

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Resin poliester tahan api (*flame-retardant polyester*) / FR-Polyester, semakin banyak digunakan sebagai matriks dalam komposit serat alam karena kemampuannya menggabungkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap api. Komposit berbasis serat alam serat bamboo, ramie, sisal, dan lain-lain semakin diminati sebagai material ramah lingkungan pengganti serat sintetis, terutama karena sifatnya yang ringan, terbarukan, dan memiliki kekuatan mekanis yang menjanjikan. Namun, serat alam secara alami memiliki keterbatasan terhadap ketahanan api, sehingga diperlukan penambahan flame retardant untuk meningkatkan performa terhadap pembakaran tanpa mengorbankan sifat mekanis (Sathish et al., 2023)

Namun, tantangan utama dalam penggunaannya sebagai material struktural adalah rendahnya ketahanan api dan adhesi antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat alam dengan matriks poliester. Serat alam yang secara alami mudah terbakar membatasi aplikasinya dalam lingkungan yang membutuhkan standar keselamatan kebakaran tinggi. Untuk mengatasi hal ini, resin poliester sering diformulasikan dengan bahan flame retardant seperti ammonium polyphosphate, melamine pyrophosphate, dan aluminium hydroxide, yang mampu membentuk lapisan char pelindung untuk mengurangi laju pelepasan panas dan meningkatkan stabilitas termal komposit. (Shen et al., 2022) Pendekatan lain yang semakin berkembang adalah integrasi struktur flame-retardant secara intrinsik ke dalam rantai molekul resin poliester tak jenuh (UPR), yang tidak hanya meningkatkan ketahanan api tetapi juga mengurangi migrasi aditif dan menjaga kekuatan mekanis material. Meski demikian, penambahan flame retardant perlu dioptimalkan, karena komposisi yang tidak tepat dapat menurunkan kekuatan mekanis atau mengganggu proses curing resin. Salah satu faktor krusial dalam proses curing adalah penggunaan katalis metil etil keton peroksida (MEK-Peroxide), yang berperan dalam mempercepat reaksi polimerisasi namun juga berpotensi mempengaruhi integritas struktur resin dan ikatannya dengan serat. (Hong et al., 2020)

MEK-peroxide merupakan senyawa organik dengan rumus kimia umum  $C_8H_{16}O_4$  yang terbentuk dari metil etil keton (MEK) dan hidrogen peroksida dalam suasana asam (Zhang et al., 2010). MEKP secara teknis bukan tergolong katalis dalam pengertian klasik yang mempercepat reaksi tanpa ikut bereaksi, melainkan berperan sebagai inisiator dalam proses polimerisasi, terutama pada sistem resin poliester tak jenuh. Mekanisme kerja MEKP melibatkan dekomposisi termal yang menghasilkan radikal bebas, yaitu spesies reaktif yang dapat memutus ikatan rangkap pada monomer tak jenuh sehingga memulai proses polimerisasi rantai dan pembentukan jaringan silang polimer. Dalam aplikasinya pada industri polimer, MEKP sering dikombinasikan dengan akselerator seperti kobalt naftenat untuk mempercepat laju reaksi pada suhu ruang. Unsur-unsur kimia penting dalam struktur MEKP, yaitu karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O), berperan dalam membentuk gugus

peroksi (-O-O-) yang sangat reaktif dan menjadi pusat pembentukan radikal bebas. Dalam matriks polimer, khususnya resin poliester, kehadiran MEKP sangat penting karena menentukan kecepatan curing (pengeringan atau pengerasan), pembentukan ikatan silang, serta kualitas akhir dari komposit yang dihasilkan. Selain memberikan kekuatan mekanis yang baik, hasil curing oleh MEKP juga meningkatkan kestabilan termal material, terutama bila digunakan dalam sistem dual-initiator yang memungkinkan kontrol lebih baik terhadap laju polimerisasi. Namun demikian, MEKP memiliki sifat yang sangat sensitif terhadap panas, gesekan, dan kejutan, sehingga penggunaannya harus dilakukan dengan pengendalian keamanan yang ketat untuk menghindari risiko ledakan atau pembakaran spontan. Dengan perannya yang krusial dalam pembentukan struktur matriks resin, MEKP menjadi komponen tak tergantikan dalam pengolahan komposit berbasis poliester tak jenuh (Ribeiro et al., 2022)

Studi-studi sebelumnya telah banyak mengeksplorasi komposit serat alam dengan matriks poliester, namun penelitian tentang formulasi FR-Polyester berkatalis MEK-Peroxide khusus untuk matriks serat alam masih terbatas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi katalis yang tidak optimal dapat menyebabkan curing tidak sempurna, yang berakibat pada penurunan kekuatan mekanis dan adhesi antarmuka. Konsentrasi katalis yang terlalu rendah dapat memperlambat reaksi curing, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat mempercepat proses secara tidak terkendali, mengganggu pembentukan jaringan polimer yang sempurna dan menghasilkan cacat internal. Curing yang tidak seragam juga dapat menciptakan zona bayangan (*shaded regions*) dalam lapisan adhesif, memperlemah kekuatan ikatan dan meningkatkan risiko delaminasi. (Vahidi et al., 2021) Selain itu, proses curing yang tidak terkontrol dapat menimbulkan tegangan mekanik akibat penyusutan volume, yang selanjutnya dapat menurunkan performa mekanis keseluruhan material. Oleh karena itu, pengendalian konsentrasi katalis dan parameter curing menjadi aspek krusial dalam pengembangan komposit serat alam berbasis poliester tahan api, terutama dalam mencapai keseimbangan antara sifat mekanis dan sifat flame retardancy. Hingga saat ini, karakterisasi menyeluruh mengenai pengaruh variasi konsentrasi MEK-Peroxide terhadap performa kekuatan mekanis pada sistem serat tunggal alam masih jarang dilakukan, sehingga membuka peluang riset lebih lanjut yang signifikan (Javadian et al., 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh katalis MEK-Peroxide terhadap sifat mekanis dan termal matriks. Parameter resin yang akan dianalisis meliputi kekuatan tarik, kekuatan bending, kekuatan impak, dan termal TGA/DSC. Dengan demikian, studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai optimasi formulasi resin yang mampu menyeimbangkan antara ketahanan api dan kinerja mekanis.

Signifikansi penelitian ini terletak pada kontribusinya terhadap pengembangan material komposit struktural yang berkelanjutan. Hasil penelitian dapat diaplikasikan dalam industri otomotif, konstruksi, atau aerospace, di mana material ringan dengan sifat tahan api dan kekuatan mekanis tinggi sangat dibutuhkan. Selain itu, temuan dari studi ini juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan terdapat beberapa rumusan masalah yang akan diteliti. Rumusan masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan resin (FRP) dengan katalis MEK-P terhadap kekuatan tarik, kekuatan bending, dan kekuatan impak?
2. Bagaimana pengaruh penambahan (FRP) dengan katalis MEK-P terhadap sifat termal matriks?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Dengan mengacu pada rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk Mengetahui kekuatan Tarik, Kekuatan Bending dan Kekuatan impak akibat penambahan FRP (*Flame Retardant Polyester*) dengan katalis MEK-P
2. Mengetahui sifat termal pada matriks FRP dengan katalis MEK-P

### 1.3.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi Mahasiswa, sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Akademik
  - a. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya di lingkungan Departemen Teknik Mesin.
  - b. Merupakan pustaka tambahan untuk menunjang proses perkuliahan.

