

## **ULASAN: TEKNIK MANUFAKTUR KOMPOSIT HIJAU DAN APLIKASINYA PADA PERKERETAAPIAN**

**M.Azizi<sup>a\*</sup>, Hadi Pranoto<sup>a</sup>, Muhamad Fitri<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> (Magister Teknik Mesin, Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta)

\*Email Korespondensi: [muhammad.azisisuhaimi@gmail.com](mailto:muhammad.azisisuhaimi@gmail.com)

Phone: [082362204085](tel:082362204085)

**Abstrak:** Makalah ini memberikan tinjauan komprehensif tentang teknik manufaktur komposit hijau dan penerapannya dalam industri kereta api. Komposit hijau, yang terdiri dari bahan berbasis serat alami dan matriks polimer ramah lingkungan, menawarkan alternatif berkelanjutan untuk bahan konvensional yang digunakan dalam manufaktur kereta api. Penelitian ini mengkaji berbagai metode produksi komposit hijau, termasuk pencetakan dengan cetakan terbuka seperti hand lay-up, vacuum bagging, pressure bagging, spray-up, dan filament winding serta pencetakan dengan cetakan tertutup seperti cetakan kompresi, cetakan injeksi, dan pultrusi kontinu. Selain itu, makalah ini memberikan pemahaman tentang keunggulan komposit hijau dalam hal pengurangan bobot, peningkatan efisiensi energi, dan dampak lingkungan yang lebih rendah. Penerapan komposit hijau dalam komponen kereta api seperti bodi kereta, bagian interior, dan struktur pendukung ditinjau secara mendalam, menyoroti studi kasus implementasi nyata di industri. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa komposit hijau memiliki potensi yang signifikan untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi di sektor perkeretaapian. Namun, tantangan seperti biaya produksi dan standar kualitas masih perlu ditangani. Dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kesadaran lingkungan, penggunaan komposit hijau diharapkan semakin luas di masa depan.

