

TUGAS AKHIR

**PENGAMATAN PERMUKAAN PATAHAN KOMPOSIT
BERMatrik *POLYESTER* DAN *VINYL ESTER* YANG
DIPERKUAT SERAT TANDAN KELAPA SAWIT
AKIBAT MOMEN LENTUR**

OLEH :

AHMAD MUSTHOFA HAKIM

1910913013

PEMBIMBING :

Ir. Nusyirwan. MT



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGAMATAN PERMUKAAN PATAHAN KOMPOSIT
BERMatrik *POLYESTER* DAN *VINYL ESTER* YANG
DIPERKUAT SERAT TANDAN KELAPA SAWIT
AKIBAT MOMEN LENTUR**

OLEH :

AHMAD MUSTHOFA HAKIM

NIM. 1910913013

Padang, 14 Juni 2024

Menyetujui:

Pembimbing Tunggal



Ir. Nusvirwan. MT

NIP. 196602181993021001

Mengetahui:

Ketua Departemen Teknik Mesin

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin

Devi Chandra, Ph.D

NIP. 197207202006041002

Iskandar R, M.T

NIP. 197007091995121001

PENETAPAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas diberikan kepada:

Nama : Ahmad Musthofa Hakim
Nomor Induk Mahasiswa : 1910913013
Dosen Pembimbing : Ir. Nusyirwan. MT
Waktu Penyelesaian : ±6 Bulan
Judul Tugas Akhir : Pengamatan Permukaan Patahan
Komposit Bermatrik Polyester dan
Vinyl Ester yang Diperkuat Serat
Tandan Kelapa Sawit Akibat Momen
Lentur

Uraian Tugas Akhir

1. Studi Literatur
2. Preparasi sampel hasil uji tarik
3. Pengujian SEM dan FTIR
4. Analisa data hasil pengujian SEM dan FTIR
5. Kesimpulan

Padang, Juni 2024

Pembimbing Tunggal



Ir. Nusyirwan. MT

NIP.196602181993021001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan anugrah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “**Pengamatan Permukaan Patahan Komposit Bermatrik Polyester dan Vinyl Ester yang Diperkuat Serat Tandan Kelapa Sawit Akibat Momen Lentur**”. Tak lupa penulis berikan salawat beriringan salam untuk junjungan besar Nabi Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang membantu dalam pelaksanaan dan pembuatan Proposal Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua dan keluarga besar atas segala bentuk dukungan dan motivasi yang tidak ada putusnya.
2. Bapak Ir. Nusyirwan, MT sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas.
4. Rekan-rekan asisten Laboratorium Konstruksi Mesin atas kebersamaan dan kerja samanya dalam penyelesaian penelitian ini.
5. Teman-teman seperjuangan MXXXII beserta seluruh anggota Himpunan Mahasiswa Mesin FT-UNAND.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk para peneliti berikutnya, terutama bagi ruang lingkup Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik- Universitas Andalas.

Padang, 14 Juni 2024

Penulis

ABSTRACT

Composite materials have already appeared as a highly desirable and superior option compared to conventional materials, with the main advantages being lower density and good corrosion resistance. However, the effective implementation of composite materials is often stunted by significant challenges, especially in terms of the bond strength between the matrix and the fibers. This weakness, in general, can be traced back to the composition of fiber size and orientation which is not optimal. This study was conducted to obtain the microstructure of the fracture surface of polyester and vinyl ester matrix composites reinforced with oil palm bunch fibers by identifying and understanding the impact of variations in fiber size and orientation on the types of fractures that appear in the composite structure due to the bending moment. Oil palm bunch fibers were used as reinforcement in polyester and vinyl ester patented composites. The implications of this research are expected to stimulate the development of more superior composite materials in sustainability and high-tech applications. From the FTIR test results it can be seen that at the highest bending stress, namely the percentage variation of 10% fiber with a value of 40.05 MPa, it has a C=O functional group at a wavelength of 1722.79 cm^{-1} : 81.318 %T and a C-H bond at a wavelength of 2918.71 cm^{-1} : 92.654%T. From the SEM test results, it can be seen that the fracture surface of the composite produces a crack surface that becomes increasingly rough along with the addition of palm oil bunch fiber particles, but at a percentage of palm bunch fiber of 15%, it produces a crack surface that starts to get smaller; This is because the polymer matrix with palm fruit bunch fibers has reached a saturated condition with plastic deformation starting to decrease.

Keywords: *composite, palm oil tandan fiber percentage, polyester, vinyl ester, FTIR, SEM*

ABSTRAK

Material komposit telah muncul sebagai pilihan yang menjanjikan dan superior dibandingkan dengan material konvensional, dengan keunggulan utama berupa massa jenis yang lebih rendah dan ketahanan korosi yang baik. Namun, implementasi efektif material komposit seringkali dihambat oleh tantangan signifikan, terutama dalam hal kekuatan ikatan antara matriks dan serat. Kelemahan ini, pada umumnya, dapat ditelusuri kembali pada komposisi ukuran dan orientasi serat yang belum maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan struktur mikro pada permukaan patahan komposit bermatrik polyester dan vinyl ester yang diperkuat oleh serat tandan kelapa sawit dengan mengidentifikasi dan memahami dampak variasi ukuran dan orientasi serat terhadap jenis patahan yang muncul pada struktur komposit akibat momen lentur. Serat tandan kelapa sawit yang digunakan sebagai penguat dalam komposit bermatrik polyester dan vinyl ester. Implikasi dari penelitian ini diharapkan dapat merangsang perkembangan material komposit yang lebih unggul dalam aplikasi keberlanjutan dan teknologi tinggi. Dari hasil uji FTIR dapat dilihat bahwa pada tegangan lentur tertinggi yaitu persentase variasi serat 10% dengan nilai 40,05 MPa memiliki gugus fungsi C=O pada Panjang gelombang 1722.79 cm^{-1} : 81.318 %T dan ikatan C-H pada panjang gelombang $2918,71 \text{ cm}^{-1}$: 92.654%T. Dari hasil pengujian SEM, dapat dilihat bahwa permukaan patahan komposit menghasilkan permukaan retakan yang semakin kasar seiring dengan penambahan partikel serat tandan kelapa sawit, tetapi pada persentase serat tandan kelapa sawit 15%, menghasilkan permukaan retakan yang mulai mengecil, hal ini disebabkan karena matriks polimer dengan serat tandan kelapa sawit sudah mencapai kondisi jenuhnya dengan deformasi plastis yang mulai berkurang

Kata kunci: komposit, serat tandan kelapa sawit, polyester, vinyl ester, FTIR, SEM

DAFTAR ISI

Hal

COVER

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PENETAPAN TUGAS AKHIR.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRACT.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Komposit.....	5
2.1.1 Komposit Berdasarkan Jenis Matriks.....	6
2.1.2 Komposit Berdasarkan Unsur Penguat	7
2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Material Komposit.....	9
2.2 Komposit Serat Alam	10
2.3 Serat Tandan Kelapa Sawit.....	11
2.4 Polyester	12

2.5	Vinyl Ester	13
2.6	Methyl Methacrylate	14
2.7	Pengujian Lentur	14
2.8	Uji Scanning Electron Microscope (SEM).....	15
2.9	Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Diagram Alur Penelitian	19
3.2	Alat dan Bahan	20
3.3	Material dan Preparasi Sampel Uji.....	21
3.4	Pengujian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Data Hasil Pengujian FTIR	26
4.2	Data Hasil Pengujian SEM.....	28
4.2.1	Variasi (90%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA	28
4.2.2	Variasi (85%) <i>Polyester & Vinyl Ester</i> : (10%) MMA : (5%)Serat Tandan Kelapa Sawit	29
4.2.3	Variasi (80%) <i>Polyester & Vinyl Ester</i> : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit	30
4.2.4	Variasi (75%) <i>Polyester & Vinyl Ester</i> : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit	31
BAB V PENUTUP.....		33
5.1	Kesimpulan.....	33
5.2	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....		34
LAMPIRAN.....		36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi material [9]	5
Gambar 2. 2 Jenis-jenis penguat pada komposit [8].....	6
Gambar 2. 3 Komposit berdasarkan jenis matriks [10].....	6
Gambar 2. 4 Jenis komposit berdasarkan penguat [10].....	7
Gambar 2. 5 Parameter fiber pada komposit	8
Gambar 2. 6 a. Laminate b. Sandwich panels	9
Gambar 2. 7 Material komposit [11]	10
Gambar 2. 8 (a) Tandan kelapa Sawit,(b) Serat Tandan Kelapa Sawit.....	11
Gambar 2. 9 Bagian Scanning Electron Microscope (SEM) [14]	16
Gambar 2. 10 Alat Uji FTIR [15]	17
Gambar 3. 1 SEM Hitachi S-3400.....	20
Gambar 3. 2 Gerinda	21
Gambar 3. 3 Vernier Caliper	21
Gambar 3. 4 Polyester & Vinyl Ester 90% : MMA 10%.....	22
Gambar 3. 5 Polyester & Vinyl Ester 85% : MMA 10% : Serat Tandan Kelapa Sawit 5%.....	22
Gambar 3. 6 Polyester & Vinyl Ester 80% : MMA 10% : Serat Tandan Kelapa Sawit 10%.....	23
Gambar 3. 7 Polyester & Vinyl Ester 75% : MMA 10% : Serat Tandan Kelapa Sawit 15%.....	23
Gambar 4. 1 FTIR Komposit bermatrik Polyester & Vinyl ester, MMA, dan serat tandan kelapa sawit dengan perbandingan fraksi volume yaitu 90:10:0, 85:10:5, 80:10:10 dan 75:10:15	26
Gambar 4. 2 Variasi (90%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA, Perbesaran 50x dan 200x	28
Gambar 4. 3 Variasi (85%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (5%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x.....	29
Gambar 4. 4 Variasi (80%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x.....	30
Gambar 4. 5 Variasi (80%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 500x	31

Gambar 4. 6 Variasi (75%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x.....	31
Gambar 4. 7 Variasi (75%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 500x	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan sifat mekanik beberapa polimer [6]	13
Tabel 2. 2 Hasil pengujian lentur	15
Tabel 2. 3 rangkuman frekuensi spektra IR karakteristik gugus fungsi	18
Tabel 3. 1 Spesifikasi alat uji SEM.....	20
Tabel 3. 2 Variasi serat tandan kelapa sawit	22
Tabel 4. 1 Data perbandingan nilai tegangan lentur dan hasil %T FTIR	27

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, kemajuan teknologi material berlangsung dengan cepat. Berbagai jenis bahan telah menjadi fokus penelitian dan pengembangan untuk mencapai kualitas yang lebih baik. Salah satu inovasi terkini adalah pengembangan material komposit. Komposit menjadi area penelitian yang sangat aktif karena umumnya memiliki sejumlah keunggulan, seperti kemudahan dalam proses pembentukan, ketahanan yang baik terhadap korosi, biaya produksi yang lebih terjangkau, dan umumnya memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan logam[1]. Hal ini menjadikan bahan komposit sebagai alternatif yang mampu bersaing dengan material logam konvensional [2].

