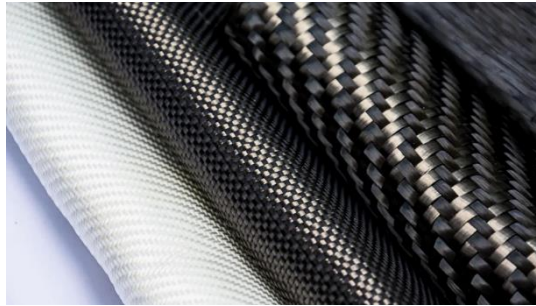


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Material Komposit Serat Aramid

Material komposit merupakan material yang dibentuk atas dua unsur atau lebih material dengan perbedaan pada sifat fisik, kimia, dan mekanisnya (Egbo, 2021). Pemilihan material komposit bergantung pada aplikasi yang dituju, misal untuk memenuhi syarat geometris, struktural, mekanis, kimia, dan keindahan tertentu. Aplikasi material komposit juga digunakan dibanyak bidang seperti industri, konstruksi, transportasi, material, dan masih banyak lagi (Prasetyo et al., 2024). Material komposit terdiri dari matriks dan penguat, kombinasi kedua material tersebut dapat menjadikan material semakin kuat. Matriks digunakan sebagai pengikat dan



Gambar 2. 1 Material Serat Aramid  
(Sumber: Holy Technologies 2025)

material penguat digunakan untuk menambah kekuatan (Samaluddin et al., 2025). Material penguat (*reinforcement*) penggunaannya harus dapat meningkatkan sifat matriks dalam membentuk material komposit berkualitas tinggi (Jumiati & Hutauruk, 2025). Klasifikasi komposit dibedakan menjadi tiga, *fibrous composite material* (komposit serat) yang terdiri dua komponen (matriks dan serat), *particulate composite material* (komposit partikel) material komposit yang menggunakan partikel untuk pengisi, dan *laminated composite material* (komposit berlapis) material dengan dua material berbeda dan disatukan (Firmansyah H et al., 2022). Pada penelitian ini, digunakan *laminated composite material* (komposit berlapis) karena memiliki ketahanan impak yang tinggi, hal tersebut disebabkan karena energi beturan dapat tersebar ke setiap lapisan material sehingga kerusakan dapat dikurangi (Burhani et al., 2025). Selain itu, proses fabrikasinya juga lebih mudah dikontrol. Penggunaan material

komposit sangat menguntungkan bagi konsumen khususnya pada bidang industri transportasi maupun konstruksi, karena material komposit dapat diatur sifat mekanisnya sesuai dengan kebutuhan. Oleh karena itu, material komposit sangat di rekomendasikan penggunaannya untuk memenuhi kebutuhan dan meningkatkan efisiensi material. Dalam aplikasinya pembentukan material komposit perlu memerhatikan tujuan penggunaan material, desain agar hasil dapat optimal, dan bahan komposit yang akan digunakan dalam memenuhi kebutuhan supaya dapat bekerja secara maksimal (Kuncara M & Nasuha C, 2025).

Material komposit merupakan salah satu material alternatif yang dapat digunakan diberbagai bidang khususnya industri, transportasi, dan konstruksi. Potensi penggunaan serat pada material komposit sangat besar. Serat sendiri ada dua jenis yakni serat alami dan serat sintesis (Zulvikal R, 2025a). Umumnya sifat mekanis komposit bergantung pada kekuatan, modulus, dan ketangguhannya yang akan meningkat seiring bertambahnya panjang serat (Ari A et al., 2022). Aramid memiliki sifat yang tahan terhadap korosi, kekuatan, dan modulus tarik yang tinggi, serta tidak mudah terbakar (Wang M et al., 2023). Oleh karena itu, serat aramid banyak digunakan untuk kebutuhan militer dan kedirgantaraan (Xu et al., 2022). Serat aramid khususnya kevlar 49 memiliki massa jenis  $1,44 \text{ g/cm}^3$  dan modulus tariknya sebesar 112 GPa (Songhan Plastic Technology, 2025). Faktor yang memengaruhi sifat bahan komposit di antaranya adalah orientasi serat, panjang, bentuk, komposisi serat, sifat mekanis dari matriks, serta ikatan dalam campuran serat dan matriks. Menurut (Hermawan T et al., 2023), *hand lay-up* menjadi salah satu teknik yang digunakan untuk pembuatan material komposit dengan aplikasi cetakan terbuka. Kelebihan dari teknik ini adalah proses yang dilakukan mudah, sesuai untuk komponen besar dengan volume yang rendah.

