

Optimisasi Desain Kompartemen Komposit Fiberglass melalui Metode Wet Lay-up: Studi Analisis Simulasi dan Eksperimen

Riyadi Muslim^{1*}, Dimas Adika¹, Michael Sanjaya Sugestianto¹

¹Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 57126, Indonesia

*Email Corresponding: muslim.riyadi@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis tegangan optimum kompartemen dari material komposit berbasis fiber glass menggunakan metode *wet lay-up*. Tren penggunaan material yang kuat dengan masa yang relatif rendah, menjadikan komposit pilihan yang tepat. Sebuah desain kompartemen telah dibuat, dengan spesifikasi yang ideal yang dapat diassembly sesuai kebutuhan. Proses fabrikasi dilakukan menggunakan bahan penguat *Fiber glass* dengan metode laminasi *wet lay-up* dan resin sebagai perekat. Metode simulasi digunakan untuk menganalisis tegangan optimum yang didapatkan. Data menunjukkan kekuatan tegangan mencapai 120000N. Hasil ini menunjukkan tegangan yang cukup untuk menahan kompartemen dari beban fluida. Uji eksperimen dilakukan dengan mengalirkan fluida dari sumber air. Pada awalnya ditemukan kebocoran pada beberapa celah kompartemen, setelah perbaikan produk telah mampu menahan beban laju air yang diberikan. Berdasarkan penelitian ini, disimpulkan bahwa pengembangan manufaktur berbasis material komposit berbahan dasar *fiberglass* dengan metode *wet lay-up* layak menjadi alternatif material pendukung manufaktur industri. Kedepannya, produk ini ideal digunakan untuk fabrikasi produk yang membutuhkan kemudahan distribusi, seperti di daerah terpencil atau jauh dari perkotaan

Kata kunci: optimasi desain; komposit; fiberglass; metode wet lay-up, simulasi

ABSTRACT

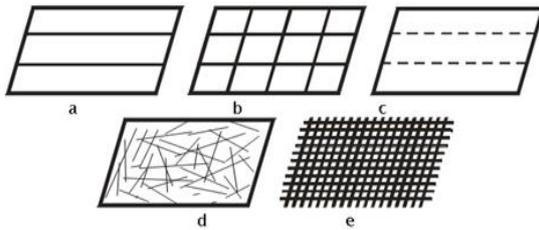
These studies are aimed at analyzing an optimal stress compartment for wet lay-up of fiberglass-based composites. Composites are the right choice due to the trend of using strong materials with relatively low mass. A compartment design was created with ideal specifications that can be assembled as needed. The manufacturing process was carried out using glass fiber reinforcement material with wet lay-up lamination method and resin as adhesive. Simulation method was used to analyze the optimum stress obtained. The data showed that the tensile strength reached 120000N. This result shows sufficient stress to withstand the compartment from the fluid load. Experimental tests were conducted by flowing fluid from a water source. Initially, leaks were found in some compartment gaps, after being repaired, the product was able to withstand the load of the given water rate. Based on this research, it is concluded that developing glass-fiber based composite materials using the wet lay-up method is feasible as an alternative material to support industrial manufacturing. Going forward, this material is ideal for manufacturing goods that need easy distribution, for example, in remote areas or far from urban areas.

Keywords: design optimization; composites; fiberglass; wet lay-up method, simulation

PENDAHULUAN

Hari ini, komposit telah menjadi material yang populer di dunia industri. Material komposit semakin penting dalam berbagai industri karena sifatnya yang unik, termasuk ringan, tahan lama, dan tahan korosi [1]. Sektor otomotif, kedirgantaraan, dan kelautan secara khusus mengalami kemajuan dalam pembuatan komposit dan manufaktur otomatis [2]. Namun, masih ada tantangan dalam pengelolaan komposit akhir masa pakai yang berkelanjutan, sehingga diperlukan strategi ekonomi sirkular yang lebih baik. Teknik evaluasi non-destruktif (NDE) sangat penting untuk mempertahankan struktur komposit, dengan metode non-kontak yang muncul menunjukkan

harapan untuk manajemen prognostik dan kesehatan di masa depan [3]. Dalam industri pengemasan, komposit berbasis kitosan menawarkan potensi sebagai alternatif yang berkelanjutan untuk plastik berbasis minyak bumi, meskipun keterbatasan biaya dan kinerja saat ini menghambat adopsi skala besar [4]. Seiring dengan penggunaan komposit yang terus berkembang, kemajuan dalam manufaktur otomatis, teknologi NDE, dan praktik ekonomi sirkular akan sangat penting untuk memaksimalkan manfaatnya di seluruh industri.