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat dicapai, perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Menggunakan FRP (*Flame Retardant polyester*) dan Katalis MEK-P
2. Menggunakan Resin pencampuran Katalis dengan variasi perbandingan 100:1,5; 100:2; 100:2,5; 100:3.
3. Menggunakan metode pengujian mekanis (*Tensile, Bending, Impack*) dan Termal TGA/DSC

## 1.5 Landasan Teori

### 1.5.1 Flame Retardant Polyester

*Flame retardant* adalah bahan yang digunakan untuk mengurangi atau mencegah penyebaran api pada material, terutama dalam aplikasi konstruksi. Bahan ini berfungsi dengan cara mengubah sifat fisik dan kimia dari material yang terpapar api, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kebakaran. *Flame retardants* dapat dibedakan menjadi beberapa kategori berdasarkan jenis pengisi yang digunakan, termasuk halogen *flame retardants*, *inorganic flame retardants*, *organic flame retardants*, *intumescent flame retardants*, dan *nano-filler flame retardants*. *Inorganic flame retardants*, misalnya, umumnya terdiri dari hidroksida logam dan dapat

mencakup bahan seperti fosfor anorganik, boron, dan nitrogen (Korobeinichev et al., 2022). Sementara itu, *organic flame retardants* mencakup bahan-bahan seperti organofosforus dan silikon. Setiap kategori memiliki mekanisme kerja yang berbeda dan dapat digunakan secara mandiri atau sebagai sinergis untuk meningkatkan efektivitas perlindungan terhadap api (Shen et al., 2022)

*Flame retardants* sangat penting dalam industri konstruksi karena dapat diterapkan pada berbagai komponen bangunan seperti dinding, lantai, kabel, dan plafon gantung. Meskipun banyak penelitian telah dilakukan dan ada banyak artikel yang membahas tentang *flame retardant composites*, sebagian besar dari bahan ini masih dalam tahap penelitian laboratorium dan memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk aplikasi industri yang lebih luas. Dengan meningkatnya kesadaran akan keselamatan kebakaran dan regulasi yang lebih ketat, pengembangan *flame retardants* yang lebih ramah lingkungan dan efektif menjadi semakin penting. Penelitian di masa depan diharapkan dapat mengeksplorasi interaksi sinergis antara berbagai jenis *flame retardants* dan meningkatkan kompatibilitas antarmuka antara matriks dan pengisi, sehingga dapat meningkatkan kinerja *flame retardant* dalam material. (Dogan et al., 2021)

#### **1.5.1.2 Mekanisme Flame Retardant**

Mekanisme retardasi api berfungsi untuk mengurangi kelembapan bahan dan memperlambat penyebaran api. Ketika api dihilangkan, api akan terbakar sendiri, menghentikan proses pembakaran. Untuk mencapai tujuan retardasi api dalam proses pembakaran, siklus bahan bakar, panas, dan oksigen harus rusak. Pada dasarnya, ini dicapai dengan menghilangkan atau mengurangi salah satu faktor, yaitu bahan bakar, panas, dan oksigen. Dalam kebanyakan kasus, ini diperlukan untuk meningkatkan stabilitas termal polimer dan kemudian untuk menangkap radikal bebas tertentu. Ia menyerap panas tertentu, membentuk lapisan isolasi gas, dan kemudian mencairkan oksigen dan gas lain yang mudah terbakar untuk membentuk film pelindung yang tidak terbakar (Montalbano et al., 2020). Mekanisme yang menghentikan api biasanya fisik, kimia, atau keduanya. Salah satu efeknya adalah endothermic; reaksi endoterm adalah reaksi yang menyerap kalor, di mana kalor dari lingkungan harus dimasukkan ke dalam sistem. (Aryee et al., 2021)

Mekanisme flame retardant dapat dibagi menjadi beberapa kategori, termasuk mekanisme fisik, kimia, atau kombinasi dari keduanya:

##### **1. Mekanisme Fisik**

Pengurangan suhu dan perlindungan material dari oksigen adalah fokus mekanisme ini. Ketika material terbakar, *flame retardants* dapat menyerap sebagian panas yang dihasilkan oleh pembakaran, yang menyebabkan reaksi endotermik, yang menurunkan suhu permukaan material dan mencegah penyebaran api. Selain itu, saat material terbakar, lapisan busa stabil dapat terbentuk di permukaannya, yang mengisolasi material dari udara dan mencegah gas pembakaran melarikan diri. Akibatnya, api tidak dapat muncul dengan cepat.

##### **2. Mekanisme Kimia**

Flame retardants berfungsi dengan mengintervensi proses pembakaran pada tingkat molekuler dengan mengikat atau menangkap radikal bebas yang diperlukan untuk

reaksi pembakaran. Dengan mengurangi jumlah radikal bebas yang ada, mereka dapat memperlambat atau menghentikan proses pembakaran.

### 3. Mekanisme Kombinasi

Untuk meningkatkan efisiensi, banyak flame retardants kontemporer menggunakan kombinasi mekanisme fisik dan kimia. Misalnya, saat beberapa bahan terbakar, mereka dapat membentuk lapisan karbon yang tidak terbakar di bawahnya. Lapisan ini melindungi bahan di bawahnya dan mengurangi emisi gas dan asap berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran. (Liu et al., 2021)

#### 1.5.1.3 Mekanisme Pembakaran

Mekanisme pembakaran terjadi pada material polimer melalui berbagai proses yang kompleks. Ini dapat terjadi baik di fase terkondensasi maupun di fase gas. Proses pirolisis polimer dimulai ketika polimer terpapar pada fluks panas dari luar. Selama proses ini, volume produk volatil yang mudah terbakar dihasilkan dan dilepaskan ke fase gas, di mana mereka bercampur dengan oksigen di atmosfer untuk membentuk sumber bahan bakar yang dapat digunakan. (Huang et al., 2020)

Degradasi dan pembakaran dalam kondisi oksigen termal adalah dua fase utama pembakaran polimer. Di fase terkondensasi, material polimer terdegradasi dan kemudian berdifusi ke dalam fase gas. Pada tahap ini, produk yang terdegradasi dapat bercampur dengan udara dan menghasilkan reaksi oksidasi tertentu, yang memicu reaksi berantai yang diperlukan untuk mempertahankan pembakaran. (Li et al., 2020)

Secara umum, proses pembakaran melibatkan interaksi kompleks antara panas, oksigen, dan material polimer. Ketika suhu material polimer meningkat hingga mencapai titik nyala, produk yang mudah terbakar akan terakumulasi di udara hingga mencapai konsentrasi tertentu yang memungkinkan pembakaran terjadi. Oleh karena itu, memahami mekanisme pembakaran ini sangat penting untuk membuat strategi yang efektif untuk mengendalikan dan mencegah kebakaran material polimer. (Durrani et al., 2020)

