

Rancang Bangun Blade Turbin Angin Komposit Fiber Glass Menggunakan Cetakan *Vacuum Bag*

Rikardo A.S Ndoya¹, Erich U.K. Maliwemu², Verdy A. Koehuan^{3*}

¹⁻³) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: verdy.koehuan@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun blade turbin angin komposit serat gelas menggunakan cetakan *vacuum bag*. Model *blade* yang digunakan dalam penelitian ini yang selanjutnya disebut sebagai prototipe blade adalah *blade* turbin angin sumbu horisontal tipe propeler tiga *blade*. *Blade* rotor turbin ini menggunakan seri airfoil S826 dengan diameter rotor 0,944 m. Model *blade* digambar menggunakan Solidworks kemudian dilakukan proses cetak atau print 3D yang selanjutnya model *blade* ini dijadikan sebagai pola dalam pembuatan cetakan. Proses pembuatan blade melalui metode *vacuum bag* nilai fraksi volume tertinggi yaitu 38,51 % dengan kecepatan aliran resin 3,125 cm/menit dan laju aliran volume resin 4,276 ml/menit. Pengujian dilakukan ini untuk memperoleh tahapan pembuatan blade dengan metode *vacuum* yang tepat dalam memperoleh hasil cetakan yang baik, Proses *vacuum bag* memungkinkan untuk pengendalian yang lebih baik terhadap impregnasi resin ke dalam serat komposit, menghasilkan struktur yang homogen dan konsisten.

ABSTRACT

This research aims to design a glass fiber composite wind turbine blade using a vacuum bag mold. The blade model used in this research, hereinafter referred to as the blade prototype, is a three-blade propeller type horizontal axis wind turbine blade. This turbine rotor blade uses the S826 airfoil series with a rotor diameter of 0.944 m. The blade model is drawn using Solidworks and then a 3D printing process is carried out, which is then used as a pattern for making the mold. The blade manufacturing process uses the vacuum bag method with the highest volume fraction value, namely 38.51% with a resin velocity of 3.125 cm/minute and a resin volume flow rate of 4.276 ml/minute. This test was carried out to obtain the right stage of making the blade using the vacuum method to obtain good molding results. The vacuum bag process allows for better control of the impregnation of resin into the composite fiber, producing a homogeneous and consistent structure.

Keywords: *Blade Manufacturing, Composite, Glass Fiber, Vacuum Bag*

PENDAHULUAN

Proses pembuatan sebuah produk terdapat beberapa tahapan, hal tersebut tergantung dari bentuk produk itu sendiri. Dari beberapa tahapan dalam pembuatan produk tersebut, salah satunya terdapat proses yang dilalui, yaitu pembuatan cetakan. Bahan komposit merupakan campuran beberapa material yang memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi, serta ringan. Dalam konteks baling-baling turbin, komposit sering digunakan karena dapat mengurangi berat dan meningkatkan efisiensi. Baling-baling turbin berbahan komposit sering digunakan dalam industri penerbangan, energi angin, dan

propulsi kapal. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan efisiensi, daya tahan, dan kinerja keseluruhan turbin. Material komposit yang umum digunakan dalam pembuatan baling-baling turbin termasuk serat karbon, serat kaca, epoxy resin, dan material-material penguat lainnya. Komposisi material tersebut disesuaikan dengan aplikasi dan kebutuhan tertentu. Pembuatan baling-baling turbin berbahan komposit melibatkan desain berdasarkan teknologi (*technology-driven design*) yang memperhitungkan aspek-aspek aerodinamika, beban mekanis, dan kestabilan.

Proses pembuatan cetakan menggunakan metode *vacuum forming* dengan bahan dasar mika yang memiliki variasi ketebalan 2 sampai 3 mm telah

dilakukan oleh Jamal Nawir Nafisi (2017). Pada produk cetakan tersebut memiliki *lifetime* atau umur yang tidak lama, hal tersebut dikarenakan terjadinya perubahan bentuk pada cetakan yang disebabkan oleh karakter resin yang relatif panas dalam proses pengerasannya. Melihat kondisi cetakan tersebut yang dapat berubah bentuk apabila berkontak langsung dengan resin, maka diperlukan suatu perbaikan dari segi perancangannya agar tercapainya sebuah cetakan yang dapat digunakan secara berulang ulang dan dalam jangka waktu yang lama.