**Keywords :** *review, green composite, manufacture composite, railways composite.*

---

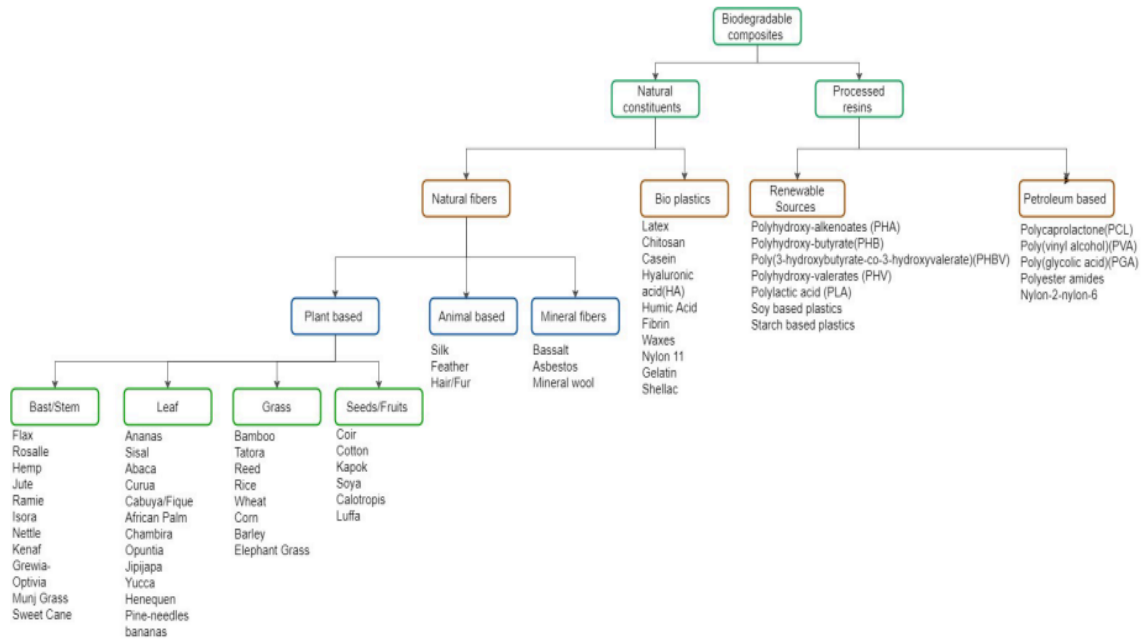
### **1. PENDAHULUAN**

Di era teknologi yang mulai berkembang saat ini penggunaan serat alam sebagai komposit mulai banyak digunakan, misalnya serat sabut kelapa sebagai material komposit [1]. Serat alam yang bersumber dari tanaman yang tumbuh di tanah mengandung senyawa kimia seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa [2]. Komposit alami dapat dibuat dari komposit hijau yang dikombinasikan dengan oleoresin alami seperti minyak kedelai. Komposit hijau mencakup penambahan resin biodegradable ke serat alami yang terbuat dari bambu, rami, dan serat alami lainnya untuk meningkatkan sifat mekanik komposit yang dihasilkan dan memperkuat bahan polimer matriks [3]. Komposit berbahan alami yang merupakan salah satu solusi untuk masalah limbah alami, misalnya penggunaan lapisan batang pisang sebagai bahan untuk proses pembuatan serat tumbuhan sebagai bahan baku komposit alami [4]. Dalam beberapa tahun terakhir, ada minat besar dalam menggunakan serat alami sebagai penguat plastik. Alasannya adalah biaya, kinerja tinggi, ringan, dan aspek lingkungan. Kinerja serat rami memiliki potensi besar sebagai alternatif untuk kaca dan serat karbon yang digunakan untuk menguatkan plastik. Karena banyak kelebihan dibandingkan dengan komposit tradisional, komposit polimer yang diperkuat serat alami sangat populer [3]. Komposit yang diperkuat dengan serat alami 40% lebih kuat dan lebih ringan dari komposit fiberglass. Proses pembuatan komposit yang diperkuat oleh serat alami memiliki keunggulan relatif murah dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, komposit serat alam diharapkan dapat menjadi alternatif pengganti komposit serat sintetis [5]. Tentunya, untuk menghasilkan serat alami bisa dibantu dengan alat ekstraktor serat, Alat ini nantinya dapat membantu proses ekstraksi serat tumbuhan alami dengan baik [4]. Masih perlu pengembangan lebih lanjut pada alat tersebut semisal menggunakan controller buatan lokal [6]. Saat ini, kemajuan signifikan telah dibuat dalam pengembangan manufaktur kereta api menggunakan bahan komposit. Penggunaan material komposit pada kereta api biasa digunakan dalam pembuatan badan kereta, pintu kereta, dan lain-lain [7]. Sebagian besar bahan komposit menggunakan resin non-biodegradable dan serat berbasis minyak bumi atau sintetis secara komersial. Sebab itu, perlu dikembangkan material komposit yang ramah lingkungan dan berorientasi degradasi dengan menggunakan penguat dari serat selulosa, benang, dan/atau kain. Polimer biodegradable, diproduksi melalui reaksi biokimia dari sumber terbarukan seperti tanaman, hewan, dan mikroorganisme, menawarkan solusi praktis dan ramah lingkungan untuk masalah limbah plastik [8].

**2. METODE DAN BAHAN**

**2.1 Komposit Hijau**

Komposit polimer yang terbuat dari serat alami dan biopolimer disebut "komposit hijau". Serat alami termasuk sabut kelapa, rami, sisal, dan rami. Contoh biopolimer termasuk pati, asam polilaktat (PLA), CNSL, dan furan [5]. Serat alami memiliki sifat insulasi suara dan panas yang sangat baik. Serat alami dapat digunakan untuk membuat panel struktural dan balok sandwich untuk proyek perumahan. Serat alami memiliki kegunaan yang luas sebagai bahan bangunan karena kinerjanya yang tinggi dalam hal daya tahan, perawatan, dan efektivitas biaya [9]. Komposit Hijau dapat dibuat dengan menggabungkan untaian umum dan polimer biodegradable, di mana polimer biodegradable dapat disimpulkan dari persatuan mikroba, campuran petrokimia, atau tar umum [10]. Konstituen komposit hijau dirangkum dalam Gambar 1 [10].