Tandan kosong kelapa sawit, seringkali dihasilkan sebagai sisa dari kegiatan industri kelapa sawit. Dari segi fisik, tandan kosong kelapa sawit terdiri dari beragam serat dengan komposisi, yakni selulosa sekitar 45,95%, hemiselulosa sekitar 16,49%, dan lignin sekitar 22,84% [3]. Serat dari kelapa sawit memiliki karakteristik yang kokoh dan kuat. Porositas pada permukaan serat kelapa sawit memiliki diameter rata-rata sekitar 0,07 meter. Struktur permukaan porositas ini dapat menjadi sangat bermanfaat dalam meningkatkan pengikatan mekanik dengan resin matriks saat digunakan dalam produksi komposit [4].

Komposit pada umumnya merupakan perpaduan antara material pengikat (*matrik*) dengan serat yang berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*). Setelah dipadukan, akan membentuk material yang memiliki sifat dengan harga kekuatan, harga kekakuan, serta karakteristik yang terletak diantara karakteristik serat dan matrik yang menjadi penyusunnya. Serat yang akan digunakan merupakan serat alam, karena serat alam memiliki sifat mudah terurai, kekakuan yang tinggi, dan harga yang relatif rendah [5].

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yakni polyester dan vinyl ester. Polyester adalah polimer yang sering digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan material polimer. Sifat mekanik dari polyester dapat dianggap baik, dan dari segi biaya, penggunaan polyester tergolong ekonomis. Kelebihan lainnya adalah penggunaan polyester yang cukup sederhana dan tidak

memerlukan perlakuan tekanan serta temperatur tinggi. Oleh karena itu, penggunaan polyester umum dalam berbagai aplikasi [6]. Vinyl ester adalah jenis polimer termoset yang menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam menghadapi unsur paduan tertentu. Vinyl ester memiliki sifat mekanik dan termal yang unggul jika dibandingkan dengan jenis polimer lainnya. Selain itu, vinyl ester memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal pada unsur paduan tertentu, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan karakteristik mekanik dan termal pada paduan yang mengandung polyester [7].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengujian lentur terhadap komposit bermatrik polyester dan vinyl ester yang diperkuat serat tandan kelapa sawit. Setelah dilakukan pengujian, komposit mengalami berbagai jenis patahan berdasarkan variasi nya masing- masing.

Pada penelitian ini, akan dilakukan uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengamati dan memeriksa patahan komposit tersebut. FTIR dapat memberikan gambaran kualitatif mengenai sekelompok unsur penyusun material serta dapat digunakan untuk menganalisis tentang struktur molekuler, ikatan kimia, dan gugus fungsi dari material komposit , sedangkan SEM memiliki resolusi yang sangat tinggi dan memungkinkan untuk memeriksa mikrostruktur secara mendetail seperti retakan, debuhan, dan pemisahan antara matriks dan serat penguat lalu distribusi serat yang merata atau tidak merata dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanik dan komposit secara keseluruhan. Dengan hasil pengujian FTIR dan SEM ini, dapat diketahui tentang gugus fungsi, ikatan kimia, struktur dan sifat permukaan patahan komposit sehingga dapat memahami bagaimana mekanisme kegagalan yang terlibat dalam momen lentur dan bagaimana variasi serat tandan kelapa sawit mempengaruhi nya agar didapat desain komposit yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana struktur mikro pada masing-masing permukaan patahan komposit bermatrik polyester dan vinyl ester dengan variasi penguat serat tandan kelapa sawit akibat momen lentur.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh persentase serat dalam komposit terhadap struktur mikro dan morfologi pada masing-masing patahan komposit bermatrik polyester dan vinyl ester dengan variasi penguat serat tandan kelapa sawit akibat momen lentur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk menambah referensi tentang pengamatan permukaan patahan komposit bermatrik polyester dan vinyl ester dengan variasi penguat serat tandan kelapa sawit akibat momen lentur.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Polimer yang digunakan adalah *Unsaturated Polyester* Yukalac 1560 BL- EX dan *Vinyl Ester Ripoxy* R-802 produk dari PT. Justus Kimiaraya.
2. Serat alam yang digunakan adalah tandan kelapa sawit (*Elaeisguineensis*).
3. Sampel yang digunakan merupakan sampel hasil pengujian *bending* dengan standar Pengujian SAE J 1528.
4. Perbandingan fraksi volume Polyester & Vinyl ester; MMA, serat tandan kelapa sawit yaitu 90:10:0, 85:10:5, 80:10:10 dan 75:10:15.
5. Pengujian yang dilakukan adalah uji FTIR dan SEM.

1.6 Sistematika Penulisan

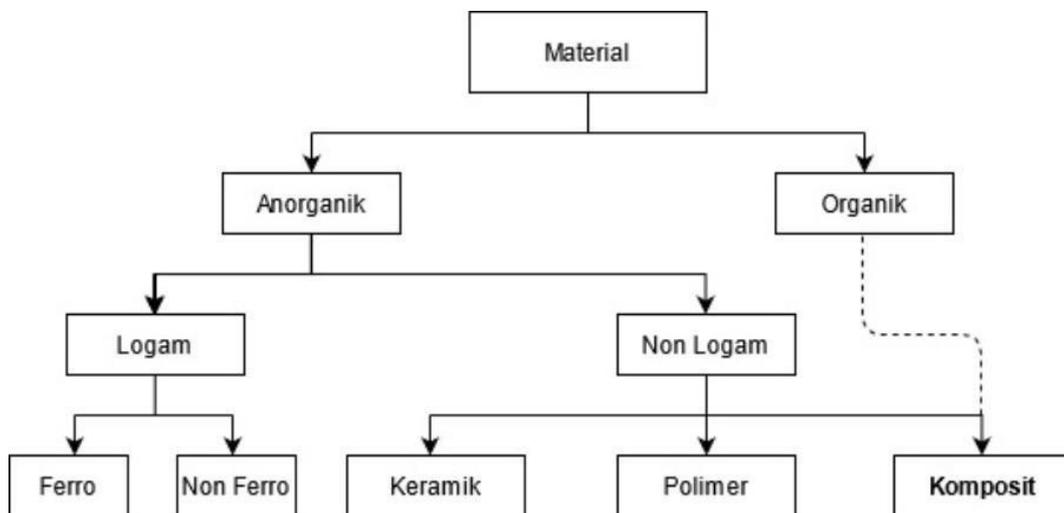
Sistematika pada penulisan laporan penelitian ini adalah pada BAB I menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah serta sistematika penulisan laporan penelitian ini. Pada BAB II berisikan teori dasar yang melandasi penelitian ini. Pada BAB III mengenai tahapan penelitian, peralatan dan bahan, serta prosedur penelitian. Pada BAB IV menjelaskan tentang hasil dan pembahasan terkait dengan penelitian yang dilakukan. Pada BAB V menjelaskan tentang kesimpulan akhir dari penelitian yang

merujuk pada tujuan awal dari penelitian ini dilakukan dan berupa saran untuk melakukan penelitian selanjutnya jika diperlukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang membentuk satu kesatuan dalam skala mikroskopik. Secara mikro, material komposit dapat dinyatakan sebagai material yang *heterogen*. Sedangkan dalam skala makro, material tersebut ditafsir sebagai *homogen* [8]. Untuk klasifikasi material dapat dilihat pada Gambar 2. 1.

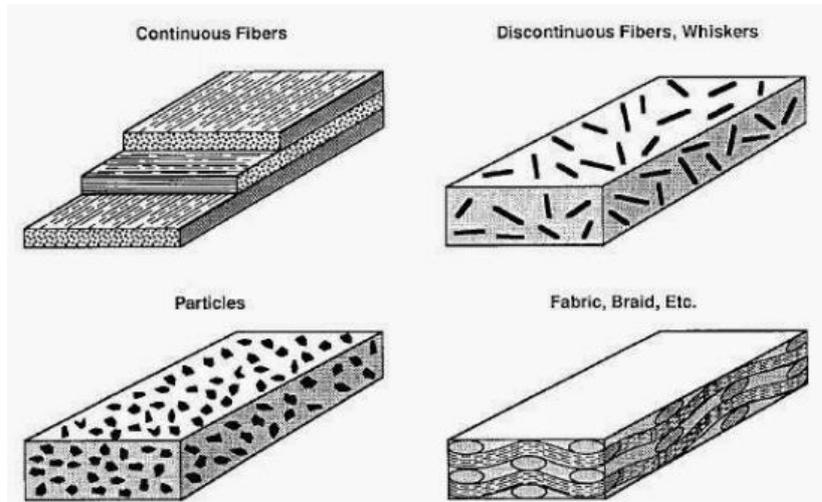


Gambar 2. 1 Klasifikasi material [9]

Berdasarkan penjelasan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa komposit adalah bahan yang di bentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu [9]:

1. *Reinforcement* / penguat mempunyai sifat kurang mudah ditarik (ductile) namun lebih kokoh dan kuat.
2. Matriks, biasanya lebih mudah ditarik (ductile) namun memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

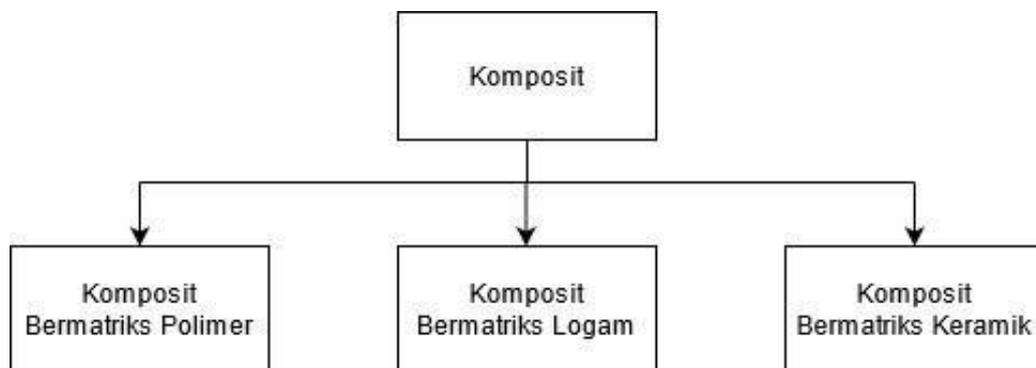
Komposit merupakan gabungan dari *polyester/ vinyl ester* sebagai matriks dengan penguat yang bisa berupa *continous fibers, discontinues fibers, particle*, dan *fabric*. Terdapat beberapa jenis komposit yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Jenis-jenis penguat pada komposit [8]

2.1.1 Komposit Berdasarkan Jenis Matriks

Dengan mengklasifikasikan berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori: komposit dengan matriks polimer, komposit dengan matriks logam, dan komposit dengan matriks keramik.