Desain cetakan komposit yang baik adalah kunci untuk memastikan bahwa produk komposit memiliki sifat mekanis dan kualitas yang diharapkan. Desain yang cermat juga dapat mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi proses manufaktur. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun blade turbin angin komposit serat gelas menggunakan cetakan *vacuum bag*. Dimensi molding blade sesuai dengan dimensi model blade turbin angin dengan diameter 0,944 m atau jari-jari rotor 0,472 m. Bahan komposit serat gelas dan resin polyester.

METODE PENELITIAN

Model Desain Blade

Model *blade* yang digunakan dalam penelitian ini yang selanjutnya disebut sebagai prototipe blade adalah *blade* turbin angin sumbu horisontal tipe propeler yang diadopsi dari model *blade* yang dikembangkan oleh NORCOWE (*Norwegian Centre for Offshore Wind Energy*) dan *Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology NTNU, Trondheim, Norway*. *Blade* rotor turbin ini menggunakan seri airfoil S826 yang dikeluarkan oleh NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), dimana diameter rotor 0,944 m (Krogstad & Eriksen, 2013). Parameter blade sebagai model dalam pembuatan blade seperti terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 merupakan model rotor pada

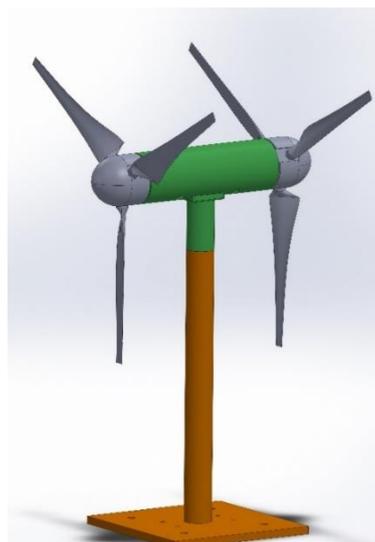
turbin angin rotor ganda seperti pada Gambar 3.



Gambar 1. Model blade.



Gambar 2. Model rotor.

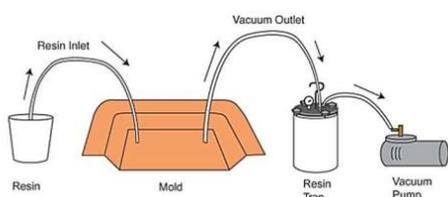


Gambar 3. Model turbin angin rotor ganda.

Prosedur Penelitian.

- Desain dan pembuatan model Blade atau pola

- Pembuatan molding blade menggunakan cetakan logam
- Pembuatan prototipe baling-baling menggunakan media sterfoam sebagai acuan awal untuk membuat molding
- Proses pencetakan baling-baling dengan menggunakan bahan carbon fiber.
- Analisis fraksi volume hasil cetakan.



Gambar 4. Skematik Vacuum Infusion.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Molding Blade

Proses pembuatan cetakan mengikuti model desain blade seperti pada Gambar 1 meliputi beberapa langkah-langkah yaitu :

Pembuatan rangka blade

Pembuatan rangka menggunakan bahan utama plat besi dan tripleks sebagai wadah penyalinan blade. Dengan ukuran ketebalan tripleks 3 mm dan plat besi dengan ketebalan 0,6 mm.



Gambar 5. Pembuatan rangka blade

Pengolesan wax pada blade

Pengolesan wax pada master blade dan rangka yang bertujuan untuk mempermudah

pemisahan antara cetakan dengan master blade. Pengolesan dilakukan terhadap seluruh permukaan cetakan dan master produk dengan menggunakan kuas. Pada proses pengolesan ini menggunakan wax yang bermerek *miracle gloss*.



Gambar 6. Pengolesan wax

Pemotongan serat kaca.

Pembuatan cetakan utama, serat komposit serat kaca digunakan sebagai komposit penguat. Setelah komposit serat kaca dipotong, potongan tersebut diletakkan pada permukaan master cetakan.



Gambar 7. Pemotongan lembaran serat kaca mengikuti pola cetakan blade

Penuangan resin pada master cetakan

Proses penuangan diawali dengan pencampuran resin, bubuk talk dan hardener di wadah, lalu di aduk semua bahan tersebut sampai merata. Perbandingan komposisi yang digunakan dari bahan cetakan tersebut yaitu, resin 750 ml, bubuk *talk* 500 gram dan hardener 6,2 ml proses ini diulang sebanyak 4 kali.