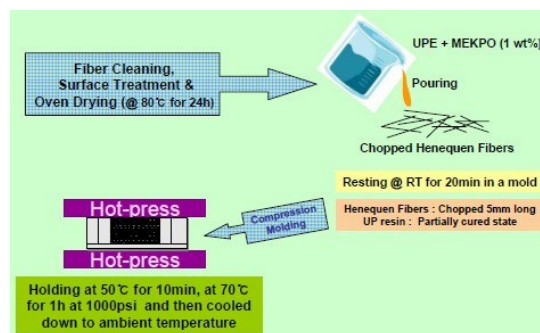
**Gambar 1** : Klasifikasi komposit hijau

**2.2 Mengapa Perlu Komposit Hijau**

Ketika komposit hijau tidak diperlukan lagi dan dibuang, resin dan serat akan terurai. Mikroorganisme akan menyebabkan komposit membusuk. Setelah komposit tersebut berubah menjadi H2O dan CO2, H2O dan CO2 ini dapat diserap ke dalam sistem pabrik. Dua bagian utama adalah resin biodegradable dan serat alami.

**2.3 Jenis dan Properti**

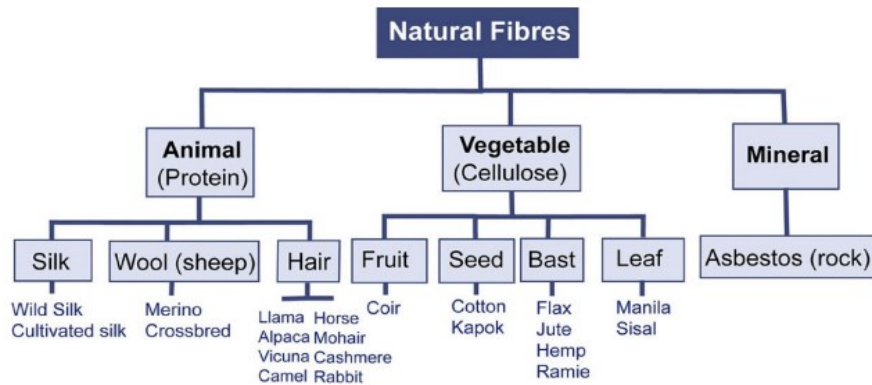
Resin berbasis pati dan serat selulosa membentuk komposit hijau yang ramah lingkungan. Dikeringkan di udara atau pada suhu kamar, campuran resin biodegradable dan serat selulosa dicampur dengan mixer. Pengepresan panas konvensional digunakan untuk membuat bahan komposit pada 140 °C dan tekanan 10 hingga 50 MPa. Dengan peningkatan tekanan formasi, kekuatan lentur dan modulus lentur meningkat. [3].



**Gambar 2** : Proses pembuatan komposit hijau

## 2.4 Serat Alami

Serat alami dapat diklasifikasikan ke dalam berbasis selulosa; berbasis protein dan berbasis mineral Gbr.2 menunjukkan klasifikasi serat alami [10].



**Gambar 3** : Klasifikasi serat alami

Untaian berbasis selulosa dapat membantu diklasifikasikan sesuai dengan akarnya menjadi: daun, kulit pohon, biji, tangkai dan rumput. Filamen dari kulit pohon, batang dan daun sebenarnya disusun menjadi bundel dan kemudian disebut bundel serat sedangkan untaian dari biji adalah sel tunggal dan disebut sebagai filamen [11]. Untaian alami pada dasarnya terbuat dari tiga komponen utama; selulosa, lignin dan hemiselulosa. Selulosa adalah komponen utama yang memperhatikan kualitas dan soliditas serat normal yang tidak dapat dicabut sementara hemiselulosa berkontribusi pada struktur serat karakteristik. Untuk sebagian besar di zona provinsi untaian karakteristik digunakan secara luas untuk aplikasi non-struktural seperti tali, karung, sapu dan furnitur. Untaian terlalu dimanfaatkan untuk bahan dan penutup. Filamen kasar di permukaan dan memiliki warna putih hingga coklat redup [12]. Hampir semua untaian adalah kandidat yang mungkin untuk benteng komposit. Namun, yang diambil korban, prasyarat alami dan langkah-langkah eksekusi adalah komponen yang harus dipenuhi beberapa waktu terakhir pengiriman mereka. Untaian nabati, pada dasarnya filamen lignoselulosa, dapat memenuhi prasyarat ini. Namun, beberapa waktu terakhir menggunakan untaian sebagai konstituen untuk komposit, mereka harus dipisahkan from Konstituen lain seperti lignin, hemiselulosa, lilin dan protein [13]. Untaian normal dapat dibagi lagi menjadi filamen yang ditentukan dari tumbuhan, makhluk, dan mineral. Untaian yang berasal dari tumbuhan dapat membantu diklasifikasikan menjadi bahan baku kayu atau bahan baku non-kayu. Filamen non-kayu sekali lagi dibagi lagi menjadi filamen rumput, batang / kulit pohon, daun atau biji rambut / buah, tergantung pada akarnya [14]. Tujuan utama serat pendukung adalah untuk mengembangkan sifat mekanik komposit akhir. Namun, filamen normal memperkuat potensi Nto untuk memberikan harga yang lebih besar termasuk penghargaan, dukungan, pembaruan dan biaya yang lebih rendah, terutama di industri mobil. Tabel 1 muncul generasi tahunan serat karakteristik yang dapat diakses secara komersial [14] [15] [16].