Gambar 2. 3 Komposit berdasarkan jenis matriks [10]

a) Komposit Bermatriks Polimer (*Polymer Matrix Composite-PMC*)

Komposit yang menggunakan matriks polimer merupakan kombinasi antara resin polimer sebagai matriks dan serat sebagai penguat, seperti kaca, karbon, aramid, dan sebagainya (FRP – Fibre Reinforced Polymers or Plastics). Material-material tersebut banyak digunakan dalam berbagai aplikasi komposit karena proses fabrikasinya yang mudah dan biaya operasional yang terjangkau.

b) Komposit Bermatriks Logam (*Metal Matriks Composite-MMC*)

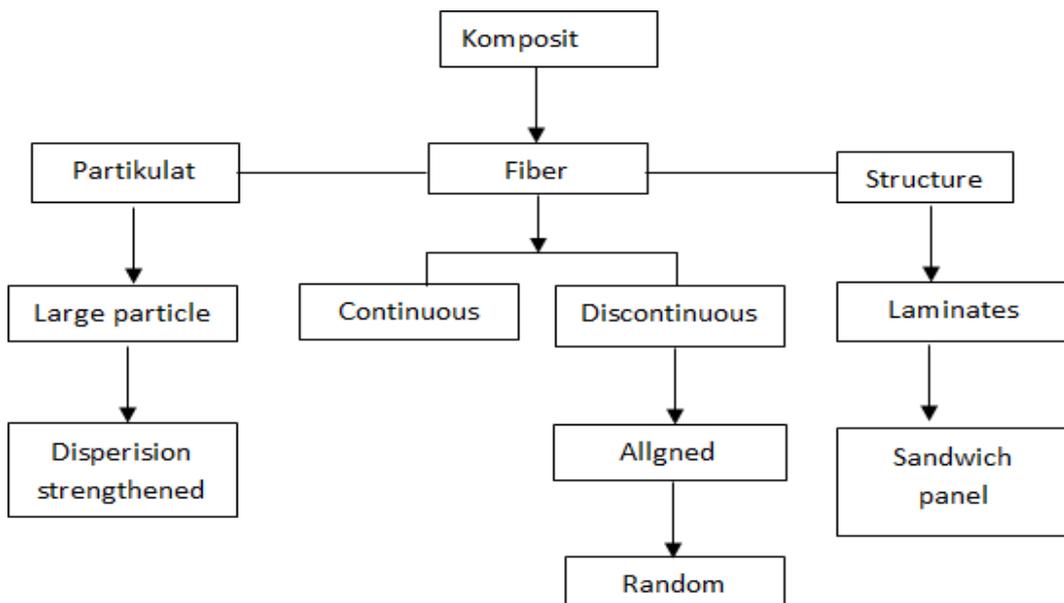
Komposit Bermatriks Logam adalah jenis komposit yang terdiri dari unsur logam. Kelebihan dari komposit ini mencakup kekuatan, ketahanan terhadap pengikisan (aus), ketahanan terhadap deformasi, konduktivitas termal, dan stabilitas dimensi.

c) Komposit Bermatriks Keramik (*Ceramic Matriks Composite-CMC*)

Komposit Bermatriks Keramik merupakan bahan komposit dengan matriks yang terbentuk dari unsur keramik dan diperkuat dengan serat.

2.1.2 Komposit Berdasarkan Unsur Penguat

Berdasarkan unsur penguatnya komposit terbagi atas tiga macam, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Jenis komposit berdasarkan penguat [10]

a) *Particulate Composite*

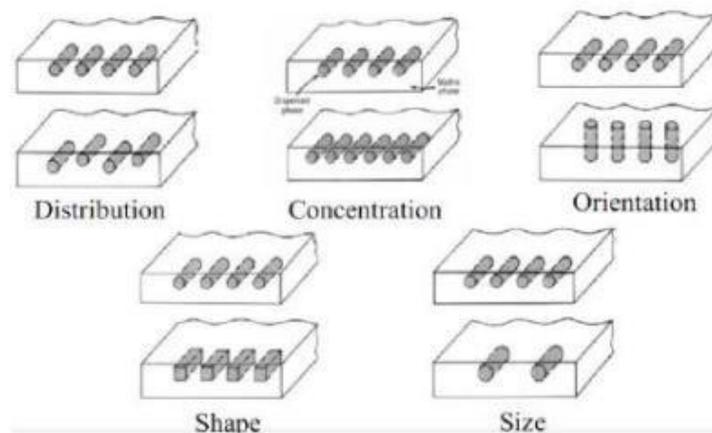
Menggunakan penguat berbentuk partikel. Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel.

b) *Fiber Composite*

Fungsi utama dari serat dalam komposit adalah sebagai penopang kekuatan, sehingga tingkat kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat serat yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tegangan yang diterapkan pada komposit awalnya ditanggung oleh matriks dan kemudian ditransmisikan kepada serat, sehingga serat bertanggung jawab untuk menahan beban hingga mencapai beban maksimum. Oleh karena itu, serat perlu memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks kompositnya. Parameter serat pada komposit ini, yaitu:

1. Konsentrasi
2. Distribusi
3. Ukuran
4. Orientasi
5. Bentuk

Berikut parameter serat pada komposit dapat terlihat seperti pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Parameter fiber pada komposit

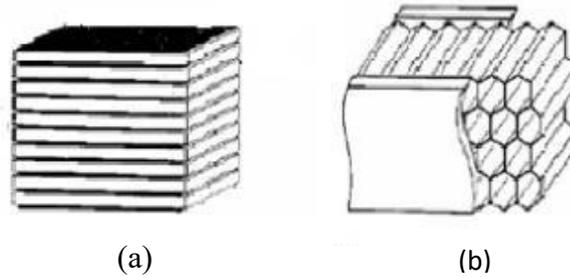
c) *Structural Composite*

Biasanya, komposit jenis ini terbentuk dari material homogen, di mana sifatnya tidak hanya bergantung pada karakteristik material individunya, tetapi juga terkait dengan desain geometris struktur elemen. Biasanya komposit jenis ini terbagi menjadi :

1. *Laminar Composite*

Terdiri dari *two-dimensional sheet* yang memiliki arah *high-strength* seperti yang ditemukan pada kayu. Lapisan ditumpuk lalu kemudian ditempel secara bersamaan sehingga orientasi arah *high-strength* bervariasi.

2. *Sandwich Panels*



Gambar 2. 6 (a). *Laminate* (b). *Sandwich panels*

Pada Gambar 2.6 *sandwich panels* terdiri dari dua lembar bagian luar yang kuat, atau wajah, lalu dipisahkan oleh lapisan bahan yang kurang padat, atau inti, yang memiliki kekakuan yang lebih rendah dan kekuatan yang lebih rendah. Bagian wajah menanggung sebagian besar *in-plane loading*, dan juga *bending stress* yang melintang .

2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Material Komposit

Berikut merupakan beberapa kelebihan dan kekurangan material berbahan komposit dibandingkan dengan bahan konvensional seperti logam, yaitu:

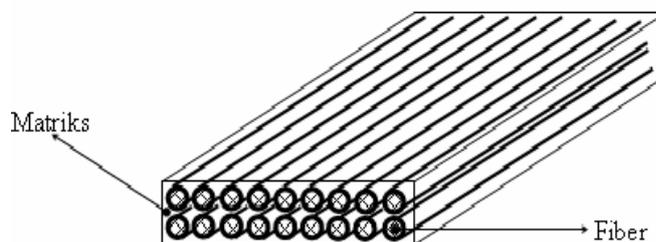
a) Kelebihan

- 1) Dapat menggabungkan dua atau lebih material sehingga dihasilkan material baru dengan sifat mekanik yang diinginkan.
- 2) Memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kelakuan jenis (*modulus young/density*) yang lebih tinggi daripada logam.
- 3) Mampu menjadi isolator panas, suara dan listrik yang baik.
- 4) Perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan.
- 5) Tahan terhadap korosi.

- 6) Harga lebih murah.
 - 7) Mudah diproses (*machineability* tinggi)
- b) Kekurangan
- 1) Tidak tahan terhadap beban kejut (*shock*) dibandingkan dengan logam.
 - 2) Tidak tahan terhadap tabrak (*crash*) dibandingkan dengan logam.

2.2 Komposit Serat Alam

Setelah berbagai serat sintetis yang diproduksi secara kimiawi ditemukan, para peneliti saat ini bersaing untuk beralih dan mengarahkan penelitian ke arah serat alam. Mereka mulai menyelidiki sifat-sifat alami dan melakukan uji mekanis pada serat-serat alam yang ada. Penelitian ini dilakukan sebagai respons terhadap kelemahan-kelemahan yang terkait dengan serat sintetis, seperti harga yang relatif tinggi, ketidakdegradasiannya secara alami, sifat beracun, dan keterbatasan jumlahnya. Oleh karena itu, para peneliti berupaya untuk menyelidiki dan menemukan serat alam sebagai alternatif pengganti serat sintetis yang memiliki sifat yang lebih ramah lingkungan. Dapat diperoleh dengan mudah, dapat mengalami degradasi alami, memiliki harga yang terjangkau, dan tidak bersifat beracun, namun memiliki kekuatan mekanis yang setara atau bahkan lebih baik daripada serat sintetis. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, materi komposit tersebut menggunakan serat alam sebagai bahan fibernya [11].



Gambar 2.7 Material komposit [11]

2.3 Serat Tandan Kelapa Sawit

Berdasarkan analisis neraca massa bahan, ketika setiap tandan buah segar (TBS) kelapa sawit diolah di pabrik pengolahan, selain menghasilkan minyak kelapa sawit, juga akan menghasilkan sekitar 25–26% tandan kosong kelapa sawit. Secara fisik, tandan kosong kelapa sawit terbentuk oleh serat-serat tebal berwarna coklat yang sengaja dipisahkan setelah proses perebusan buah dalam rotary drum thresher di pabrik pengolahan kelapa sawit. TKS memiliki bentuk yang tidak teratur dengan berat sekitar 3,5 kg, panjang berkisar antara 170-300 mm, lebar 250-350 mm, dan ketebalan sekitar 130 mm . Namun, berdasarkan hasil perhitungan dari 200 sampel TKS yang dilakukan di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), rata-rata berat TKS ditemukan sebesar 5,1 kg, panjang tandan 44,8 cm, lebar 35 cm, dan ketebalan 19,4 cm. Contoh tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2.8.



(a)

(b)

Gambar 2. 8 (a) Tandan kelapa Sawit,(b) Serat Tandan Kelapa Sawit

Penelitian ini memanfaatkan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai pengisi komposit, sebagaimana terlihat pada Gambar. Tandan kosong kelapa sawit merupakan produk sampingan berbentuk padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Dari segi fisik, tandan kosong kelapa sawit terdiri dari berbagai jenis serat dengan komposisi yang meliputi selulosa sekitar 45.95%, hemiselulosa sekitar 16.49%, dan lignin sekitar 22.84%.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, potensi tandan kosong kelapa sawit sebagai serat alam dieksplorasi untuk penggunaannya dalam produk yang tidak hanya menjadi hasil cacahan, melainkan juga dapat berfungsi sebagai bahan penguat dalam komposit.