#### 1.5.1.4 Pembakaran Polimer

Ketika terkena panas yang cukup, polimer secara bertahap terurai dan menghasilkan api gas yang bereaksi dengan oksigen di udara sekitar untuk membentuk sumber yang mudah terbakar. Saat suhu cukup tinggi untuk penyalaan otomatis, penyalaan terjadi secara impulsif atau pada titik nyala. (Burger et al., 2020)

Pada suhu yang cukup tinggi untuk penyalaan otomatis, pembakaran spontan atau impulsif terjadi. Selama pembakaran, panas dilepaskan dan sebagian dipindahkan ke substrat, meningkatkan titik nyala. Jika suhu cukup untuk mempertahankan laju dekomposisi *polimer strate*, hal itu memicu dekomposisi lebih lanjut. Jika suhu cukup untuk mempertahankan laju dekomposisi polimer sedemikian rupa sehingga konsentrasi zat yang mudah menguap tetap berada di bawah batas mudah terbakar, polimer itu sendiri dapat mempertahankan laju dekomposisi polimer sehingga konsentrasi zat yang mudah menguap tetap berada di bawah batas di mana siklus pembakaran akan terbentuk. (Gambar 2.2)(Qu et al., 2020). Tiga unsur yaitu panas, oksigen, dan bahan bakar adalah batas mudah terbakar, siklus pembakaran mandiri

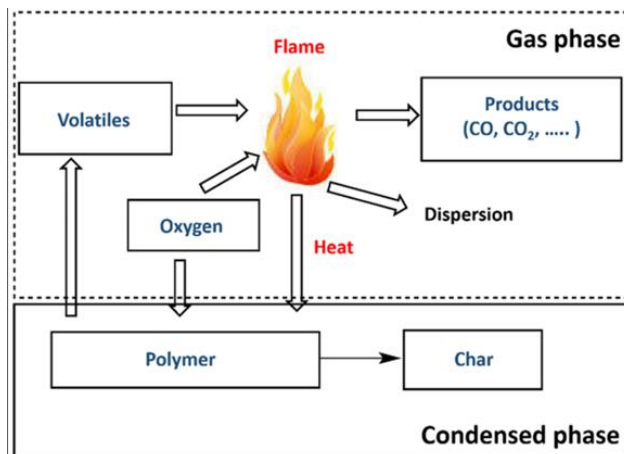
akan terbentuk (Dewaghe et al., 2011). Panas meningkatkan suhu polimer, yang membutuhkan panas, oksigen, dan bahan bakar untuk mempertahankan api.



**Gambar 1** Siklus Segitiga Pembakaran

Sebagian besar polimer alami, seperti karet dan kayu, sekarang diganti dengan polimer sintesis. Beberapa bahan polimer organik telah ditemukan, dan produk polimer sintesis seperti plastik dan elastomer terdiri dari satu atau lebih polimer dan dapat mengandung jenis senyawa lainnya, seperti pewarna dan pengisi mineral.

Penundaan pembakaran polimer sangat penting untuk mengurangi kerusakan api dan dapat dianggap sebagai tujuan awal (Zou et al., 2020). Karena pembakaran api adalah proses oksidasi fase gas, atmosfer harus mengandung oksigen. Karena dekomposisi membuatnya mudah terbakar, polimer dihancurkan sebelum pembakaran secara aktif terjadi. (Orlov et al., 2022)



**Gambar 2** Siklus Pembakaran Polimer

#### 1.5.1.5 Karakteristik Flame Retardant

Berikut adalah tabel yang merangkum karakteristik dari berbagai jenis flame retardants yang digunakan dalam komposit polimer:

Jenis <i>Flame Retardant</i>	Karakteristik Utama	Aplikasi Potensial
<i>Intumescent Flame Retardants</i>	Mengembang saat terkena panas, membentuk lapisan isolasi	Konstruksi, kabel listrik
<i>Halogenated Flame Retardants</i>	Efektif dalam menurunkan laju pembakaran, tetapi berisiko bagi Kesehatan	Elektronik, tekstil
<i>Non-Halogenated Flame Retardants</i>	Lebih ramah lingkungan, tetapi mungkin kurang efektif	Konstruksi, otomotif
<i>Nanocomposites</i>	Meningkatkan sifat mekanik dan termal, serta ketahanan api	Konstruksi, aplikasi industri
<i>Organophosphorus Flame Retardants</i>	Meningkatkan suhu dekomposisi dan ketahanan api	Konstruksi, material komposit

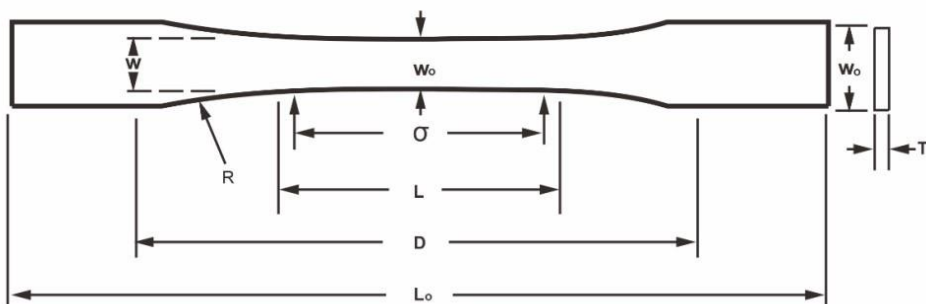
**Tabel 1** Karakteristik Flame Retardant. (Kim et al., 2021)

## 1.5.2 Pengujian Mekanis dan Analisis Termal

### 1.5.2.1 Pengujian Tarik

ASTM D638 – 02 tipe 1 adalah standar pengujian tarik (*tensile test*) yang digunakan untuk menentukan sifat mekanik material plastik dan komposit. Pengujian ini mengukur kekuatan tarik, modulus elastisitas, elongasi pada putus, dan parameter lain yang relevan untuk memahami kinerja mekanik material. (Diana et al., 2022)

Dari pengujian ini dapat diketahui sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa. Kekuatan tarik (*tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh material benda uji sebelum patah atau rusak, besarnya beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji. Adapun pengujian tarik diambil berdasarkan spesimen yang mengalami kerusakan dengan kondisi pengujian statis dan hasil yang didapat berupa kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas tarik (Setiawan, 2021). Berdasarkan standar pengujian yang digunakan pengujian tarik ini mengacu pada standar ASTM D638 dengan bentuk spesimen dan ukurannya seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



**Gambar 3** Spesimen Uji Tarik Standar ASTM D638 01

<b>Dimension (mm)</b>	<b>Type I</b>	<b>Tolerances</b>
<i>W<sub>c</sub> (Width of narrow section)</i>	12.00	±0.508
<i>L (Length of narrow section)</i>	57.150	±0.508
<i>W<sub>o</sub> (Width overal)</i>	19.050	+6.350
<i>L<sub>o</sub> (Length overal)</i>	165.100	No max
<i>G (Gage length)</i>	50.800	±0.254
<i>D (Distance between grips)</i>	114.300	±5.080
<i>R (Radius of fillet)</i>	76.200	±1.016
<i>T (Thickness)</i>	3.02	±0.508

**Tabel 2** Dimensi specimen uji Tarik ASTM D-638-I dan tolenrasi

Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

dimana  $\sigma$  *Engineering stress* (Tegangan) (MPa), F beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap spesimen (N) dan A0 Luas penampang awal sebelum spesimen diberikan pembebanan ( $mm^2$ ).