**Tabel 1** : Produk serat alami komersial

SUMBER SERAT	PRODUKSI GLOBAL (10 <sup>3</sup> tons)
Tebu ampas tebu	102,000
Bambu	30,000
Jute	2,850
Kenaf	970
Flax	830
Rumput	700
Sisal	378
Rami	214
Sabut	650
Ramie	100
Abaca	91
Pisang	200
Kapas	19,010
Kapok	123

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Metode Manufaktur Komposit

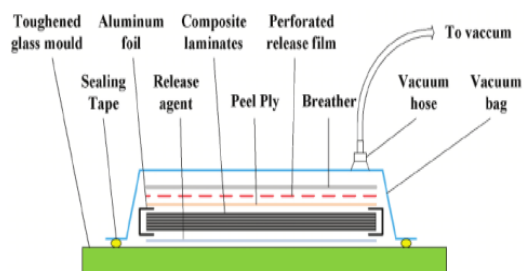
Secara umum, ada dua cara untuk membuat material komposit. Mereka adalah proses cetakan terbuka dan proses cetakan tertutup.

##### 3.1.1 Proses Cetakan Terbuka

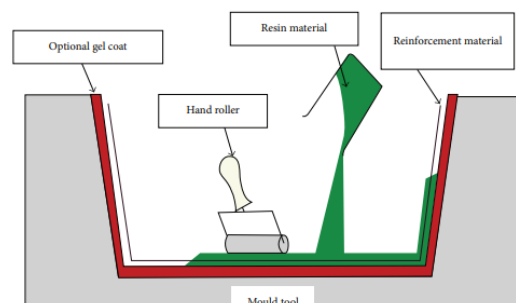
Ada beberapa proses pencetakan terbuka termasuk hand lay up, vacuum bagging, pressure bagging, spray up dan filament winding. Metode hand-layup adalah metode paling sederhana dan paling terbuka untuk pembuatan material komposit (Gambar 4). Ini adalah metode pembuatan di mana resin dituangkan ke dalam serat kain tenun atau rajutan, dan kemudian dihaluskan dengan rol atau sikat sambil memberikan tekanan. Proses ini diulang sampai ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin bersentuhan langsung dengan udara dan proses pencetakan biasanya dilakukan pada suhu ruang. Keuntungan dari metode ini: 1) Mudah dilakukan, 2) Cocok untuk komponen besar, 3) Volume kecil. Penerapan pembuatan produk komposit bermuatan tangan biasanya diterapkan pada bahan dan suku cadang yang sangat besar, seperti pembuatan lambung kapal, badan mobil, bilah turbin angin, bak mandi, kapal, dll [17]. Untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan resin yang berlebihan, proses pengantungan vakum digunakan. Ini adalah evolusi dari laminasi manual (Gambar 5). Dalam proses ini, pompa vakum digunakan untuk menarik udara dari wadah atau area di mana material komposit akan dibentuk. Ketika udara di dalam wadah tersedot masuk, udara di luar tutup plastik dipaksa masuk. Ini memastikan bahwa udara tidak masuk ke dalam sampel komposit. Dibandingkan dengan laminasi manual, metode vakum memiliki konsentrasi tulangan yang lebih tinggi, adhesi antar lapisan yang lebih baik, dan kontrol rasio resin terhadap kaca yang lebih baik. Penerapan metode kantong vakum ini meliputi pembuatan yacht, suku cadang mobil balap, kapal, dll [17].

