

**PENGARUH *SILICONE RUBBER* TERHADAP SIFAT TARIK DAN
KEMAMPUAN INSULASI TERMAL KOMPOSIT EPOXY RESIN BERPENGUAT
SERAT TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit)**

(Skripsi)

Oleh:

Muhammad Hilman Hafiduddin

1915021033



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

**PENGARUH *SILICONE RUBBER* TERHADAP SIFAT TARIK DAN
KEMAMPUAN INSULASI TERMAL KOMPOSIT EPOXY RESIN BERPENGUAT
SERAT TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit)**

Oleh:

Muhammad Hilman Hafiduddin

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

PENGARUH *SILICONE RUBBER* TERHADAP SIFAT TARIK DAN KEMAMPUAN INSULASI TERMAL KOMPOSIT EPOXY RESIN BERPENGUAT SERAT TKKS (TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT)

Oleh:

MUHAMMAD HILMAN HAFIDUDDIN

Komposit merupakan sebuah pencampuran dari dua material berbeda dengan tujuan membentuk sebuah material baru. Komposit berpenguat serat TKKS dengan matriks epoxy memiliki kekuatan tinggi namun memiliki kekurangan berupa sifat elastisitas yang rendah. Penambahan *silicone rubber* dalam epoxy resin sebagai fasa matriks merupakan desain rekayasa yang dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan karakteristik elastisitas bahan komposit. Penambahan *silicone rubber* dalam komposit epoxy resin berpenguat serat TKKS dapat meningkatkan kemampuan regangannya akan tetapi mengurangi kemampuannya dalam menahan tekanan. Selain itu dengan penambahan *silicone rubber* dapat meningkatkan kemampuan komposit dalam meredam panas.

Kata Kunci: Komposit, TKKS, Epoxy Resin, *Silicone Rubber*

ABSTRACT

THE EFFECT OF SILICONE RUBBER ON THE TENSILE PROPERTIES AND THERMAL INSULATION CAPABILITIES OF EPOXY RESIN COMPOSITES REINFORCED WITH OPEFB (Oil Palm Empty Fruit Bunch)

By:

MUHAMMAD HILMAN HAFIDUDDIN

A composite is a mixture of two different materials with the aim of forming a new material. The OPEFB fiber reinforced composite with an epoxy matrix has high strength but has the disadvantage of low elasticity. The addition of silicone rubber in epoxy resin as a matrix phase is an engineering design carried out with the aim of obtaining the elastic characteristics of composite materials. The addition of silicone rubber in the epoxy resin composite reinforced with OPEFB fiber can increase its tensile ability but reduces its ability to withstand pressure. Apart from that, the addition of silicone rubber can increase the composite's ability to reduce heat.

Keywords: *Composite, OPEFB, Epoxy Resin, Silicone Rubber*

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **PENGARUH *SILICONE RUBBER* TERHADAP SIFAT TARIK DAN KEMAMPUAN INSULASI TERMAL KOMPOSIT EPOXY RESIN BERPENGUAT SERAT TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit)**

Nama Mahasiswa : Muhammad Hilman Hafiduddin

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915021033

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

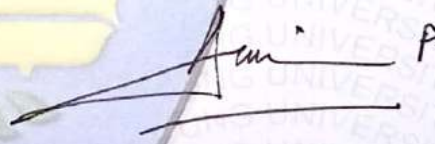


Komisi Pembimbing 1



Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D. IPU
NIP 19700812 200112 1 001

Komisi Pembimbing 2

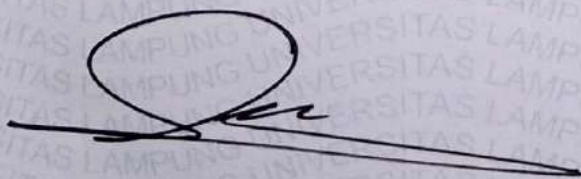


Ir. A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng IPM
NIP 19760715 200812 1 002

MENGETAHUI

Ketua Jurusan

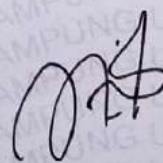
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi

S1 Teknik Mesin

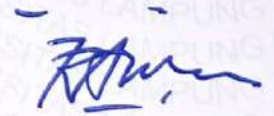


Novri Tarnti, S.T., M.T.
NIP 19701104 197703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

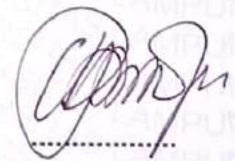
Ketua Penguji : Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D. IPU



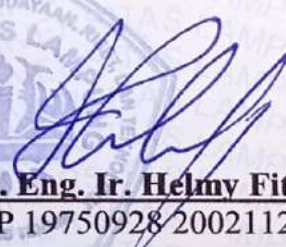

Anggota Penguji : Ir. A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng. IPM



Penguji Utama : Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawa, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928/2002112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Desember 2023

LEMBAR EPERNYATAAN

Skripsi dengan judul "PENGARUH *SILICONE RUBBER* TERHADAP SIFAT TARIK DAN KEMAMPUAN INSULASI TERMAL KOMPOSIT EPOXY RESIN BERPENGUAT SERAT TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit)" dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana diatur dalam pasal 36 peraturan Akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan Rektor No. 13 tahun 2019

Bandar Lampung, 8 Desember 2023

Pembuat pernyataan,



Muhammad Hilman Hafiduddin

NPM 1915021033

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Hilman Hafiduddin, lahir pada tanggal 9 Juni 2000 di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak dari Bapak Sunardi Rusdianto dan Ibu Ummy Syarifah. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Kartika II-5 Bandar Lampung, kemudian dilanjutkan di SMPN 12 Bandar Lampung, dan dilanjutkan di SMA Budi Utomo Jombang. Penulis melanjutkan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di beberapa kegiatan dan organisasi kemahasiswaan antara lain :

1. Sekertaris bidang Kerohanian Himpunana Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung (HIMATEM) periode tahun 2020/2021.
2. Anggota bidang Edukasi dan Kemahasiswaan (EDKESMA) Himpunana Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung (HIMATEM) periode tahun 2021/2022.
3. Menjadi Koordinator Desa (KORDES) pada Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode 1 di Kelurahan Bumi Waras, Bandar Lampung pada tahun 2022.
4. Melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT Hino Motors Manufacturing Indonesia (HMMI) dengan judul laporan “**ANALISIS KEKERASAN PADA HASIL PENGELASAN *PROPELLER SHAFT* HY1345 MENGGUNAKAN METODE VICKERS DI PT HINO MOTORS MANUFACTURING INDONESIA**” pada tahun 2022.
5. Melaksanakan penelitian pada tahun 2023 dengan judul “**PENGARUH *SILICONE RUBBER* TERHADAP SIFAT TARIK DAN KEMAMPUAN INSULASI TERMAL KOMPOSIT EPOXY RESIN BERPENGUAT SERAT TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit)**” di bawah bimbingan Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D. IPU dan Ir. A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng. IPM

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah : 5)

“Cukuplah Allah sebagai penolong dan Allah adalah sebaik-baiknya pelindung”

(Q.S. Ali-Imran : 173)

“Sukses adalah saat persiapan dan kesempatan bertemu”

(Anonim)

“Keberhasilan milik mereka yang senantiasa berusaha”

(Anonim)

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Shalawat serta Salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

KARYA TULIS INI KUPERSEMBAHKAN KEPADA

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Yang senantiasa memberikan semangat dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Terima kasih yang sebesar-besarnya kuucapkan karena telah mendidik dan membersarkanku dengan penuh kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang sampai kapanpun tidak akan bisa terbalaskan.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2019

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Mesin

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan. Shalawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada junjungan besar kita, Nabi Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wassalam, beserta keluarga dan sahabat. Skripsi ini dibuat sebagai tanda selesai pelaksanaan skripsi. Karya tulis ini diharapkan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat dan juga dapat dikembangkan khususnya dalam bidang komposit. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Ayahanda Sunardi Rusdianto dan Ibunda Ummy Syarifah selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan juga memberikan restu pada penulis agar tetap semangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin di Universitas Lampung.
2. Kakak, Adik, dan Nenek penulis yang selalu mendukung penulis dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin di Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Bapak Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D. IPU selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing selama perkuliahan dan mengerjakan skripsi ini.
7. Bapak Ir. A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng. IPM selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing selama perkuliahan dan mengerjakan skripsi ini.

8. Bapak Prof. Dr. Moh. Badaruddin. S.T., M.T. yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
9. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
10. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
11. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah bersama-sama berjuang meraih mimpi, memberikan motivasi, dan memberikan semangat selama perkuliahan.
12. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca.