2.4 Polyester

Polyester merupakan polimer sintetis yang digunakan pada penelitian ini. Dalam dunia industri, jenis polimer yang umum digunakan seperti *polyvinyl alcohol*, *epoxy resin*, *polyester*, *vinyl ester*, dan *phenolic resin*. Penggunaan jenis polimer disesuaikan dengan output dari produk dan sifat mekanik yang diinginkan nantinya.

Polyester merupakan polimer yang umum digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan material polimer. *Polyester* memiliki sifat mekanik yang tergolong baik dan tergolong tidak mahal jika ditinjau dari *reasonable costs*. Penggunaan *polyester* yang sederhana dan tidak membutuhkan perlakuan tekanan serta temperatur yang tinggi juga menjadi alasan *polyester* menjadi salah satu jenis polimer yang umum digunakan.

Polyester merupakan zat yang berwarna bening, sedikit berbau, dan memiliki viskositas yang tinggi. Penurunan viskositas atau pengenceran *polyester* ini dibutuhkan zat pengencer. Penurunan viskositas ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat kelarutan dari *polyester* sehingga menghasilkan ikatan yang kuat terhadap unsur paduannya. Contoh zat pengencer yang umum digunakan pada polimer adalah aseton dan *styrene monomer* [6].

Jenis *polyester* yang digunakan di sini adalah *unsaturated polyester* dengan produk Yukalac 1560 BL-EX. *Unsaturated polyester* atau sering disebut dengan *polyester* saja merupakan jenis resin bening yang umum digunakan dalam pembuatan polimer *thermosetting*. Sifat mekanik dari *unsaturated polyester* yang terbilang baik dan harga yang relatif murah menjadi pertimbangan dalam pemilihan resin yang digunakan [6].

Polyester didapatkan dari suatu asam basa bereaksi secara kondensasi dengan alkohol dihidrat. *Unsaturated polyester* terbentuk dari asam yang menyebabkan terjadinya ikatan tak jenuh dalam rantai utama suatu polimer. *Unsaturated polyester* memiliki ikatan ganda antara karbon dengan karbon pada rantai utamanya. Pada penggunaan *unsaturated polyester*, digunakan *catalyst* sebanyak 4% yang berfungsi sebagai *hardener* dan mempercepat reaksi antar ikatannya [6].

2.5 Vinyl Ester

Vinyl ester merupakan polimer *thermosetting* yang memiliki kinerja yang tinggi terhadap suatu unsur paduan. *Vinyl ester* memiliki sifat mekanik dan sifat termal yang lebih baik jika dibandingkan dengan polimer lainnya. Selain itu, *vinyl ester* memiliki potensi yang baik untuk dapat meningkatkan sifat mekanik dan termal pada suatu unsur paduan, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal pada paduan *polyester*. Pada dasarnya *vinyl ester* merupakan paduan dari *polyester* dan resin *epoxy*. Secara umum, *vinyl ester* dapat dikatakan sebagai jenis resin yang memiliki kombinasi sifat kimia, sifat mekanik, dan sifat termal yang lebih baik dibandingkan resin *epoxy* dengan kemurnian yang lebih bagus dari resin *polyester* [7]. Perbandingan sifat mekanik dari beberapa polimer dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan sifat mekanik beberapa polimer [6]

<i>Properties</i>	<i>Epoxyresin</i>	<i>Polyester resin</i>	<i>Vinyl ester resin</i>	<i>Phenolic resin</i>
<i>Density (g/cm³)</i>	1,1-1,4	1,2-1,5	1,2-1,4	1,3
<i>Tensile strength (MPa)</i>	35-100	40-90	69-83	10
<i>Young's modulus (GPa)</i>	3-6	2-4,5	3,1-3,8	0,375
<i>Elongation at break(%)</i>	1-6	2	4-7	2
<i>Compressive strength (MPa)</i>	100-200	90-250	86	49
<i>Cure shrinkage (%)</i>	1-2	4-8	7,14	0,002

<i>Water absorption(wt.%)</i>	0,1-0,4	0,1-0,3	0,2	0,11-1,39
-------------------------------	---------	---------	-----	-----------

2.6 Methyl Methacrylate

Methyl methacrylate atau sering disebut dengan MMA merupakan bahan polimer yang memiliki sifat *biocompatible*, dimana menjadikan MMA sebagai bahan penelitian dalam studi literatur material biomed. Molekul MMA yang tergabung dalam rantai ikatan mengarah pada jarak antar ikatan pada ikatan polyester, sehingga kekakuan dari struktur jaringan polyester berkurang [12]. MMA bisa meningkatkan gugus fungsi OH dan CH sehingga memungkinkan *vinylester* untuk tersebar di seluruh *polyester* secara homogen [6].

Keuntungan penambahan MMA terhadap suatu paduan adalah menghasilkan material yang bersifat *non-toxicity*, biaya yang relatif lebih rendah, kemudahan dalam proses, kompatibilitas, dan dapat digunakan untuk pengolahan material yang memiliki resistansi *fracture* yang besar [7]. Penambahan MMA di sini diharapkan bisa membuat struktur jaringan dari polyester menjadi homogen. Pada penelitian sebelumnya, didapatkan peningkatan harga impak pada penambahan 10% MMA [1]. Oleh karena itu, penggunaan MMA yang digunakan adalah 10% MMA.

2.7 Pengujian Lentur

Uji bending, yang juga dikenal sebagai uji lentur, merupakan metode pengujian yang dapat mengungkapkan kualitas suatu material dengan memberikan informasi tentang kekuatan lenturnya. Selain itu, uji bending juga memberikan wawasan tentang modulus elastisitas material. Modulus elastisitas (E) mencerminkan tingkat kekakuan suatu material di dalam daerah elastis, dan merujuk pada perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah elastis tersebut. Material yang bersifat lentur, atau tidak kaku, dapat mengalami regangan ketika diberi tegangan atau beban tertentu. Kekakuan sendiri menunjukkan ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Adalah penting untuk memastikan bahwa tegangan atau beban yang diterapkan pada spesimen uji berada di bawah nilai beban maksimum agar spesimen tidak mengalami deformasi plastis.

Uji lentur, atau uji bending, merupakan salah satu metode pengujian yang memungkinkan penilaian mutu suatu material secara visual. Saat material diberi beban di dalam daerah elastis, regangan akan muncul pada penampang melintang sebagai akibat dari momen lentur yang bekerja [13]. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian lentur terhadap balok komposit dengan matriks *polyester* dan *vinyl ester* dengan variasi *reinforcement* serat tandan kelapa sawit. Dari pengujian lentur tersebut, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Hasil pengujian lentur[14]

No.	Komposisi	Spesimen	Beban (kg)	σ_b (N/mm ²)	Standar Deviasi	
1	<i>Polyester & Vinyl Ester</i> : MMA (90% : 10%)	1	14	30,58	30,21	1,66
		2	14,5	31,67		
		3	13	28,4		
2	<i>Polyester & Vinyl Ester</i> : MMA : Serat Tandan Kelapa Sawit (85% : 10% : 5%)	1	17,5	38,23	36,77	1,67
		2	16	34,95		
		3	17	37,14		
3	<i>Polyester & Vinyl Ester</i> : MMA : Serat Tandan Kelapa Sawit (80% : 10% : 10%)	1	18	39,32	40,05	1,26
		2	19	41,51		
		3	18	39,32		
4	<i>Polyester & Vinyl Ester</i> : MMA : Serat Tandan Kelapa Sawit (75% : 10% : 15%)	1	9	19,66	21,84	2,18
		2	10	21,84		
		3	11	24,03		

2.8 Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM atau mikroskop elektron, digunakan untuk observasi morfologi permukaan objek serta pengamatan ukuran partikel secara langsung. SEM memiliki kemampuan perbesaran hingga 10-3.000.000 kali, depth of field sekitar 4–0.4 mm, dan resolusi mencapai 1–10 nm. Kombinasi perbesaran yang tinggi, depth of field yang luas, dan resolusi yang baik membuat SEM menjadi alat yang sangat berguna dalam penelitian, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9.

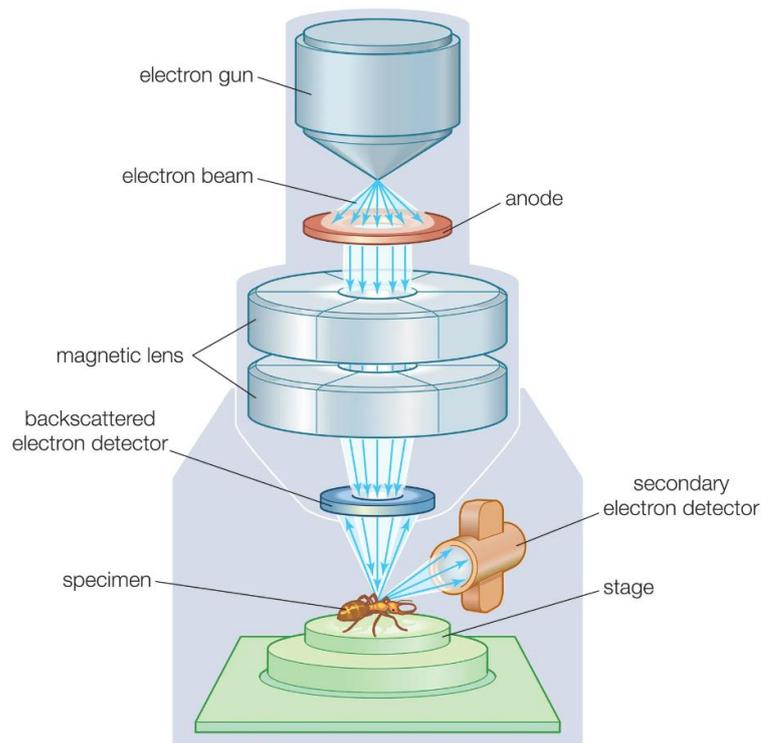
Fungsi utama SEM melibatkan pengungkapan informasi berbagai aspek, antara lain:

- a) Topografi: mengidentifikasi ciri-ciri permukaan dan tekstur objek.

- b) Morfologi: memahami bentuk dan ukuran partikel penyusun objek.
- c) Komposisi: memberikan data kuantitatif mengenai unsur dan senyawa yang terdapat pada objek.
- d) Informasi kristalografi: menyediakan informasi tentang susunan butir-butir pada objek pengamatan.

Peralatan utama pada SEM mencakup:

- a) Piston elektron: filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepaskan elektron, seperti tungsten.
- b) Lensa untuk elektron: lensa magnetis digunakan karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
- c) Sistem vakum: berfungsi untuk menghindari keberadaan molekul udara yang dapat mengakibatkan penyebaran elektron.