Kantong tekanan mirip dengan metode kantong vakum, tetapi metode ini tidak menggunakan pompa vakum, melainkan menggunakan udara bertekanan atau uap yang diumpankan melalui wadah elastis (Gambar 6). Wadah elastis ini bersentuhan dengan material komposit yang akan diolah. Biasanya, tekanan yang diterapkan selama proses ini adalah antara 30 dan 50 psi. Penerapan proses pressure bag ini meliputi pembuatan tangki, kontainer, turbin angin, dan kontainer [17]. Spray-up adalah proses pencetakan terbuka yang dapat menghasilkan komponen yang lebih kompleks dan ekonomis daripada pengendapan manual. Proses penyemprotan dilakukan dengan menyemprotkan serat-serat yang telah melewati interface (chopper). Pada saat yang sama, resin yang dicampur dengan katalis juga disemprotkan. Saya menyiapkan wadah untuk tekanan semprotan terlebih dahulu. Pengawetan kemudian dilakukan dalam kondisi atmosfer normal. Teknik ini menciptakan struktur kekuatan rendah yang biasanya tidak termasuk dalam produk akhir. Semprotan ini digunakan secara eksklusif untuk mendapatkan semprotan fiberglass dari perangkat transfer. Aplikasi untuk proses ini termasuk panel, badan karavan, bak mandi dan kano [17].

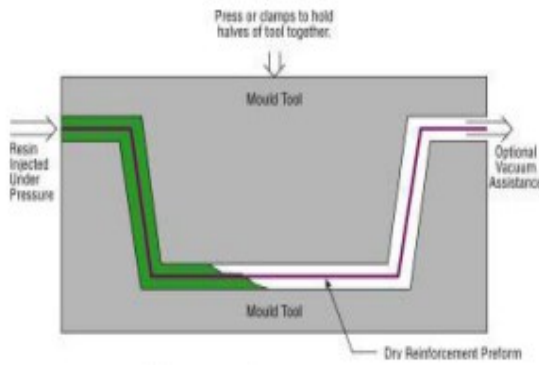
Proses spray lay-up adalah metode yang menggunakan pistol tangan untuk menyemprotkan resin dan serat cincang, seperti yang terlihat pada Gambar 7. Ini menggunakan cetakan berbiaya rendah, dan ini adalah metode yang disukai untuk digunakan untuk finishing produk besar. Aliran pistol tangan diarahkan ke cetakan dan dibiarkan sampai benar-benar sembuh pada suhu kamar. Ini juga menggunakan roller dan sikat untuk membersihkan udara dan membasahi serat. Sifat mekanik dari produk akhir tergantung pada orientasi serat dan kendala serat. Campuran yang disemprotkan yang terdiri dari serat dan resin digulung sebelum spesimen sepenuhnya sembuh untuk menghindari gelembung dan rongga [18]. Melibatkan memasukkan benang perimeter atau serat beruntai tunggal melalui wadah resin. Mandrel kemudian memutar serat di sekitarnya, yang bergerak dalam dua arah, radial dan tangensial ke (Gambar 8). Setelah berulang kali, prosedur ini menghasilkan lapisan serat yang diinginkan. Tabung silinder, poros penggerak, tangki air, tangki tekanan bola, dan tiang kapal pesiar adalah komponen paling umum yang dibuat dengan teknik ini [17].



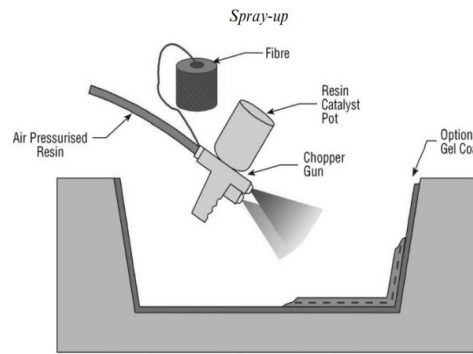
**Gambar 1 :** Proses pematidan (pengantungan vakum)[20]