Regangan komposit dapat dihitung dengan persamaan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \times 100\%$$

Dimana  $\varepsilon$  (Regangan) (%), L0 panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (mm),  $\Delta L$  penambahan panjang (mm).

Berdasarkan kurva hasil pengujian maka modulus elastis, E (GPa) dapat dihitung dengan persamaan (Gibson, 2016):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana E Modulus elastisitas (GPa),  $\sigma$  *Engineering stress* (tegangan) (MPa) dan  $\varepsilon$  (regangan) (%). (Belieu et al., 2016)

### 1.5.2.2 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merancang alat uji impak Charpy untuk pengujian material komposit yang

berpenguat serat alam (*natural fiber*). Alat uji Impak yang dirancang menggunakan standar ASTM D 5942-96 (Wahyu & Mutawally, 2021).

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus berikut :

$$E = W \times R(\cos\beta - \cos \alpha)$$

Dimana :

$E$  = Energi terserap (Joule)

$W$  = Weight of Hammer

$R$  = Panjang lengan pendulum( $m$ )

$\cos \beta$  = Sudut posisi akhir pendulum( $^{\circ}$ )

$\cos \alpha$  = Sudut posisi awal pendulum ( $^{\circ}$ )

Dan besarnya harga impak dapat diketahui dari rumus berikut ini :

$$HI = \frac{E}{AO}$$

Dimana :

$HI$  = Harga impak (Joule/ $mm^2$ )

$E$  = Energi terserap (Joule)

$AO$  = Luas Penampang ( $mm^2$ )

### 1.5.2.3 Pengujian Bending

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material komposit tersebut. Pengujian bending mengacu pada standar ASTM D790 dengan kondisi pengujian statis. Kekuatan bending, juga dikenal sebagai kekuatan lengkung, adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima oleh pembebanan luar tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan yang signifikan. Kekuatan bending bervariasi tergantung pada jenis material dan pembebanan. Pengujian bending menyebabkan tegangan tarik pada bagian bawah spesimen dan tekanan pada bagian atasnya. Kekuatan tekan material komposit lebih besar daripada kekuatannya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah. Hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah.(Beliu et al., 2016)

Batang sederhana dengan dua titik dudukan dan pembebanan pada tengah-tengah batang uji (*three point bending*)(Widodo et al., 2023), maka tegangan maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

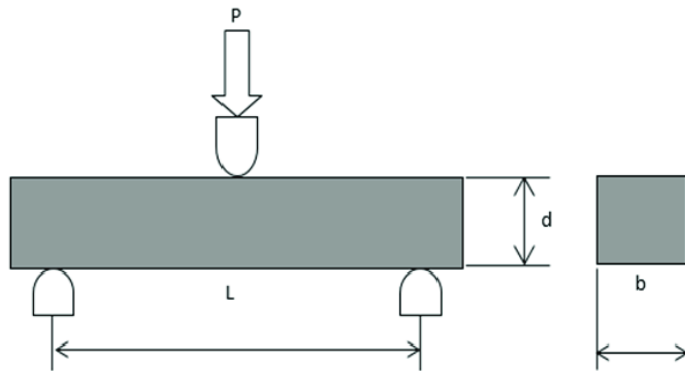
$\sigma$  = Kekuatan bending (MPa)

$P$  = Beban (N)

$b$  = Lebar batang uji (mm)

$d$  = Tebal batang uji (mm)

$L$  = Jarak horizontal antara pusat kedua tumpuan (*span length*)



**Gambar 4** Uji bending dengan tiga titik (*Three Point Bending*)

#### 1.5.2.4 Analisis Termal

Analisis termal dalam pengertian luas adalah pengukuran sifat kimia fisika bahan sebagai fungsi suhu. Penetapan dengan metode ini dapat memberikan informasi pada kesempurnaan kristal, polimorfisma, titik lebur, sublimasi, transisi kaca, dedrasi, penguapan, pirolisis, interaksi padat- padat dan kemurnian.

Konduktivitas termal suatu benda merupakan kemampuan yang dimiliki suatu benda dalam memindahkan kalor melalui benda tersebut. Benda yang mempunyai konduktivitas termal ( $k$ ) yang tinggi maka merupakan penghantar kalor yang baik, begitu sebaliknya. (Prihartono & Irhamsyah, 2022)

Berdasarkan hukum Fourier yang berlaku pada perpindahan panas konduksi,

$$q_k = -k \cdot A \frac{dT}{dx}$$

Maka persamaan untuk mencari nilai konduktivitas termal dari suatu bahan adalah :

$$k = -\frac{q_k}{A} \cdot \frac{dx}{dT}$$

$k$  = Konduktivitas termal bahan ( $W/m^{\circ}C$ )

$qk$  = Laju Perpindahan panas Konduksi (Watt)

$A$  = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $m^2$ )

$\frac{dT}{dx}$  = Gradient temperature terhadap  $X$  (C/m)

#### 1.5.2.4.1 *Thermogravimetric Analysis*

Metode analisis termal yang paling sering digunakan adalah *Thermogravimetric Analysis* (TGA). TGA adalah suatu teknik analitik untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi dalam hal penurunan massa yang terjadi antara lain akibat terdekomposisi atau terbakar. Bahan yang terdekomposisi pada temperatur tinggi dikatakan memiliki stabilitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. (Indra Mawardi et al., 2021)

Secara umum, TGA digunakan untuk melihat pengaruh termal pada bahan selama proses pirolisis berlangsung. Metode ini dapat menggambarkan keberadaan energi aktivasi pada konversi bahan yang terjadi pada proses pirolisis. (Dhyani et al., 2017). Dari data termogravimetri, kinetika reaksi yang terjadi pirolisis dapat diketahui melalui pendekatan matematis yang berbeda.

*Thermogravimetry Analysis* (TGA) berfungsi untuk mengukur massa suatu material yang hilang atau bertambah selama proses reaksi. TGA menghasilkan kurva dalam fungsi waktu dan temperatur saat proses pemanasan atau pendinginan dengan profil temperatur tertentu. Pada kurva TGA dapat diidentifikasi suatu sampel mengalami pengurangan massa apabila kurva TG menurun sedangkan terjadi penambahan massa apabila kurva TG naik. Pengurangan massa terjadi apabila reaksi yang berlangsung antara lain dehidrasi, pirolisis, dekomposisi, desorpsi, evaporasi dan sebagainya. Analisis termal memberikan sifat seperti entalpi, kapasitas termal, perubahan massa, dan koefisien ekspansi panas. Oleh karena itu, berdasarkan informasi tersebut, dapat diidentifikasi reaksi yang terjadi pada sampel uji.