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Gambar 2. 9 Bagian Scanning Electron Microscope (SEM) [15]

Prinsip kerja dari SEM pada Gambar 2.9 ditunjukkan dalam langkah – langkah berikut :

- a) Electron gun dapat menghasilkan electron beam dari filamen. Lilitan yang menerima tegangan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda akan

membentuk gaya yang dapat menarik elektron.

- b) Lensa kondensor atau lensa magnetik akan memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
- c) Sinar elektron yang terfokus akan memindai keseluruhan sampel oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, terjadilah hamburan elektron, baik secondary electron (SE) atau back scattered electron (BSE) dari permukaan sampel yang dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor cathode-ray tube CRT.

2.9 Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Uji FTIR atau fourier transform infrared spectroscopy dapat digunakan untuk memberikan gambaran secara kualitatif dengan menganalisis senyawa berdasarkan identifikasi gugus fungsinya dan juga mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada sampel uji. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Gambar mesin uji FTIR dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2. 10 Alat Uji FTIR [16]

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara materi dan energi. Ketika FTIR digunakan, inframerah akan melewati celah ke sampel. Celah ini berfungsi sebagai pengontrol jumlah energi yang akan diberikan kepada sampel. Sampel kemudian menyerap beberapa inframerah yang masuk, sedangkan inframerah lain yang tidak terserap akan dipindah melalui permukaan sampel. Tujuannya agar sinar inframerah tersebut bisa lolos hingga ke detektor. Sinyal yang terukur lalu dikirim ke komputer untuk kemudian direkam. Agar dapat mengidentifikasi ikatan kimia yang terdapat

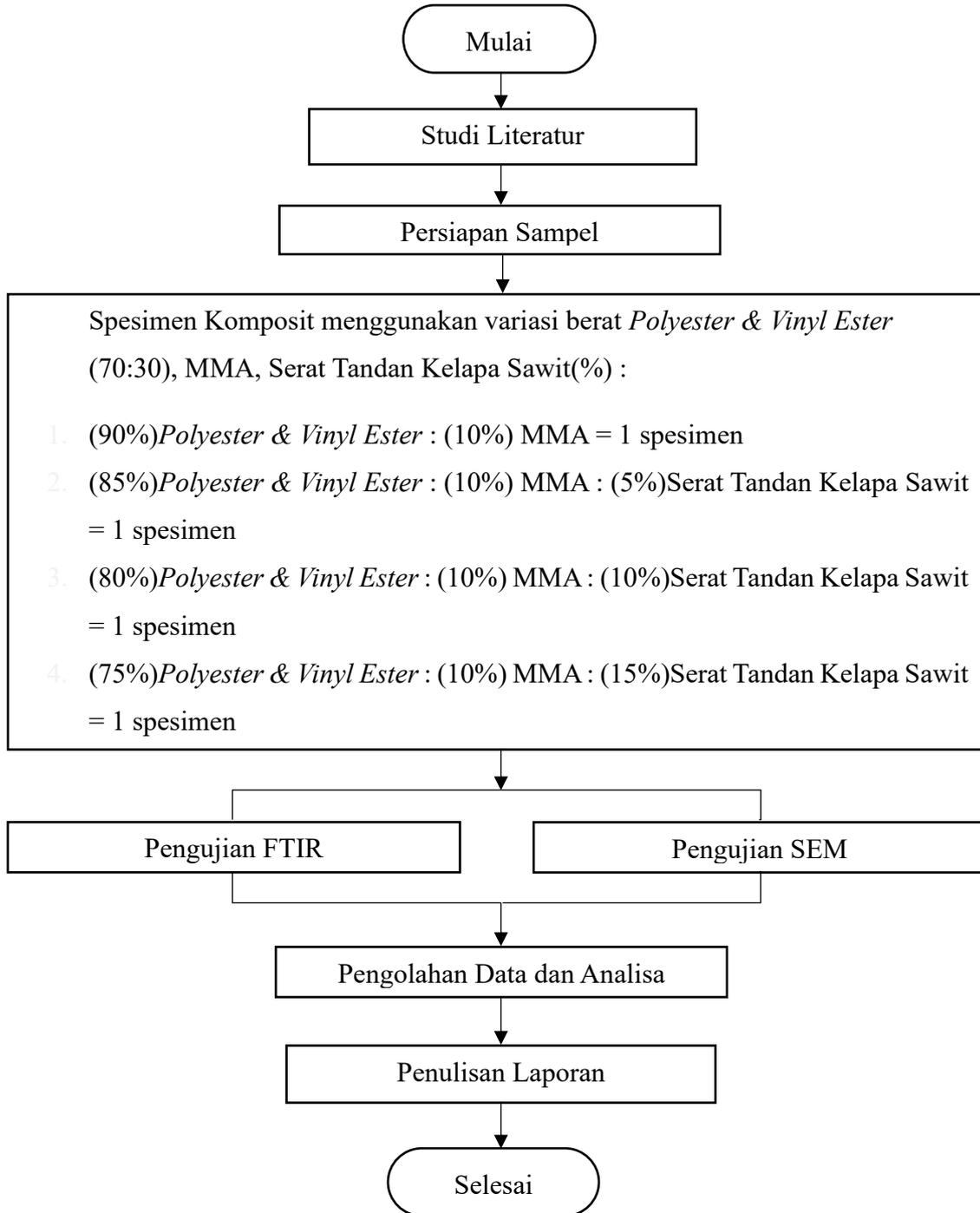
pada masing-masing gugus fungsi puncak kurva FTIR, dapat dilihat pada rangkuman frekuensi spektra IR karakteristik gugus fungsi tabel 2.3

Tabel 2. 3 Rangkuman frekuensi spektra IR karakteristik gugus fungsi

Bond	Type of Compound	Frequency Range, cm^{-1}	Intensity
C—H	Alkanes	2850–2970	Strong
		1340–1470	Strong
C—H	Alkenes (>C=C<H)	3010–3095	Medium
		675–995	Strong
C—H	Alkynes ($\text{—C}\equiv\text{C—H}$)	3300	Strong
C—H	Aromatic rings	3010–3100	Medium
		690–900	Strong
O—H	Monomeric alcohols, phenols	3590–3650	Variable
	Hydrogen-bonded alcohols, phenols	3200–3600	Variable, sometimes broad
	Monomeric carboxylic acids	3500–3650	Medium
	Hydrogen-bonded carboxylic acids	2500–2700	Broad
N—H	Amines, amides	3300–3500	Medium
C=C	Alkenes	1610–1680	Variable
C=C	Aromatic rings	1500–1600	Variable
C≡C	Alkynes	2100–2260	Variable
C—N	Amines, amides	1180–1360	Strong
C≡N	Nitriles	2210–2280	Strong
C—O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	1050–1300	Strong
C=O	Aldchyles, ketones, carboxylic acids, esters	1690–1760	Strong
NO ₂	Nitro compounds	1500–1570	Strong
		1300–1370	Strong

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian



3.2 Peralatan dan Bahan

Pada bagian ini dijelaskan mengenai peralatan dan bahan yang digunakan selama proses penelitian berlangsung.

a. *Scaning Electron Mycroscopy* (SEM)

Scaning Electron Mycroscopy (SEM) digunakan untuk mengetahui struktur permukaan patahan pada material komposit bermatrik polyester dan vinyl ester dengan variasi penguat serat tandan kelapa sawit akibat momen lentur yang digunakan pada pengujian ini



Gambar 3. 1 SEM Hitachi S-3400

. Berdasarkan alat uji SEM pada Gambar 3.1 yang digunakan pada penelitian ini, memiliki spesifikasi yang terlampir pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Spesifikasi alat uji SEM

Spesifikasi <i>Scaning Electron Mycroscopy</i> (SEM)	
Model	S-3400N
Perbesaran	300.000X

b. Gerinda

Gerinda digunakan untuk memotong spesimen uji agar didapat ukuran sesuai dengan yang diperlukan pada pengujian ini.



Gambar 3. 2 Gerinda

c. *Vernier Caliper* (Jangka Sorong)

Vernier caliper (Jangka sorong) digunakan untuk mengukur spesimen uji agar sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan pada pengujian ini.



Gambar 3. 3 *Vernier Caliper*

3.3 Material dan Preparasi Sampel Uji

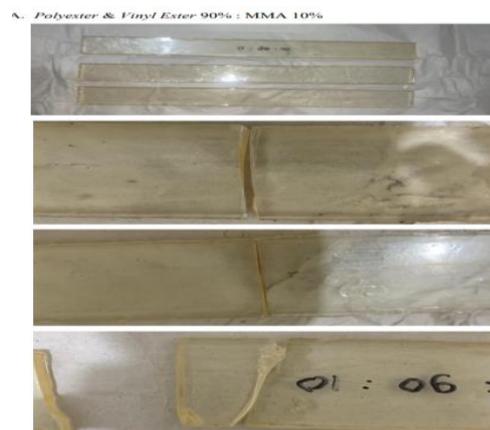
a. Material

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah material patahan komposit bermatrik polyester dan vinyl ester dengan variasi penguat serat tandan kelapa sawit akibat momen lentur dengan jumlah sampel 4 (empat) buah spesimen dengan perbandingan berat fraksi volume serat :

Tabel 3. 2 Variasi serat tandan kelapa sawit

No.	Serat tandan kelapa sawit	Polyester:Vinyl ester (70:30)	Methyl Methacrylate	Sampel
1	0%	90%	10%	1
2	5%	85%	10%	1
3	10%	80%	10%	1
4	15%	75%	10%	1

Berikut merupakan material yang akan digunakan dalam pengujian ini :



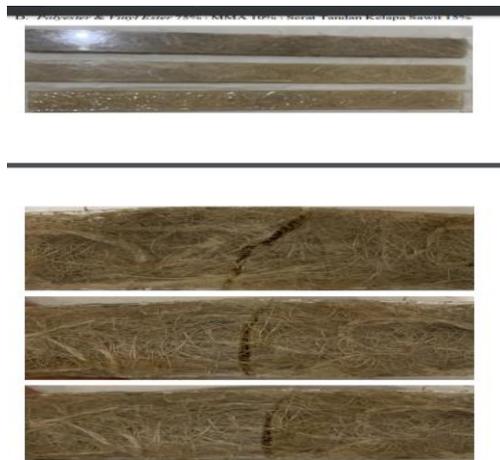
Gambar 3. 4 Polyester & Vinyl Ester (90%) , MMA (10%)



Gambar 3. 5 Polyester & Vinyl Ester (85%) , MMA (10%) , Serat Tandan Kelapa Sawit (5%)



