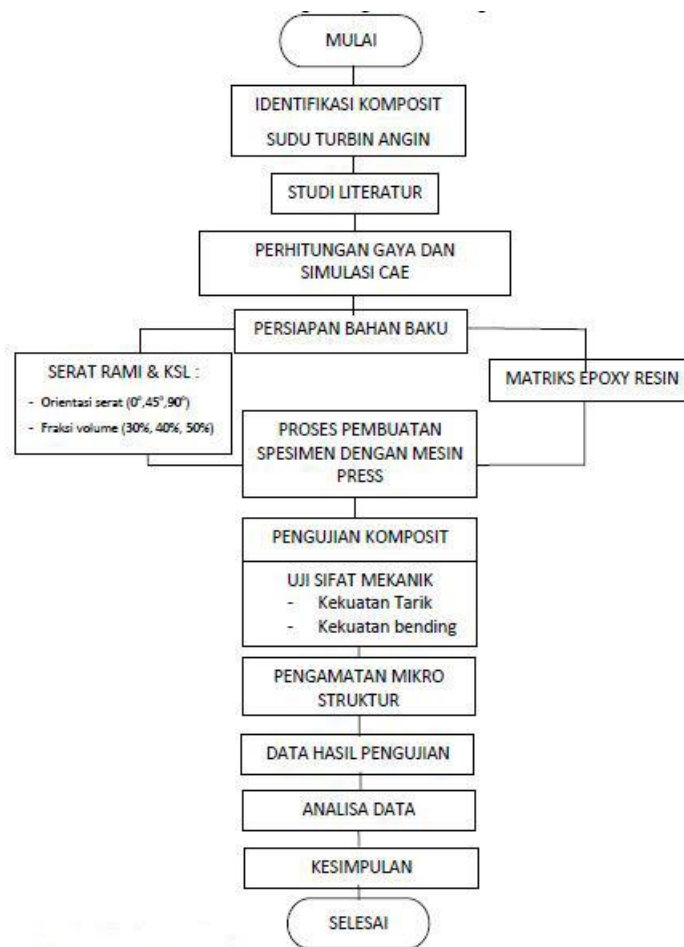
b. Komposit Matriks Polimer

Komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara *mikroskopis* dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan.

Pada umumnya komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu:

- Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan yang lebih rendah.
- Penguat (*reinforcement*), umumnya berbentuk serat yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih kuat.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

a. Alat dan Bahan

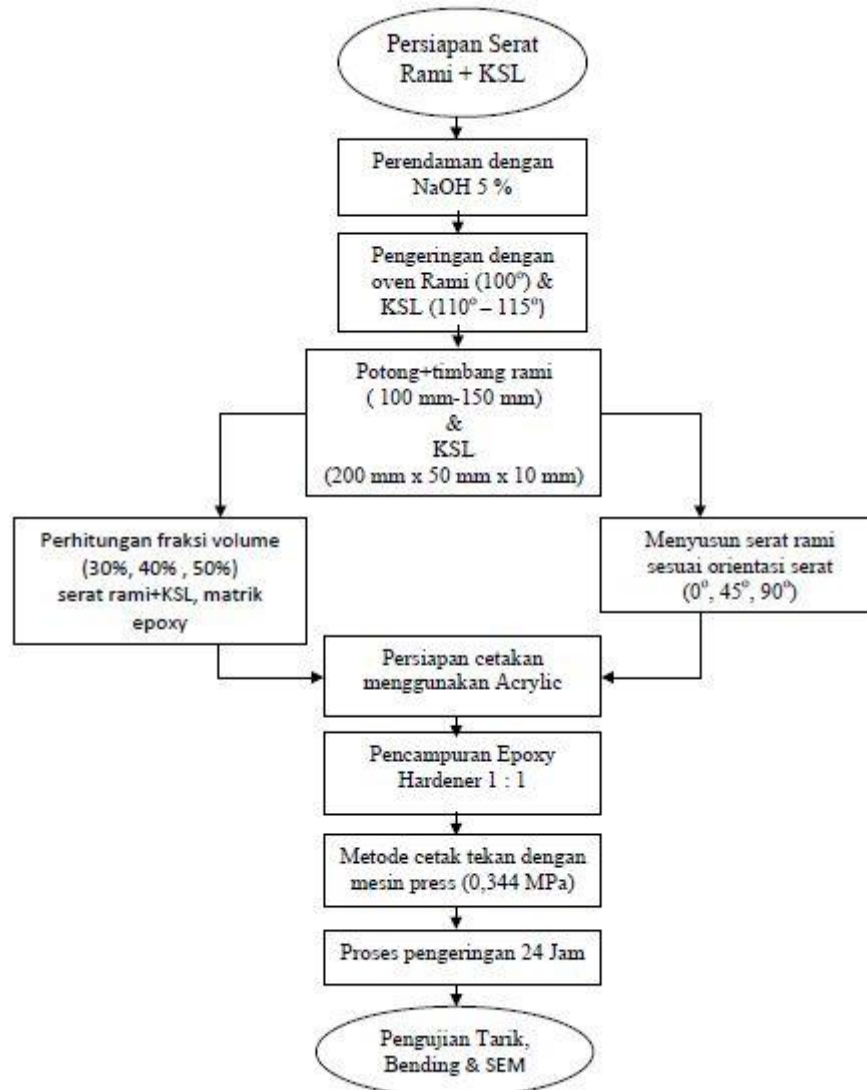
Peralatan dan mesin yang digunakan Alat - alat yang dipergunakan selama proses fabrikasi komposit sudu turbin angin adalah:

- Gunting
- Gelas Ukur
- Batang pengaduk
- Gelas Kaca
- Cetakan dari Kaca, Plastik, dan Acrylic
- Mesin potong dan gergaji
- Oven Listrik
- Amplas
- Mesin Bor Listrik
- Mesin Press

Alat – alat yang dipergunakan untuk pengujian material komposit sudu turbin angin adalah:

- Mesin Universal Testing Material
- Mesin Bending Test
- SEM
- Alat ukur keseimbangan beban

b. Proses pembuatan spesimen komposit serat rami dengan core KSL



Gambar 4. Proses pembuatan spesimen komposit serat rami dengan core KSL

4. HASIL PENELITIAN

Pengembangan komposit rami *core* kayu sengan laut untuk aplikasi sudu turbin angin dilakukan dengan cara variasi orientasi serat (0° , 45° , 90°) dan fraksi volume (30%, 40% dan 50%), dengan variasi 1 lapis dan 2 lapis. Pada penelitian ini kajian dibatasi pada

perhitungan gaya sudu turbin angin, analisa data simulasi menggunakan *pro engineer* dan CAE, dan pengamatan hasil komposit setelah melalui pengujian tarik, pengujian bending dan SEM.

a. Perhitungan Gaya Pada Sudu Turbin Angin

Daya angin dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

dan luas penampang dari sudu turbin di hitung dengan rumus

$$A = \pi \cdot R^2$$

Dimana :

A = Luas penampang sudu

P = Daya angin (Watt)

ρ = Densitas angin ($1,1774 \text{ kg/m}^3$)

V = Kecepatan angin 5 m/s

$$\text{Sehingga } A = \pi \cdot R^2$$

$$= 3,14 \cdot 0,75^2$$

$$= 1,76625 \text{ m}^2$$

Sehingga daya angin bisa didapatkan,

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$= 1/2 \cdot 1,1774 \cdot 1,7662 \cdot 5^3$$

$$= 195,827 \text{ Watt}$$

$$= 0,1958 \text{ kW}$$

Tekanan angin yang bekerja pada penampang sudu bisa diketahui dengan

$$P_w = 0.0025 \times V_w^2$$

Kecepatan angin untuk wilayah jawa dan sumatera ada dikisaran 5-20 Knot (BMKG), untuk perhitungan diambil kecepatan angin yang maksimal yaitu 20 knot.