#### 1.5.2.4.2 *Differential Scanning Calorimetry*

Metode lain untuk menganalisis sifat bahan secara termal adalah *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). DSC mengukur perubahan entalpi pada sampel akibat perubahan properti fisik dan kimianya sebagai fungsi suhu atau waktu. Pengujian DSC akan memperlihatkan stabilitas termal yang terkait dengan perubahan fasa, dalam hal ini pelelehan. Bahan yang meleleh pada temperatur lebih tinggi dikatakan memiliki stabilitas termal yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. (Indra Mawardi et al., 2021)

Analisis termal DSC digunakan untuk mengetahui fase-fase transisi pada polimer. Analisis ini menggunakan dua wadah sampel dan pembanding yang identik dan umumnya terbuat dari aluminium. *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) merupakan salah satu alat dari *Thermal Analyzer* yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas panas dan entalpi dari suatu bahan, prinsip kerja analisis termal DSC didasarkan pada perbedaan suhu antara sampel dan suatu pembanding

yang diukur ketika sampel dan pembanding dipanaskan dengan pemanasan yang beragam. Perbedaan suhu antara sampel dan zat pembanding yang lembam (inert) akan teramati apabila terjadi perubahan dalam sampel yang melibatkan panas seperti reaksi kimia, perubahan fase atau perubahan struktur. Jika  $\Delta H (-)$  maka suhu sampel akan lebih rendah daripada suhu pembanding, sedangkan jika  $\Delta H (+)$  maka suhu sampel akan lebih besar daripada suhu zat pembanding. Perubahan kalor setara dengan perubahan entalpi pada tekanan konstan. Data yang diperoleh dari analisis DSC dapat digunakan untuk mempelajari kalor reaksi, kinetika, kapasitas kalor, transisi fase, kestabilan termal, kemurnian, komposisi sampel, titik kritis, dan diagram fase. Termogram hasil analisis DSC dari suatu bahan polimer akan memberikan informasi titik transisi kaca ( $T_g$ ), yaitu suhu pada saat polimer berubah dari bersifat kaca menjadi seperti karet, titik kristalisasi ( $T_c$ ), yaitu pada saat polimer berbentuk kristal, titik leleh ( $T_m$ ), yaitu saat polimer berwujud cairan, dan titik dekomposisi ( $T_d$ ), yaitu saat polimer mulai rusak

*Differential Scanning Calorimeter* (DSC) merupakan salah satu alat dari *Thermal Analyzer* yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas panas dan entalpi dari suatu bahan. Bahan yang dapat dianalisis kapasitas panas dan entalpinya menggunakan DSC adalah bahan logam, paduan logam dan bahan keramik. Dalam proses fabrikasi bahan bakar nuklir, DSC digunakan untuk mengetahui perubahan fasa, temperatur lebur, entalpi dan kapasitas panas dari bahan kelongsong AlMg-2, zirkaloi, AlMgSi, bahan bakar UO<sub>2</sub>, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-Al, U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al, dan UMo-Al. Selain untuk menentukan temperatur lebur, entalpi dan kapasitas panas, DSC juga dapat digunakan untuk mempelajari fenomena kestabilan panas endotermik atau eksotermik bahan bakar dan interaksi bahan bakar dengan matriksnya. Penggunaan DSC untuk penentuan kapasitas panas, menurut sistem mutu SNI 19-17025, harus menggunakan metode uji yang valid. Dalam proses validasi metode penentuan kapasitas panas, ditentukan parameter-parameter unjuk kerja metode dengan menggunakan peralatan yang memenuhi spesifikasi, beroperasi dengan baik dan terkalibrasi agar diperoleh hasil yang baik. Metode yang digunakan dalam penentuan kapasitas panas dengan DSC adalah metode pengujian yang diberikan oleh fabrikasi SETARAM Perancis. Namun dengan berjalannya waktu, metode rutin tersebut harus diverifikasi agar diketahui kevalidannya. Sebelum melakukan verifikasi metode tersebut, alat DSC harus dikalibrasi terlebih dahulu. Verifikasi metode penentuan kapasitas panas menggunakan DSC seharusnya dilakukan dengan menggunakan sampel standar. Namun dalam melakukan verifikasi metode ini terdapat beberapa kendala. Salah satu kendalanya adalah tidak tersedianya sampel standar yang dapat digunakan langsung untuk penentuan kapasitas panas, namun yang tersedia adalah sampel standar untuk penentuan entalpi. Oleh karena itu untuk melakukan verifikasi metode harus diketahui parameter pengujian terlebih dahulu. Parameter pengujian yang sangat berpengaruh terhadap hasil analisis kapasitas panas adalah laju reaksi, sensitivitas koefisien dan temperatur koefisien. (Ginting et al., 2005)

### 1.5.3 Analisis Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang difungsikan untuk mempercepat laju reaksi dalam reaksi kimia dan pada temperatur tertentu tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Katalis dapat memungkinkan reaksi berlangsung lebih

cepat pada temperatur yang lebih rendah dibanding dengan reaksi tanpa katalis karena dengan menggunakan katalis energi aktivasi akan lebih rendah sehingga energi yang digunakan untuk berlangsungnya reaksi akan lebih sedikit. (Nurhanisa et al., 2021)

Analisis katalis adalah proses evaluasi terhadap bahan katalis untuk memahami fungsinya, karakteristiknya, dan pengaruhnya terhadap suatu reaksi kimia. Dalam konteks resin poliester atau material komposit, analisis katalis seringkali diperlukan untuk mengoptimalkan proses curing, meningkatkan efisiensi, serta memprediksi kinerja material akhir. Berikut adalah beberapa aspek penting dalam analisis katalis:

#### 1. Karakteristik Katalis

- **Komposisi Kimia:** Komposisi kimia katalis, seperti peroksida dalam Butanox (MEKP), mempengaruhi aktivitas katalitiknya. Analisis spektral (misalnya, FTIR atau NMR) dapat digunakan untuk memverifikasi struktur kimia.
- **Mekanisme Katalitik:** Katalis mempercepat reaksi dengan memicu radikal bebas dalam curing resin.

#### 2. Aktivitas Katalitik

- **Kecepatan Reaksi:** Analisis kinetik dan DSC digunakan untuk mengukur kecepatan reaksi curing dan panas yang dihasilkan.
- **Efisiensi Katalitik:** Katalis efisien memerlukan dosis lebih rendah untuk konversi monomer ke polimer.

#### 3. Pengaruh pada Waktu Curing

- **Waktu Gelasi:** Waktu resin mulai mengeras setelah katalis ditambahkan, diukur dengan pengujian rheolog
- **Tingkat Penyelesaian Curing:** Curing dianalisis dengan spektroskopi atau uji mekanis untuk mengukur kekerasan dan kekuatan tarik.