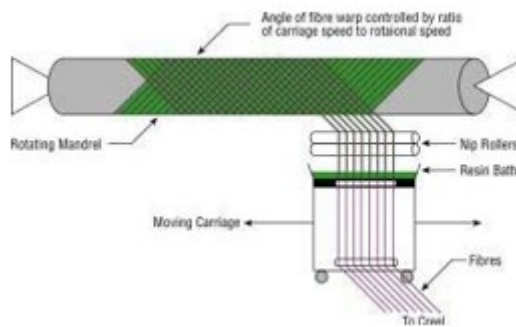
**Gambar 2 :** Proses lay-up tangan untuk membuat material komposit [21]



Gambar 4 : Proses Pengantongan Tekanan [17]



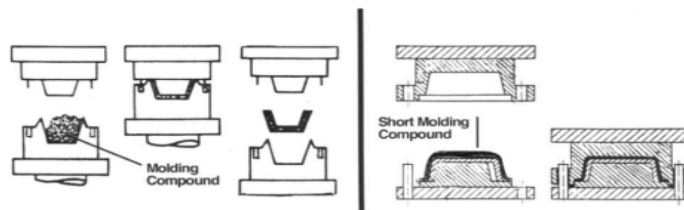
Gambar 3 : Proses Penyemprotan [18]



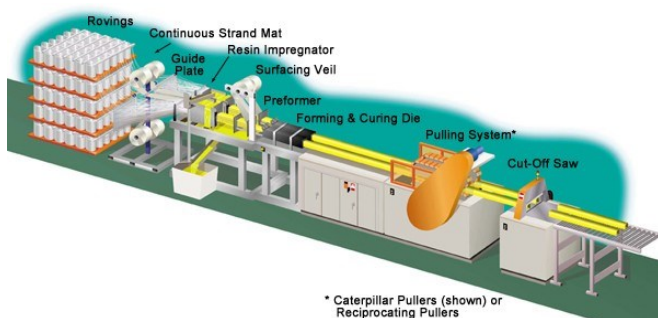
Gambar 5 : Proses Penggulungan Filamen [17]

3.1.2 Proses Cetakan Tertutup

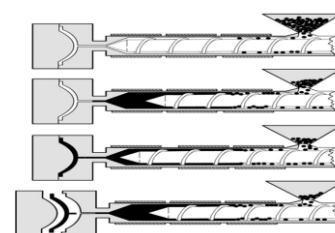
Ada beberapa proses pencetakan tertutup diantaranya Proses pencetakan kompresi: Proses pembentukan ini menggunakan tekanan hidrolik sebagai pers. Serat campuran resin ditempatkan di rongga cetakan, bertekanan dan dipanaskan. Aplikasi untuk proses pencetakan kompresi ini termasuk peralatan rumah tangga, wadah curah, peralatan rumah tangga, rangka sepeda, jet ski, dll [17]. Injection Molding : Proses injection molding juga dikenal sebagai fluid reaction molding atau high-pressure coating. Serat dan resin ditempatkan di rongga cetakan atas, menjaga kondisi suhu untuk menjaga resin tetap meleleh. Resin cair dan serat mengalir ke bawah, melalui mandrel, dan ke nosel untuk disuntikkan ke dalam cetakan [17]. Pultrusion Kontinyu: Serat keliling dilewatkan melalui bejana berisi resin, terus dicetak menjadi cetakan siap pakai, diawetkan, dan kemudian digulung ke dimensi yang diinginkan. Ini juga disebut menarik serat dari jaring atau kumbu melalui penangas resin dan memasukkannya ke dalam cetakan yang dipanaskan. Fungsi cetakan adalah untuk mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengeringkan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan [17]. Proses ini digunakan untuk pembuatan batang untuk struktur atap dan jembatan. Contohnya termasuk batang bulat, persegi panjang, kotak, bagian "I", bagian "T", sudut, saluran, profil dogbone, batang pas dan spacer, profil sudut, dan bagian berongga.