## 2.2 Resin Epoksi

Material matriks merupakan suatu material untuk mengikat serat komposit, sehingga dapat menyatukan material satu dengan material lainnya, sehingga matriks umum digunakan untuk mengikat material komposit yang berlapis. Matriks juga digunakan untuk menjaga posisi material agar tidak berubah karena kondisi ekstrem cuaca dan melindungi material dari pengaruh reaksi kimia lain (Zuhuri et al., 2023). Dalam penggunaannya, material matriks menurut (UNSW Sydney, n.d.) di kelompokkan berdasarkan jenisnya menjadi tiga antara lain, komposit matriks polimer

(PMC), komposit matriks keramik (CMC), dan komposit matriks logam (MMC). Matriks polimer adalah salah satu jenis matriks yang umum penggunaannya karena baik untuk mengikat material dengan bobot ringan dan tahan korosi, matriks ini berupa resin termostat atau termoplastik. Selain itu, matriks keramik digunakan untuk material yang membutuhkan ketahanan panas. Matriks logam biasa digunakan untuk material yang memerlukan kekuatan tinggi, kekakuan, dan ketahanan terhadap suhu seperti material, aluminium atau magnesium.



Gambar 2. 2 Resin Epoxy  
(Sumber: Shopee Indonesia)

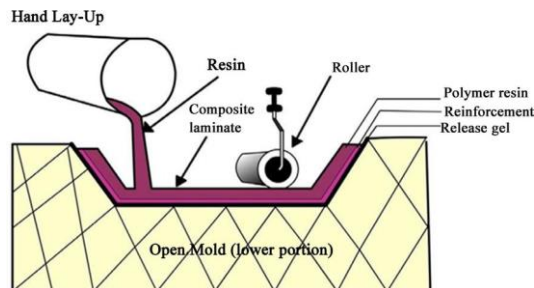
Material matriks akan mengikat material utama baik secara mekanis, fisik, ataupun kimia. Hal tersebut menjadikan keuntungan dalam penggunaannya terlebih pada material komposit berlapis, karena penggunaan material matriks akan menahan posisi material, memperkuat material serat, dan juga mendistribusikan gaya dengan baik sehingga mengurangi tekanan sentral, dan meningkatkan stabilitas material dalam menahan gaya. Ikatan antara material serat komposit dengan matriks dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit serta matriks dapat menerima beban atau tegangan eksternal yang dapat meningkatkan kekuatan material komposit itu sendiri (Kusairi & Nayiroh, 2022).

Pada penelitian ini menggunakan jenis resin epoksi yukalac 157, menurut (Ibrahim et al., 2020) serat aramid jenis kevlar 49 dapat menggunakan resin epoksi tipe Bisphenol-A dimana jenis tersebut sesuai dengan resin epoksi yukalac 157. Biasanya jenis resin epoksi ini juga dipakai sebagai matriks dari serat sintetis. Dalam penggunaannya resin epoksi memerlukan katalis agar proses *curing* dapat bekerja

secara optimal. Pada studi literatur terdahulu menjelaskan bahwa resin epoksi jenis yukalac perlu direaksikan bersama dengan katalis berjenis *polyamide* atau *amine* dalam dipilihlah katalis berjenis *polyamide epoxy* (Ibrahim et al., 2020).