#### 4. Stabilitas Termal dan Keselamatan

- **Suhu Pencetus (*Decomposition Temperature*):** Katalis seperti MEKP terurai pada suhu tertentu, dianalisis dengan TGA.
- **Reaktivitas:** Katalis reaktif dapat menyebabkan pemanasan berlebihan atau ledakan, sehingga perlu analisis termal untuk menilai risikonya.

#### 5. Pengaruh pada Material Akhir

- **Sifat Mekanik:** Katalis memengaruhi kekuatan tarik, kekerasan, dan ketahanan panas atau api komposit.
- **Kejernihan dan Warna:** Katalis dapat memengaruhi kejernihan dan warna, terutama pada komposit transparan.

#### 6. Deaktivasi atau Toksisitas Katalis

- **Deaktivasi Katalis:** Beberapa katalis kehilangan efektivitas seiring waktu atau kontak dengan air/oksigen.
- **Toksisitas dan Lingkungan:** Katalis berbasis peroksida bisa berbahaya, analisis toksikologi diperlukan untuk keamanan dan pembuangan yang tepat. (Ramadhanti, 2023)

##### 1.5.3.1 Fungsi Katalis dalam Resin

Katalis dalam resin berfungsi sebagai bahan yang mempercepat reaksi kimia, terutama dalam proses polimerisasi. Dalam pembuatan resin, katalis digunakan

untuk mempercepat pengerasan atau curing resin, mengubah resin cair menjadi bentuk padat atau semi-padat. (Nurhayati & Tyas, 2018)

1. Mempercepat Proses Pengerasan: Katalis mempercepat reaksi antara resin dan pengeras (*hardener*), sehingga resin lebih cepat mengeras atau mengering.
2. Mengendalikan Waktu Pengerasan: Dengan menyesuaikan jumlah katalis yang digunakan, produsen dapat mengontrol waktu pengerasan resin, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi tertentu.
3. Meningkatkan Efisiensi: Dengan mempercepat reaksi kimia, katalis memungkinkan proses produksi menjadi lebih efisien dan mengurangi waktu tunggu.
4. Memastikan Reaksi yang Lengkap: Katalis membantu memastikan bahwa seluruh molekul resin bereaksi secara menyeluruh, menghasilkan material akhir yang lebih kuat dan tahan lama.

#### 1.5.4 Matriks Polimer

Matriks polimer adalah komponen dasar dalam banyak material komposit, di mana ia berfungsi sebagai fase kontinu yang mengikat dan mendistribusikan fase diskontinu (misalnya serat, partikel, atau serpihan) untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik, termal, atau fungsional yang unggul. Peran matriks polimer sangat krusial dalam menentukan integritas struktural, transfer beban, dan ketahanan komposit terhadap lingkungan. (Kurniawan & Setyowati, 2021)

Beberapa sifat dari matriks polimer:

Sifat mekanik :

- Kekuatan tarik/kompresi: Kemampuan matriks menahan beban tarik/tekan.
- Modulus elastisitas (kekakuan): Ukuran kekakuan material; matriks dengan modulus tinggi cenderung menghasilkan komposit yang lebih kaku.
- Ketahanan impak: Kemampuan menyerap energi tanpa retak atau pecah.
- Ketahanan fatik: Ketahanan terhadap siklus pembebanan berulang.
- Ketahanan *creep*: Deformasi material di bawah beban konstan dalam jangka waktu tertentu.

Sifat termal :

- Suhu transisi gelas ( $T_g$ ): Suhu di mana polimer amorf atau daerah amorf dalam polimer semi-kristalin berubah dari kondisi keras dan getas (seperti kaca) menjadi lunak dan ulet (seperti karet). Penting untuk batas suhu servis komposit.
- Koefisien ekspansi termal (CTE): Menggambarkan seberapa banyak material mengembang atau menyusut dengan perubahan suhu. Perbedaan CTE antara matriks dan penguat dapat menyebabkan tegangan internal.
- Konduktivitas termal: Kemampuan material menghantarkan panas.

##### 1.5.4.1 Jenis- jenis poliester umum digunakan

Poliester adalah polimer sintesis yang serbaguna dan banyak dipakai. Beberapa jenis utamanya meliputi:

1. *Polyethylene Terephthalate* (PET): Ini adalah jenis poliester yang paling umum. Ditemukan luas di botol minuman, kemasan makanan, dan berbagai tekstil (pakaian, spreii). PET kuat, ringan, tahan kerutan, dan dapat didaur ulang.

2. *Poly-1,4-Cyclohexylene-Dimethylene Terephthalate* (PCDT): Lebih elastis dan tahan kerutan dibandingkan PET. Sering digunakan untuk pelapis furnitur dan tirai karena retensi bentuknya yang sangat baik.
3. *Polytrimethylene Terephthalate* (PTT): Jenis yang relatif baru, menawarkan elastisitas dan daya tahan yang lebih baik, serta tekstur yang lembut. Cocok untuk pakaian dan karpet. (Bevington et al., 2022)

#### 1.5.4.2 Katalis MEK-P Butanox M-50

Katalis MEK-P Butanox M-50 Katalis Metil Etil Keton Peroksida (MEK-P), dengan nama dagang populer seperti Butanox M-50, adalah komponen krusial dalam proses pengerasan (*curing*) resin poliester tak jenuh (UPR) dan resin vinil ester. MEK-P berfungsi sebagai inisator radikal bebas, yang memicu reaksi polimerisasi silang pada rantai resin sehingga mengubahnya dari bentuk cair menjadi padat yang kaku dan stabil.

Beberapa faktor penting yang memengaruhi kinerja MEK-P dan proses curing resin:

- Konsentrasi MEK-P: Semakin tinggi konsentrasi MEK-P (dalam batas optimal), semakin cepat waktu gel dan waktu curing. Namun, konsentrasi berlebihan dapat menyebabkan panas berlebih (eksotermik) yang tidak terkontrol dan kerapuhan pada produk akhir.
- Jenis dan Konsentrasi Akselerator: Akselerator, seperti kobalt naftenat atau kobalt oktoat, mempercepat dekomposisi MEK-P pada suhu ruang. Jumlah akselerator harus seimbang; terlalu sedikit akan memperlambat curing, terlalu banyak dapat mempersingkat waktu kerja (*pot life*) secara drastis.
- Suhu Lingkungan: Suhu yang lebih tinggi akan mempercepat reaksi curing karena meningkatkan laju dekomposisi peroksida. Sebaliknya, suhu rendah akan memperlambat curing.
- Kandungan Air/Kelembaban: Kelembaban dapat menghambat reaksi polimerisasi dan mengurangi efektivitas katalis.
- Adanya Inhibitor: Beberapa zat seperti oksigen, asam, atau pengotor tertentu dapat bertindak sebagai inhibitor yang memperlambat atau menghentikan reaksi polimerisasi.
- Jenis Resin: Komposisi resin (misalnya rasio stirena terhadap poliester, jenis poliester) akan memengaruhi respons terhadap MEK-P.