Gambar 1. Susunan dasar pembentukan komposit lembaran (a) serat panjang searah (b) searah panjang dua arah (c) serat pendek searah (d) serat pendek acak (e) Woven roving [5]

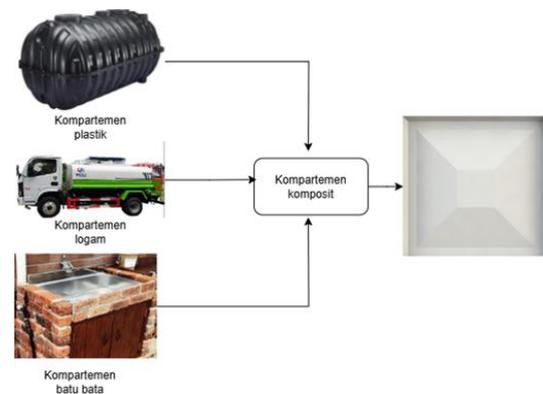
Saat ini pengembangan material komposit masih penuh dengan tantangan. Industri komposit masih belum masif, seperti halnya perkembangan tren yang terjadi. Upaya meningkatkan dan memperluas penggunaan komposit yang diperkuat serat dalam industri perlu dilakukan. Karena industri belum berkembang sebanyak yang diharapkan meskipun ada keuntungan dari bahan ini. Mengatasi tantangan yang dihadapi oleh industri komposit di India dan mengeksplorasi arah penelitian baru untuk industri ini [6]. Komposit dengan bahan dasar fiber glass paling banyak diminati industri. Mengoptimalkan atau mengembangkan proses manufaktur baru untuk komposit yang diperkuat serat berdasarkan penguat, matriks, dan aplikasi.

Fiber glas menjadi bahan penguat komposit yang berpeluang besar untuk dikembangkan. Komposit fiberglass, seperti AR-glass, E-glass bebas boron, C-glass, dan E-glass, telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam hal ketahanan dan daya tahan terhadap korosi, terutama di lingkungan yang keras seperti industri perminyakan [7]. Proses manufaktur untuk komposit yang diperkuat serat telah berkembang secara signifikan, dengan penelitian yang sedang berlangsung yang berfokus pada peningkatan kinerja dan efektivitas biaya. Komposit ringan sangat diminati di sektor manufaktur, dengan perekat dan laminasi memainkan peran penting dalam meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap kerusakan. Namun, ada tren yang berkembang untuk mengembangkan material komposit yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengatasi masalah lingkungan. Industri material komposit terus berkembang, dengan aplikasi mulai dari barang-barang rumah tangga hingga penggunaan industri berat, termasuk kedirgantaraan, konstruksi, dan transportasi [6]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berusaha untuk menjelaskan menganalisis tegangan optimum dari optimasi desain kompartemen berbahan dasar material komposit

berbasis fiber glass menggunakan metode *wet lay-up*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dan uji eksperimen kebocoran pada kompartemen komposit. Simulasi dilakukan menggunakan Software Solidwork - student version. Simulasi dilakukan dengan memberikan beban asumsi air sebesar 1200 liter atau setara dengan 1.2 ton. Untuk dapat mengukur volume air, dihitung melalui persamaan 1. Adapun spesifikasi material yang digunakan bisa dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Kompartemen Komposit

$$V = P \times L \times T \dots\dots\dots (1)$$

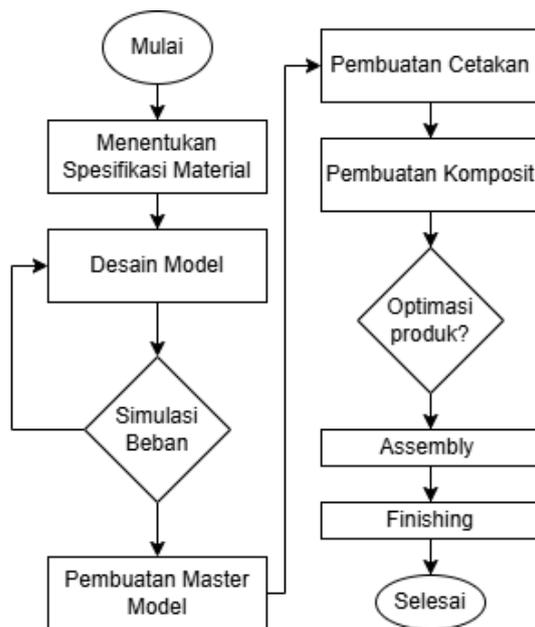
Tabel 1. Parameter Input Simulasi

Properti	Nilai	Unit
Elastic modulus	620	N/mm ²
Sheer modulus	6000	N/mm ²
Mass density	0.024	Kg/m ³
Yield strength	500	N/mm ²