Gambar 6 : Proses pencetakan kompresi [22]



Gambar 8 : Pultrusion terus menerus [17]



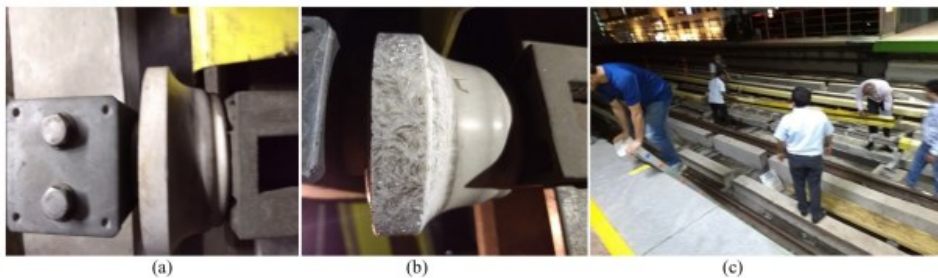
Gambar 7 : Skema proses pencetakan injeksi [23]

### 3.1.3 Aplikasi dan Pengguna Akhir Di Kereta Api

Untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan penumpang, pembuatan kereta api dari material komposit telah berkembang pesat. Material komposit biasanya digunakan untuk membuat badan kereta, pintu kereta, dan komponen lainnya [7]. Di banyak bagian dunia sistem angkutan kereta api cepat memanfaatkan daya yang dipasok oleh sistem rel ketiga dengan dukungan isolator BMC atau GRP, isolator ini biasanya ditempatkan pada jarak sekitar tiga meter, jaraknya bisa lebih rendah jika memulai atau mengakhiri atau dekat kurva. Tenaga listrik ke motor mobil rel dipasok oleh sepatu kolektor yang berjalan berlebihan atau kontaktor yang meluncur di sepanjang bagian atas rel ketiga. Isolator BMC selama periode dalam layanan menumpuk partikel debu atau mencemari karena sikat karbon pada komutator motor traksi, partikel karat, endapan garam, kabut, kabut dll menyebabkan konduksi permukaan, kerusakan, korsleting isolator, paparan serat kaca di permukaan dan menyebabkan kegagalan [19].



**Gambar 12** : Blok Rem Kereta Api



**Gambar 13** : (a) Isolator BMC yang berfungsi digunakan untuk rel ketiga (b) Isolator terdegradasi lapangan (c) Pemeriksaan Lapangan isolator BMC

## 4. KESIMPULAN

Gelombang masa depan adalah komposit yang ramah lingkungan. Meskipun ada banyak peluang untuk mengembangkan produk berbasis ramah lingkungan, yang paling sulit adalah mengembangkan produk berbasis bio yang berkelanjutan. Produk dan prosedur baru yang ramah lingkungan didorong oleh peraturan lingkungan dan perhatian publik. Salah satu kelemahan polimer biodegradable ini adalah harganya yang tinggi. Karena diperoleh dari sumber daya terbarukan dan secara signifikan dapat mengurangi biaya penggunaan material dalam skala besar, komposit hijau telah terbukti menjadi alternatif yang bagus untuk komposit yang diperkuat serat kaca.

Untuk tujuan tertentu, serat alami biodegradable namun terbarukan yang berasal dari sumber daya bioplastik dapat dirancang agar dapat terurai secara hayati. Di abad ke-21, keseimbangan karakteristik unik ini akan memungkinkan pengembangan pasar global baru untuk biokomposit yang dibuat dari bahan ramah lingkungan. Hasilnya adalah bahwa komposit ramah lingkungan adalah referensi penting bagi produsen makanan, lembaga pertanian, perusahaan mobil, produsen komposit, dan ilmuwan material. Mereka berkomitmen untuk menggunakan bahan baku, proses produksi, dan aplikasi yang ramah lingkungan. Karena komposit serat alam atau komposit hijau masih jarang digunakan, mereka dapat digunakan sebagai bahan di bidang perkeretaapian.