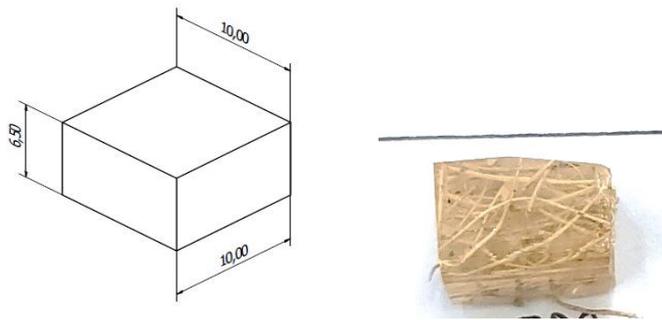
Gambar 3. 6 *Polyester & Vinyl Ester* (80%) , MMA (10%) , Serat Tandan Kelapa Sawit (10%)



Gambar 3. 7 *Polyester & Vinyl Ester* (75%) , MMA (10%) , Serat Tandan Kelapa Sawit (15%)

b. Preparasi Sampel Uji

Material yang akan diuji SEM merupakan material patahan yang di dapatkan dari hasil uji bending penelitian sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji FTIR dan alat uji SEM Hitachi S-3400. Dimensi material uji disesuaikan dengan alat yang di gunakan pada pengujian ini. Ukuran dimensi yang disesuaikan pada sampel uji seperti terlihat pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Dimensi preparasi sampel uji

3.4 Pengujian

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian menggunakan SEM (scanning electron microscopy), metode pengujian ini dapat memberikan gambaran langsung tentang struktur permukaan objek padat. Dalam penelitian ini, pengujian SEM dilakukan untuk mengidentifikasi struktur permukaan patahan pada material komposit dengan matriks polyester dan vinyl ester yang diperkuat dengan variasi serat tandan kelapa sawit akibat momen lentur. Patahan yang diuji merupakan hasil dari pengujian material komposit sebelum dilakukan pengujian SEM ini. Berikut merupakan prinsip kerja SEM :

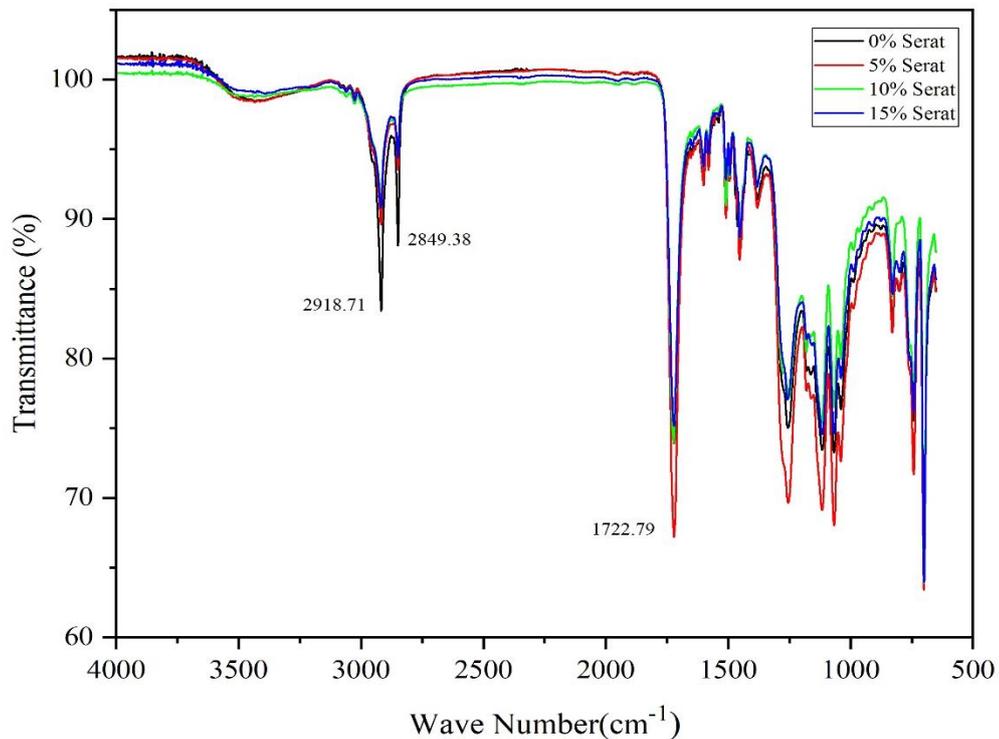
- a. Dimulai dengan pembentukan electron beam oleh suatu filamen pada electron gun. Umumnya, electron gun yang digunakan adalah tungsten hairpin gun, di mana filamen berbentuk lilitan tungsten yang berperan sebagai katoda.
- b. Tegangan diterapkan pada lilitan, menyebabkan pemanasan. Anoda kemudian menciptakan gaya yang menarik elektron untuk bergerak menuju ke anoda.
- c. Selanjutnya, electron beam difokuskan ke titik tertentu pada permukaan sampel menggunakan dua lensa kondensor. Lensa kondensor kedua, atau yang biasa disebut lensa objektif, memusatkan beam dengan diameter sangat kecil, kira-kira 10-20 nm. Hamburan elektron, baik Secondary Electron (SE) maupun Back Scattered Electron (BSE), dari permukaan sampel dideteksi oleh suatu detektor dan direpresentasikan dalam bentuk gambar di layar CRT.

Melalui pengujian ini, diharapkan dapat meningkatkan akurasi data hasil pengujian yang akan dilakukan selanjutnya. Dalam penelitian ini, rentang perbesaran yang digunakan berkisar antara 0 hingga 1000x. Dengan perluasan ini, diharapkan mampu mengidentifikasi titik patahan yang relevan dan menjadi dukungan penting dalam konteks penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian FTIR

Setelah dilakukan pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) di Lab. Penelitian Fakultas Farmasi Universitas Andalas pada tanggal 26 Maret 2024, diperoleh grafik yang dihasilkan oleh pola kurva FTIR komposit bermatrik Polyester & Vinyl ester, MMA, dan serat tandan kelapa sawit dengan perbandingan fraksi volume yaitu 90:10:0, 85:10:5, 80:10:10 dan 75:10:15. Hasil yang didapatkan akan ditunjukkan pada gambar dan tabel di bawah ini.



Gambar 4. 1 FTIR Komposit bermatrik Polyester & Vinyl ester, MMA, dan serat tandan kelapa sawit dengan perbandingan fraksi volume yaitu 90:10:0, 85:10:5, 80:10:10 dan 75:10:15

Pada Gambar 4.1 didapat grafik yang dihasilkan oleh pola kurva FTIR yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah tingkat homogenitas campuran serat tandan kelapa sawit yang dihancurkan pada komposit bermatrik Polyester & Vinyl

ester dapat tercampur dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran puncak transmitansi gelombang infra merah dari puncaknya. Gugus fungsi masing-masing sampel dapat diamati pada grafik FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Peningkatan tegangan lentur pada komposit dengan penguat serat tandan kelapa sawit dapat dianalisis pada pengujian FTIR menggunakan spektrofotometer ultraviolet untuk melihat gugus fungsi tertentu pada senyawa organik. Hal ini dapat memberikan gambaran kualitatif mengenai sekelompok unsur penyusun material seperti pada tugas akhir ini yaitu komposit bermatrik Polyester & Vinyl ester dengan serat tandan kelapa sawit sebagai penguat. Pada Gambar 4.1 didapat data penelitian yang ditunjukkan keempat gambar grafik di atas mempunyai bentuk dan pola yang serupa, seperti yang terlihat hasil grafik uji FTIR pada panjang gelombang spesimen Variasi (80%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit terdapat lembah yang menunjukkan adanya ikatan C-H pada panjang gelombang $2918,71 \text{ cm}^{-1}$: 92.654%T. dan C=O pada Panjang gelombang 1722.79 cm^{-1} : 81.318 %T. Hal ini yang menunjukkan penyebab tingginya kekuatan komposit pada variasi persentase serat tersebut. Perbandingan nilai tegangan lentur yang didapat pada penelitiannya sebelumnya dengan %T Panjang gelombang spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data perbandingan nilai tegangan lentur dan hasil %T FTIR

Variasi Serat (%)	Tegangan Lentur σ_b (N/mm ²)	%T, Gugus Fungsi C=O	%T, Gugus Fungsi C-H
0	30,21	73,92	83,41
5	36,77	72,60	90,01
10	40,05	81,31	92,65
15	21,84	78,79	91,99

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan lentur tertinggi diperoleh pada persentase variasi serat 10% dengan nilai 40,05 MPa untuk gugus fungsi C=O pada Panjang gelombang 1722.79 cm^{-1} : 81.318 %T dan ikatan C-H pada panjang gelombang $2918,71 \text{ cm}^{-1}$: 92.654%T. Hal ini sekaligus menunjukkan

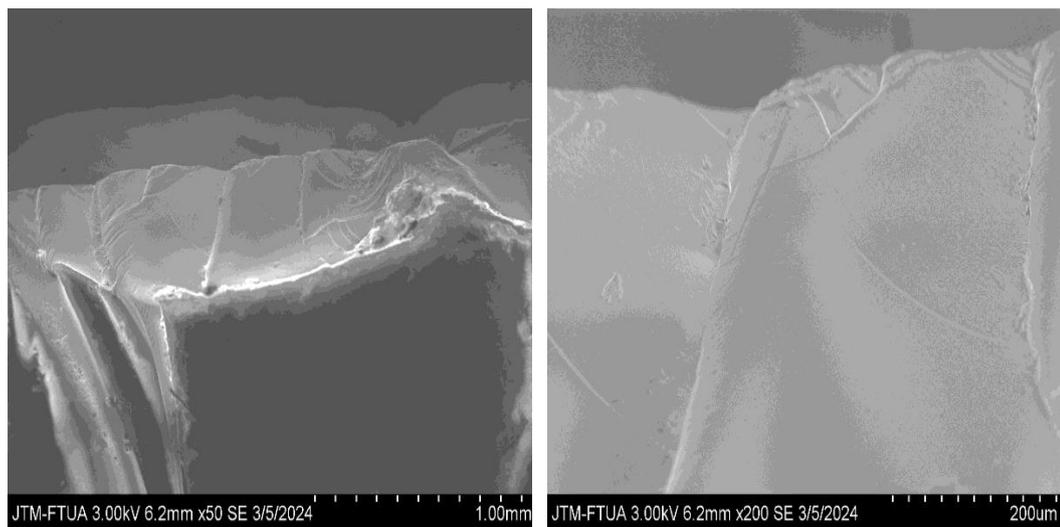
interaksi matriks polyester & vinyl ester dengan fiber atau serat sudah mencapai kondisi jenuhnya.

4.2 Data Hasil Pengujian SEM

Setelah dilakukan pengujian SEM di Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas pada tanggal 5 Maret 2024, dapat dilihat bagaimana struktur mikro komposit yang mengalami patahan akibat momen lentur tersebut dari perbesaran 50x, 200x, dan 500x pada patahan komposit bermatrik Polyester & Vinyl ester, MMA, dan serat tandan kelapa sawit dengan perbandingan fraksi volume yaitu 90:10:0, 85:10:5, 80:10:10 dan 75:10:15.