Dasar parameter menggunakan tumpuan jepit. Tumpuan yang tidak memungkinkan adanya rotasi atau pergerakan dikarenakan pada sisi kompartemen menggunakan sambungan baut. Adapun prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Pembuatan master model berdasarkan ukuran yang terdapat pada desain gambar. Master model diasumsikan sebagai model awal yang akan digunakan sebagai dasar untuk membuat alat cetakan. Dalam proses ini adalah pembuatan cetakan dari master model, yang di mana master model diberi dempul dan *efoxy*. master model diberikan mirror glaze sebanyak 4 kali. Setelah master model sudah siap sebagai dasar untuk membuat cetakan/*molding*. Dengan pemberian

mirror glaze terhadap master model diharapkan supaya master model tidak lengket pada saat cetakan kering. Salah satu metode pembuatan komposit yang disebut "layup basah" atau *wet lay-up* yaitu memasukkan serat kain basah secara manual ke dalam cetakan yang telah dilapisi resin. Kemudian, serat diikat dengan resin. Setelah itu, komposit yang telah dibentuk akan mengeras dan mengering. Ini adalah metode yang umum digunakan dalam pembuatan komponen komposit yang membutuhkan fleksibilitas desain dan jumlah produksi yang rendah.



Gambar 3. Diagram Alur penelitian

Pembuatan cetakan menjadi dasar untuk pembuatan barang jadi, cetakan ini bisa digunakan berulang kali. Proses *finishing* dilakukan dengan memotong bagian yang tidak digunakan pada barang yang sudah dicetak, dan menghaluskan permukaan yang kasar menggunakan amplas. Setelah komposit siap dilakukan *assembly* dan uji optimasi produk. Optimasi produk dilakukan dengan uji bocor dengan mengalirkan air secara penuh ke dalam kompartemen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fabrikasi produk komposit telah dilakukan dalam penelitian ini. Untuk fabrikasi ini, kompartemen dibuat dengan metode layup basah. Metode ini dipilih karena mengurangi biaya. Fiber dipilih secara sengaja karena dapat meningkatkan

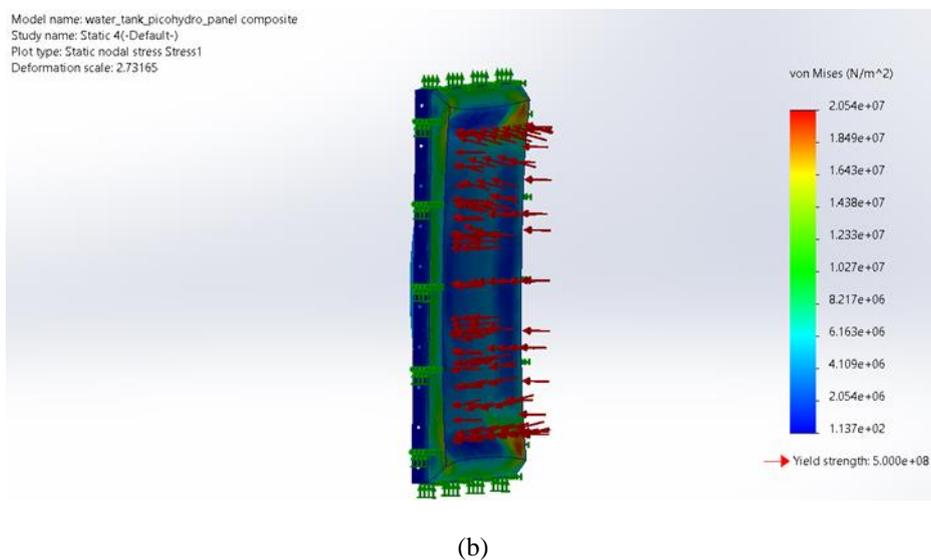
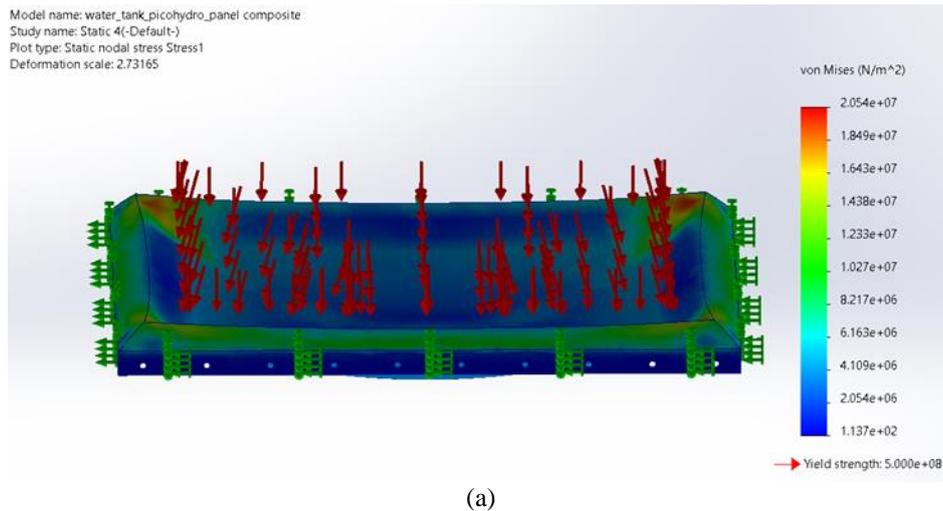
kekuatan fisik ke segala arah. Untuk mengeluarkan udara yang terjebak di dalam serat dan membuat resin meresap secara merata di dalamnya, serat diputar setiap kali fiber diletakkan di atas resin. Munculnya panas adalah tanda reaksi *curing* pada resin. Setelah sekitar tiga puluh menit, campuran resin dan hardener selesai. Untuk mendapatkan hasil terbaik, pengerasan sempurna terjadi kira-kira satu hari setelah proses pencetakan. Resin dan hardener terdiri dari 0,2 mililiter hardener dalam 100 mililiter resin.