## 5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Pak Hadi Pranoto M.T Ph.D dan Pak Muhamad Fitri, M.Si, Ph.D atas kesempatan belajar di bidang manufaktur dan kepada semua teman-teman saya di kelas reguler satu magister teknik mesin universitas mercu buana.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. A. Farrel, Yuliyanto, and Zulfitriyanto, “Kata kunci : Komposit, Poliester, Uji Tarik, Fraksi Volume,” *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [2] Y. Kondo and M. Arsyad, “Analisis Kandungan Lignin, Sellulosa, dan Hemisellulosa Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Alkali,” *INTEK J. Penelit.*, vol. 5, no. 2, pp. 94–97, 2018, doi: 10.31963/intek.v5i2.578.
- [3] P. Lodha and A. N. Netravali, “Characterization of interfacial and mechanical properties of ‘green’ composites with soy protein isolate and ramie fiber,” *J. Mater. Sci.*, vol. 37, no. 17, pp. 3657–3665, 2002, doi: 10.1023/A:1016557124372.
- [4] M. Azizi, I. Malik, and M. Fitri, “INCREASED DRIVING FORCE OF NATURAL PLANT FIBER EXTRACTION RESULTS BASED ON THE RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF NATURAL ISSN 2549-2888 Jurnal Teknik Mesin : Vol . 13 , No . 2 , Juni 2024 ISSN 2549-2888,” vol. 13, no. 2, 2024.
- [5] M. Arsyad and A. Salam, “Analisis Pengaruh Konsentrasi Larutan Alkali Terhadap Perubahan Diameter Serat Sabut Kelapa,” *INTEK J. Penelit.*, vol. 4, no. 1, p. 10, 2017, doi: 10.31963/intek.v4i1.90.
- [6] K. Kurniawan, Abdul Hamid Budiman, Ferri Hermawan, and Anton Rahmawan, “Design of Control and Human Machine Interface (HMI) for Proton Exchange Membrane Fuel Cell,” *Indones. J. Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 12–18, 2020, doi: 10.33116/ije.v3i1.46.
- [7] L. Apricillya and P. Permatasari, “Kekuatan Bending Pada Material Komposit Interior Kereta Api Dengan Metode Hand Lay-Up,” *Pros. Semin. Nas. Teknol. V*, pp. 88–93, 2019.
- [8] B. G. Composites and M. Behavior, “– Based Green Composites by Short,” 2002.
- [9] H. S. S. Shekar and M. Ramachandra, “Green Composites: A Review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 1, pp. 2518–2526, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.034.
- [10] N. Naik *et al.*, “Sustainable Green Composites:A Review of Mechanical Characterization, Morphological Studies, Chemical Treatments and their Processing Methods,” *J. Comput. Mech. Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 60–75, 2022, doi: 10.57159/gadl.jcmm.1.1.22014.
- [11] L. Y. Mwaikambo, “Review of the history, properties and application of plant fibres,” *African J. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 120–133, 2006.
- [12] M. H. Norhidayah, A. A. Hambali, Y. M. Yuhazri, M. Zolkarnain, Taufik, and H. Y. Saifuddin, “A review of current development in natural fiber composites in automotive applications,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 564, no. August, pp. 3–7, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.564.3.
- [13] G. S. Mann, L. P. Singh, P. Kumar, and S. Singh, “Green composites: A review of processing technologies and recent applications,” *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 33, no. 8, pp. 1145–1171, 2020, doi: 10.1177/0892705718816354.
- [14] S. Sarapure, “Nano Green Composites- An Overview,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 1, pp. 115–116, 2018.
- [15] M. Nagalakshmaiah *et al.*, “Biocomposites: Present trends and challenges for the future,” *Green Compos. Automot. Appl.*, pp. 197–215, 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-102177-4.00009-4.
- [16] O. Faruk, A. K. Bledzki, H. P. Fink, and M. Sain, “Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 37, no. 11, pp. 1552–1596, 2012, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003.
- [17] R. H. Setyanto, “Review: Teknik Manufaktur Komposit Hijau dan Aplikasinya,” *Performa*, vol. 11, no. 1, pp. 9–18, 2012.
- [18] D. Cripps, T. J. Searle, and J. Summerscales, “Open Mold Techniques for Thermoset Composites”.
- [19] B. Subba Reddy, “Failure analysis of BMC insulators used for third rail traction system,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 101, no. December 2018, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.03.005.
- [20] M. S. Ismail, T. K. Kwan, M. I. Hussain, and Z. M. Zain, “Automatic compaction device for composite panel production at layup process: A case study,” *Univers. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 68–74, 2019, doi: 10.13189/ujeee.2019.061508.

- [21] S. R. Udupi, L. Lester, and R. Rodrigues, “Detecting Safety Zone Drill Process Parameters for Uncoated HSS Twist Drill in Machining GFRP Composites by Integrating Wear Rate and Wear Transition Mapping,” vol. 2016, 2016.
- [22] Rosato, “COMPRESSION,” no. Cm.
- [23] S.-J. Liu, *Injection molding in polymer matrix composites*. Woodhead Publishing Limited, 2012. doi: 10.1533/9780857096258.1.13.