4.2.1 Variasi (90%) Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA

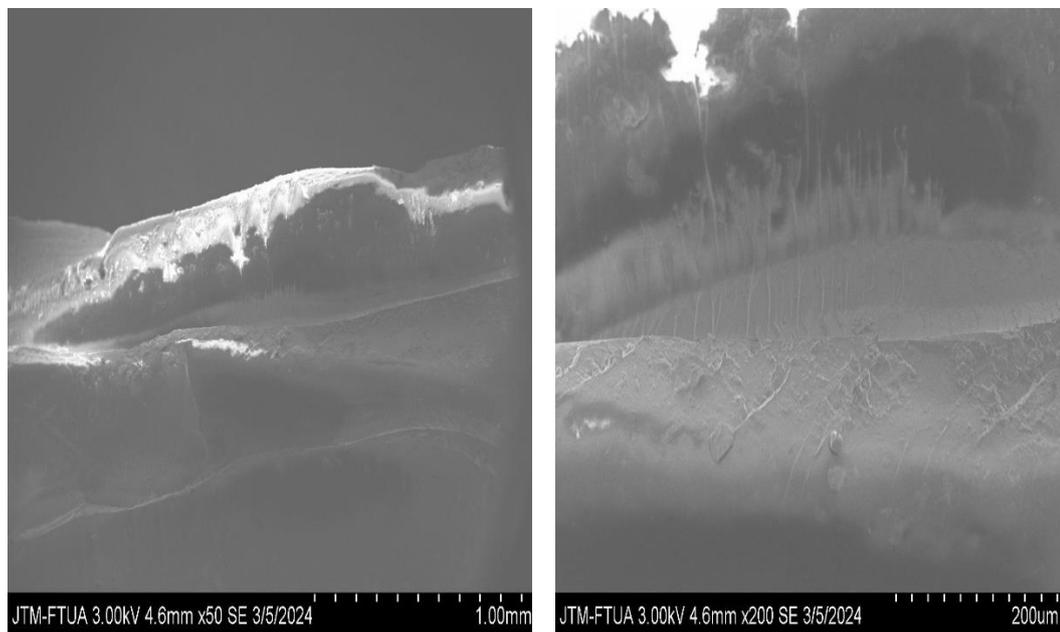
Pada Gambar 4.2 hasil uji SEM variasi (90%) Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA, Perbesaran 50x dan 200x, Patahan yang terjadi merupakan patahan getas. dapat dilihat bahwa permukaan polyester & Vinyl Ester tanpa adanya partikel serat tandan kelapa sawit yang tercampur kedalamnya tampak halus. Pada permukaan ini, polimer masih rapuh dengan deformasi plastis yang rendah seperti yang ditunjukkan pada gambar. Kemunculan permukaan patahan halus ini disebabkan putusya jaringan rantai kaku berikatan silang di depan permukaan patahan sehingga menyebabkan permukaan patahan tegak lurus terhadap arah beban sehingga menimbulkan keretakan.



Gambar 4. 2 Variasi (90%) Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA, Perbesaran 50x dan 200x

4.2.2 Variasi (85%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (5%)Serat Tandan Kelapa Sawit

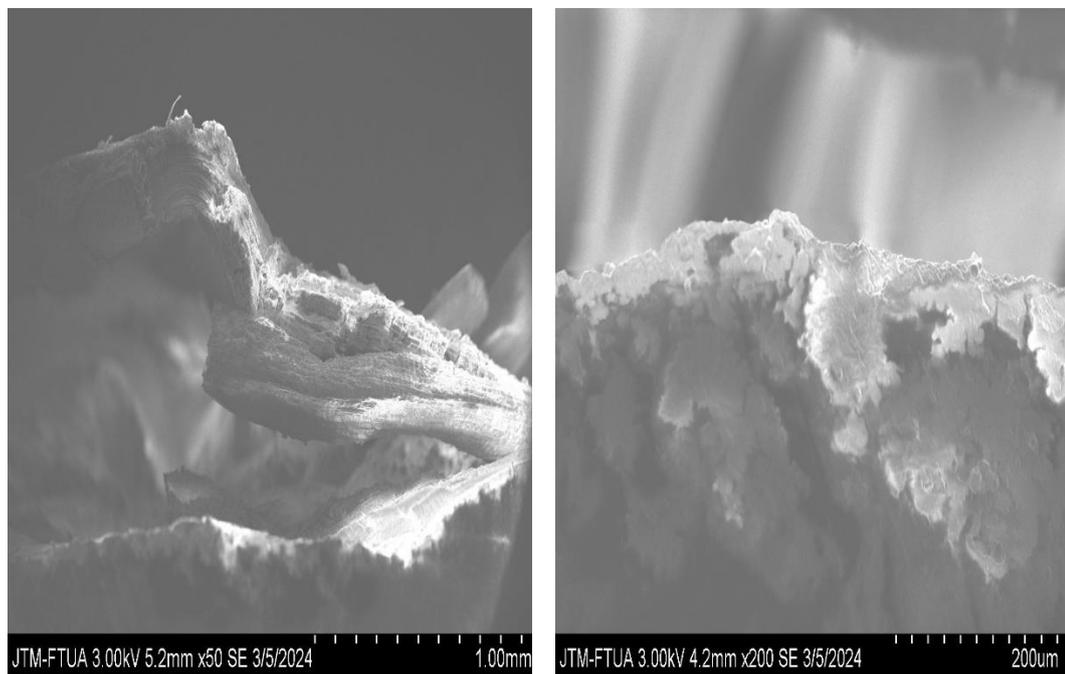
Pada Gambar 4.3 hasil uji SEM Variasi (85%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (5%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x, dapat dilihat bahwa Penambahan partikel serat tandan kelapa sawit 5% pada komposit polimer menghasilkan permukaan retakan yang mulai sedikit lebih kasar karena serat tandan kelapa sawit mulai menghambat pergerakan molekul polyester & vinyl ester, sehingga mulai terbentuk deformasi plastis pada campuran, seperti terlihat pada Gambar 4.3. menunjukkan bahwa polyester & vinyl ester yang dicampur dengan 5% partikel serat tandan kelapa sawit mulai mengalami deformasi plastis yang lebih baik dibandingkan polimer murni karena bahan ini sudah mulai mampu menahan momen lentur yang dibuktikan dengan bentuk permukaannya yang mulai kasar akibat benturan. Interaksi serat yang sebagian terikat dengan matriks. Retakan yang tumbuh merambat dan terus membelah struktur polimer bersama dengan ikatan atom terlemah.



Gambar 4.3 Variasi (85%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (5%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x

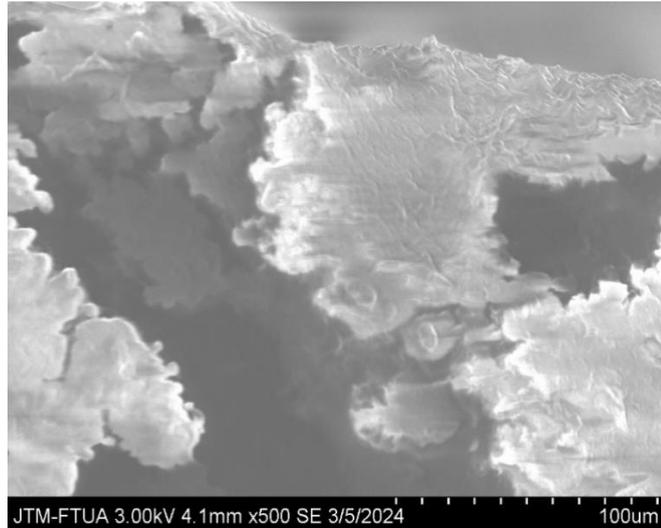
4.2.3 Variasi (80%)*Polyester & Vinyl Ester* : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit

Pada Gambar 4.4 hasil uji SEM Variasi (80%)*Polyester & Vinyl Ester* : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x, dapat dilihat bahwa Penambahan partikel serat tandan kelapa sawit 10% pada komposit polimer menghasilkan permukaan retakan yang lebih kasar akibat besarnya deformasi plastis campuran yang mana variasi ini juga memiliki harga tegangan lentur tertinggi.



Gambar 4. 4 Variasi (80%)*Polyester & Vinyl Ester* : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x

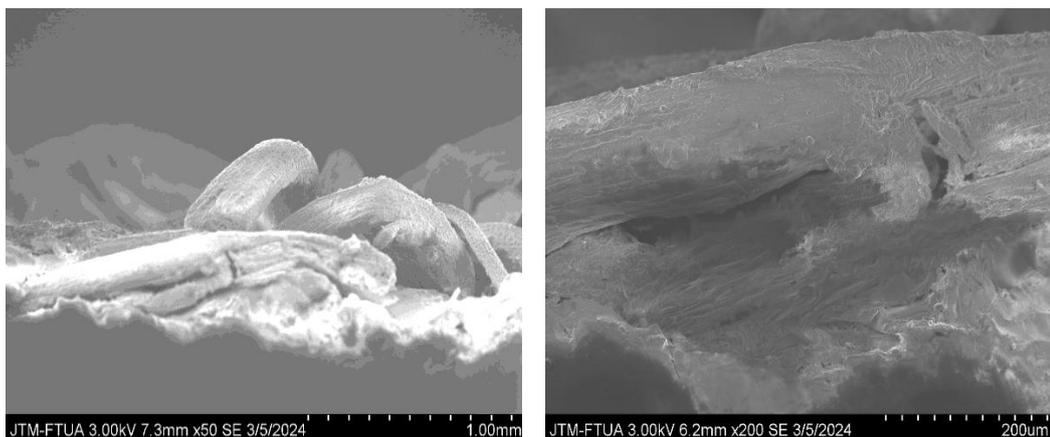
Polyester & vinyl ester yang dicampur dengan 10% partikel serat tandan kelapa sawit mengalami deformasi yang sangat besar karena bahan ini mampu menahan retak dengan ketahanan retak yang baik, terbukti dengan bentuk permukaan yang dapat ditahan oleh serat yang berikatan baik dengan matriks seperti terlihat pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Variasi (80%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (10%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 500x

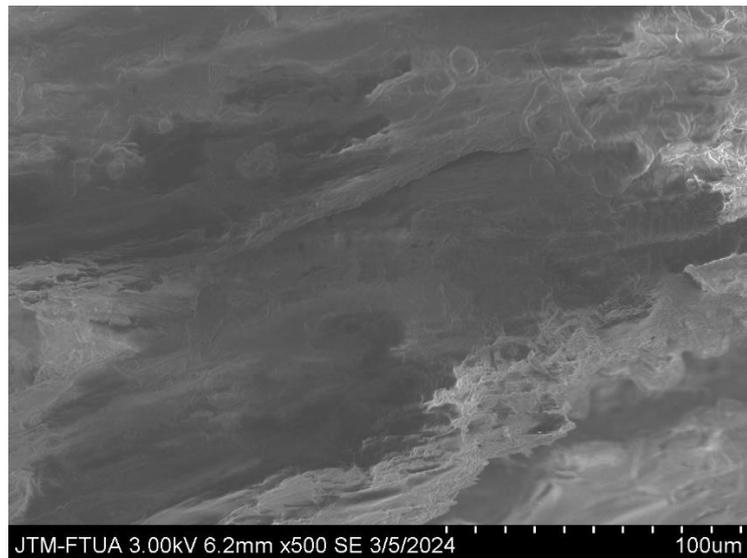
4.2.4 Variasi (75%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit

Pada Gambar 4.6 hasil uji SEM Variasi (75%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x, dapat dilihat bahwa Penambahan partikel serat tandan kelapa sawit 15% pada komposit polimer menghasilkan permukaan retakan yang mulai mengecil karena banyak serat tandan kelapa sawit yang mulai menumpuk dan tidak semuanya dapat berikatan dengan molekul polyester & vinyl ester.