$$V_w = 20 \text{ Knot} = 23,0156 \text{ mph}$$

$$P_w = 0.0025 \times (23,0156)^2$$

$$P_w = 1,324 \text{ lb/ft} = 63,4 \text{ N/m}^2$$

Besarnya gaya aksial (a) yang terjadi pada sudu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a = 0,00142 \cdot V^2 \cdot R^2$$

dimana :

V = Kecepatan angina (5 m/s)

R = Jari-jari rotor keseluruhan (0,75 m)

Maka :

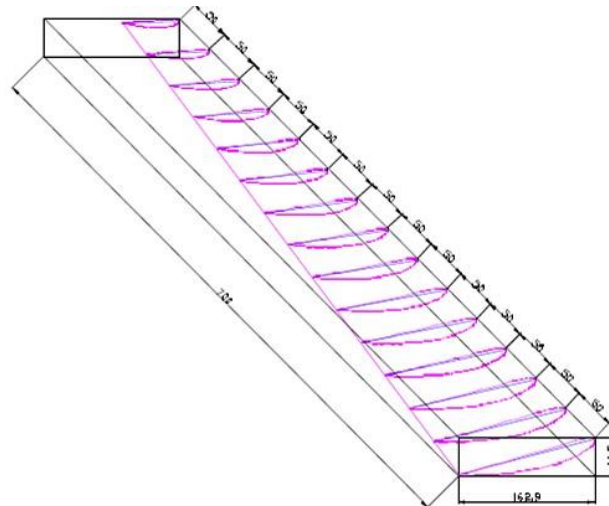
$$a = 0,00142 \cdot 5^2 \cdot 0,75^2$$

$$= 0,01996 \text{ Kg}$$

b. Simulasi Sudu Turbin Angin dengan Pro Engineer

Rancang bangun sudu turbin adalah merancang konstruksi sudu turbin sesuai dengan standar perancangan NACA 4412 (*National Advisory Committee for*

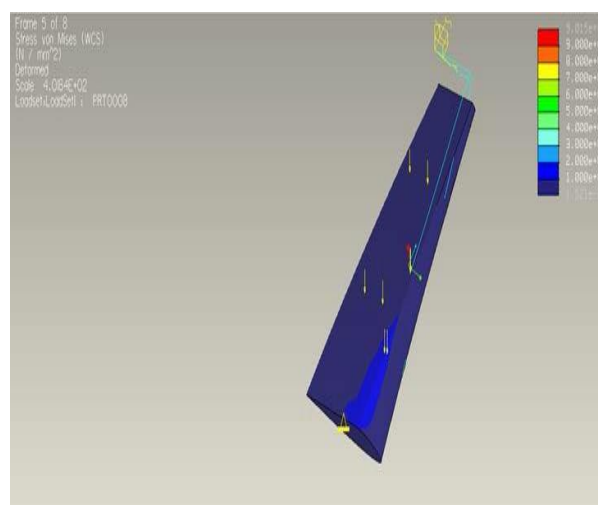
Aeronautics). Gambar 5 adalah gambar penampang sudu turbin yang sesuai dengan standar NACA 4412.



Gambar 5. Desain sudu turbin menggunakan *Pro Engineer*

Gambar 6 Menunjukkan arah perambatan tegangan pada konstruksi sudu turbin yang dapat dilihat dengan adanya perbedaan warna pada gambar. Pada gambar terdapat perbedaan warna dari biru sampai merah. Dan bagian yang berwarna biru adalah bagian yang mengalami tegangan terkecil kemudian