Digunakan dalam analisis untuk mengevaluasi dan memastikan keamanan kompartemen. Tingkat kekuatan kompartemen terhadap beban statik sesaat dan konstan adalah faktor keamanan lainnya. Tegangan tarik maksimum atau tegangan luluh dapat menentukan faktor keamanan. Kekuatan tarik maksimum adalah tegangan maksimum yang dapat dicapai oleh material sebelum patah atau saat material mulai kehilangan elastisitasnya saat beban dihilangkan.

Analisis simulasi kompartemen yang terbuat dari kaca fiber dengan masa pembebanan 1200 liter, atau 1,2 ton dapat dilihat pada Gambar 4. Pembebanan ini dihasilkan dari perhitungan volume air di dalam tangki. Kompartemen sisi bagian bawah dan sisi bagian samping menjadi subjek pemeriksaan ini. Pembebanan didistribusikan secara merata, dimana pembebanan 12000 N diberikan kepada tiap panel. Perhitungan volume air tangki sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= P \times L \times T \\
 V &= 200 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \\
 V &= \frac{1.200.000 \text{ cm}^3}{1000} \\
 V &= 1200 \text{ } \ell \\
 &= 12000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, kompartemen mampu menahan beban sebesar $2.504 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Angka ini menunjukkan batas maksimum yang dapat ditahan oleh komposit tersebut. Dapat dilihat dari warna *von mess*, bahwa hanya sedikit titik pada komposit yang berwarna merah. Hal tersebut menunjukkan titik yang perlu dioptimasi. Sedangkan warna biru menunjukkan beban yang aman terhadap tekanan air pada produk. Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi dari komposit. Produk telah optimum digunakan untuk menahan beban yang diperlukan.



Gambar 4. Analisis simulasi kompartemen (a) tampak atas, (b) tampak samping



Gambar 5. Uji kebocoran kompartemen

Optimasi komposit menggunakan fiberglass memiliki banyak keunggulan. Desain komposit fiberglass untuk berbagai aplikasi dapat

digunakan. Metode *hand lay-up* umumnya digunakan untuk membuat komponen fiberglass, seperti bodi mobil listrik dan lambung kapal nelayan [8]. Teknik optimasi dapat menentukan dimensi dan material yang ideal untuk aplikasi tertentu, seperti yang ditunjukkan dalam desain bus air berlambung ganda berbahan fiberglass [9]. Komposit hibrida yang menggabungkan serat karbon dan serat kaca dapat menyeimbangkan kekuatan, berat, dan biaya, seperti yang ditunjukkan pada desain bagian belakang pesawat amfibi [10]. Fraksi volume serat secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik, dengan fraksi optimal 12,5% menghasilkan kekuatan tarik 79,31 MPa dan kekuatan lentur 129,38 MPa untuk komposit serat kaca-poliester [8]. Meskipun nilai ini tidak memenuhi standar BKI, peningkatan fraksi volume serat di atas 12,5% dapat memenuhi persyaratan. Analisis elemen hingga dan perangkat lunak simulasi membantu dalam mengoptimalkan

desain komposit untuk kriteria kinerja tertentu. Gambar 4 menunjukkan optimalisasi desain dengan simulasi.