Gambar 4. 6 Variasi (75%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 50x dan 200x

Penyebab banyaknya serat tandan kelapa sawit yang mulai menumpuk dan tidak semuanya dapat berikatan dengan molekul polyester & vinyl ester. dikarenakan kandungan partikel serat tandan kelapa sawit sudah mulai jenuh dengan molekul polyester & vinyl ester dan deformasi plastis campuran mulai berkurang seperti terlihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Variasi (75%)Polyester & Vinyl Ester : (10%) MMA : (15%)Serat Tandan Kelapa Sawit, Perbesaran 500x

Berdasarkan pengamatan hasil pengujian SEM, dapat dilihat bahwa permukaan patahan komposit menghasilkan permukaan retakan yang semakin kasar seiring dengan penambahan partikel serat tandan kelapa sawit akibat besarnya deformasi platis, tetapi pada persentase serat tandan kelapa sawit 15%, menghasilkan permukaan retakan yang mulai mengecil, hal ini disebabkan karena matriks polimer dengan serat tandan kelapa sawit sudah mencapai kondisi jenuhnya dengan deformasi plastis yang mulai berkurang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Berdasarkan hasil uji FTIR dapat dilihat bahwa pada tegangan lentur tertinggi yaitu persentase variasi serat 10% dengan nilai 40,05 MPa memiliki gugus fungsi C=O pada Panjang gelombang 1722.79 cm^{-1} : 81.318 %T dan ikatan C-H pada panjang gelombang $2918,71 \text{ cm}^{-1}$: 92.654%T. Hal ini sekaligus menunjukkan interaksi matriks polyester & vinyl ester dengan fiber atau serat sudah mencapai kondisi jenuhnya
- b. Pada hasil pengujian SEM, dapat dilihat bahwa permukaan patahan komposit menghasilkan permukaan retakan yang semakin kasar seiring dengan penambahan partikel serat tandan kelapa sawit akibat besarnya deformasi platis, tetapi pada persentase serat tandan kelapa sawit 15%, menghasilkan permukaan retakan yang mulai mengecil, hal ini disebabkan karena matriks polimer dengan serat tandan kelapa sawit sudah mencapai kondisi jenuhnya dengan deformasi plastis yang mulai berkurang.

5.2 Saran

Peneliti menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, peneliti mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk penelitian ini. Peneliti menyarankan beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

- a. Untuk kesempurnaan hasil pengujian, hendaknya memperhatikan kondisi dari spesimen yang akan diuji tersebut. Karena kondisi spesimen yang kurang sempurna dapat mempengaruhi hasil pengujian tersebut.
- b. Untuk preparasi sampel uji, harap memperhatikan K3, karena kondisi spesimen yang keras dan sangat berdebu saat dilakukan preparasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nusyirwan, M. Rani, And R. Pratama, "Identification Of The Fracture Surface Of Thermoset Polyester Due To Bending Load," *J. Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.*, Vol. 7, No. 1, Pp. 51–58, 2022, Doi: 10.22219/Jemmmme.V7i1.23086.
- [2] B. N. Leis, A. T. Hopper, J. Ahmad, D. Broek, And M. F. Kanninen, "Critical Review Of The Fatigue Growth Of Short Cracks," *Eng. Fract. Mech.*, Vol. 23, No. 5, Pp. 883–898, Jan. 1986, Doi: 10.1016/0013-7944(86)90099-8.
- [3] R. D. Pratama, M. Farid, And H. Nurdiansah, "Pengaruh Proses Alkalisasi Terhadap Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara," *J. Tek. ITS*, Vol. 6, No. 2, Pp. 250–254, 2017, Doi: 10.12962/J23373539.V6i2.24274.
- [4] M. S. Sreekala, M. G. Kumaran, And S. Thomas, "Oil Palm Fibers: Morphology, Chemical Composition, Surface Modification, And Mechanical Properties," *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 66, No. 5, Pp. 821–835, Oct. 1997, Doi: 10.1002/(SICI)1097-4628(19971031)66:5<821::AID-APP2>3.0.CO;2-X.
- [5] F. A. Wahyudi And L. D. Yuono, "Pengaruh Komposisi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Yang Diperkuat Serat Bambu," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, Vol. 4, No. 2, Pp. 72–78, 2017, Doi: 10.24127/Trb.V4i2.73.
- [6] H. Abral *Et Al.*, "Improving Impact, Tensile And Thermal Properties Of Thermoset Unsaturated Polyester Via Mixing With Thermoset Vinyl Ester And Methyl Methacrylate," *Polym. Test.*, Vol. 81, P. 106193, Jan. 2020, Doi: 10.1016/J.Polymeresting.2019.106193.
- [7] U. Ali, K. J. B. A. Karim, And N. A. Buang, "A Review Of The Properties And Applications Of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA)," *Polym. Rev.*, Vol. 55, No. 4, Pp. 678–705, Oct. 2015, Doi: 10.1080/15583724.2015.1031377.

- [8] D. Lukkassen And A. Meidell, “Advanced Materials And Structures And Their Fabrication Processes,” *B. Manuscript, Narvik Univ. Coll. Hin*, Vol. 2, Pp. 1–14, 2007.
- [9] Y. G. Nadargi, D. R. Gaikwad, And U. D. Sulakhe, “A Performance Evaluation Of Leaf Spring Replacing With Composite Leaf Spring,” *Int. J. Mech. Ind. Eng.*, Pp. 157–160, Jan. 2014, Doi: 10.47893/Ijmie.2014.1147.
- [10] R. F. Gibson, *Principles Of Composite Material Mechanics*. CRC Press, 2007. Doi: 10.1201/9781420014242.
- [11] A. A. Rosyadi, J. T. Mesin, F. Teknik, And U. Jember, ““Pengaruh Kadar Partikel Aditif Montmorillonite Terhadap Sifat Mekanik Siklus Termal Komposit Polyester Serat Alam”,” Vol. 01, Pp. 15–22, 2016.
- [12] S. Kalia And S. Vashistha, “Surface Modification Of Sisal Fibers (Agave Sisalana) Using Bacterial Cellulase And Methyl Methacrylate,” *J. Polym. Environ.*, Vol. 20, No. 1, Pp. 142–151, Mar. 2012, Doi: 10.1007/S10924-011-0363-8.
- [13] A. Khamid, “Rancang Bangun Alat Uji Bending Dan Hasil Pengujian Bahan Besi Cor,” No. September, P. 24, 2011.
- [14] F. A. H. Putra, “Pengujian Lentur Terhadap Pegas Daun Komposit Bermatrik Polyester Dan Vinyl Ester Dengan Reinforcement Serat Tandan Kelapa Sawit,” 2023.
- [15] D. C. . Ford, Brian J. , Bradbury, Savile And Joy, “Scanning Electron Microscope,” *Encyclopedia Britannica*. Accessed: Apr. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/scanning-electron-microscope>
- [16] A. Pambudi, M. Farid, And H. Nurdiansah, “Analisis Morfologi Dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara,” Vol. 6, No. 2, Pp. 441–444, 2017.

LAMPIRAN



Gambar L. 1 Spesimen Hasil Uji Tarik



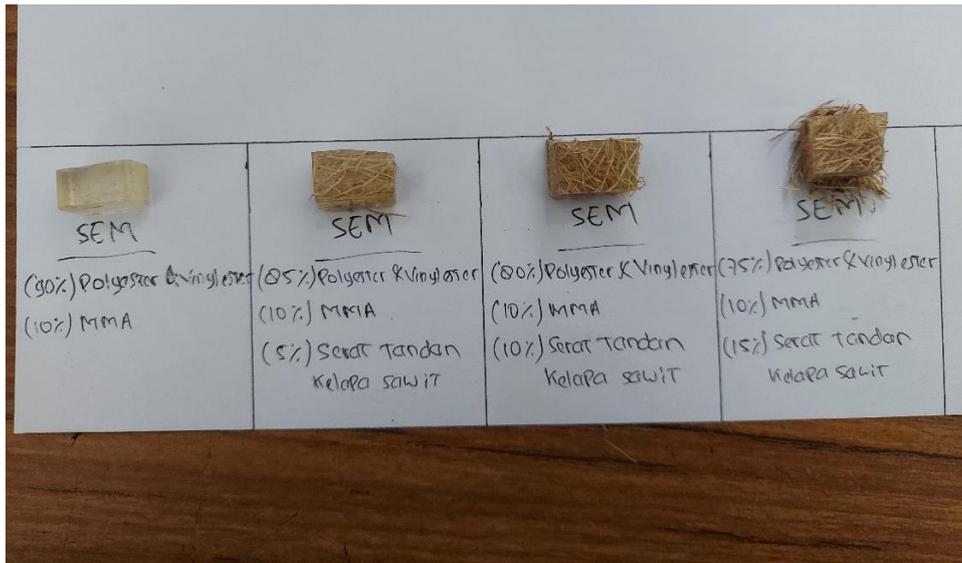
Gambar L. 2 Spesimen setelah di preparasi pertama



Gambar L. 3 Pengukuran spesimen setelah preparasi pertama



Gambar L. 4 Pengukuran spesimen setelah preparasi kedua



Gambar L. 5 Spesimen setelah preparasi untuk uji SEM



Gambar L. 6 Spesimen setelah preparasi untuk uji FTIR



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ANDALAS
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

Alamat : Kampus Limau Manis, Padang - Sumatera Barat, Kode Pos 25163
Telepon : 0751-72586

Website: ft.unand.ac.id, email: admin_mesin@eng.unand.ac.id

SURAT KETERANGAN UJI SIMILARITY

No. :B /090/UN.16.09.3.1 /TA.02.02/2024

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa :

Nama : Ahmad Musthafo Hakim
Nomor Buku Pokok : 1910913013
Departemen : Teknik Mesin

Yang tersebut namanya di atas telah diperiksa similarity/originality dari Tugas Akhir nya menggunakan *Software* Turnitin dengan hasil sebesar:

1. Abstrak : 25%
2. TA : 5%

Surat keterangan ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendaftar Sidang Tugas Akhir.

Demikianlah surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan semestinya



Tri Dewi Yulita, S. IP