Bandar Lampung, 8 Desember 2023

Penulis,

Muhammad Hilman Hafiduddin

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Komposit	5
2.2 Klasifikasi Komposit	6
2.3 Komponen Komposit	9
2.4 Kadar Air (<i>Moisture</i>)	10
2.5 <i>Treatment</i> Serat	11
2.6 Serat Kelapa Sawit	12
2.7 Epoxy Resin	14
2.8 <i>Silicone Rubber</i>	15
2.9 Katalis	16
2.10 <i>Curing</i>	17
2.11 Uji Tarik	17
2.12 Insulasi Termal	18
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	21

3.3	Pelaksanaan Penelitian	27
3.4	Pelaksanaan Pengujian	32
3.5	Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Data	35
4.2	Pembahasan	36
BAB V. PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	61
	DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat	6
Gambar 2. Komposit partikel	6
Gambar 3. Komposit serat	7
Gambar 4. Komposit struktural	7
Gambar 5. Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriks	8
Gambar 6. Tandan kosong kelapa sawit	21
Gambar 7. Epoxy resin	22
Gambar 8. Silicone rubber	22
Gambar 9. Katalis	23
Gambar 10. Aquades	24
Gambar 11. Naoh	24
Gambar 12. Microwave oven	25
Gambar 13. Timbangan digital	26
Gambar 14. Gelas ukur	26
Gambar 15. Jangka sorong	27
Gambar 16. Cetakan	27
Gambar 17. Alat uji tarik	32
Gambar 18. Alat uji insulasi termal	33
Gambar 19. Grafik uji tarik komposit AA	37
Gambar 20. Grafik uji tarik komposit AB	38
Gambar 21. Grafik uji tarik komposit AC	39
Gambar 22. Bentuk patahan hasil pengujian tarik komposit A	39
Gambar 23. Grafik uji tarik komposit BA	41
Gambar 24. Grafik uji tarik komposit BB	41
Gambar 25. Grafik uji tarik komposit BC	42
Gambar 26. Bentuk patahan hasil pengujian tarik komposit B	43
Gambar 27. Grafik uji tarik komposit CA	44
Gambar 28. Grafik uji tarik komposit CB	45

Gambar 29. Grafik uji tarik komposit CC	45
Gambar 30. Bentuk patahan hasil pengujian tarik komposit C	46
Gambar 31. Grafik uji insulasi termal komposit AA	48
Gambar 32. Grafik uji insulasi termal komposit AB	49
Gambar 33. Grafik uji insulasi termal komposit AC	50
Gambar 34. Grafik uji insulasi termal komposit BA	51
Gambar 35. Grafik uji insulasi termal komposit BB	52
Gambar 36. Grafik uji insulasi termal komposit BC	53
Gambar 37. Grafik uji insulasi termal komposit CA	54
Gambar 38. Grafik uji insulasi termal komposit CB	55
Gambar 39. Grafik uji insulasi termal komposit CC	56
Gambar 40. Grafik hubungan uji tarik dan uji insulasi termal	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Sifat fisik serat kelapa sawit	13
Tabel 2. Sifat mekanik serat kelapa sawit	13
Tabel 3. Komposisi serat kelapa sawit	14
Tabel 4. Temperatur penggunaan resin	15
Tabel 5. Rencana jadwal penelitian	20
Tabel 6. Spesifikasi serat TKKS	21
Tabel 7. Spesifikasi epoxy resin	22
Tabel 8. Spesifikasi silicone rubber	23
Tabel 9. Spesifikasi katalis	23
Tabel 10. Spesifikasi aquades	24
Tabel 11. Spesifikasi NaOH	25
Tabel 12. Spesifikasi microwave oven	25
Tabel 13. Spesifikasi timbangan digital	26
Tabel 14. Spesifikasi gelas ukur	26
Tabel 15. Spesifikasi jangka sorong	27
Tabel 16. Spesifikasi cetakan komposit	28
Tabel 17. Spesifikasi alat uji tarik	33
Tabel 18. Spesifikasi alat uji tarik	33
Tabel 19. Data sifat mekanik komposit	35
Tabel 20. Data karakteristik termal komposit	36
Tabel 21. Sifat mekanik epoxy resin	37
Tabel 22. Sifat mekanik hasil pengujian tarik komposit A	40
Tabel 23. Sifat mekanik hasil pengujian tarik komposit B	43
Tabel 24. Sifat mekanik hasil pengujian tarik komposit C	46
Tabel 25. Karakteristik termal epoxy resin	48
Tabel 26. Karakteristik termal komposit A	50
Tabel 27. Karakteristik termal komposit B	53
Tabel 28. Karakteristik termal komposit C	56

DAFTAR NOTASI

	Satuan
ρ = Densitas Zat	(gram/cm ³)
V_c = Volume Komposit	(cm ³)
V_f = Volume Serat	(cm ³)
V_m = Volume Matriks	(cm ³)
M_f = Massa Serat	(gram)
M_m = Massa Matriks	(gram)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki sumber daya alam seperti hasil perkebunan yang sangat melimpah, perkebunan memiliki peran besar dalam komoditas perdagangan di Indonesia. Salah satu perkebunan yang banyak di Indonesia adalah perkebunan kelapa sawit. Setiap tahunnya perkebunan kelapa sawit mengalami peningkatan produksi, total luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 15.380.981 ha. Dengan luas lahan tersebut dapat menghasilkan 48.235.405 ton kelapa sawit (Direktorat Jendral Perkebunan, 2022). Hasil dari perkebunan kelapa sawit diproses untuk mendapatkan minyak. Dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak menghasilkan limbah dalam jumlah yang banyak.

Dari pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang sebanyak 6,5% atau 65 kg, lumpur sawit 4% atau 40 kg, serabut 13% atau 130 kg (Susanto et al., 2017). TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) merupakan salah satu bentuk limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit yang tidak termasuk kedalam produk utama. Limbah pengolahan kelapa sawit dapat memberikan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan akibat kandungan bahan organik yang tinggi dalam limbah padat (Haryanti et al., 2014). Ketersediaan limbah sawit yang sangat banyak dapat menjadi suatu masalah, oleh karena itu, pemanfaatan TKKS terus dikembangkan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan menambah nilai ekonomis.

Limbah kelapa sawit berupa TKKS dimanfaatkan dalam bentuk serat menjadi papan komposit (Lusiani et al., 2015). Komposit dari TKKS termasuk ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah yang dapat merusak alam. Material komposit terbuat dari pencampuran dua tipe bahan penyusun yaitu matriks dan serat (*reinforcement*). Serat memiliki fungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan serat dan menjaga posisinya agar tidak berubah. Pencampuran kedua bahan tersebut akan menghasilkan material yang keras, kuat, namun ringan (Fahmi et al., 2020).

Komposit berpenguat serat TKKS dengan matriks epoxy memiliki kekuatan tinggi. Namun kekurangan dari komposit tersebut adalah sifat elastisitas yang rendah. Rendahnya elastisitas dari komposit ini dipengaruhi dari karakteristik polimer epoxy yang memiliki sifat kuat dan getas (Sujana dan Widi, 2013). *Silicone rubber* selain bersifat elastis juga merupakan bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi. Penambahan *silicone rubber* dalam epoxy resin sebagai fasa matriks merupakan desain rekayasa yang dilakukan dengan harapan mendapatkan karakteristik elastisitas bahan komposit dan kemampuan insulasi termal yang lebih baik. Insulasi termal merupakan cara yang dipakai untuk mengurangi laju perpindahan panas (Laupé et al., 2021).

Untuk mengetahui sifat komposit serat TKKS dilakukan suatu pengujian untuk mengetahui karakteristiknya. Metode pengujian yang dapat dipakai untuk mengetahui ketangguhan suatu material adalah dengan melakukan pengujian tarik. Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan dengan cara memberikan beban tarik pada sampel secara perlahan sampai material komposit putus. Kekuatan tarik merupakan besar beban maksimum persatuan daerah penampang awal dari bahan yang ada (Kartini et al., 2002). Selain pengujian tarik juga dilakukan pengujian insulasi termal yang akan dilakukan menggunakan prinsip perpindahan panas satu dimensi untuk mengetahui kemampuan komposit menghambat laju perpindahan panas.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *silicone rubber* terhadap kekuatan tarik komposit epoxy resin berpenguat serat TKKS
2. Mengetahui pengaruh *silicone rubber* terhadap kemampuan insulasi termal komposit epoxy resin berpenguat serat TKKS

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut beberapa batasan masalah dari penelitian ini:

1. Serat yang digunakan adalah serat TKKS
2. Matriks yang digunakan adalah pencampuran antara epoxy resin dan *silicone rubber*
3. Komposit dibuat dengan susunan serat acak menggunakan metode *hand lay-up*
4. Perlakuan serat dengan perendaman menggunakan larutan NaOH dan pengeringan menggunakan microwave oven
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian perpindahan panas satu dimensi

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam menyusun laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan dalam penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori dasar atau literatur yang menjadi pedoman atau acuan yang berhubungan dengan penelitian ini.

III. METODE PENELITIAN

Berisi mengenai waktu dan tempat, alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL dan PEMBAHASAN

Berisikan data-data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan beserta pembahasan pengaruh berbagai parameter pada penelitian ini.

V. PENUTUP

Berisikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Berisi sumber dan referensi yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisi data pelengkap seperti gambar, dan beberapa data pendukung untuk menunjang kredibilitas laporan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit merupakan sebuah pencampuran atau penggabungan dari dua material berbeda atau lebih untuk membuat sebuah material baru (Ariyansah dan Samlawi, 2019). Komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) yang berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Dari pencampuran tersebut dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Muhajir et al., 2016). Komposit serat banyak dikembangkan sebagai bahan alternatif pengganti kayu, logam, dan lainnya karena mempunyai daya tahan korosi, lebih ringan serta bahan dan proses pembuatannya yang relatif lebih murah (Syaukani, et al., 2021).

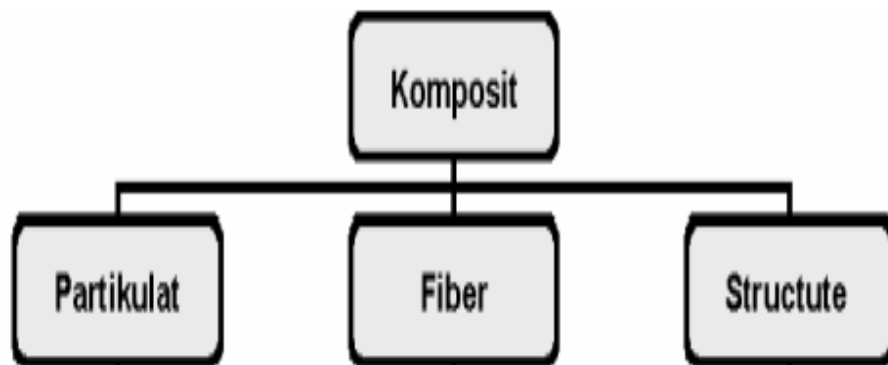
Komposit berasal dari kata “*to compose*” yang artinya menyusun atau menggabung, secara sederhana komposit adalah penggabungan dari dua atau lebih material berbeda dengan tujuan untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik dari pada sifat masing-masing komponen penyusunnya (Kurniawan dan Setyowati, 2021). Sifat bahan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi unsur penyusun, serta interaksi antara keduanya (Utama dan Zakiyya, 2016). Bahan penyusun komposit bisa disesuaikan sehingga didapatkan bahan yang memiliki sifat yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Karena kesesuaian ini bahan komposit dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan teknologi terkait elektronik, energi, konstruksi, biomedis, dan industri lainnya (Deborah, 2009).

Komposit terbentuk karena adanya ikatan permukaan antara bahan penyusun. Ikatan antara permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi

dalam material (Nayiroh, 2013). Selain jenis bahan penyusun, karakteristik komposit juga ditentukan oleh jenis metode pembuatannya. Bentuk dan cara penyusunan juga akan berpengaruh terhadap karakteristik komposit. Faktor keterampilan dan kecermatan dalam melakukan persiapan pembuatan komposit turut berperan terhadap kualitas komposit yang dihasilkan (Hartono dan Subawi, 2016).

2.2 Klasifikasi Komposit

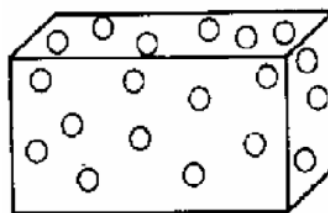
Menurut jenis penguatnya komposit diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:



Gambar 1. Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat (Nayiroh, 2013)

2.2.1 Komposit Partikel

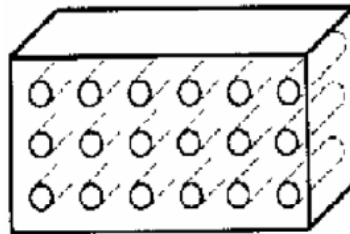
Komposit partikel adalah komposit yang memiliki *reinforcement* berbentuk partikel atau serbuk dan terdistribusi merata di dalam matriksnya (Nurmajid dan Pamungkas, 2021). Partikel ini dapat berupa metal atau nonmetal (Karyono, 1991). Partikel dalam komposit berperan untuk membagi beban supaya merata dalam material serta menghambat deformasi plastis matriks yang ada di sekitar partikel.



Gambar 2. Komposit partikel (Nayiroh, 2013)

2.2.2 Komposit Serat

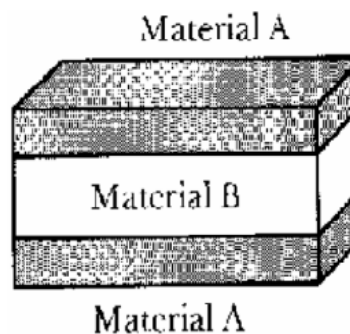
Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari fiber di dalam matriks (Purboputro, 2006). Tinggi atau rendahnya kekuatan dari komposit bergantung dari serat yang digunakan karena serat berfungsi sebagai penopang kekuatan dari komposit. Pada awalnya tegangan yang diterima komposit akan diterima oleh matriks kemudian diteruskan pada serat hingga mencapai beban maksimum sebelum mengalami kegagalan. Oleh karena itu, nilai tegangan tarik dan modulus elastisitas serat harus lebih tinggi dari pada matriks penyusun komposit.



Gambar 3. Komposit serat (Nayiroh, 2013)

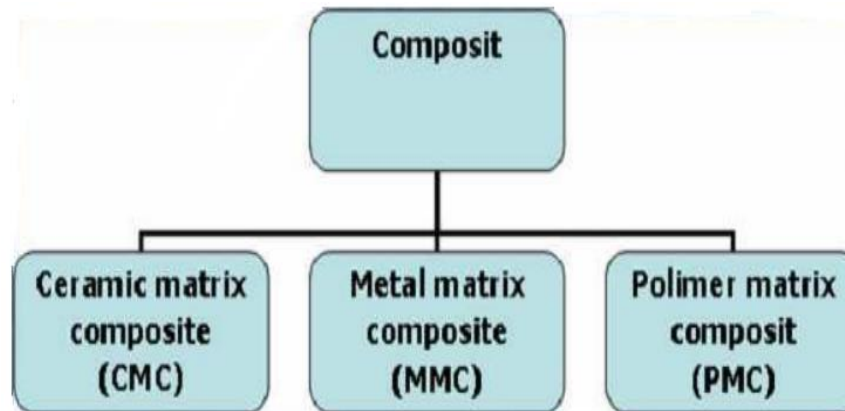
2.2.3 Komposit Struktural

Komposit struktural atau komposit lapis terdiri dari sekurang-kurangnya dua lapis material yang memiliki karakteristik dan sifat berbeda kemudian digabung menjadi satu (Nugroho et al., 2012). Tujuan dari pembentukan lapisan ini adalah untuk mengkombinasikan aspek-aspek terbaik dari lapisan untuk memperoleh bahan yang berguna. Sifat komposit ini tidak hanya bergantung pada konstituen materialnya saja, tetapi juga bergantung pada desain geometri terhadap struktur elemen.



Gambar 4. Komposit struktural (Nayiroh, 2013)

Berdasarkan jenis matriksnya komposit diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:



Gambar 5. Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriks (Nayiroh, 2013)

Berdasarkan jenis matriksnya komposit diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu :

2.2.1 Komposit Matriks Polimer (Polymer Matrix Composite/PMC)

Polymer Matrix Composite (PMC) atau *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) merupakan salah satu jenis material komposit dimana material komposit tersebut tersusun atas serat pendek ataupun serat kontinyu yang digabung menjadi satu oleh matriks polimer (Amri dan Tjahjanti, 2022). Polimer terbagi menjadi termoplastik, termoset, dan elastomer. Polimer merupakan senyawa organik berupa rantai panjang berulang yang tersusun atas atom karbon, hidrogen, oksigen, dan sebagainya (Amalia, 2014). PMC memiliki sifat yang sangat kuat, tahan lama, kemampuan mengikuti bentuk, dan lebih ringa (Mardiyanti, 2018).

2.2.2 Komposit Matriks Logam (Metal Matrix Composite/MMC)

MMC merupakan gabungan atau kombinasi antara sebuah matrik paduan logam yang ulet dengan bahan penguat. Penggabungan kedua material ini akan menghasilkan keunggulan pada sifat mekaniknya. MMC mempunyai sifat tahan pada temperatur yang lebih tinggi dari logam matriknya, dan dapat meningkatkan sifat kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffnes*), konduktivitas termal, ketahanan abrasi, ketahanan creep maupun stabilitas dimensi (Djamil, et al., 2011).

2.2.3 Komposit Matriks Keramik (Ceramic Matrix Composite/CMC)

CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa lainnya sebagai matriks, dimana matriksnya terbuat dari keramik (Kurniawan, 2017). Komposit jenis ini baik digunakan pada temperatur tinggi, komposit ini diperkuat dengan serat pendek atau serabut-serabut (*whiskers*) yang terbuat dari *silicone carbide* atau *boron nitride* (Pica et al., 2021).

2.3 Komponen Komposit

Komposit tersusun dari gabungan antara dua atau lebih material dalam skala makroskopis untuk membentuk material baru yang lebih bermanfaat (Jones, 1975). Gabungan antara kedua material dengan sifat yang berbeda tersebut diharapkan dapat memberikan material yang lebih unggul dari material pembentuknya. Pemilihan material yang tepat akan memberikan sifat mekanik dan struktur mikro komposit. Komposit umumnya terdiri dari dua unsur utama yaitu serat atau *fibres* yang berfungsi sebagai *reinforcement* atau penguat dan bahan pengikat serat yang disebut matriks.

2.3.1 Serat

Serat (*fibres*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh (Fahmi dan Hermansyah, 2011). Serat dalam komposit merupakan bagian utama yang menahan beban, sehingga besar atau kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya, semakin kecil diameternya akan memberikan luas per satuan berat yang lebih besar. Oleh karena itu serat harus memiliki tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks penyusun komposit (Nayiroh, 2013). Ditinjau dari bahan pembuatnya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu serat sintetis dan serat alami. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi (Sulistijono, 2012).

2.3.2 Matriks

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (Fahmi dan Hermansyah, 2011). Matriks akan memberikan bentuk pada komposit dengan cara mengikat serat. Matriks berkarakter kontinu dan bersifat ulet. Pemilihan matriks yang tepat akan memberikan efek yang baik untuk sifat mekanik dan struktur mikro komposit (Firman, et al., 2015). Berdasarkan bahan penyusunnya matriks dibedakan menjadi matriks organik dan inorganik. Matriks organik terbentuk dari bahan organik secara sintesis. Sedangkan matriks inorganik adalah matriks yang terbentuk dari bahan logam dengan bobot dan kekuatan yang tinggi.

Matriks pada komposit memiliki bentuk yang berbeda-beda sesuai dengan pengaplikasiannya. Matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks polimer, matriks logam, dan matriks keramik. Secara umum fungsi matriks pada komposit adalah sebagai penyambung serat dari kerusakan antar serat berupa abrasi, pelindung serat terhadap lingkungan (serangan zat kimia dan kelembaban), pendukung dan pemfiltrasi serat, transfer beban antar serat, dan perekat serat supaya tetap stabil secara fisika dan kimia setelah proses manufaktur (Purboputro, 2006).

2.4 Kadar Air (*Moisture*)

Kandungan air (*moisture*) pada serat alam sangat berpengaruh terhadap kekuatan ikatan antara serat dan matriks, ikatan selulosa, kekasaran permukaan serat sehingga menentukan sifat mekanik pada serat tersebut. Kadar air yang tinggi dapat mengurangi daya ikat antara penyusun komposit dan menimbulkan gelembung udara (*void*) pada komposit, karena ruang kosong pada matriks akan terisi air yang ditimbulkan pada serat sehingga dapat membuat ikatan *interface* matriks dan serat yang rendah. Namun kandungan air yang terlalu rendah akan menimbulkan kerapuhan dan kurang

fleksibel sehingga dapat menurunkan sifat mekanik serat. Kadar air pada serat dapat dikontrol dengan proses *treatment* pada serat melalui perlakuan kimia atau secara fisik.

2.5 *Treatment* Serat

Untuk memperoleh ikatan yang lebih baik antara serat dengan matriks perlu dilakukan *treatment* atau perlakuan pada permukaan serat. *Treatment* pada serat dapat dilakukan secara kimia dengan metode perendaman menggunakan larutan alkali dan secara fisik dengan pemanasan menggunakan microwave oven. Perlakuan secara kimia yang biasa dilakukan adalah dengan perendaman di dalam larutan NaOH (Suardana dan Dwidiani, 2007). Perendaman pada larutan NaOH bertujuan untuk menghilangkan kotoran (*impurities*) dan lapisan-lapisan lilin pada permukaan serat yang dapat menimbulkan lapisan batas (*boundary layer*) antara matriks dan serat jika digunakan untuk material komposit (Syafri, et al., 2015).

Larutan NaOH dapat memperbaiki ikatan *interface* antara serat dengan matriks dengan cara membuat permukaan serat yang lebih kasar dan membuat diameter serat menyusut sehingga akan mempengaruhi pada proses ikatan (*bonding*) dengan matriks, selain itu perlakuan alkali NaOH juga dapat mengurangi sifat *hydrophilic* pada serat. Perendaman pada larutan NaOH dapat menghilangkan hemiselulosa, membagi serat menjadi fibril, pelepasan regangan internal sehingga akan meningkatkan sifat mekaniknya. Mekanisme reaksi antara serat dan larutan NaOH dijelaskan bahwa gugus OH dipisahkan dari serat oleh aksi Na^{+2} ion untuk menghasilkan (serat-NaO) dan H_2O (Gomes, et al., 2007).



Perlakuan serat dengan metode pemanasan menggunakan microwave oven bertujuan untuk mengeringkan dan mengurangi kelembapan. Microwave

oven menggunakan radiasi gelombang mikro sebagai penghasil panas. Hasil dari iradiasi gelombang mikro mampu menyebabkan vibrasi antara molekul polar dan menciptakan titik panas yang dapat merusak lignin dan menyebabkan hemiselulosa hilang (Bintarto, et al., 2021). Proses pemanasan serat menggunakan gelombang mikro dinilai lebih efektif karena dapat memberikan panas yang lebih seragam. Tetapi pemanasan dengan daya yang lebih lanjut dapat menyebabkan serat rusak dan terdegradasi (Patra, et al., 2013).

2.6 Serat Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit atau *Elais Guineensis* memiliki tiga bagian utama yang dapat diambil seratnya yaitu *empty fruit bunch* (EFB), *oil palm trunk* (OPT), *oil palm frond* (OPF). *Oil palm empty fruit bunch* (OPEFB) atau Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu bentuk limbah dengan jumlah terbanyak dari proses pengolahan kelapa sawit yang tidak termasuk kedalam produk utama. Dari pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg (Susanto et al., 2017). Limbah kelapa sawit berupa TKKS dimanfaatkan dalam bentuk serat menjadi papan komposit (Lusiani et al., 2015). Serat TKKS dipilih menjadi bahan penyusun komposit karena termasuk kedalam serat alam sehingga dapat terurai oleh aktifitas biologis dan sifatnya yang dapat diperbarui (*renewable*). Akan tetapi memiliki kekurangan berupa panjang dan diameter yang tidak seragam sehingga dapat berpengaruh pada kekuatannya.

2.3.1 Sifat Fisik

Serat kelapa sawit memiliki panjang dan diameter yang bervariasi, diameter yang besar rata-rata dibagian tengah serat. Variasi dimensi serat tersebut akan mempengaruhi sifat-sifat pada serat, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi karena semakin kecil diameternya akan memberikan luas per satuan

berat yang lebih besar. Panjang serat berbanding diameter serat disebut dengan istilah *aspect ratio*, apabila *aspect ratio* semakin besar maka makin besar kekuatan tarik serat pada komposit tersebut (Fahmi dan Hermansyah, 2011).

Tabel 1. Sifat fisik serat kelapa sawit (Khalil, et al., 2012)

Jenis Fiber	Panjang Fiber (mm)	Diameter Fiber (mm)	Lebar Lumen (μm)	Densitas (g/cm^3)	Sudut Fibril ($^\circ$)
EFB	0.89-1.42	8-300	8	0.7-1.55	46
OPF	0.59-1.59	11-19.7	8.2-11.6	0.6-1.2	40
OPT	0.6-1.22	29.6	17.6	0.5-1.1	42

2.3.2 Sifat Mekanik

Serat kelapa sawit memiliki kandungan zat ekstraktif dan asam lemak yang tinggi, sehingga dapat menurunkan sifat mekanik material yang dibentuk (Subiyanto, et al., 2008). Serat TKKS memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap gaya yang diberikan secara tiba-tiba, hal tersebut disebabkan oleh pengaruh penyaluran gaya pada serat (Riza, et al., 2022). Pada serat TKKS terkandung silika dengan ukuran 5-10 μm , kandungan silika tersebut dapat melubangi dinding serat yang mengakibatkan sifat mekaniknya berkurang (Law, et al., 2007). Ukuran diameter serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan mekaniknya. Semakin besar diameter serat maka akan semakin rendah nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitasnya (Etikaningrum, et al., 2016).

Tabel 2. Sifat mekanik serat kelapa sawit (Khalil, et al., 2012)

Jenis Fiber	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Perpanjangan (%)
EFB	50-400	0.57-9	2.5-18
OPF	20-200	2-8	3-16
OPT	300-600	8-45	5-25

2.3.3 Sifat Kimia

Komposisi kimia dari serat kelapa sawit bermacam-macam tergantung jenis dan asalnya. Komposisi kimia yang ada pada serat TKKS adalah ligninselulosa dimana didalamnya terkandung selulosa, hemiselulosa, lignin, dan abu. Selulosa dan hemiselulosa umumnya terbungkus secara fisik oleh lignin. Selulosa sebagian besar terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan (Anggorodi, 1994). Selulosa memiliki sifat mekanik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit. Kandungan lignoselulosa komplek dapat dihancurkan dengan *treatment* Naoh dengan memaksimalkan perubahan fisik pada serat dan meminimalkan hidrolisis selulosa (Yuanisa, et al., 2015).

Tabel 3. Komposisi serat kelapa sawit (Khalil, et al., 2012)

Komposisi	Jenis Fiber		
	EFB	OPF	OPT
Selulosa (wt%)	43-65	40-50	29-37
Hemiselulosa (wt%)	17-33	34-38	12-17
Holoselulosa (wt%)	68-86	80-83	42-45
Lignin (wt%)	13-37	20-21	18-23
Xylose (wt%)	60-66	26-29	15-18
Glukosa (wt%)	60-66	62-67	30-32
Abu (wt%)	1-6	2-3	2-3

2.7 Epoxy Resin

Epoxy adalah suatu eter siklik beranggotakan tiga atom (Asy'ari, 2008). Contoh dari epoxy adalah *ethylene oxide*, *trimethylene oxide*, dan *tetrahydrofuran*. Epoxy resin adalah sistem ikatan kimia organik yang digunakan sebagai bahan kimia lapisan khusus atau perekat (Rahayu dan Siahaan, 2017). Bentuk epoxy resin berupa cairan kental atau hampir padat yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan (Daulay, et al.,

2014). Epoxy resin adalah polimer thermoset yang aplikasi penggunaannya sangat luas (Chrusciel dan Lesniak, 2014). Polimer berfungsi sebagai matriks yang berfungsi untuk mengikat penguat yang digunakan pada komposit (Nugroho, et al., 2012). Polimer memiliki sifat yang menguntungkan karena massa jenisnya kecil, mudah dibentuk, dan tahan karat. Akan tetapi polimer memiliki kekurangan seperti kekakuan dan kekuatan yang rendah.

Pemilihan epoxy resin sebagai matriks pada pembuatan komposit karena kekuatan dan kekakuan lebih besar dibandingkan dengan polimer jenis lain. Kelebihan epoxy resin dibandingkan dengan resin jenis lain yaitu sifat mekanik dan termal yang tinggi, sangat tahan terhadap air, penyusutan sangat rendah, usia pakai lama, tahan temperatur hingga, tahan kimia, kuat, stabilitas dimensi dan sifat-sifat listrik yang baik. Akan tetapi dalam keadaan padat, epoxy resin bersifat *brittle* dan tidak resistan terhadap keretakan, namun jika dikombinasikan dengan *nanoclay* sifat mekaniknya menjadi lebih baik (Widyatama, et al., 2014).

Tabel 4. Temperatur penggunaan resin (Fahmi dan Hermansyah, 2011)

Jenis Resin	Temperatur Maksimum (°)
Polyester	Temperatur Ruang
Epoxy	200
Phenolics	260
Polimides	300
Polibenzimidazole	+300

2.8 *Silicone Rubber*

Silicone rubber atau karet silikon merupakan salah satu jenis karet sintetis. *Silicone rubber* adalah bagian dari polimer yang memiliki keunggulan dalam hal elastisitas (Sujana dan Widi, 2013). Rantai utama dari polimer silikon adalah polidimetilsiloksan dengan rantai utama Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon. Rantai ikatan Si-O lebih stabil daripada ikatan silikon

dengan silikon (Si-Si), oleh karena itu rantai yang banyak terbentuk di alam adalah silikon oksida yang dinamakan siloksan (Licari dan Laura, 1990). Rantai utama Si-O akan memberikan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap ozon, oksigen, panas (hingga 315°C), sinar UV, kelembaban, dan efek cuaca secara umum (Ciullo, 1996).

Secara umum *silicone rubber* merupakan campuran berkekuatan rendah yang berguna pada temperatur -80 sampai 450°F (-62.2 sampai 232.2 °C). *Silicone rubber* sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan panas karena memiliki temperatur transisi glass yang rendah yaitu sekitar -197 °F (-127.2°C) yang membuatnya memiliki fleksibilitas pada temperatur rendah yang cukup baik (Illah dan Ardhyananta, 2013). *Silicone rubber* berikatan secara *crosslink* dengan beberapa senyawa menggunakan *curing agent*. Contoh *curing agent* yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan *crosslink* pada *silicone rubber* adalah benzoil peroksida dan katalis bluesil untuk resin RTV (*Room Temperature Vulcanizir*) *silicone rubber*.

2.9 Katalis

Katalis merupakan suatu bahan kimia yang ditambahkan ke dalam matriks resin dengan tujuan untuk meningkatkan laju pembekuan (Lumintang et al., 2018). Saat katalis dan epoxy dicampur akan menjadi padat dengan menggunakan panas dari reaksi kimia eksotermal (Arbintarso, 2009). Kecepatan epoxy resin untuk menjadi padat pada proses *curing* dapat dikontrol dengan memberikan tambahan katalis dari jumlah fraksi volume matriks. Penambahan katalis yang terlalu sedikit dapat mengakibatkan proses *curing* tidak sempurna dan apabila terlalu banyak akan menimbulkan panas yang berlebihan pada proses *curing*. Katalis yang digunakan dalam proses *curing* berasal dari *organic proxide* seperti *methyl ethyl*, *ketone proxide*, dan *acetyl acetone proxide*. Katalis yang berada pada fase yang sama dengan rekatan disebut sebagai katalis homogen sedangkan yang berada pada fase berbeda disebut katalis heterogen.

2.10 *Curing*

Proses *curing* pada sistem epoxy sangat bergantung pada keaktifan atom hidrogen dalam senyawa amina. Proses *curing* dapat dilakukan dengan atau tanpa penambahan zat pengering (Rahayu dan Siahaan, 2017). Proses *curing* terjadi secara eksotermis, dimana pada selama proses *curing* berlangsung terjadi pelepasan sejumlah kalor. Kecepatan proses *curing* bergantung pada temperatur ruang. Setiap kenaikan temperatur 10°C akan membuat laju kecepatan proses *curing* menjadi dua kali lebih cepat, sedangkan untuk penurunan pada temperatur dengan besar yang sama akan membuat laju kecepatan proses *curing* menjadi setengah kali lebih lambat dari laju kecepatan *curing* sebelumnya (Daulay, et al., 2014).

Epoxy resin jika direaksikan dengan *hardener* akan membentuk polimer *crosslink* (Tauvana, et al., 2020). Crosslink merupakan ikatan-ikatan yang menghubungkan suatu rantai polimer dengan polimer lain. *Hardener* merupakan bahan yang menimbulkan terjadinya proses *curing*. *Hardener* terdiri dari katalisator dan *accelerator* yang akan menimbulkan panas, panas ini diperlukan untuk mempercepat proses pengeringan sehingga bahan menjadi kuat (Maaliku, et al., 2014). Akan tetapi bila panasnya terlalu tinggi akan merusak ikatan-ikatan antar molekul dan juga akan merusak seratnya (Suharpiyu, 2000). Umumnya *hardener* untuk sistem *curing* pada temperatur ruang adalah senyawa *poliamida* yang terdiri dari dua atau lebih grup amina (Daulay, et al., 2014).

2.11 Uji Tarik

Uji tarik adalah cara pengujian yang paling mendasar untuk mengetahui sifat mekanik suatu material. Pengujian ini dapat dilakukan dengan mengikuti standarisasi seperti ASTM (*American Standard Testing and Material*) atau JIS (*Japanese Industrial Standards*). Uji tarik merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu material dengan cara memberikan

beban sampai material tersebut putus atau patah, sehingga akan didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum berupa gaya yang diberikan. Metode pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban gaya statis dalam satu garis dengan arah yang berlawanan secara lambat. Dari pengujian tarik didapat suatu kurva hubungan beban tarik terhadap perpanjangan material yang diuji. Kurva ini kemudian akan dikonversi menjadi kurva tegangan dan regangan yang digunakan untuk mendapatkan sifat mekanik dari suatu material berupa modulus elastisitas, kekuatan tarik, ketangguhan, dan regangan. Hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Rabiul, 2013)

$$F = \sigma \cdot A \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

F : Beban (N)

A : Luas Penampang (mm^2)

σ : Tegangan (N/mm^2)

2.12 Insulasi Termal

Termal merupakan sesuatu yang berkaitan dengan panas. Panas adalah bentuk energi yang dapat berpindah dari satu benda ke benda lain karena adanya perbedaan suhu. Proses perpindahan panas terjadi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Insulasi termal merupakan suatu proses untuk mengurangi perpindahan panas dengan cara menghambat panas yang lewat pada suatu benda dan menyalurkan kembali panas yang mengalir menjauhi permukaan benda. Menurut cara berpindahnya panas dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas yang merambat melalui perantara tanpa disertai perpindahan partikel-partikel. Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair, dan gas. Pada benda padat perpindahan

panas terjadi akibat perpaduan getaran dari molekul dan transfer energi dari elektron bebas (Laupe et al., 2021).

2. Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada suatu benda dengan disertai perpindahan partikel-partikel dari zat tersebut. Konveksi hanya terjadi pada fase cair dan gas. Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi akibat pergerakan molekul secara acak dan akibat adanya energi yang dipindahkan secara mikroskopis (Walujodjati, 2006).

3. Radiasi

Radiasi adalah suatu bentuk perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain dalam bentuk gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan zat perantara. Perpindahan panas secara radiasi dapat terjadi pada semua fase. Salah satu hal yang mempengaruhi perpindahan panas secara radiasi adalah kondisi permukaan benda yang memancarkan dan menerima panas. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat permukaan benda berpengaruh langsung terhadap emisivitas (daya pancar) benda tersebut (Burhani et al., 2014).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari bulan April sampai September 2023 seperti pada rencana jadwal penelitian Tabel 5 yaitu :

Tabel 5. Rencana jadwal penelitian

No.	Agenda	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■					
2	Menyusun Proposal	■					
3	Seminar Proposal		■				
4	Fabrikasi Komoosit			■			
5	Menyiapkan Sampel Pengujian			■			
6	Uji Tarik			■			
7	Uji Insulasi Termal			■			
8	Pengolahan Data				■		
9	Hasil dan Pembahasan				■		
10	Seminar Hasil					■	
11	Sidang Skripsi						■

Adapun tempat penelitian akan dilakukan di beberapa tempat yaitu :

1. Proses mempersiapkan alat dan bahan, perlakuan serat TKKS, fabrikasi komposit, dan mempersiapkan sampel di Lab. Komposit Teknik Mesin Universitas Lampung
2. Pengambilan data uji tarik dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
3. Pengambilan data uji insulasi termal dilakukan di Lab. Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) digunakan sebagai *reinforcement* pada pembuatan komposit. Persiapan serat dengan *treatment* melalui perendaman alkali NaOH dan pemanasan microwave oven. Sebelum dilakukan *treatment*, serat dipisahkan dari batang dan cangkang buah kelapa sawit. Serat TKKS dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 6. Tandan kosong kelapa sawit

Tabel 6. Spesifikasi serat TKKS

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Serat TKKS
2	Panjang serat	150-160 mm
3	Diameter serat	0.5 mm
4	Massa serat	0.0471 gr

2. Epoxy resin

Epoxy resin adalah polimer thermoset yang digunakan sebagai matriks yang berfungsi untuk mengikat serat pada pembuatan komposit. Epoxy resin dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 7. Epoxy resin

Tabel 7. Spesifikasi epoxy resin

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Epoxy resin
2	Densitas	1.12-1.16 g/cm ³
3	Viskositas	500-900 cP
4	Berat molekul	24540 gr/mol

3. *Silicone rubber*

Silicone rubber merupakan jenis karet dari bahan sintetis yang memiliki elastisitas yang tinggi. *Silicone rubber* akan dicampurkan ke dalam fasa matriks dalam pembuatan komposit. *Silicone rubber* dan spesifikasi sebagai berikut

Gambar 8. *Silicone rubber*Tabel 8. Spesifikasi *silicone rubber*

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	<i>Silicone rubber</i>
2	Densitas	1.24 gr/cm ³
3	Viskositas	372000 cP
4	Berat molekul	65000 gr/mol

4. Katalis

Katalis merupakan suatu bahan kimia yang ditambahkan ke dalam matriks untuk meningkatkan laju pembekuan. Proses *curing* dapat dikontrol dengan menggunakan katalis. Katalis dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 9. Katalis

Tabel 9. Spesifikasi katalis

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Katalis
2	Densitas	0.91-0.94 gr/cm ³
3	Viskositas	4-15 cP
4	Berat molekul	15100 gr/mol

5. Aquades

Aquades digunakan untuk keperluan mencuci serat TKKS dan pencampuran NaOH untuk keperluan *treatment* serat TKKS. Aquades dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 10. Aquades

Tabel 10. Spesifikasi aquades

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Aquades, H ₂ O
2	Densitas	0.998 g/cm ³
3	Titik beku	0°C
4	Titik didih	100°C

6. NaOH

NaOH atau natrium hidroksida merupakan senyawa kimia dengan kadar alkali tinggi. NaOH digunakan dalam perendaman untuk meningkatkan adhesi, *interface*, mengurangi sifat *hydrophilic* pada serat TKKS. NaOH dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 11. Naoh

Tabel 11. Spesifikasi NaOH

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	NaOH (99%)
2	Densitas	2.13 g/cm ³
3	Titik lebur	323°C (283 K)
4	Titik didih	1388°C (610 K)

7. Microwave oven

Microwave oven berfungsi untuk mengeringkan serat setelah dilakukan pencucian atau perlakuan perendaman serat. Tujuan dari pengeringan untuk mengurangi kadar air dan membuat permukaan serat semakin kasar. Microwave oven dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 12. Microwave oven

Tabel 12. Spesifikasi microwave oven

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Microwave oven
2	Type	Kirin oven KBO-190A
3	Temperatur	0-250°C
4	<i>Timer</i>	<i>Automatic control</i>

8. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa material yang digunakan dalam pembuatan komposit. Timbangan digital dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 13. Timbangan digital

Tabel 13. Spesifikasi timbangan digital

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Timbangan digital
2	Type	Pocket scale KW0600375
3	Ketelitian	.01-250 gram
4	Kalibrasi	<i>Auto calibration</i>

9. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur aquades dan larutan NaOH.

Gelas ukur dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 14. Gelas ukur

Tabel 14. Spesifikasi gelas ukur

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Gelas ukur
2	Kapasitas	1000 ml
3	Ketelitian	50 ml
4	Material	Plastik

10. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen pengujian tarik, analisis SEM, dan pengujian insulasi termal. Jangka sorong dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 15. Jangka sorong

Tabel 15. Spesifikasi jangka sorong

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Jangka Sorong
2	Type	Vernier caliper QRC26
3	Pengukuran	150 mm / 6"
4	Ketelitian	0.05 mm

11. Cetakan

Cetakan digunakan sebagai wadah mencetak komposit serat dengan matriksnya. Cetakan komposit terbuat dari akrilik dengan ukuran dimensi yang disesuaikan dengan kebutuhan pengujian. Cetakan komposit dan spesifikasinya sebagai berikut



Gambar 16. Cetakan

Tabel 16. Spesifikasi cetakan komposit

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Cetakan
2	Bahan	Akrilik
3	Ukuran	16.5 cm x 2 cm x 0.4 cm
4	Perekat	<i>Double tape 3M</i>

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian terbagi menjadi 4 bagian yaitu mempersiapkan serat TKKS, memperhitungkan fraksi volume komposit, membuat komposit serat TKKS, dan menyiapkan sampel pengujian

a. Mempersiapkan Serat TKKS

Adapun persiapan serat TKKS yang akan digunakan sebagai *reinforcement* pada komposit epoxy resin–*silicone rubber* yaitu sebagai berikut

1. Mengekstrak serat dari tandan kosong kelapa sawit dengan panjang serat 160 mm dan diameter 0.5 mm
2. Mencuci serat TKKS yang telah diekstrak menggunakan aquades pH netral untuk menghilangkan debu dan kotoran
3. Mengeringkan serat TKKS yang telah dicuci selama ± 7 hari pada suhu kamar
4. Menyiapkan larutan NaOH 99% sebanyak 50 gr kemudian dicampurkan dengan aquades 1000 ml
5. Melakukan *treatment* pada serat TKKS dengan cara direndam kedalam larutan NaOH selama 3 jam
6. Mencuci serat TKKS setelah direndam larutan NaOH menggunakan aquades
7. Mengeringkan serat selama ± 7 hari pada suhu kamar
8. Melakukan *treatment* pada serat dengan cara dikeringkan menggunakan microwave oven pada suhu 60°C selama 20 menit
9. Menyimpan serat TKKS di ruangan terbuka pada suhu kamar

b. Perhitungan Fraksi Volume Komposit

Adapun perhitungan fraksi volume komposit antara serat dan matriks adalah sebagai berikut

1. Volume komposit (V_c)
 Panjang spesimen = 16.5 cm
 Lebar spesimen = 2 cm
 Tinggi spesimen = 0.4 cm

$$V_c = V_{\text{balok}} = P \times L \times T$$

$$V_c = 16.5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 0.4 \text{ cm}$$

$$V_c = 13.20 \text{ cm}^3$$

2. Massa serat tunggal (M_f)
 r serat rata-rata = 0.025 cm
 t serat rata-rata = 16 cm
 Massa serat rata-rata = 0.0471 gram

$$V_{\text{serat}} = V_{\text{tabung}} = \pi r^2 t$$

$$V_{\text{serat}} = 3.14 \times (0.025 \text{ cm})^2 \times 16 \text{ cm}$$

$$V_{\text{serat}} = 0.0314 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{\text{serat}} = \frac{M_{\text{serat}}}{V_{\text{serat}}}$$

$$\rho_{\text{serat}} = \frac{0.0471 \text{ gram}}{0.0314 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_{\text{serat}} = 1.5 \text{ gr/cm}^3$$

3. Fraksi volume serat (V_f)
 Spesimen A, Spesimen B, Spesimen C = Serat 10%

$$V_f = \frac{10}{100} \times V_c$$

$$V_f = \frac{10}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_f = 1.32 \text{ cm}^3$$

4. Massa serat (M_f)
 Spesimen A, Spesimen B, Spesimen C = Serat 10%

$$M_f = \rho_f \times V_f$$

$$M_f = 1.5 \text{ gr/cm}^3 \times 1.32 \text{ cm}^3$$

$$M_f = 1.98 \text{ gr / spesimen komposit}$$

5. Fraksi volume matriks (V_m)
 Spesimen A = (Epoxy resin 80% : *Silicone rubber* 10%)

$$V_{\text{m epoxy resin}} = \frac{80}{100} \times V_c$$

$$V_{\text{m epoxy resin}} = \frac{80}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{m epoxy resin}} = 10.56 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = \frac{10}{100} \times V_c$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = \frac{10}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = 1.32 \text{ cm}^3$$

Spesimen B = (Epoxy resin 70% : *Silicone rubber* 20%)

$$V_m \text{ epoxy resin} = \frac{70}{100} \times V_m$$

$$V_m \text{ epoxy resin} = \frac{70}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ epoxy resin} = 9.24 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = \frac{20}{100} \times V_m$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = \frac{20}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = 2.64 \text{ cm}^3$$

Spesimen C = (Epoxy resin 60% : *Silicone rubber* 30%)

$$V_m \text{ epoxy resin} = \frac{60}{100} \times V_m$$

$$V_m \text{ epoxy resin} = \frac{60}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ epoxy resin} = 7.92 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = \frac{30}{100} \times V_m$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = \frac{30}{100} \times 13.20 \text{ cm}^3$$

$$V_m \text{ silicone rubber} = 3.96 \text{ cm}^3$$

6. Massa matriks (M_m)

$$\rho \text{ Epoxy resin} = 1.2 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho \text{ Silicone rubber} = 1.24 \text{ gr/cm}^3$$

Spesimen A = (Epoxy resin 80% : *Silicone rubber* 10%)

$$M_m \text{ epoxy resin} = \rho_m \text{ epoxy resin} \times V_m \text{ epoxy resin}$$

$$M_m \text{ epoxy resin} = 1.2 \text{ gr/cm}^3 \times 10.56 \text{ cm}^3$$

$$M_m \text{ epoxy resin} = 12.67 \text{ gr / spesimen komposit}$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = \rho_m \text{ silicone rubber} \times V_m \text{ silicone rubber}$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = 1.24 \text{ gr/cm}^3 \times 1.32 \text{ cm}^3$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = 1.63 \text{ gr / spesimen komposit}$$

Spesimen B = (Epoxy resin 70% : *Silicone rubber* 20%)

$$M_m \text{ epoxy resin} = \rho_m \text{ epoxy resin} \times V_m \text{ epoxy resin}$$

$$M_m \text{ epoxy resin} = 1.2 \text{ gr/cm}^3 \times 9.24 \text{ cm}^3$$

$$M_m \text{ epoxy resin} = 11.08 \text{ gr / spesimen komposit}$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = \rho_m \text{ silicone rubber} \times V_m \text{ silicone rubber}$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = 1.24 \text{ gr/cm}^3 \times 2.64 \text{ cm}^3$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = 3.27 \text{ gr / spesimen komposit}$$

Spesimen C = (Epoxy resin 70% : *Silicone rubber* 30%)

$$M_m \text{ epoxy resin} = \rho_m \text{ epoxy resin} \times V_m \text{ epoxy resin}$$

$$M_m \text{ epoxy resin} = 1.2 \text{ gr/cm}^3 \times 7.92 \text{ cm}^3$$

$$M_m \text{ epoxy resin} = 9.50 \text{ gr / spesimen komposit}$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = \rho_m \text{ silicone rubber} \times V_m \text{ silicone rubber}$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = 1.24 \text{ gr/cm}^3 \times 3.96 \text{ cm}^3$$

$$M_m \text{ silicone rubber} = 4.91 \text{ gr / spesimen komposit}$$

c. Membuat Komposit

Adapun langkah-langkah dalam membuat komposit epoxy resin-*silicone rubber* serat TKKS yaitu sebagai berikut

1. Menyiapkan serat, epoxy resin, *silicone rubber*, dan cetakan
2. Menyusun serat secara acak pada cetakan
3. Mencampurkan epoxy resin dan *silicone rubber* yang telah diberi katalis
4. Menuangkan epoxy resin dan *silicone rubber* pada cetakan
5. Meratakan epoxy resin dan *silicone rubber*
6. Melakukan proses *curing* komposit pada suhu ruang

d. **Membuat Sampel Pengujian**

Adapun langkah-langkah untuk membuat sampel pengujian komposit yaitu sebagai berikut

1. Menyiapkan sampel pengujian tarik sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi dengan cara memotong komposit dengan ukuran panjang 165 mm, lebar penampang besar 19 mm, lebar penampang kecil 13 mm dan ketebalan 3.2 mm.
2. Menyiapkan sampel pengujian insulasi termal sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi dengan cara membentuk komposit berukuran diameter 30 mm dan tebal 20 mm.

3.4 Pelaksanaan Pengujian

Adapun pelaksanaan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

3.4.1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik berupa tegangan, regangan, modulus elastisitas suatu bahan dengan cara memberikan beban tarik secara perlahan sampai material tersebut putus. Uji tarik pada komposit menggunakan standar ASTM D638. Alat uji tarik dan spesifikasinya sebagai berikut



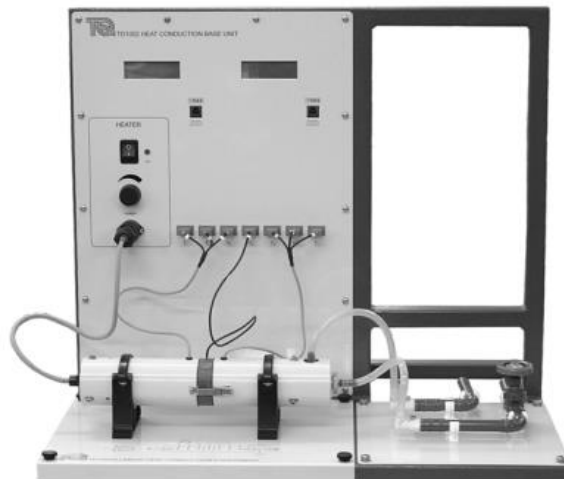
Gambar 17. Alat uji tarik

Tabel 17. Spesifikasi alat uji tarik

No.	Spesifikasi	
1	Nama alat	HT-2402
2	Kapasitas	1-50 kN
3	Daya	1-phase 220V, 0.6 kVA
4	Dimensi	80 cm x 66 cm x 174.5 cm

3.4.2. Pengujian Insulasi Termal

Pengujian termal digunakan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menghambat laju perpindahan panas. Pengujian termal dilakukan menggunakan TD1002A *Linier Heat Conduction Experiment* dengan cara meletakkan sampel ditengah-tengah alat yang diberi panas, lalu masing-masing sampel diukur temperaturnya menggunakan *thermocouple*. Alat uji insulasi termal dan spesifikasinya sebagai berikut



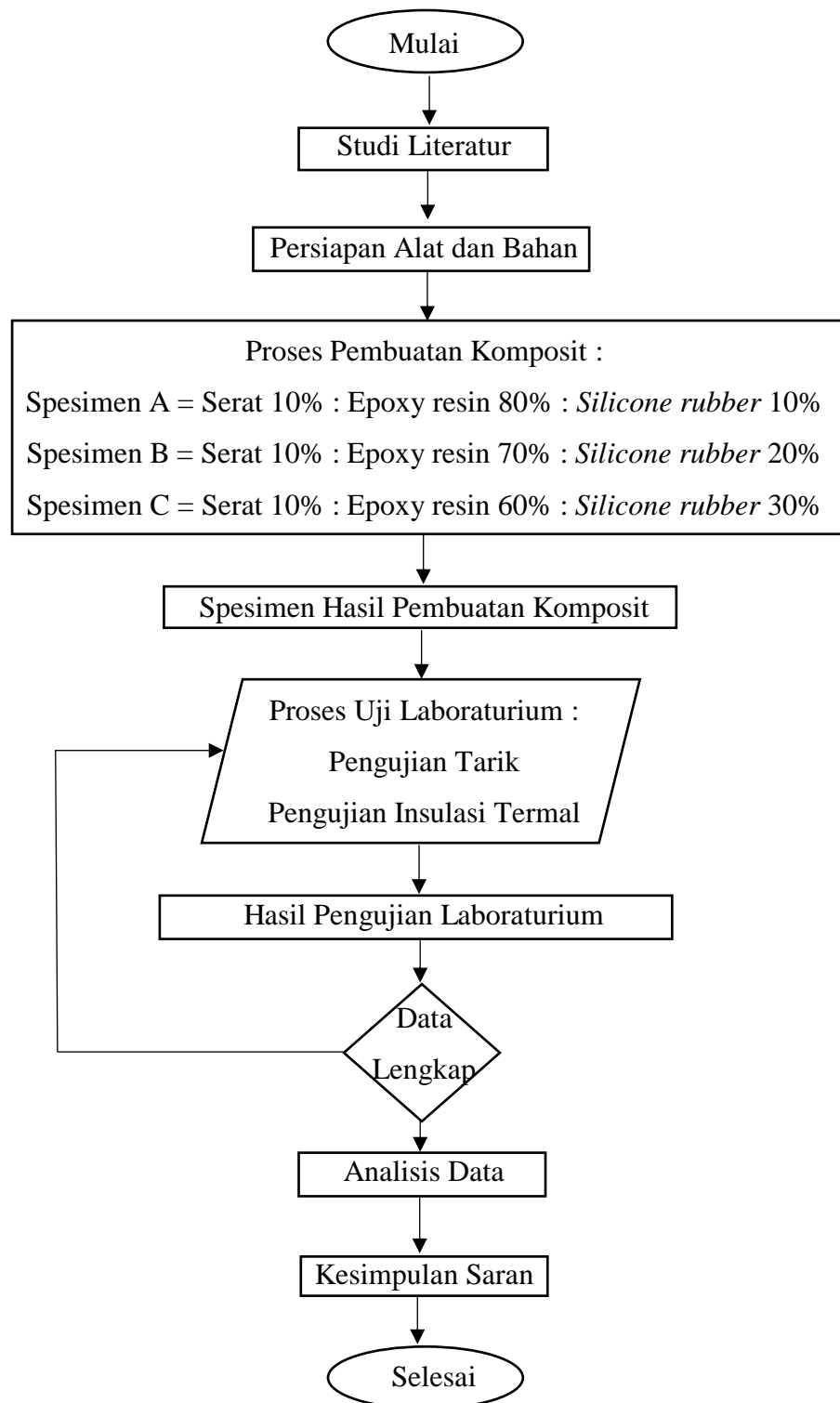
Gambar 18. Alat uji insulasi termal

Tabel 18. Spesifikasi alat uji tarik

No.	Spesifikasi	
1	Nama alat	TD1002A
2	Kapasitas	100W
3	Daya	1-phase 220-240V, 5A
4	Dimensi	65 cm x 48 cm x 59 cm

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian Pengaruh *Silicone Rubber* Terhadap Sifat Tarik Dan Kemampuan Insulasi Termal Komposit Epoxy Resin Berpenguat Serat Tkks (Tandan Kosong Kelapa Sawit) yaitu sebagai berikut,

1. Pengaruh persentase *silicone rubber* pada komposit epoxy resin berpenguat serat TKKS dalam pengujian tarik yaitu akan membuat elongation pada komposit semakin meningkat akan tetapi tensile strength akan mengalami penurunan. Kenaikain elongation dan penurunan tensile strength berbanding lurus dengan bertambahnya persentase *silicone rubber* pada komposit. Semakin banyak persentase *silicone rubber* akan membuat komposit bersifat semakin elastis sehingga menambah kemampuan regangannya, akan tetapi dengan bertambahnya persentase *silicone rubber* akan mengurangi persentase epoxy resin dalam komposit sehingga mengurangi kemampuannya dalam menahan tekanan sehingga terjadi penurunan tensile strength.
2. Kenaikan persentase *silicone rubber* pada komposit epoxy resin berpenguat serat TKKS dalam pengujian termal dapat meningkatkan kemampuan penyerapan panas pada komposit dan dapat menurunkan nilai konduktivitas termalnya. Kenaikan persentase penyerapan panas dan penurunan nilai konduktivitas termal berbanding lurus dengan bertambahnya persentase *silicone rubber* dan menurunnya persentase epoxy resin dalam komposit. Hal ini terjadi karena dengan adanya penambahan persentase *silicone rubber* dalam komposit dapat mengakibatkan kemampuan komposit dalam meredam panas meningkat sehingga menurunkan kemampuan komposit dalam meneruskan panas.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian Pengaruh *Silicone Rubber* Terhadap Sifat Tarik Dan Kemampuan Insulasi Termal Komposit Epoxy Resin Berpenguat Serat Tkks (Tandan Kosong Kelapa Sawit) yaitu sebagai berikut,

1. Sebaiknya dilakukan karakterisasi serat TKKS yang digunakan dalam pembuatan komposit
2. Memperhatikan proses pencampuran epoxy resin dan *silicone rubber* agar tidak terdapat void yang dapat mempengaruhi kekuatan komposit
3. Sebaiknya menggunakan metode lain dalam mencetak sehingga dapat mengurangi void dalam proses pencetakan komposit

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, S. R., Fajarwati, K., Fitriawan, M., Aji, M. P., & Yulianto, A. (2014). Kuat Tarik Komposit Polipropilena (PP) dengan Penguji Silika (SiO₂). In Seminar Nasional Mahasiswa Fisika (Vol. 1, pp. 107-110).
- Amri, N. Z., & Tjahjanti, P. H. (2022). Studi Perbaikan Cara Penambalan (Patching) Pada Bahan Komposit Berbasis Polimer. In Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi (Vol. 12, No. 1, pp. 117-123).
- Anggorodi, R. (1994). Ilmu Makanan Ternak. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Arbintarso, E. S. (2009). Tinjauan kekuatan lengkung papan serat sabut kelapa sebagai bahan teknik. *Jurnal Teknologi*, 2(1), 53-60.
- Ariyansah, M., & Samlawi, A. K. (2019). Pengaruh Orientasi Serat Pada Komposit Kain Polypropylene. *JTAM ROTARY*, 1(1), 33-38.
- Asy'ari, H. (2008). Pengaruh Polutan Industri Terhadap Kinerja Mekanis Bahan Isolasi Resin Berpengisi Silicone Rubber dan Rice Husk Ash (Abu Sekam Padi).
- Bintarto, R., Ma'arif, M. S., Dewi, F. G. U., Sugiarto, S., Hamidi, N., & Heryana, P. (2021). Pengaruh Daya Pemanasan Microwave Oven Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Daun Nanas Bermatrik Epoxy. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 6(2), 182-193.
- Burhani, K., Ramelan, R., & Naryanto, R. F. (2014). Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi Dengan Variasi Beda Perlakuan Permukaan Spesimen Uji. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 3(2).
- Burmawi., Kaidir., & Ilham R., (2015). Analisa Koefisien Perpindahan Panas Material Komposit Serat TKKS Dengan Resin Poliester Sebagai Matriks.
- Chruściel, J. J., & Leśniak, E. (2015). Modification of epoxy resins with functional silanes, polysiloxanes, silsesquioxanes, silica and silicates. *Progress in Polymer Science*, 41, 67-121.
- Chung, Deborah D. L. 2009. *Composite Materials Science And Application*. Second Edition. Springer-Verlag : London.
- Ciullo, P. A. (1996). *Industrial minerals and their uses: a handbook and formulary*. William Andrew.
- Daulay, S. A., & Wirathama, F. (2014). Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Terhadap Sifat Kekuatan Bentur Komposit Epoksi Berpengisi Serat Daun Nanas. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(3), 13-17.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, 2022, *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia*, Sekretariat Jenderal Perkebunan, Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementrian Pertanian, Jakarta, Indonesia.

- Djamil, S., & Siradj, E. S. (2011, July). Sifat Balistik Metal Matrix Composite Dengan Woven Metode Satin Twilled Weave. In *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi* (Vol. 1, No. 1).
- Etikaningrum, N., Hermanianto, J., Iriani, E. S., Syarief, R., & Permana, A. W. (2018). Pengaruh Penambahan Berbagai Modifikasi Serat Tandan Kosong Sawit Pada Sifat Fungsional Biodegradable Foam.
- Fahmi, H., & Hermansyah, H. (2011). Pengaruh orientasi serat pada komposit resin polyester/serat daun nenas terhadap kekuatan tarik. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 46-52.
- Fahmi, H., Pratiwi, P., & Maryanto, T. (2020). The Effect of Addition of Powder Areca Nut Midrib on Polyester Matrix to the Tensile and Bending Strength. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 1-5.
- Firman, S. H., Muris, M., & Junaedi, S. (2015). Studi Sifat Mekanik Dan Morfologi Komposit Serat Daun Nanas-Epoxy Ditinjau Dari Fraksi Massa Dengan Orientasi Serat Acak. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 11(2), 184-191.
- Gomes, A., Matsuo, T., Goda, K., and Ohgi, J. (2007). Development and Effect of Alkali Treatment on Tensile Properties of Curaua Fiber Green Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2007;38:1811-20
- Hariharan, A. B. A., & Khalil, H. A. (2005). Lignocellulose-based hybrid bilayer laminate composite: Part I-Studies on tensile and impact behavior of oil palm fiber-glass fiber-reinforced epoxy resin. *Journal of Composite Materials*, 39(8), 663-684.
- Hartono, M. R., & Subawi, H. (2016). *Pengenalan teknik komposit*. Deepublish.
- Haryanti, A., Norsamsi, N., Sholiha, P. S. F., & Putri, N. P. (2014). Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*, 3(2), 57-66.
- Huang, X., Jiang, P., & Tanaka, T. (2011). A review of dielectric polymer composites with high thermal conductivity. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 27(4), 8-16.
- Illah, M. A., & Ardhyanta, H. (2013). Pengaruh Jenis Katalis terhadap Kekuatan Tarik dan Stabilitas Termal Polidimetilsiloksan (PDMS) untuk Lapisan Pelindung Baja AISI 1050. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1), F41-F44.
- JONES, R. (1975). *Mechanics of composite materials* (Book). Washington, D. C., Scripta Book Co., 1975. 367 p.
- Kartini, R., Darmasetiawan, H., Karo, A. K., & Sudirman, S. (2002). Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 3(3), 30-38.
- Karyono, S. (1991). Komposit Andalan Bahan Masa Depan. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 2(2).
- Khalil, H. P. S. A., Jawaid, M., Hassan, A., Paridah, M. T., & Zaidon, A. (2012). Oil Palm Biomass Fibres And Recent Advancement In Oil Palm Biomass Fibres Based Hybrid Biocomposites.

- Kurniawan, F. A. (2017). Penyelidikan Karakteristik Mekanik Tarik Komposit Serbuk Kasar Kenaf. *Jurnal Inotera*, 2(1), 1-8.
- Kurniawan, I., & Setyowati, V. A. (2021). Pengaruh Metode Pembuatan Komposit dan Variasi Serat Buatan Terhadap Kekuatan Impact dan Tarik. In *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan* (Vol. 1, No. 1, pp. 301-306).
- Laupe, M., Suwandi, S., & Prayitno, D. H. (2021). Pembuatan Komposit Polimer Nanokeramik Untuk Isolasi Termal. *Proceedings of Engineering*, 8(5).
- Law, K.N., Rosli, W., Daud, W., and Ghazali, A. (2007). Morphological and Chemical Nature of Fiber Strands of Oil Palm Empty-Fruit-Bunch (OPEFB). *BioResources*. 351-362
- Licari, J.,J. and Laura, A., H. (1990) *Handbook of Polymer Coatings for Electronic*. New Jersey: Noyes Publications.
- Lumintang, R., Rauf, F. A., Umboh, M., & Jefferson, L. (2018). Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kelapa Sebagai Bahan Pengisi Pada Material Komposit Matriks Poliester. *Jurnal Tekno Mesin*, 4(2).
- Lusiani, R., Sunardi, S., & Ardiansah, Y. (2015). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai papan komposit dengan variasi panjang serat. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 2(1).
- Maaliku, L., Gunawan, Y., dan Aminur (2014). Pengaruh Komposisi Campuran Hardener Dengan Resin Polyester Terhadap Kuat Tarik Dan Bending Polimer Termoset. *Jurnal Dinamika* (ISSN: 2085-8817), 5(2).
- Mardiyati, M. (2018). Komposit Polimer Sebagai Material Tahan Balistik. *J. Inov. Pertahanan dan Keamanan*, 1(1), 20-28.
- Mittal, M., & Chaudharya, R. (2019). Effect of Fiber Length and Content on Mechanical and Water Absorption Behavior of Coir Fiber-Epoxy Composite. *Advanced Engineering Research and Applications*, no. November, 80-100.
- Muhajir, M., Mizar, M. A., & Sudjimat, D. A. (2016). Analisis kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak. *Jurnal Teknik Mesin*, 24(2).
- Nayiroh, N. (2013). *Teknologi material komposit*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik
- Nugroho, P. A., Mustaqim, Rusnoto (2012). Analisa Sifat Mekanik Komposit Serat Tebu Dengan Matrik Resin Epoxy. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 3(1).
- Nurmajid, M. F., & Pamungkas, A. (2021). Perancangan Mesin Pengaduk Komposit Partikel Sistem Vakum Kapasitas 2 Liter. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 12, pp. 855-861).
- Patra, A., Bisoyi, D. K., Manda, P. K., & Singh, A. K. (2013). Effect of microwave radiation on the macromolecular, morphological and crystallographic structures of sisal fiber. *Applied Physics A*, 112, 1063-1071.

- Pica, Z. S., Syahbuddin, S., & Djatmiko, E. (2021). Proses Pembuatan Komposit Baja ASTM A 615 M Oxide Dispersed Strengthening (ODS) Berpenguat Alumina. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(4), 731-745.
- Purboputro, P. I. (2006). Pengaruh panjang serat terhadap kekuatan impak komposit enceng gondok dengan matriks poliester. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 7(2).
- Rabiul SM. 2013, "Analisa Kekuatan Tarik Dan Densitas Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Telur". Fakultas Teknik Universitas Haluoleo Kendari (Skripsi)
- Rahayu, S., & Siahaan, M. (2017). Karakteristik Raw Material Epoxy Resin Tipe BQTN-EX 157 Yang Digunakan Sebagai Matrik Pada Komposit. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15(2), 151-160.
- Riza, O., Nikmatin, S., Hardhienata, H., & Syamani, F. A. (2022). Analisa Sifat Mekanik pada Bahan Anti Peluru dari Adisi Berpenguat Serat Panjang Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(1), 24-32.
- Suardana, N. P. G., & Dwidiani, N. M. (2007). Pengaruh Waktu Treatment Serat terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Tapis Kelapa. *Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 188-192.
- Subiyanto, B. (2008). dkk. Utilization of Empty Fruit Bunch Waste from Oil Palm Industry for Particleboard Using Phenol Formaldehyde Adhesive. *Warta PPKS*, 1-4.
- Suharpiyu. 2000. "Pengaruh Komposisi Dan Beban Tekan Terhadap Karakteristik Rigid Bonded Magnet Berbasis Logam Tanah Jarang Nd-Fe-B Dengan Bahan Pengikat ResinPolyester".
- Sujana, W., & Widi, I. K. A. (2013). Pemanfaatan Silicon Rubber Untuk Meningkatkan Ketangguhan Produk Otomotif Buatan Lokal. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol*, 6(1), 1-94.
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165-172.
- Syafri, E., Kasim, A., Abral, H., & Asben, A. (2015). Pengaruh chemical treatment terhadap sifat fisik, kandungan selulosa dan kekuatan tarik serat alam rami. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 19(2), 18-24.
- Syaukani, M., Paundra, F., Qalbina, F., Arirohman, I. D., Yunesti, P., & Sabar, S. (2021). Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton. *Journal of Science, Technology, and Visual Culture*, 1(1), 29-34.
- Tauvana, A. I., Syafrizal, S., & Subekti, M. I. (2020). Pengaruh matrik resin-epoxy terhadap kekuatan impak dan sifat fisis komposit serat nanas. *Jurnal Polimesin*, 18(2), 99-104.

- Utama, F. Y., & Zakiyya, H. (2016). Pengaruh Variasi Arah Serat Komposit Berpenguat Hibrida Fiberhybrid Terhadap Kekuatan Tarik Dan Densitas Material Dalam Aplikasi Body Part Mobil. *Mekanika*, 15(2).
- Walujodjati, A. (2006). Perpindahan panas konveksi paksa. *Majalah Ilmiah Momentum*, 2(2).
- Widyatmaja, D. W., Raharjo, W. W., & Sukanto, H. (2014). Pengaruh Suhu Pencampuran Terhadap Kekuatan Tarik Dan Fracture Toughness Epoxy Resin–Organoclay Montmorillonite Nanokomposit. *Mekanika*, 12(2).
- Yuanisa, A., Ulum, K., and Wardani, A.K. (2015). Pretreatment Lignocellulose Oil Palm Stem As Initial Step Making the Second Generation Bioethanol: Reader Review. *Journal of Food and Agro-Industry*; 3: 1620-1626.