### 2.3 Metode *Hand Lay-Up*

Metode *hand lay-up* adalah metode fabrikasi atau pembuatan material komposit yang umum digunakan dengan cara membuat lapisan lembaran serat komposit secara berurutan kedalam cetakan. Secara teknis metode *hand lay-up* dengan cara menuangkan campuran resin-hardener kedalam cetakan lalu diratakan dengan alat secara manual keseluruhan lapisan komposit yang ada didalam cetakan (Suprayogi et al., 2025). Pada penelitian ini tahapan dalam proses fabrikasi menggunakan metode *hand lay-up* dengan cara, campuran antara resin-hardener dimasukkan kedalam cetakan dengan komposisi yang telah ditentukan, lalu tunggu sampai campuran resin-hardener mengental kemudian masukkan serat aramid sesuai komposisi yang telah dihitung, setelah itu masukkan kembali campuran resin-hardener kedalam cetakan, serta tunggu hingga material komposit tersebut mengering.



Gambar 2. 3 Proses *Hand Lay-Up*  
(Sumber: Research Gate)

Metode *hand lay-up* digunakan berdasarkan kelebihan yang dimiliki yakni tahapan yang mudah untuk dilakukan, cocok digunakan untuk fabrikasi komponen yang tidak besar, ekonomis, dan dapat digunakan untuk volume yang rendah (Zulvikal R, 2025b). Pada metode *hand lay-up* juga memiliki keterbatasan dalam penggunaannya, dikarenakan pada saat proses fabrikasi sering terdapat gelembung udara yang dapat mempengaruhi kekuatan mekanis yang dimiliki, oleh karena itu dalam proses pencampuran resin-hardener harus secara merata dan pelan agar meminimalisir adanya gelembung udara (Fajrin et al., 2025). Dengan metode *hand lay-*

up ini dapat ditarik kesimpulan bahwa metode ini dapat dilaksanakan untuk membuat material komposit serat aramid.

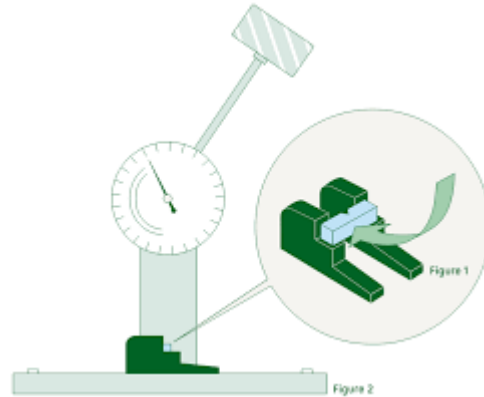
Pada proses fabrikasi material berhubungan erat dengan proses pengeringan atau *curing*. *Curing* adalah proses perlakuan panas untuk mengubah resin menjadi padat dan mengikat serat melalui reaksi kimia. Secara teori, proses *curing* adalah proses agar resin memiliki daya ikat dan kekuatan mekanis yang optimal, dimana proses ini menggunakan suhu tinggi agar sempurna (Nurgesang & Faisal Akbar, 2024). Waktu optimum pada pembentukan komposit pada temperature 120°C dengan tekanan 7 Bar selama 30 menit (Putra & Nugroho, 2021). Namun, pada penelitian ini proses *curing* dilakukan pada suhu ruangan karena lebih ekonomis dan praktis. Selain itu, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanasan serta penambahan tekanan pada waktu optimum tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanis material komposit (Putra & Nugroho, 2021).

## 2.4 Uji Impak (*Impact Test*)

Uji impak merupakan metode pengujian suatu material untuk mengukur kemampuan bahan dalam menyerap energi atau untuk menentukan suatu ketangguhan material. Tujuan dilakukannya pengujian ini untuk menentukan ketangguhan material dalam menyerap energi, mengetahui respon material terhadap beban, menganalisis material terhadap respon energi yang diberikan (Nurul Hadi et al., 2023). Sehingga, fungsi dari dilakukannya uji impak ini untuk mengetahui respon material dan menganalisa kekuatan material saat pengujian impak yang juga digunakan sebagai evaluasi sifat mekanis dari suatu material yang diuji (Utomo, 2025).