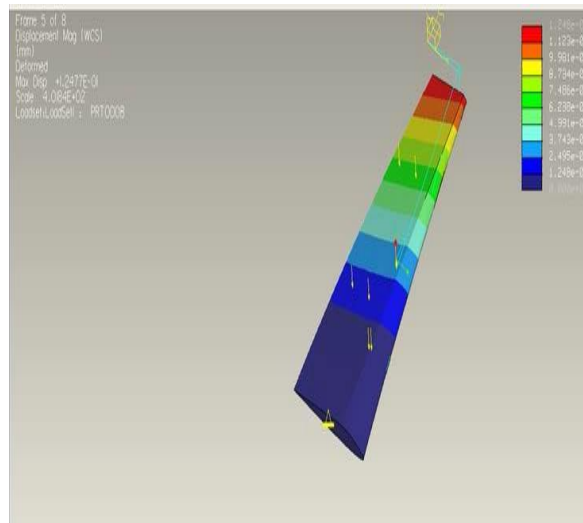
menjadi hijau dan kuning sampai berwarna merah yang artinya bagian tersebut mengalami tegangan yang terbesar yaitu nilainya ditunjukkan diagram warna pada gambar. Tegangan von mises yang terjadi pada pengujian sudu turbin adalah 9 N/mm^2 .



Gambar 6. Simulasi tegangan von mises pada sudu turbin

Displacement pada pengujian ini adalah pergerakan atau pergeseran bentuk bahan setelah mendapatkan pembebanan. Data yang didapat adalah nilai *displacement* maksimal yang ditunjukkan pada bagian yang berwarna merah. Pada gambar 7 *displacement* yang terjadi pada konstruksi sudu turbin adalah $1,247 \times 10^{-1}$ mm, yang

ditunjukkan dengan pembagian warna pada bagian-bagian sudu turbin dari warna biru sampai berubah menjadi merah. Bagian yang masih berwarna biru adalah bagian yang paling sedikit mengalami *displacement* dan bagian yang berwarna merah adalah yang paling banyak mengalami *displacement*.



Gambar 7. Simulasi *displacement* pada sudu turbin

Setelah dilakukan analisis menggunakan software CAE, maka dapat diketahui bahwa tegangan maksimal pada struktur setelah diberikan *load*.

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan maksimal pada desain sudu turbin adalah sebesar 9 N/mm^2 .

Tabel 1. Tinjauan analisis tegangan menggunakan CAE

Karakteristik	Hasil Analisis
Tegangan von mises max	9 N/mm^2
Tegangan von mises min	$1.52 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$
Displacement max	$1,247 \times 10^{-1} \text{ mm}$
Displacement min	0 mm

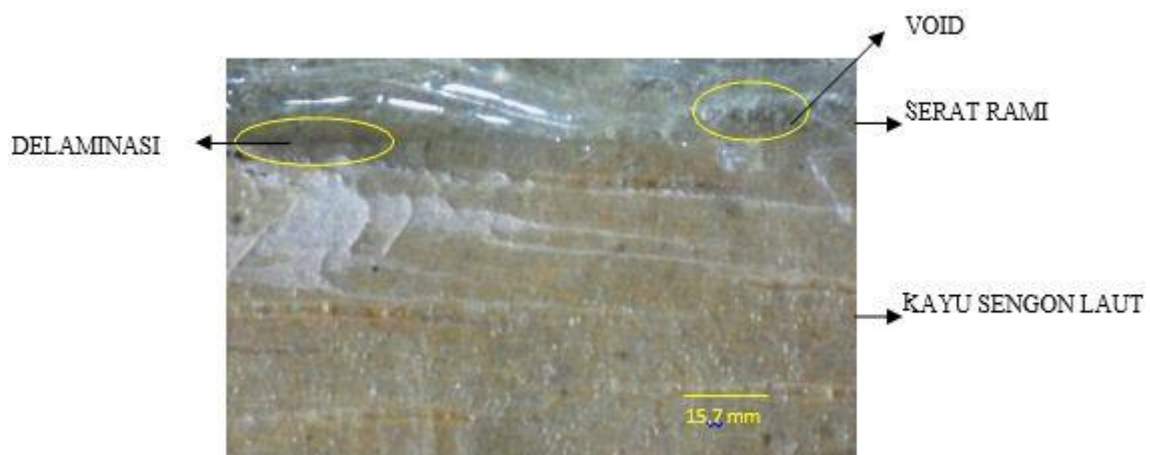
c. Pengamatan Scanning electron Microscope (SEM)

Pada Gambar 8 terlihat bahwa komposit rami dengan core KSL dengan orientasi serat, ikatan antara serat dan matriks epoxy resin masih terdapat gelembung udara (void) pada komposit. Pada pembuatan komposit interphase selalu terbentuk, struktur yang ada pada daerah ini dapat memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap performa dari komposit terutama dalam hal kekuatan mekanisnya. Oleh karena itu komposisi dan sifat yang tepat dari daerah tersebut harus benar-benar diperhatikan.

Pengaruh tekanan pengepresan mengakibatkan jarak antar partikel pengisi makin dekat sehingga terjadi peningkatan interaksi antara matrik dengan pengisi. Proses tersebut menyebabkan pori pada komposit menjadi lebih kecil dan sedikit.

Pada beberapa spesimen tidak terjadi peningkatan interaksi yang baik, hal ini diakibatkan laminasi resin terhadap serat tidak seragam sehingga delaminasi dan void masih ditemui dan mengakibatkan kekuatan tarik dan bending menurun.

Merujuk pada penelitian terdahulu mengenai terjadinya void, bahwa kehadiran lubang atau diskontinuitas lainnya dalam struktur menyebabkan konsentrasi tegangan lokal. Tekanan lokal yang tinggi dapat mengakibatkan kegagalan lokal awal. Analisis kegagalan karena retak atau fraktur, yang dapat mengakibatkan masalah untuk bahan komposit karena heterogenitas bahan di mikro dan di dasar lapisan. Kombinasi tegangan pada orientasi lamina dipengaruhi oleh bentuk variasi stres dekat void. Tekanan tinggi di tepi lubang dapat memulai fraktur pada bahan komposit.



Gambar 8. Pengamatan SEM serat rami *core* KSL fraksi vol 30% arah serat 90

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan manufaktur komposit serat alam rami dengan *core* kayu sengon laut untuk aplikasi sudu turbin angin, yang mengacu standar NACA 4412 maka dapat disimpulkan hasil-hasil sebagai berikut:

- a. Desain *Airfoil* yang digunakan sebagai bentuk dasar elemen sudu adalah *airfoil* NACA 4412. Sudu yang dibentuk mempunyai panjang 700 mm terdiri dari 15 elemen sudu dengan profile NACA 4412. Besarnya gaya aksial (a) yang terjadi pada sudu adalah 0,01996 Kg. Besarnya gaya sentrifugal (s) yang bekerja pada setiap panjang sudu kincir 1,90 kg. Besarnya gaya tangensial yang bekerja pada sudu 0,264 Kg.m.
- b. Simulasi desain sudu turbin angin menggunakan *software Pro Engineer* dan CAE didapatkan tegangan von mises maksimum yang terjadi pada sudu turbin adalah 9 N/mm² dan tegangan von mises minimum 1.52 x 10⁻³ N/mm². *Displacement* yang terjadi pada kontruksi sudu turbin adalah 1,247 x 10⁻¹ mm dan *displacement* min adalah 0 mm.
- c. Kekuatan tarik tertinggi yaitu pada arah serat 45⁰, fraksi volume 40% (27.13 Mpa). Kekuatan tarik terendah yaitu pada arah serat 90⁰, fraksi volume 50% (16.87 MPa). Kekuatan tarik cenderung naik dari arah 0⁰ (23.18 MPa) mengalami kenaikan pada arah 45⁰ (27.13 MPa), kemudian mengalami penurunan pada arah 90⁰ (23.46 MPa).
- d. Kekuatan tarik cenderung naik dari fraksi volume 30% (20.54 MPa), volume 40% (27.13 MPa), kemudian mengalami penurunan pada fraksi volume 50% (25.08 MPa). Tren kenaikan fraksi volume terhadap kekuatan tarik terlihat pada arah serat 0⁰, bahwa seiring kenaikan fraksi volume meningkat kekuatan tariknya.
- e. Komposit 1 lapis dan 2 lapis pada fraksi volume 30 % orientasi arah 90⁰. Kekuatan tarik tertinggi yaitu pada arah serat 90⁰ dengan fraksi volume sebesar 30% (2 lapis) sebesar 29.74 MPa dan untuk 1 lapis tertinggi sebesar 23.39 MPa. Rata-rata kekuatan tarik untuk fraksi volume 30% arah serat 90⁰ untuk 2 lapis (26.74 MPa) dan 1 lapis (16.91 MPa), ini menunjukkan kenaikan kekuatan tarik akibat penambahan lapisan komposit naik sebesar 36.76 %.
- f. Data kekuatan bending tertinggi yaitu pada arah serat 0⁰, fraksi volume 30% (5.08 MPa). Kekuatan bending terendah yaitu pada arah serat 45⁰, fraksi volume 50% (3.35 Mpa). Kekuatan bending tertinggi dari arah 0⁰ (5.08 MPa), penurunan pada arah 45⁰ (4.87 MPa), kemudian mengalami kenaikan pada arah 90⁰ (4.94 MPa).
- g. Kekuatan bending cenderung turun dari fraksi volume 30% (5.08 MPa), turun pada fraksi volume 40% (4.94 MPa), kemudian mengalami penurunan pada fraksi volume 50% (3.35 MPa). Tren penurunan fraksi volume terhadap kekuatan bending terlihat pada arah serat 0⁰. bahwa seiring kenaikan fraksi volume menurun kekuatan bendingnya.
- h. Pengamatan struktur komposit dengan SEM, menunjukkan masih terjadi *void* dan delaminasi pada komposit serat rami *core* kayu sengon laut. Struktur yang ada pada daerah ini dapat memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap performa dari komposit terutama dalam hal kekuatan mekanisnya.
- i. Dari hasil penelitian bahwa orientasi serat 45⁰ dan fraksi volume 40% yang memiliki kekuatan tarik tertinggi