Setelah metode simulasi, fabrikasi telah dilakukan. Langkah selanjutnya adalah melakukan uji coba eperimen terhadap kebocoran produk. Berdasarkan hasil uji kebocoran ditemukan bahwa produk mampu menahan air dengan baik, namun demikian perlu diperhatikan pada sisi sisi sudut yang rawan kebocoran. Untuk mengatasi hal tersebut dapat diatasi dengan penambahan sealen bila perlu. Gambar 5 menunjukkan sisi kompartemen yang perlu diperhatikan dalam proses *assembly*. Data akhir menunjukkan bahwa optimisasi desain kompartemen komposit fiberglass melalui metode *wet lay-up* telah layak memenuhi standar. Produk ini kedepannya dapat menjadi acuan dalam pembuatan manufaktur dalam berbagai aspek penerapan.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai pembuatan komposit berbahan dasar fiber-glass dengan metode *wet lay-up* untuk produk kompartemen telah dilakukan. Optimasi disain ditemukan kompartemen mampu menahan beban sebesar $2.504e+07$ N/m². Angka ini menunjukkan batas maksimum yang dapat ditahan oleh komposit tersebut. Dapat dilihat dari warna von mess, bahwa hanya sedikit titik pada komposit yang berwarna merah. Adapun dominasi warna biru menunjukkan komposit aman terhadap beban yang diimpitkan. Uji coba kebocoran menunjukkan *assembly* produk berjalan dengan baik. Namun demikian perlu perhatian pada sisi sisi konjungsi agar dapat menjadi prioritas pemasangan. Pernelitian ini memberikan novel opsi material komposit sebagai bahan mendukung manufaktur di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Chatziparaskeva *et al.*, "End-of-Life of Composite Materials in the Framework of the Circular Economy," *Microplastics*, vol. 1, no. 3, pp. 377–392, 2022, doi: 10.3390/microplastics1030028.
- [2] A. Loeliger, E. Yang, and I. Bomphray, "An Overview of Automated Manufacturing for Composite Materials," 2021 26th Int. Conf. Autom. Comput. Syst. Intell. through Autom. Comput. ICAC 2021, no. September, pp. 1–6, 2021, doi: 10.23919/ICAC50006.2021.9594159.
- [3] R. Gupta *et al.*, "A review of sensing technologies for non-destructive evaluation of structural composite materials," *J. Compos. Sci.*, vol. 5, no. 12, 2021, doi: 10.3390/jcs5120319.
- [4] V. G. L. Souza, J. R. A. Pires, C. Rodrigues, I. M. Coelho, and A. L. Fernando, "Chitosan composites in packaging industry-current trends and future challenges," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 2, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3390/polym12020417.
- [5] I. M. Sudiarta, "Pembuatan pelat komposit tahan peluru berbahan dasar serat pisang abacca," Universitas Indonesia, 2007. [Online]. Available: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20247562&loka si=lokal#parentHorizontalTab1>
- [6] A. T. Bhatt, P. P. Gohil, and V. Chaudhary, "Primary Manufacturing Processes for Fiber Reinforced Composites: History, Development & Future Research Trends," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 330, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/330/1/012107.
- [7] M. Enamul Hossain, "The current and future trends of composite materials: an experimental study," *J. Compos. Mater.*, vol. 45, no. 20, pp. 2133–2144, Sep. 2011, doi: 10.1177/0021998311401066.
- [8] S. A. Rahmawaty, "Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Komposit Fiberglass-Polyester Berpenguat Serat Gelas dengan Variasi Fraksi Volume Serat," *JTM-ITI (Jurnal Tek. Mesin ITI)*, vol. 5, no. 3, p. 146, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i3.685.
- [9] A. Marasabessy, A. Hotnyda, and A. Zayadi, "Perencanaan Water Bus Double Hull Fiberglass Kapasitas Angkut 35 Orang," *J. Ilm. Giga*, vol. 22, no. 1, p. 22, 2020, doi: 10.47313/jig.v22i1.740.
- [10] M. Thianwiboon, "Optimization of a hybrid carbon/glass composites afterbody of the amphibious plane with finite element analysis," *Eng. J.*, vol. 23, no. 5, pp. 125–140, 2019, doi: 10.4186/ej.2019.23.5.125.