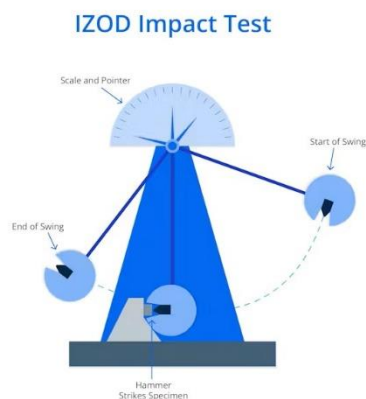
Dalam konteks material komposit khususnya *laminated composite material*, pengujian impak yang dilakukan memiliki berbagai jenis respon, diantaranya *matrix cracking* (retak matriks), delaminasi, *fiber pull-out*, *fiber breakage* (Fauzan Arkan & Kunci, n.d.). Retak matriks umumnya disebabkan karena pada saat pengujian material mengalami kelenturan. Retakan yang merambat ke antarmuka lapisan menyebabkan terjadinya delaminasi. Energi yang diserap pada pengujian impak melalui gesekan akan menyebabkan *fiber pull-out*. Selain itu, jika energi impak melebihi kapasitas serat akan memicu *fiber breakage*. Pengujian impak sendiri memiliki beberapa jenis metode dalam pengaplikasiannya, antara lain Metode *Izod*, Metode *Drop Weight Impact*, dan Metode *Charpy* (Rusydi Zain & Kurniawan Nasution, 2022). Metode *Izod* merupakan

suatu metode yang sering digunakan untuk material plastik dan polimer, selain itu pada metode ini spesimen dipasang dengan posisi vertikal dengan bagian bawah dijepit menggunakan ragum (Fan Saragi et al., 2023). *Drop Weight Impact* umumnya digunakan untuk merepresentasikan kondisi nyata beban impact yang terjadi pada kehidupan sehari-hari, mekanisme metode ini memposisikan spesimen dalam bentuk



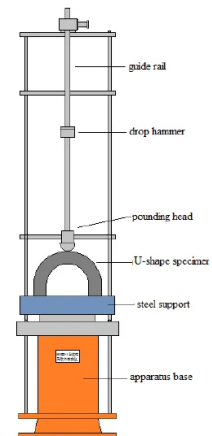
Gambar 2. 5 *Charpy Impact Test*  
(Sumber: Nucor)

panel persegi diletakkan secara horizontal diatas landasan yang berlubang (Farah Dina & Wito Pirmansyah, 2022). Selain itu, metode yang sering digunakan adalah Metode *Charpy*, dengan mekanisme pengujian yakni pendulum dilepaskan dari ketinggian tertentu, dengan mengayun dan memukul bagian tengah spesimen bertakik V atau U



Gambar 2. 4 *Izod Impact Test*  
(Sumber: Xometry)

(Handoyo, 201323).



Gambar 2. 6 *Drop Wight Impact Test*  
(Sumber: Research Gate)

Pada penelitian ini, digunakan pengujian impact dengan standar ASTM D6110 sesuai dengan material komposit serat aramid dan resin epoksi. Sesuai dengan standar

ASTM D6110 dimensi yang diperlukan terkait dengan spesifikasi spesimen yakni panjang 55 mm, lebar 10 mm, dan ketebalan 10 mm, dengan *U-notch* pada tengah spesimen yang beradius  $\pm 2$  mm. Berdasarkan standar tersebut digunakannya *Charpy Impact Test* dengan mesin Shimadzu seissakusho, dengan spesifikasi beban pendulum 26095 gram, panjang lengan 0,75 m, dan diameter ayunan 0,635 m.

## 2.5 Mekanisme Kegagalan Material Komposit

Pengujian impact dilakukan untuk mengukur ketangguhan atau seberapa besar energi yang dapat diserap material sebelum patah total (Subana et al., 2024). Beban impact sering kali menghasilkan BVID (*Barely Visible Impact Damage*) yang memunculkan cacat atau kerusakan ada bagian dalam yang tidak terlihat (Tan et al., 2023). Oleh karena itu, mekanisme kegagalan material komposit diperlukan untuk memandu analisa data dari material komposit yang diberikan beban impact. Material komposit memiliki sifat heterogen dan anisotropik, sehingga membutuhkan mekanisme kegagalan karena sifatnya lebih kompleks jika dibandingkan dengan material homogen seperti logam (Judawisastra, 2025).