(27.13 MPa) memenuhi persyaratan dari parameter gaya-gaya yang dihitung dan simulasi CAE untuk aplikasi sudu turbin angin. Komposit serat rami dengan *core* kayu sengon laut menjadi material yang bisa diaplikasikan pada sudu turbin angin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] __, DESDM, 2005, *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Jakarta.
- [2] Mandall, H. 2014. “*ESMAAP Workshop Development of a Wind Energy Project*”. IFC Pattaya, Thailand.
- [3] Hogg, P., “*Wind Turbine Blade Materials, Supergen wind Phase 1 Final Assembly*,” University of Loughborough, 25th Mar. 2010.
- [4] Babu, K. Suresh, N. V. Subba Raju, M. Srinivasa Redd and D. Nageswara, “*The Material Selection For Typical Wind Turbine Balades Using A. MADM Approach & Analysis of Blades*,” *MCDM 2006*, Chania, Greece, Jun. 19-23, 2006.
- [5] M.F. Ashby, 1992, *Materials Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press.
- [6] Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005. *Tensile Properties of Unidirectional Continuous Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite* International Proceeding, Kentingan Physics Forum, Sebelas Maret University, Indonesia, Sept. 2005.
- [7] Sudarsono, 2013. Optimasi Rancangan Kincir Angin Modifikasi Standar Naca 4415 Menggunakan Serat Rami (*Boehmeria Nivea*) Dengan Core Kayu Sengon Laut (*Albizia Falcata*) Yang Berkelanjutan, Disertasi, Jurusan Ilmu Lingkungan, UNDIP, Semarang.
- [8] Diharjo K., Jamasri, Soekrisno R., Rochardjo H.S.B., 2008. Kajian Sifat Fisis- Mekanis dan Akustik Komposit Sandwich Serat Kenaf-Polyester Dengan Core kayu Sengon Laut, *Disertasi*, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT-UGM, Yogyakarta.
- [9] Nam, S. and Netravali, A.N., 2002, *Interfacial and Mechanical Properties of Ramie Fibre and Soy Protein Green Composites*, ICCE-9, San Diego, California, ed D Hui, pp 551–552.
- [10] Robert L. Mott, P.E. 2004. *Elemen – Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis*. Yogyakarta: Andi Publiser.