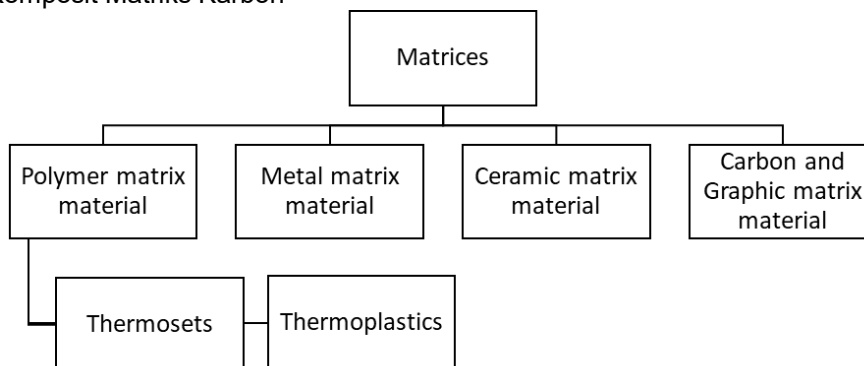
Butanox M-50 (atau merek MEK-P lainnya) banyak digunakan dalam industri manufaktur komposit dan produk berbahan dasar resin, meliputi:

- *Fiberglass Reinforced Plastics* (FRP): Pembuatan kapal, tangki, pipa, panel, suku cadang otomotif, dan komponen konstruksi.
- Pengecoran Resin: Pembuatan patung, aksesoris dekoratif, dan prototipe.
- Lapisan Pelindung: Sebagai pengeras untuk pelapis lantai epoksi atau vinil ester.
- Perakat Resin: Dalam formulasi perakat tertentu. (Info, 2022)

#### 1.5.4.3 Klasifikasi berdasarkan Matriks

(Wardhana & Haryanti, 2016) Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat diklasifikasikan kedalam 4 kelompok besar yaitu:

1. Komposit matrik polimer (KMP/PMC)
2. Komposit Matrik Logam (MMC)
3. Komposit Matrik Keramik (CMC)
4. Komposit Matriks Karbon



**Gambar 5** Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriks

#### 1.5.4.4 Matriks Tahan Api

##### 1. Pengertian Matriks Tahan Api

Matriks tahan api adalah polimer yang diubah dengan bahan aditif atau teknologi khusus agar tidak mudah terbakar atau menghentikan penyebaran api. Matriks ini harus tahan terhadap suhu tinggi dan tetap memiliki sifat mekanis yang baik dalam kondisi ekstrem. Matriks tahan api sering digunakan dalam campuran serat penguat untuk membuat bahan yang kuat, ringan, dan aman digunakan di lingkungan yang berisiko tinggi. (Qanita, 2020)

##### 2. Jenis Matriks Tahan Api

Matriks tahan api bisa berasal dari berbagai jenis polimer yang dimodifikasi, di antaranya:

- Matriks Thermoset Tahan Api: Thermoset seperti resin poliester, epoksi, dan fenolik sering digunakan dalam komposit tahan api. Resin fenolik, misalnya, dikenal memiliki ketahanan tinggi terhadap api dan sering digunakan dalam aplikasi industri dan transportasi.
- Matriks Thermoplastik Tahan Api: Thermoplastik seperti polikarbonat, poliuretan, dan polietilena tereftalat (PET) dapat dimodifikasi dengan aditif tahan api seperti halogen, fosfor, atau senyawa hidrogen untuk meningkatkan ketahanan terhadap pembakaran.
- Matriks Inorganik Tahan Api: Matriks berbasis keramik atau material silikat sering digunakan karena memiliki sifat ketahanan terhadap suhu yang sangat tinggi, meskipun biasanya lebih rapuh dibandingkan matriks organik.

##### 3. Aditif Tahan Api dalam Matriks

Untuk mencapai ketahanan api, aditif tahan api ditambahkan ke dalam matriks. Beberapa aditif tahan api yang umum digunakan meliputi:

- Halogen: Senyawa seperti klorin atau bromin sering digunakan sebagai aditif tahan api karena dapat menghambat pembakaran dengan cara melepaskan gas yang memutus rantai reaksi api.

- Fosfor: Senyawa fosfor menghasilkan lapisan arang yang dapat melindungi material dari api, sekaligus menghambat penyebaran api.
- Hidroksida Logam: Alumina trihidrat (ATH) dan magnesium hidroksida adalah aditif yang secara termal terurai dan menyerap energi panas, melepaskan uap air yang mendinginkan material dan menghambat pembakaran.
- Nanokomposit: Penggunaan nanopartikel seperti montmorillonite atau nanotube karbon juga dapat meningkatkan sifat tahan api, karena struktur partikel nano dapat membantu memperlambat pergerakan panas dan gas api.

#### 4. Mekanisme Ketahanan Api

Matriks tahan api bekerja melalui beberapa mekanisme untuk melawan penyebaran api, di antaranya:

- Pendinginan: Beberapa aditif tahan api menyerap panas dan melepaskan gas yang dapat mendinginkan material.
- Pelapisan Pelindung: Pembentukan lapisan karbon atau arang pada permukaan material yang terbakar dapat melindungi lapisan dalam dari paparan api lebih lanjut.
- Penghalangan Oksigen: Beberapa aditif bekerja dengan cara melepaskan gas yang menghalangi akses oksigen ke material yang terbakar, sehingga memperlambat pembakaran.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 sampai Mei 2025 bertempat di Laboratorium Mekanika Terpakai Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan.

### 2.2 Alat dan Bahan

#### 2.2.1 Alat

##### 1. Cetakan

Digunakan untuk membentuk panel sebelum membuat spesimen



**Gambar 6** Cetakan

##### 2. Gelas Ukur

Digunakan untuk menakar resin FRP.



**Gambar 7** Gelas Ukur

##### 3. Gunting

Digunakan untuk mengukur dimensi luar dan dalam spesimen



**Gambar 8** Jangka sorong

4. Gelas Plastik

Sebagai tempat mencampur cairan resin FRP dan Katalis



**Gambar 9** Gelas plastik

5. Dongkrak dan alat press

Digunakan untuk menekan cetakan pada proses panel matriks



**Gambar 10** Dongkrak dan press

6. *Scroll Saw*

Digunakan untuk memotong panel matriks menjadi sampel uji



**Gambar 11** *Scroll Saw*

7. Kuas

Digunakan untuk mengoleskan *mold release* pada cetakan



**Gambar 12** Kuas

8. *Water pass*

Digunakan untuk meluruskan dan meratakan cetakan



**Gambar 13** *Water pass*

9. Pisau Cat

Digunakan untuk meratakan campuran resin dan hardener serta sebagai alat pembuka panel dari cetakan.



**Gambar 14** Pisau Cat

### 2.2.2 Bahan

#### 1. Resin

Sebagai bahan pengikat/perikat.



**Gambar 15** Flame Retardant Polyester

#### 2. Katalis

Digunakan sebagai bahan untuk mempercepat pengerasan resin



**Gambar 16** Katalis MEK-P

#### 3. *Mold release wax*

Sebagai bahan pelumas yang dioleskan pada cetakan agar sampel mudah terlepas dari cetakan.