Pada mekanisme kegagalan material komposit, berhubungan erat dengan *interlaminar shear failure* atau kegagalan pada tingkat antar lapisan pada laminat komposit (Zulfikar, 2024). Faktor-faktor yang mempengaruhi *interlaminar shear failure*, antara lain:

1. Resin tanpa modifikasi lebih rentan terhadap perahan antar lapisan dibanding dengan resin termoplastik.
2. Penambahan *filler* dapat memperkuat mekanisme *crack bridging* dan *crack deflection*.
3. Kualitas ikatan antar serat dengan matriks yang adhesi sehingga, mempengaruhi kemampuan memindahkan tegangan geser.
4. Lapisan yang tegak lurus atau lapisan dengan orientasi yang berbeda mengubah distribusi tegangan.
5. Nilai kekuatan geser *interlaminar* bergantung pada rasio ketebalan pada pengujian.
6. *Void* (gelembung udara yang terjebak pada material komposit), *aglomerasi filler* (partikel pengisi yang menggumpal, tidak tersebar), *resin-rich zones* (daerah yang terlalu banyak matriks dibanding dengan *reinforcement*), dan inklusi atau benda

asing seperti kotoran yang ikut terjebak dalam material komposit memudahkan munculnya retakan.

7. Fraksi serat mempengaruhi jalur beban, dengan fraksi yang tinggi dapat mengurangi tahanan geser antar lapisan, akan tetapi *bridging* serat dapat menahan penyebaran delaminasi sehingga memodifikasi kegagalan.
8. Material yang diberi dua gaya sekaligus, cara delaminasi akan berubah, tekanan yang tidak terlalu besar dapat mengunci retakan sehingga tidak cepat menyebar, dan suhu tinggi atau kelembapan membuat resin mudah lembek dan lemah sehingga kekuatannya turun.
9. *Loading nose* (bentuk ujung beban), radius atau lengkungan tumpuan, ketepatan pemasangan pada klem, dan permukaan alat kerja dapat memengaruhi persebaran tegangan dalam spesimen.
10. *Undercure* (resin yang belum matang dengan sempurna), dan dimensi seperti panjang dan tebal spesimen harus dijaga sesuai standar, sehingga kegagalan yang muncul murni karena geser antar lapisan bukan akibat faktor lain.

Kriteria kegagalan Hanshin (1980) merupakan salah satu kriteria kegagalan interaktif (*interactive failure criteria*) yang digunakan dalam analisis material komposit diperkuat dengan serat (Daryanto, 2024). Sebelum kriteria Hanshin muncul, industri banyak menggunakan kriteria *Tsai-Wu* atau *Tsai-Hill*. Namun, *Tsai-Wu* hanya dapat memprediksi waktu kegagalan terjadi tanpa bisa menjelaskan sebab-akibat atau lokasi komponen tersebut terjadi kegagalan (Siregar et al., 2021). Oleh karena hal itu, Hanshin melakukan analisa dengan memisahkan moda kegagalan berdasar kondisi fisik komponen penyusun komposit. Pemisahan komponen penyusun komposit tersebut antara lain kegagalan pada serat (*fiber failure*) dan kegagalan pada matriks resin (*matrix failure*). Kriteria tersebut sangat ideal untuk kondisi tegangan bidang (*plane stress*) pada lapisan searah.

Kriteria material komposit yang menerima beban impact, energi dari proyektil atau impaktor akan ditransfer ke dalam material. Berbeda dengan material logam murni yang menyerap energi dominan melalui deformasi plastis (perubahan bentuk secara permanen), material komposit menyerap energi melalui kombinasi elastis dan kerusakan mikro struktural (Febriyanto & Irfa'i, 2025). Secara berurutan, mekanisme

penyerapan energi utama pada komposit laminat saat menerima beban impact dijabarkan sebagai berikut:

1. *Elastic Deformation* (Deformasi Elastis), yakni fase pertama penyerapan energi saat impactor menyentuh permukaan komposit. Mekanisme penyerapan dengan cara energi kinetik diubah dan disimpan sementara menjadi energi regangan elastis pada serat dan matriks. Kemudian, energi yang diserap dapat dikembalikan, sehingga menjadi pertahanan pertama sebelum retak terjadi.
2. *Delamination Propagation* (Propagasi Delaminasi), adalah pemisahan atau terlepasnya ikatan antar lapisan pada komposit. Mekanisme penyerapannya terjadi ketika, beban impact menimbulkan gelombang tegangan tekuk. Energi impact yang diserap dalam jumlah besar membuat luas permukaan patahan abrasi disepanjang antarmuka lapisan.
3. *Fiber Pull-Out* (Pencabutan Serat), terjadi setelah ikatan antarmuka serat dan matriks mengalami kegagalan, namun serat belum terputus sepenuhnya. Mekanisme penyerapannya yakni saat area komposit mengalami peregangan ekstrem akibat lenturan impact, serat akan terlepas dari matriks. Sehingga energi impact yang diserap melalui gaya gesek kinetis di sepanjang permukaan kontak antara serat yang bergerak dengan dinding matriks yang diam.
4. *Fiber Fracture* (Perpatahan Serat), yakni batas akhir dari kemampuan komposit dalam menahan beban mekanis. Mekanisme penyerapannya dengan cara, serat penguat sebagai komponen utama pemikul beban utama, apabila tegangan lokal melebihi kekuatan tarik atau kekuatan tekan batas dari serat, serat akan putus secara paksa. Sehingga, energi diserap melalui akumulasi kegagalan destruktif dalam struktur internal serat.

Berdasar keempat teori tersebut, dapat disimpulkan bahwa kemampuan material komposit dalam menahan beban benturan tidak ditentukan oleh satu kejadian tunggal, melainkan hasil dari mekanisme kegagalan yang saling berkesinambungan. Dalam menganalisis kegagalan material komposit akibat beban bentur atau beban impact, tiga parameter struktur yakni jumlah lapisan, ketebalan total lapisan, dan bagaimana tegangan tersebar adalah kunci dari penelitian ini. Ketebalan total adalah faktor paling kritis yang menentukan respon komposit secara fleksibel atau kaku. Ketika, komposit tipis dapat menerima benturan yang akan mengalami defleksi atau lenturan yang besar, sedangkan komposit tebal hampir tidak melentur saat dipukul.

Makin banyak jumlah lapisan maka, makin luas area delaminasi sehingga, banyak energi impact yang diserap. Selain itu, distribusi tegangan tidak merata dari permukaan atas hingga bawah, umumnya permukaan atas didominasi tegangan tekan (*compressive stress*) yang ekstrem, sedang bagian tengah mengalami tegangan normal yang mendekati nol. Namun, pada permukaan bawah didominasi oleh tegangan tarik (*tensile stress*) maksimum akibat efek lenturan. Maka dari itu, hubungan ketiga elemen tersebut memberikan landasan yang kuat dalam analisis data hasil uji impact.

## 2.6 Kajian Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penelitian ini, dilakukan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan guna memperoleh gambaran mengenai perkembangan kajian, metode yang digunakan, serta penelitian yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Relevansi Penelitian
1.	(Egbo, M.K. , 2021)	<i>A Fundamental Review on Composite Materials and Some of Their Applications in Biomedical Engineering.</i>	Dasar klasifikasi komposit, mekanisme transfer beban serat-matriks, dan kriteria kegagalan umum.
2.	(Wijewickrama, L., et al., 2025)	<i>Fiber-Reinforced Composites Used in the Manufacture of Marine Decks: A Review.</i>	Mekanisme kegagalan spesifik FRP untuk aplikasi kelautan termasuk <i>wet lay-up, delamination under impact, dan cyclic loading effects.</i>
3.	(Wang M., et al., 2023)	<i>Significantly Improved Interfacial and Overall Mechanical Properties of Aramid Fiber.</i>	Mekanisme <i>interfacial bonding</i> antar serat aramid dan matriks epoksi yang menentukan pola kegagalan.

4.	(He, A., et al., 2024)	<i>Advanced Aramid Fibrous Materials: Fundamentals, Advances, and Beyond.</i>	Review komperhensif tentang sifat mekanis serat aramid termasuk <i>failure modes</i> yang menjadi karakteristik.
5.	(Shen, R., et al., 2024)	<i>An Enhanced Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding Process.</i>	Pengaruh <i>void content</i> dan metode fabrikasi terhadap <i>interlaminar shear strength</i> dan ketahanan impak komposit.