Gambar 8. Pengadukan bubuk talk dan pencampuran resin

Pemisahan cetakan dan finishing

Pemisahan dilakukan dengan cara mencongkel dari sisi samping antara blade dengan cetakan. Hal tersebut dilakukan setelah resin mengeras kemudian dilakukan proses penghalusan dan pemotongan pada sisi terluar dengan cara memotong menggunakan gerinda tangan serta menambakan dempul pada bagian yang cacat.



Gambar 9. Pemisahan cetakan dan finishing

Pembuatan Blade Metode *vacuum bag*

Dalam melakukan pembuatan dan pengujian *vacuum bag* ini terlebih dahulu dilakukan studi literatur tentang proses pembuatan komposit melalui metode *vacuum bag*. Berdasarkan hasil survei, dibuatlah alat fabrikasi komposit *vacuum bag* untuk mencetak komposit sesuai hasil perancangan

benda cetak. Dari hasil survei, metode *vacuum bag* kebanyakan digunakan untuk mencetak serat-serat buatan pabrik atau yang lebih dikenal dengan fiber glass. Metode *vacuum bag* atau *vaccum bag* digunakan dalam berbagai proses pembuatan cetakan resin, terutama pada aplikasi yang memerlukan distribusi resin yang merata dan penghilangan gelembung udara. Berikut ini adalah langkah-langkah umum dalam menggunakan metode *vacuum bag*.

- **Penyiapan Model dan Cetakan:** Pastikan model atau cetakan sudah siap untuk proses pembuatan. Permukaan cetakan harus bersih dan kering agar resin dapat menempel dengan baik.



Gambar 10. Penyiapan model

- **Pengencangan Model:** Pasang model atau cetakan di tempat kerja yang stabil. Pastikan tidak ada celah atau kebocoran di sekitar cetakan yang dapat mempengaruhi proses *vaccum*.



Gambar 11. Pengencangan model

- **Pembuatan *Vaccum Bag*:** Siapkan material *vaccum bag* yang sesuai dengan ukuran dan bentuk cetakan. Material yang

umum digunakan termasuk film *vaccum* khusus atau kantong *vaccum* yang dapat menutupi seluruh cetakan dan model.



Gambar 12. Pembuatan *vacuum bag*

- Penyusunan Material Resin: Persiapkan resin sesuai dengan petunjuk pabrik. Campur resin dengan pengeras atau katalisator sesuai perbandingan yang direkomendasikan, dan pastikan resin telah dicampur dengan baik untuk menghindari gelembung udara.



Gambar 13. Penyusunan material resin

- Pengecoran Resin: Tuangkan resin yang telah dicampur ke dalam cetakan dengan hati-hati. Sebarkan resin dengan rata menggunakan alat spatula atau kuas khusus jika diperlukan.
- Pemasangan *Vaccum Bag*: Tempatkan *vaccum bag* di atas cetakan dan model. Pastikan bagian bagian tersebut menutupi seluruh permukaan cetakan dengan rapat dan tidak ada udara yang dapat masuk.
- Pengaturan *Vaccum*: Hubungkan selang *vaccum* dari pompa *vaccum* ke *vaccum bag*. Hidupkan pompa *vaccum* untuk mulai mengekstraksi udara dari dalam *vaccum bag*. Proses ini akan menyebabkan tekanan *vaccum* di dalam tas, memaksa resin untuk meresap ke dalam serat dan membantu menghilangkan gelembung udara dari dalam resin.



Gambar 14. Pengecoran resin



Gambar 15. Pemasangan *vacuum bag*



Gambar 4.15. Pengaturan *vacuum*

- Pemantauan Proses: Amati proses untuk memastikan bahwa *vaccum* tetap kuat dan tidak terdapat kebocoran yang mengurangi efektivitas *vaccum*. Biarkan proses *vaccum* berlangsung sesuai dengan waktu yang disarankan untuk resin yang digunakan.
- Penutupan dan Pengerasan: Setelah resin meresap ke dalam serat dengan baik, matikan pompa *vaccum* dan lepaskan selangnya. Angkat *vaccum bag* dengan hati-hati dari cetakan.

- Finishing: Lepaskan model atau cetakan dari tempat kerja. Periksa cetakan untuk memastikan bahwa resin telah mengeras sepenuhnya. Lakukan finishing seperti perataan permukaan atau langkah-langkah penyelesaian tambahan sesuai kebutuhan.



Gambar 16. Finishing

Metode *vacuum bag* merupakan teknik yang efektif untuk memastikan distribusi resin yang merata, menghilangkan gelembung udara, dan menghasilkan cetakan resin dengan kualitas yang tinggi. Pastikan untuk mengikuti instruksi penggunaan alat *vaccum* dan resin

yang digunakan untuk mencapai hasil yang optimal.