**Gambar 17** *Mold Release Wax*

## **2.4 Metode Pengumpulan Data**

### **2.4.1 Studi Lapangan (*Field Research*)**

Studi lapangan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan mengumpulkan data langsung dari analisa yang dilakukan dari tempat penelitian, meliputi setiap hasil penelitian, foto - foto, dan data yang relevan terhadap penelitian. Ini bisa berbentuk tulisan dan gambar sehingga mengelolanya dalam bentuk tabel dan grafik.

### **2.4.2 Studi Pustaka (*Library Research*)**

Studi pustaka merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur serta catatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

## **2.5 Prosedur Penelitian**

### **2.5.1 Persiapan Alat dan Bahan**

Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan pada proses pengujian ini. Cetakan dan panel matriks :

Dimensi dari cetakan panel matriks sangat berpengaruh terhadap komposisi material yang akan digunakan, oleh karena itu penting untuk mengetahui luas atau dimensi dari cetakan yang akan digunakan.

Cetakan terbuat dari plat baja dengan dilengkapi besi pembatas pada bagian dalamnya dengan tinggi yang berbeda sesuai ketebalan sampel yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 18** Desain cetakan panel Matriks

Dimensi cetakan dan komposisi material yang digunakan pada tiap ketebalan sampel ialah sebagai berikut.

Diketahui :

P = 300 mm

L = 300 mm

T = 4 mm

- Maka Volume Matriks ( $vm$ ) yaitu
  - = 300mm x 300mm x 4mm
  - = 360,000  $mm^2$
  - = 360  $cm^3$
- Rasio Resin
  - =  $\frac{100}{100+X} \times vm$
  - =  $\frac{100}{101,5} \times 360 \text{ cm}^3$
  - = 354,68  $cm^3$  = 354,680  $mm^3$
- Rasio Katalis
  - =  $\frac{X}{100+X} \times vm$
  - =  $\frac{1,5}{101,5} \times 360 \text{ cm}^3$
  - = 5,32  $cm^3$  = 5,320  $mm^3$

### 2.5.2 Langkah Pencetakan Matriks

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Selanjutnya, mencampur resin dan super katalis MEK-P dengan rasio FRP 100:1,5;100:2;100:2,5 dan 100:3.
3. Tuangkan campuran resin dan super katalis ke dalam cetakan, kemudian meratakan campuran di dasar cetakan.
4. Setelah menuangkan resin kedalam cetakan kemudian meratakan dan menekan perlahan dengan pengaduk supaya distribusinya merata.
5. Tutup cetakan dengan kaca kemudian tekanlah/press dengan balok dan dongkrak yang telah di sediakan. Hal ini dilakukan agar didalam pembuatan panel matriks tidak terjadi void kekosongan.

6. Menunggu cetakan mengering/mengeras, kemudian panel dikeluarkan dari cetakan.

### 2.5.3 Langkah Pengujian Impak

ASTM D5942-96 adalah standar pengujian yang digunakan untuk menilai ketahanan terhadap impact atau ketahanan terhadap benturan dari bahan etika dan komposit, termasuk komposit tahan api. Metode pengujian ini mengukur energi yang diserap oleh material etika terkena benturan, yang membantu menilai seberapa baik bahan tersebut dapat menahan kerusakan fisik akibat gaya tiba-tiba. Desain specimen uji impact dengan standar ASTM D5842-96. Mempunyai Panjang ( l ) 80 mm dan lebar ( b ) 10 mm.



**Gambar 19** Langkah Pengujian Impak

Langkah-langkah pengujian:

1. Siapkan spesimen dengan takik sesuai standar
2. Pasang spesimen pada alat impact
3. Lepaskan bandul atau palu dari ketinggian tertentu untuk menghantam spesimen
4. Ukur energi yang diserap
5. Energi tersebut menunjukkan ketangguhan material

### 2.5.4 Langkah Pengujian Tensile

ASTM D638-01 adalah standar pengujian yang digunakan untuk mengukur sifat mekanik material plastik, termasuk matriks, melalui uji tarik. Uji tarik ini mengukur seberapa kuat dan elastis suatu material saat ditarik hingga patah. Pada matriks tahan api, pengujian ini sangat penting untuk mengetahui kapasitas material untuk menahan beban tarik, terutama dalam situasi yang sulit.



**Gambar 20** Langkah Pengujian Tensile

Langkah-langkah pengujian:

1. Siapkan spesimen sesuai standar
2. Pasang spesimen pada alat uji (*Universal Testing Machine*)
3. Atur Kecepatan penarikan sesuai standar
4. Mulai penarikan hingga spesimen putus
5. Catat data gaya vs regangan (*stress-strain*)
6. Analisis hasil untuk mendapatkan kekuatan tarik, modulus young, dan elongasi maksimum

### 2.5.5 Langkah Pengujian Bending

ASTM D790 adalah standar pengujian yang mengukur sifat lentur (bending) dari material plastik dan matriks, termasuk matriks tahan api, saat diberikan beban hingga patah atau mencapai defleksi tertentu. Desain spesimen uji bending mempunyai panjang ( $l$ ) 70 mm dan lebar ( $b$ ) 16 mm dan ketebalan sesuai dengan ukuran spesimen.



**Gambar 21** Langkah Pengujian Bending

Langkah pengujian :

1. Siapkan spesimen sesuai standar
2. Letakkan di atas dua tumpuan (uji 3 titik atau 4 titik lentur)
3. Tekan bagian tengah menggunakan alat uji lentur
4. Ukur gaya dan defleksi saat spesimen dilenturkan
5. Hitung kekuatan lentur dan modulus lentur dari kurva beban-defleksi

### 2.5.6 Langkah Pengujian Termal TGA/DSC

Spesimen uji termal dilakukan dengan memotong cetakan yang telah mengeras menggunakan *scroll saw*, kemudian dibentuk persegi sesuai dengan standar ASTM E2550-21 untuk pengujian TGA dan ASTM E473-85 untuk DSC.



**Gambar 22** Langkah Pengujian Termal TGA/DSC

Langkah pengujian :

*TGA (Thermogravimetric Analysis)*

1. Timbang sampel (mg) dan letakkan di dalam crucible.
2. Masukkan crucible ke dalam alat TGA.
3. Atur program pemanasan (misal  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  hingga  $800^{\circ}\text{C}$ ) dalam atmosfer inert (misal nitrogen).
4. Jalankan alat, massa sampel dipantau selama pemanasan.
5. Analisis kurva TGA untuk melihat kehilangan massa (degradasi, volatilisasi, dll.).

*DSC (Differential Scanning Calorimetry)*

1. Timbang sampel kecil dan tempatkan di dalam *crucible* DSC.
2. Masukkan *crucible* ke dalam alat bersama referensi kosong.
3. Atur suhu awal dan akhir serta laju pemanasan.
4. Jalankan alat, pantau perubahan panas (endotermik/eksotermik).
5. Analisis kurva DSC untuk mendeteksi suhu transisi gelas ( $T_g$ ), titik leleh, dan kristalisasi.

## 2.6 Diagram Alir