Proses pembuatan blade menggunakan metode *vaccum* (*vacuum bagging*) adalah teknik yang umum digunakan dalam pembuatan komposit untuk memastikan bahwa bahan komposit terikat dengan baik, gelembung udara dihilangkan, dan hasil akhir yang kuat dan ringan. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam proses pembuatan blade menggunakan metode *vaccum*.

Analisis Fraksi volume

Fraksi volume (%) adalah aturan perbandingan untuk pencampuran volume serat kaca dan volume matriks bahan pembentuk komposit terhadap volume total komposit. Tabel 1 menunjukkan hasil analisis fraksi volume dengan massa serat kaca dan massa resin yang diaplikasikan pada proses pembuatan komposit dengan massa jenis serat kaca 1,3 gram/cm³ dan massa jenis resin 1,9 gram/cm³.

Tabel 1 Fraksi Volume

Pencetakan	Massa serat, m_s (gram)	Massa Resin, m_r (gram)	Volume Serat, V_s (cm ³)	Volume Resin, V_r (ml)	volume komosit, V_c (cm ³)	fraksi volume, f_v (%)
1	14	65	10,77	34,21	44,97976	23,94
2	13	50	10,00	26,32	36,31579	27,54
3	15	35	11,54	18,42	29,95951	38,51

Tabel 2 Hasil analisis kecepatan dan laju aliran volume resin.

Pencetakan	Jarak (cm)	Waktu (menit)	Volume Resin (ml)	Kecepatan (cm/menit)	Laju aliran Volume (ml/menit)
1	25	8	34,21	3,125	4,276
2	25	5	26,32	5	5,263
3	25	2,5	18,42	10	7,368

Analisis kecepatan dan laju aliran volume resin

Kecepatan aliran resin saat proses pencetakan dengan metode *vaccum* diperoleh dari perbandingan antara jarak tempuh resin

dengan waktu yang dibutuhkan untuk terbasahi secara penuh permukaan serat kaca pada keseluruhan komposit. Sedangkan laju aliran volume resin diperoleh dari perbandingan antara volume resin yang terpakai terhadap waktu penyelesaian proses

pencetakan dimulai dari saat resin mengalir ke dalam cetakan hingga keseluruhan material komposit. Tabel 2 menampilkan hasil analisis kecepatan dan laju aliran volume resin berdasarkan hasil analisis berikut:

Panjang jalur resin sama dengan panjang cetakan pada posisi blade yang akan dicetak sebesar 50 cm dimana posisi nepel untuk injeksi resin berada tepat ditengah yang dipasang bercabang untuk membagi aliran resin dalam dua arah secara bersamaan. Sehingga jarak tempuh resin adalah setengah dari Panjang blade yakni 25 cm.

Pembahasan

Proses pembuatan blade dengan metode vaccum dalam penelitian ini dilakukan dalam tiga percobaan seperti pada Gambar 17 hingga Gambar 19. Hasil analisis fraksi volume pada Tabel 4.1 menunjukkan pada percobaan ke-3 dengan nilai fraksi volume tertinggi yaitu 38,51 % dengan kecepatan aliran resin 3,125 cm/menit dan laju aliran volume resin 4,276 ml/menit. Pengujian dilakukan ini untuk memperoleh tahapan pembuatan blade dengan metode vaccum yang tepat dalam memperoleh hasil cetakan yang baik. Langkah-langkah pengujian dilakukan sesuai dengan yang telah dijelaskan. Produk cetakan dinyatakan berhasil jika memenuhi kriteria yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya

Pencetakan pertama

Pencetakan pertama terdapat kendala yaitu, masih ditemukan sisi blade yang belum terkena resin yang disebabkan oleh kebocoran pada seal perekat pada plastik yang sehingga aliran resin melambat dan mengeras.



Gambar 17. Hasil cetakan blade test pertama

Pencetakan kedua



Gambar 18. Hasil cetakan blade test kedua

Pada pencetakan kedua juga mendapatkan kendala yaitu, posisi selang udara dan selang resin yang terlalu berdekatan yang mengakibatkan resin yang masuk kedalam cetakan juga terisap masuk kedalam selang udara sehingga lubang selang udara tersumbat oleh resin yang terlarut mengeras. Oleh karena itu masih ada bagian blade yang belum terkena resin.

Pencetakan ketiga



Gambar 19. Hasil cetakan blade test ketiga

Berdasarkan beberapa masalah yang ditemui, pada pencetakan pertama dan kedua, maka pada pencetakan yang ketiga ini sudah dipastikan berhasil berdasarkan dari kesalahan yang dilakukan pada pencetakan pertama dan kedua. Dalam pencetakan ini blade yang sudah di cetak menggunakan metode *vacuum bag* bisa dikatakan berhasil meskipun belum digabungkan kedua sisi untuk menjadi blade yang utuh.

KESIMPULAN

Metode *vacuum bag* dalam pembuatan model blade yang telah dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan hasil produk yang

diaplikasikan untuk blade turbin angin rotor ganda dengan menggunakan material komposit serat gelas. Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil untuk memaksimalkan hasil produk blade meliputi proses berikut:

- Proses pembuatan blade dengan metode *vaccum bag* pada model blade dengan Panjang 472 mm, lebar maksimum (*chord* maksimum) 81,43 mm dan lebar minimum (*chord* minimum) 25,93 mm diperoleh nilai fraksi volume tertinggi yaitu 38,51 % dengan kecepatan aliran resin 3,125 cm/menit dan laju aliran volume resin 4,276 ml/menit
- Memungkinkan pembuatan blade yang kuat namun ringan, sesuai untuk mengoptimalkan efisiensi turbin angin.
- **Pengendalian Kualitas:** Proses *vaccum* memungkinkan untuk pengendalian yang lebih baik terhadap impregnasi resin ke dalam serat komposit, menghasilkan struktur yang homogen dan konsisten.
- **Ketelitian dalam Penempatan Serat:** Diperlukan ketelitian tinggi dalam penempatan serat komposit dalam cetakan untuk menghindari kelemahan struktural dan memaksimalkan kekuatan blade.
- **Proses Laminate dan Kualitas Permukaan:** Penting untuk memastikan bahwa proses laminasi dan akhir permukaan blade terjadi dengan baik di bawah tekanan *vaccum* untuk menghindari cacat atau kelemahan.
- Sebelum produksi massal, penting untuk melakukan pengujian prototipe secara menyeluruh untuk memverifikasi kekuatan struktural, kestabilan aerodinamika, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ariawan, D., 2006, Pengaruh Modifikasi Serat Terhadap Karakteristik Komposit UPRs-Cantula, Jurnal Teknik Mesin Poros, Universitas Sebelas Maret, Vol. 9, No.3, hal. 200-206.
- [2]. Asshiddiqi, M.F., 2011, Pengaruh Variasi Fraksi Volume HDPE Terhadap Karakteristik Komposit Berpori Berbahan Dasar HDPE-Sampah Organik, Skripsi Universitas Sebelas Maret, Surakarta, hal. 26-31. Cahyono, M Ardi. (2015). Analisis Pemilihan Desain Struktur dan Pembuatan Purwarupa Bilah Turbin Angin Komposit. Jurnal Angkasa. Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta.
- [3]. M. Lakshmi Aparna, D. G. (2016). Fabrication of Continuous GFRP Composites using *Vacuum bag* Moulding Process. Andhra Pradesh.
- [4]. Nafisi, J. N. (2016). PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT FIBER CARBON DENGAN METODE VACUUM INFUSION PROCES S. Yogyakarta.
- [5]. Nurhidayat, A., & Susilo, D. D. (2013). Pengaruh fraksi volume pada pembuatan komposit hdpe limbah-cantula dan berbasis jenis perekat dalam pembuatan laminate. *Program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta*, 14(02), 1–70.
- [6]. Purkuncoro, A. E., Widodo, B., & Subardi, A. (2018). Penggunaan fraksi volume komposit serat batang pisang kepok (*musa paradisiaca*) orientasi sudut acak dengan matrik polyester terhadap sifat mekanik. *Jurnal Flywheel*, 9(1), 10–17.
- [7]. Rahadiyanto, A. (2018). Perbaikan Proses Pembuatan Produk Komposit Dengan Metode *Vacuum bagging*. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 9.
- [8]. Triyono. (2019). Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit Untuk Metode Vacuum Infusion Menggunakan Penekan Elastomer Bag. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 1–46.
- [9]. Wahyu, Y. (2015). Teknik Pembuatan Produk Komposit Untuk Produksi Masal Dengan Metode *Vacuum bagging* Multi Cetakan. Yogyakarta

- [10]. Wona H., Boimau K., & Maliwelu E.U.K. (2015). Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Bending dan Impak Komposit Polyester Berpenguat Serat Agave Cantula. Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang.