



universitas
MALIKUSSALEH

SKRIPSI

**KARAKTERISASI KOMPOSIT *SILICONE RUBBER* –
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK APLIKASI
ISOLATOR LISTRIK**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Material Universitas Malikussaleh

Oleh,

AHMAD ADE PUTERA NGL

190190010

**PROGRAM STUDI TEKNIK MATERIAL
JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
LHOKSEUMAWE
2024**

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ahmad Ade Putera Ngl

Nim 190190010

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari Tugas Akhir, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karta atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.

Apabila ternyata terdapat dalam Tugas Akhir saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh hak gelar kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Lhokseumawe, 04 Februari 2024

Saya yang membuat pernyataan



Ahmad Ade Putera Ngl

NIM. 190190010

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi	Karakterisasi Komposit Silicone Rubber –Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Aplikasi Isolator Listrik
Nama Mahasiswa	Ahmad Ade Putera Ngl
NIM	: 190190010
Program Studi	Teknik Material
Jurusan	Teknik Kimia
Fakultas	Teknik
Perguruan Tinggi	Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama	Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.
Pembimbing Pendamping	Ahmad Fikri, S.Pd., M.T.
Ketua Penguji	Dr. Ir. Rozanna Dewi, S.T., M.Sc., I.P.M.
Anggota Penguji	Nurul Islami, S.T., M.Sc.

Lhokseumawe, 05 Februari 2024

Penulis,



Ahmad Ade Putera Ngl

NIM. 190190010

Menyetujui:


Pembimbing utama,



Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.

NIP. 197512312006041002

Pembimbing pendamping,



Ahmad Fikri, S.Pd., M.T.

NIP. 199107052022031008

Mengetahui:

Koordinator program studi,



Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.

NIP. 197512312006041002

Ketua Jurusan,



Dr. Lukman Hakim, S.T., M.Eng.

NIP. 197005082005011001



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada kita semua. Shalawat serta salam kita ucapkan keharibaan Nabi Muhammad SAW serta kepada sahabat dan keluarga beliau. Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan Kesehatan, kesempatan, dan kekuatan sehingga penulis dapat melaksanakan serta menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, S.T., M.T., I.P.M Asean Eng. Selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Dr. Lukman Hakim, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Dr. Zulnazri, S.Si., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Material Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan juga selaku dosen Pembimbing Utama dalam penelitian ini.
5. Bapak Ahmad Fikri, S.Pd., M.T. Selaku dosen Pembimbing Pendamping dalam penelitian ini.
6. Ibu Dr. Ir. Rozanna Dewi, S.T., M.Sc. I.P.M. selaku Dosen Penguji Utama dalam penelitian ini.
7. Bapak Nurul Islami, S.T., M.Sc. Selaku dosen Penguji Pendamping.
8. Staf pengajar dan administrasi Prodi Teknik Material Universitas Malikussaleh.
9. Seluruh rekan-rekan yang telah membantu penulis hingga saat ini.
10. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Lhokseumawe, 12 Februari 2024

Ahmad Ade Putera Ngl
NIM. 190190010

KARAKTERISASI KOMPOSIT *SILICONE RUBBER* – TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK APLIKASI ISOLATOR LISTRIK

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang penggunaan fiber Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai penguat dalam komposit *Silicone Rubber* untuk aplikasi isolator listrik. Penelitian ini juga membahas tentang pengujian *Megger Insulation Tester*, Uji SEM, dan uji TGA dari komposit tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbandingan antara 90%SR : 10%TKKS, 80%SR : 20%TKKS, 70%SR : 30%TKKS dengan variasi 2g, 4g, dan 6g Katalis. Masing – masing dilakukan pengujian *Megger Insulation Tester* dengan hasil sampel terbaik pada 90%SR : 10%TKKS : 4g Katalis yang memenuhi standar PUIL dan terburuk 70%SR : 30%TKKS : 4g Katalis. Kedua sampel yang di ambil terbaik dan terburuk dilakukan pengujian TGA dengan Total *weight loss* 43.961% dan 67.040% dan memiliki stabilitas termal yang baik pada suhu 601.08°C, 595.06°C untuk kedua sampel. Hasil dari pengujian SEM dengan dua sampel terbaik dan terburuk dengan pembesaran 100 kali Hal ini menunjukkan bahwa *filler* dengan ukuran 100µm dan matrik pada komposit berikatan baik, namun masih terdapat sedikit rongga antara serat dengan matrik dan juga terdapat udara yang terperangkap pada komposit.

Kata Kunci: Komposit , Isolator Listrik, *Silicone Rubber*, Tandan Kosong Kelapa Sawit

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Komposit	6
2.2 Klasifikasi Komposit	7
2.3 Perhitungan Komposit.....	8
2.4 Serat Alam.....	8
2.5 Metode Pembuatan Komposit	9
2.6 Sifat-Sifat Tarik Komposit.....	10
2.7 <i>Silicone Rubber</i>	12
2.7.1 Jenis <i>Silicone Rubber</i>	12
2.7.2 Rantai <i>Silicone Rubber</i>	13
2.7.3 Sifat <i>Silicone Rubber</i>	13
2.8 Katalis.....	14
2.8.1 Jenis-jenis Katalis	14
2.8.2 Karakterisasi Katalis	15
2.8.3 Fungsi Katalis Pada <i>Silicone Rubber</i>	15
2.9 <i>Thermogravimetric Analysis (TGA)</i>	16

2.10	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	17
2.11	Mega ohmmeter <i>Testing</i>	17
	2.11.1 Standar Resistansi Isolator.....	18
	2.11.2 Resistivitas Elektrik	18
2.12	Isolator	19
	2.12.1 Sifat Isolator yang Baik	19
	2.12.2 Tegangan Tembus Zat padat.....	20
	2.12.3 Macam – Macam Isolator	20
2.13	Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	23
2.14	<i>Review</i> Penelitian Sebelumnya	25
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2	Alat dan Bahan	29
	3.2.1 Alat	29
	3.2.2 Bahan	29
3.3	Variabel Penelitian	30
	3.3.1 Variabel Tetap	30
	3.3.2 Variabel Bebas.....	30
3.4	Prosedur Kerja.....	30
	3.4.1 Proses pengolahan <i>fiber</i> TKKS	30
	3.4.2 Proses Pembuatan Komposit	31
3.5	Metode Penelitian.....	32
3.6	Tahap Pengujian Komposit	32
	3.6.1 Uji <i>Thermogravimetric Analysis (TGA)</i>	32
	3.6.2 Uji <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	32
	3.6.3 Uji <i>Megger Insulation Tester</i>	33
	3.6.4 Uji Resistivitas elektrik.....	33
3.7	Analisis Data Penelitian	34
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.9	Jadwal Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37

4.1	Hasil.....	37
4.1.1	Uji <i>Megger Insulation Tester</i>	37
4.1.2	Resistivitas elektrik.....	38
4.2	Pembahasan	39
4.2.1	Uji <i>Megger Insulation Tester</i>	39
4.2.2	Nilai Resistivitas	40
4.2.3	Uji <i>Thermogravimetric Analysis (TGA)</i>	42
4.2.4	Uji <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	44
BAB V PENUTUP		46
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN A DATA PENGAMATAN		A-1
LAMPIRAN B DATA PERHITUNGAN.....		B-1
LAMPIRAN C GAMBAR DAN DOKUMENTASI		C-1
LAMPIRAN D DOKUMEN DAN ADMINISTRASI.....		D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit.....	7
Gambar 2.2 Teknik <i>Vacum Bag</i>	9
Gambar 2.3 <i>Silicone Rubber</i>	12
Gambar 2.4 Rantai Utama Polidimetilsiloksan.....	13
Gambar 2.5 Skema termogram dekomposisi satu tahap	16
Gambar 2.6 Dekomposisi CaCO ₃ yang berbeda	17
Gambar 2.7 Alat Mega ohmmeter tipe ZC-90E.....	18
Gambar 2.8 insulator konduktor dengan bahan karet	21
Gambar 2.9 Kabel Berisolasi Kertas	22
Gambar 2.10 Kabel Berinsulator PVC.....	23
Gambar 2.11 Tandan Kosong Kelapa Sawit	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4. 1 Grafik Nilai Resistansi	39
Gambar 4. 2 Grafik Perhitungan Nilai Resistivitas.....	41
Gambar 4. 3 Grafik (a) Sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis	42
Gambar 4. 4 Sampel (SR : TKKS) 90:10 %, 4gram Katalis dan (SR : TKKS) 70:30, 4gram Katalis	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 sifat mekanik dan sifat fisik	14
Tabel 2.2 Komposisi TKKS	24
Tabel 3.1 Jadwal penelitian.....	36
Tabel 4.1 Hasil dari Pengujian <i>Megger Insulation tester</i>	37
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Nilai Resistivitas	38

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

°C	= Derajat Celcius
SNI	= Standar Nasional Indonesia
JIS	= Japanase Industrial Standart
%	= Persen
ρ	= Massa Jenis
G/cm ³	= Gram per Sentimeter Kubik
W1	= Berat Akhir
m	= Meter
PUIL	= Peraturan Umum Instalasi Listrik
Vf	= Fraksi Volume serat
Vs	= Volume Serat
Vc	= Volume Komposit
Wf	= Fraksi berat Serat
Ws	= Massa Serat
Wc	= Massa Komposit
W0	= Berat Awal
NaOH	= Natrium Hidroksida
Gr	= Gram
SR	= <i>Silicone Rubber</i>
TKKS	= Tandan Kosong Kelapa Sawit
A	= Luas penampang
E	= Modulus elastisitas
Ef, Em	= Modulus elastisitas serat dan matrik
Mc, Mf	= Massa komposit dan serat
Li	= Panjang ukur setelah pengujian
Lo	= Panjang ukur sebelum pengujian
P	= Beban
QM	= Density matrik
Vf, wf	= Fraksi volume dan berat serat
Vc	= Volume komposit
Wf, WM	= Massa serat dan matrik
$\Delta\sigma$	= Selisih tegangan tarik di daerah elastis
E	= Regangan
$\Delta\varepsilon$	= Selisih regangan di daerah elastis
ρ_f, ρ_M	= Densitas serat dan matrik
σ	= Kekuatan tarik
σ_f	= Kekuatan tarik serat
σ_m	= Kekuatan tarik matrik
Ω	= Ohm

DAFTAR LAMPIRAN

L.A.1 Grafik Uji <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA)	A-1
L.A.2 Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	A-2
L.B.1 Data Perhitungan Nilai Resistivitas	B-1
L.C.1 Alat-alat Pembuatan Komposit	C-1
L.C.2 Bahan Pembuatan Komposit	C-1
L.C.3 Proses Pembuatan Komposit	C-2
L.C.4 Proses Pengujian <i>Megger Insulation Tester</i>	C-3
L.D.1 Surat Keterangan Bebas Laboratorium	D-1
L.D.2 Surat Persetujuan Seminar/Sidang	D-2
L.D.3 Surat Undangan Sidang	D-3
L.D.4 Biodata	D-4

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam kehidupan manusia dapat memunculkan penemuan-penemuan baru. Dunia teknik material adalah salah satu dari segala bidang keteknikan yang menunjukkan suatu perkembangan yang pesat. Pengembangan teknologi hijau atau teknologi ramah lingkungan semakin maju dalam perkembangannya. Salah satunya adalah teknologi komposit dengan material serat alam (*natural fiber*). Tuntutan teknologi ini dapat di sesuaikan juga dengan berbagai keadaan alam yang mendukung untuk pemanfaatannya secara langsung. (Nurudin dkk, 2011).

Komposit dari bahan serat (*fibrous composit*) terus diteliti dan dikembangkan menjadi salah satu bahan alternatif pengganti bahan logam, hal ini menyebabkan sifat khusus dari komposit serat yang kuat, dan mempunyai berat yang lebih ringan dibandingkan dengan suatu logam, komposit ialah perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi suatu bahan material yang baru bahkan berbeda, dan memiliki spesifik lebih baik dari keduanya (Ari Supriyatna & Solihin, 2018).

Peralatan dalam penyaluran yang sering digunakan dalam sistem distribusi dan transmisi listrik merupakan kabel listrik. Kabel-kabel yang digunakan sebagai sistem instalasi listrik yaitu harus memenuhi standar yang telah di tentukan, dari segi konduktivitas dan bahan isolatornya dalam kontruksi kabel (Marsudi dkk, 2016: 4-31).

Instalasi kabel listrik merupakan kawat penghantar berisolator sebagai media penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lainnya dan juga dapat berupa sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain. Kabel listrik terdapat dua jenis yaitu isolator dan konduktor, kecuali untuk kabel grounding, kabel bertegangan tinggi (TT), kabel bertegangan ekstra tinggi (SUTET), yang

dapat dilihat biasanya tidak terbungkus oleh isolator (Erhaneli & Musnadi, 2012; 12 (1):5).

Tegangan tembus ialah tegangan minum yang sering merusak bahan isolator. Bahan isolator dapat dikatakan tembus jika pada bahan tersebut mengalir muatan listrik negatif (elektron). Elektron-elektron yang mengalir secara terus menerus dapat menimbulkan arus bocor permukaan material isolator dan akan mengurangi ikatan kimia dari bahan isolator. Sehingga timbul kerak konduktor (jejak arus) yang membentuk jalur konduktor dan menimbulkan tekanan elektrik yang berlebihan pada isolator. Apabila isolator/dielektrik tersebut tidak mampu menahan tekanan listrik akan berubah menjadi sifat konduktif, maka material isolator tersebut telah tembus listrik (*breakdown*) (Pambudi PE, Panjaitan, 2012).

Material isolator pada selubung kabel standar memiliki suatu ketahanan uji tegangan tinggi yang lebih baik dibandingkan dengan kabel tidak standar yang dimana ketahanan uji tersebut merupakan kemampuan dalam material isolator selubung kabel untuk menahan tegangan-tegangan yang tinggi dan arus bolak-balik yang dapat melebihi tegangan kerja normalnya selama rentang waktu tertentu sebelum terjadinya suatu tembus listrik (*breakdown voltage*) (zikra rufina, dkk. 2014).

Silicone Rubber (SR) merupakan material padat dengan struktur tanpa pori, tetapi strukturnya dapat berupa *silicone rubber* (SR) berpori dengan mencampurkan NaCl pada campuran *silicone rubber* (SR) dan heksana (K. Yoshimura, 2015). Komposisi tersebut dapat berkurang, antara lain disebabkan oleh adanya paparan dari polutan yang dapat mempercepat proses penuaan (*Aging*) pada isolator.

Aging adalah penuaan yang terjadi pada material isolasi yang dapat menyebabkan penurunan kemampuan dari isolasi. *Aging* ini dapat terjadi disebabkan karena adanya pengaruh faktor eksternal, di antaranya polutan, temperatur dan kelembaban, maupun pengaruh faktor internal yaitu pengaruh dari kinerja material isolasi. Adanya zat pengotor (polutan) yang menempel di

permukaan material isolasi dapat mempercepat proses terjadinya *aging* sehingga dapat menyebabkan terjadinya arus bocor.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat terbesar di mana saat ini proses pemanfaatannya masih dapat diteliti. Jika terdapat pada cangkang buah sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler di pabrik produksi kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit masih belum sempurna dalam pemanfaatannya. Sehingga ini biasanya dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan dibiarkan menumpuk. Apabila penumpukan tersebut dibiarkan maka tandan kosong kelapa sawit dapat menimbulkan permasalahan sampah (Gusman 2016).

Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) secara umum digunakan sebagai pupuk organik, bahan pembuatan kertas, arang dan pengisi rongga jok mobil dan kasur. Pemanfaatan yang berkelanjutan perlu adanya penelitian untuk mengkaji tentang potensi TKKS sebagai material serat alam yang dimanfaatkan untuk produk yang bukan sekedar menjadi produk hasil cacahan atau sebagai pengisi rasio volume (Aditya putri dkk, 2014).

Katalis merupakan pengerasan antara matriks dan *filler* sehingga mampu meningkatkan kekuatan komposit tersebut. Penambahan katalis dalam jumlah yang tepat dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit hingga 15%. Namun, penambahan katalis yang terlalu banyak dapat menyebabkan proses panas berlebihan selama proses pengerasan dan sehingga menyebabkan komposit yang kurang sempurna (Alamsyah *et al.*, 2021).

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis memilih judul “Karakterisasi Komposit SR - TKKS untuk Aplikasi Isolator Listrik”, khususnya dalam penggunaan isolator listrik di pabrik industri maupun kebutuhan instalasi listrik sederhana, dengan adanya penelitian ini semoga dapat membantu industri untuk pengembangan material komposit alat sebagai teknologi baru.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang terdapat pada latar belakang masalah, dapat dikemukakan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakterisasi komposit *silicone rubber* dari *fiber* TKKS berdasarkan uji TGA, SEM dan resistivitas listrik.
2. Bagaimana perbandingan dan pengaruh bahan komposit *silicone rubber* dengan *fiber* TKKS (*filler*) sebagai aplikasi isolator listrik.
3. Bagaimana faktor ekonomi dan keberlanjutan dari penggunaan komposit ini dalam aplikasi isolator listrik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kualitas komposit *silicone rubber* dan *fiber* TKKS melalui uji TGA, SEM, dan resistivitas listrik.
2. Untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh serat tandan kosong kelapa sawit pada produk berbahan komposit terhadap isolator listrik.
3. Untuk mengetahui komposisi terbaik dari campuran serat tandan kosong kelapa sawit, *silicone rubber* dan Katalis.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah ilmu pengetahuan dan wawasan baru mengenai peningkatan sifat mekanik komposit melalui penggunaan *silicone rubber* dan *fiber* tandan kosong kelapa sawit (TKKS).
2. Memperoleh data TGA, SEM, dan Resistivitas Listrik dari komposit *silicone rubber* dan *fiber* TKKS, sehingga dapat digunakan sebagai bahan alternatif ramah lingkungan dan ekonomis dan dapat diterapkan sebagai komposit sintesis.
3. Dapat memperkaya perkembangan ilmu pengetahuan dibidang ilmu bahan pembuatan komposit *silicone rubber* dan *fiber* TKKS.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak melebar maka dibuat batasan masalah yaitu:

1. Serat yang digunakan sebagai penguat pada penelitian ini adalah serat tandan kosong kelapa sawit sebagai *filler*, dengan matrik *silicone rubber* dan katalis.
2. Analisa nilai resistivitas listrik, TGA, dan SEM bahan komposit serat tandan kosong kelapa sawit, *silicone rubber* dan katalis.
3. Menentukan pengaruh komposisi dari campuran serat tandan kosong kelapa sawit dengan *silicone rubber* dan katalis terhadap karakteristik komposit.
4. Menentukan komposisi terbaik dari campuran serat tandan kosong kelapa sawit dengan *silicone rubber* dan katalis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu sistem material yang multi fasa yang dapat terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material dengan sifat yang beragam jenis. Komposit terdiri dari serat dan matriks. Serat berfungsi sebagai rangka penyusun material komposit. Sedangkan matriks sebagai perekat serat dan menjaga agar tidak berubah posisi. Matriks mempunyai sifat yang mudah untuk diubah bentuknya dengan cara di potong dan dapat juga di cetak sesuai kebutuhan desain yang dibuat. Dengan berikut perbedaan pengaturan susunan serat akan mengubah sifat – sifat komposit yang dihasilkan. Hal tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan suatu sifat komposit yang sesuai parameter yang diperoleh. Matriks pada umumnya terbuat dari suatu bahan resin. Matriks berfungsi sebagai bahan perekat material serat, sehingga campuran serat yang di tumpukan dapat merekat dengan kuat. Resin akan saling mengikat dengan material serat, sehingga beban yang dikenakan pada komposit akan menyebar cepat secara merata. Resin juga dapat berfungsi sebagai pelindung serat dari serangan bahan kimia atau dengan adanya kondisi cuaca ekstrim yang dapat merusaknya. Berdasarkan kombinasi tersebut, dapat dihasilkan material baru yang memiliki sifat dan karakteristik berbeda – beda dari material penyusunnya (Muhajir, dkk, 2016).

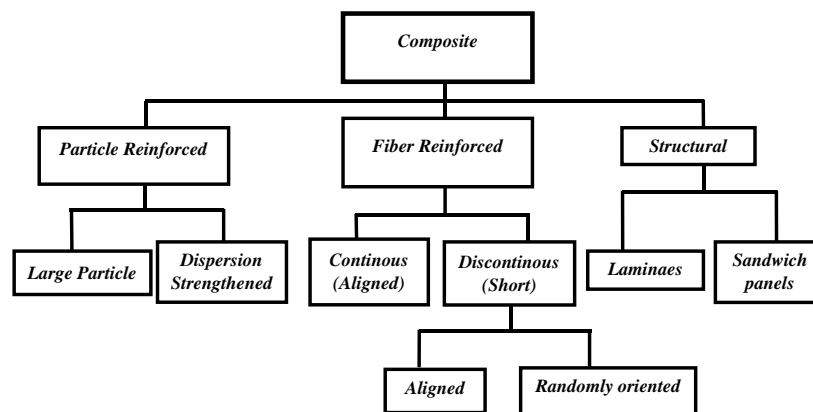
Unsur utama penyusun komposit yaitu *filler* yang berupa serat sebagai kerangka dan unsur pendukung lainnya yaitu matrik. *Filler* dan matrik merupakan dua unsur yang diperlakukan dalam pembentukan material komposit.

Pengelompokan komposit dapat dilihat dari bahan penguat pada matrik atau dapat juga dilihat dari bahan yang menjadi matrik pengikat. Komposit yang dilihat dari bahan penguat dibagi menjadi komposit dengan bahan penguat serat dan non serat. Komposit dengan bahan penguat serat masih dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Komposit alam, yaitu komposit yang biasa menggunakan serat kayu, jerami, kapas, wol, sutra, serat enceng gondong, serat sabut kelapa, serat pisang, serat nanas, serat kenaf dan lain-lain.
2. Komposit sintetis, yaitu komposit yang mempunyai bahan penguat serat yang diproduksi dengan industri manufaktur, dimana komponen-komponennya diproduksi secara terpisah, kemudian digabungkan dengan teknik tertentu agar diperoleh struktur, sifat dan geometri yang diinginkan. Serat sintetis ini dapat berupa serat gelas karbon, nilon dan *polyester* (Muhajir, dkk, 2016).

2.2 Klasifikasi Komposit

Klasifikasi terbagi dengan beberapa jenis dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit (Callister Jr, dkk 2003)

Matrik berfungsi untuk menahan serat agar dapat menyatu dengan baik, mendistribusikan beban dan juga berguna sebagai pembungkus. Penggunaan pada matrik polimer dapat lebih mudah, karena suhu yang operasinya rendah dan matrik polimer dapat dibedakan menjadi dua yaitu, *thermoset* dan *thermoplast*.

Serat berfungsi sebagai penguat dalam komposit yang berpengaruh penting untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kelakuannya. Pemilihan suatu kriteria untuk memilih penguat *fiber* yang cocok yaitu: *elongation*, *thermal stability*, *adhesion of the fiber* dan matrik, *dynamic behavior*, *long-term behavior*, dan *price and processing cost* (Riedel, dkk. 2005).

2.3 Perhitungan Komposit

Komposit antara matriks serta volume serat ditentukan dengan perhitungannya, menggunakan rumus fraksi volume sebagai berikut (Yulianto, 2018):

$$V_f = \frac{v_s}{v_c} \times 100\% \quad (2.1)$$

Ket:

V_f = Fraksi Volume serat (%)

V_s = Volume Serat (cm^3)

V_c = Volume Komposit

Perbandingan antara jumlah volume matriks dengan volume serat yaitu:

$$W_f = \frac{m_s}{m_c} \times 100\% \quad (2.2)$$

Ket:

W_f = Fraksi berat Serat

W_s = Massa Serat (gram)

W_c = Massa Komposit (gram)

2.4 Serat Alam

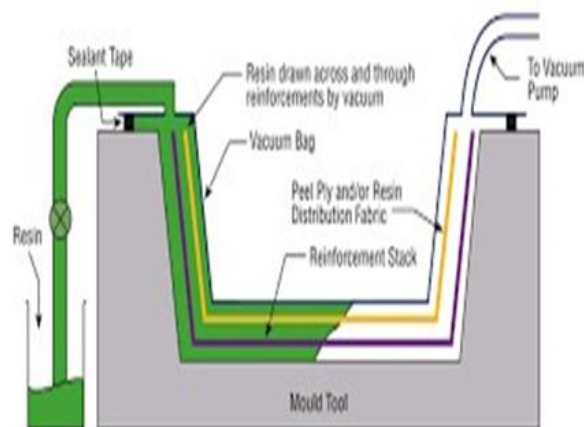
Salah satu jenis komposit yang mulai banyak digunakan adalah komposit dengan penguat berupa serat alam. Potensi penggunaan komposit berpenguat serat alam sangat besar dan akan terus meningkat karena memiliki banyak sifat yang menguntungkan dibandingkan dengan serat sintetis (Saxena, 2011). Serat alam berfungsi sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kaku, tangguh dan kokoh dibandingkan dengan tanpa serat penguat.

Serat alam merupakan serat yang diperoleh dengan cara memproses bagian dari hewan, tumbuhan dan mineral. Serat alam dari tumbuhan biasanya didapat

dengan memproses bagian batang, daun, akar dan juga kulit. Contohnya serat tersebut diantaranya yaitu sabut kelapa (*coco fiber*), kapas (*cotton*), rami kasar (*flax*), goni (*jute*) dan serbuk gergaji batang kelapa. Dalam penelitian ini serat alam yang digunakan adalah serat sabut kelapa dan serbuk gergaji batang kelapa.

2.5 Metode Pembuatan Komposit

Metode proses pembuatan komposit terbagi beberapa jenis seperti *manual hand lay up*, *vacuum bagging*, *vacuum unfusion*, *resin transfer moulding*, *perpeg autoclave* dan jenis lainnya. Beberapa dekade terakhir, proses *vacuum infusion* telah menjadi sangat populer untuk proses manufaktur yang terstruktur komposit dengan matriks polimer. Proses *vacuum infusion* adalah alternatif dalam teknik dengan biaya yang cukup rendah dibandingkan dengan teknik manufaktur *autoclave*. Contoh pada proses *vacuum infusion* memungkinkan dapat memproduksi bentuk yang sangat kompleks dengan tebal dan sifat mekanik yang sangat baik dan limbah yang sangat sedikit dibandingkan metode tradisional (Wang et al., 2011)



Gambar 2.2 Teknik *Vacum Bag*

Penggunaan resin pada pembuatan komposit dengan teknik ini lebih sedikit dibandingkan dengan teknik *hand lay up*. Dengan kata lain, dalam pemakaian resin, teknik ini lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan teknik *hand lay up*.

2.6 Sifat-Sifat Tarik Komposit

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi berat serat (W_f). Namun, formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Menurut (Roe dan Ansel, 1985), fraksi volume serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_f = \left[V_c - \left(\frac{M_c - M_f}{Q_m} \right) \right] / V_c \quad (1)$$

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{W_f / \rho_f + W_M / V_M} \quad (2)$$

$$W_f = \frac{\rho_f V_f}{\rho_f V_f + \rho_M V_M} \quad (3)$$

Fraksi massa serat pada persamaan 3 dapat disederhanakan menjadi :

$$w_f = \frac{W_f}{W_c} \quad (4)$$

Analisis kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan mengasumsikan ikatan serat dan matrik sempurna. Pergeseran antara serat dan matriks dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi matrik. Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan (Roe dan Ansel, 1985):

$$\rho = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Regangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (6)$$

Berdasarkan kurva uji, modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (7)$$

Berdasarkan the Rule of Mixture (ROM), kekuatan dan modulus tarik komposit berpenguat serat searah kontinyu dapat dihitung dengan persamaan (Roe dan Ansel, 1985):

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad (8)$$

$$E_c = V_f E_f + (1 - V_f) E_m \quad (9)$$

Keterangan :

A	= Luas penampang, mm ²
E	= Modulus elastisitas, GPa
E _f , E _m	= Modulus elastisitas serat dan matrik, GPa
M _c , M _f	= Massa komposit dan serat, kg
L _i	= Panjang ukur setelah pengujian, mm
L _o	= Panjang ukur sebelum pengujian, mm
P	= Beban, N
Q _M	= Density matrik, gr/cm ³
V _f , w _f	= Fraksi volume dan berat serat
V _c	= Volume komposit,
W _f , W _M	= Massa serat dan matrik
Δσ	= Selisih tegangan tarik di daerah elastis, MPa
E	= Regangan
Δε	= Selisih regangan di daerah elastis
ρ _f , ρ _M	= Densitas serat dan matrik, gr/cm ³
σ	= Kekuatan tarik, MPa
σ _f	= Kekuatan tarik serat, MPa
σ _m	= Kekuatan tarik matrik, Mpa

2.7 *Silicone Rubber*

Silicone rubber merupakan salah satu alternatif bahan baku pembuat karet cetakan dan murah dalam biaya produksi (Rahmati et al., 2007). *Silicone rubber* merupakan material berbahan dasar karet yang telah diproses dengan pengolahan sedemikian rupa agar memiliki keadaan dasar bersifat liquid atau menyerupai cairan. RTV (*Room Temperature vulcanization*) adalah pengolahan karet yang terjadi pada suhu ruangnya dan rtv mempunyai arti salah satu tipe dari *silicone rubber*. *Silicone rubber* rtv untuk membuat cetakan dalam proses manufaktur bagian plastik, industri otomotif dan peralatan rumah tangga (Carter, 1970). Material karet cetakan yang dipergunakan adalah *RTV Silicone rubber*. Kemampuan *RTV Silicone Rubber* mampu bertahan pada suhu 250°C. *RTV Silicone Rubber* yaitu mempunyai jenis polymer sintetis yang memiliki fungsi pada ketahanan terhadap cuaca, tahan terhadap penuaan (*Agging*), tahan terhadap suhu panas hingga 250°C dan mampu bertahan pada suhu dingin, sifat yang sangat tahan terhadap api yang baik dan merupakan isolator listrik yang sangat baik (Yolanda, 2018).



Gambar 2.3 *Silicone Rubber*

Sumber Gambar: <https://eepoindustrial.com.my/product/silicone-rubber-cord/>

2.7.1 *Jenis Silicone Rubber*

Karet silikon merupakan bahan isolasi yang tahan terhadap suhu tinggi. Secara garis besar karet silikon dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

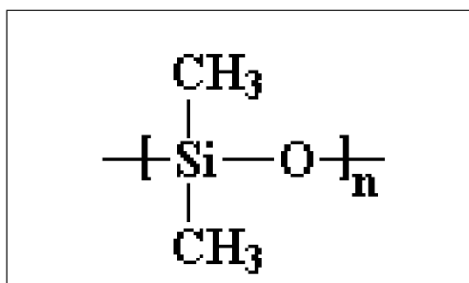
1. *High Temperatur Vulcanizing* (HTV). Bahan ini dapat digunakan pada suhu 55°C – 200°C, biasanya digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolator tegangan tinggi. Sifat yang dimiliki karet silikon jenis HTV ini adalah tahan terhadap

alkohol, garam dan minyak, memiliki ketahanan yang baik terhadap ozon, korona dan air.

2. *Room Temperatur Vulcanizing* (RTV). Bahan ini dibuat pada suhu 25°C – 80°C dan biasanya digunakan untuk melapisi isolator keramik. Vulkanisasi mempunyai arti yang sama dengan sambungsilang, pematangan secara khusus sama artinya dengan sambung silang (*crosslink*) namun seringkali lebih kepada kombinasi dari polimerisasi adisi dengan sambung-silang (O dian, 2004).

2.7.2 Rantai Silicone Rubber

Silicone Rubber memiliki struktur molekul yang berikatan siloksan (Si-O) berfungsi sebagai rantai utama, sedangkan pada ikatan karbon C-C terdapat nilai 84,9 kkal/mol, ikatan siloksan membawa 106,0 kkal/mol. Hal ini bahwa menunjukkan ikatan siloksan mempunyai suatu kapasitas dan stabilitas yang lebih besar. Hasilnya, *silicone rubber* mempunyai ketahanan panas, konduktivitas listrik, dan stabilitas kimia yang lebih baik dibandingkan dengan karet organik pada umumnya (S, 2007).



Gambar 2.4 Rantai Utama Polidimetilsiloksan (PDMS) (S, 2007).

2.7.3 Sifat Silicone Rubber

Sifat permukaan karet silikon dipengaruhi oleh empat karakteristik struktural (S, 2007) yaitu :

1. Gaya intermolekul yang rendah antara gugus metil
2. Fleksibilitas yang tinggi dari rantai utama siloksan
3. Kekuatan yang tinggi dari ikatan siloksan
4. Ionik parsial alami yang dimiliki oleh ikatan siloksan

Sifat mekanik dan sifat fisik dari *Silicone Rubber* (S, 2007),

sebagai berikut :

Tabel 2.1 sifat mekanik dan sifat fisik (S, 2007).

Densitas (g/cm ³)	0,9-1.12
T (°C)	-55-200
Kuat Tarik (MPa)	2.4-8
Kuat Tekan (MPa)	10-30
Hardness Vickers (VHN)	15

2.8 Katalis

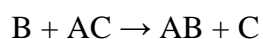
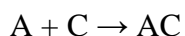
Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi.

Katalis bersifat lebih spesifik, yaitu katalis hanya dapat bekerja pada suatu reaksi kimia tertentu contoh, suatu katalis dapat berperan dalam suatu reaksi denitrogenasi, dalam hal ini berkaitan dengan sifat fisik dan kimia pada katalis tersebut. Kriteria yang dipertimbangkan dalam pemilihan katalis untuk digunakan pada suatu reaksi adalah aktivitas katalis, selektivitas katalis, stabilitas katalis dalam kondisi operasi, peracunan katalis, deaktivitas katalis oleh produk, hilangnya aktivitas akibat penguapan dan transformasi kristalografi (Dewi. Yuanita Lestari. 2012).

2.8.1 Jenis-jenis Katalis

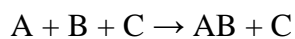
Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama yaitu :

1. Katalis homogen pada umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk suatu produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan kembali katalisnya. Skema umum pada reaksi katalitik, dimana C melambangkan katalisnya :



(1)

Meskipun katalis (C) termasuk oleh reaksi 1, namun selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi :



(2)

2. Katalis heterogen adalah katalis yang berada pada fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang di katalisnya, sedangkan homogen berada pada fase yang sama. Contoh sederhana untuk katalis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan dimana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerap. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga dapat memadai terbentuknya produk baru. Ikatan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas (Dewi. Yuanita Lestari. 2012).

2.8.2 Karakterisasi Katalis

Katalis yang telah dibuat perlu diuji apakah struktur katalis tersebut sudah sesuai dengan struktur yang diinginkan atau tidak. Struktur katalis didesain berdasarkan kinerja yang diharapkan pada saat penggunaan katalis. Pengujian ini biasa disebut dengan karakterisasi. Bagian yang paling penting dalam karakterisasi katalis adalah pemilihan metode karakterisasi katalis yang tepat.

Teknik pemilihan metode katalis sangat bergantung pada keperluan atau kepentingannya secara ilmiah dan teknik, biaya karakterisasi dan kemudahan akses peralatan. Secara garis besar, teknik karakterisasi katalis dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan sifat – sifat yang akan diteliti (Istady, 2011).

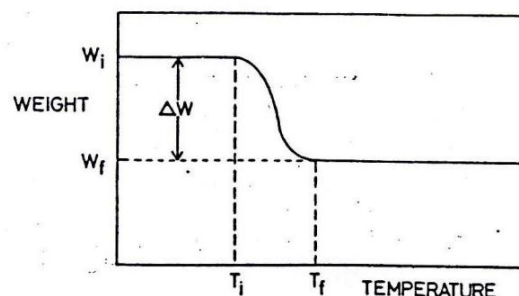
2.8.3 Fungsi Katalis Pada *Silicone Rubber*

Katalis merupakan senyawa polimer dengan bentuk cairan berwarna bening. Fungsi katalis adalah untuk mempercepat proses pengeringan atau *curing* pada bahan *silicone rubber* perbandingan katalis sebesar 3-4% dari jumlah *silicone* yang digunakan (Homogenitas et al., 2018). Semakin banyak katalis yang diberikan pada *silicone rubber* maka akan mempercepat proses laju pengeringan,

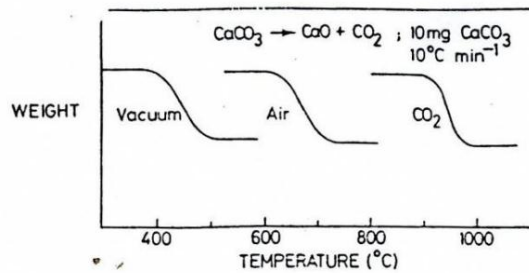
tetapi dengan memberikan katalis yang terlalu banyak akan mengakibatkan silicone menjadi banyak gelembung udara dan mudah sobek.

2.9 Thermogravimetric Analysis (TGA)

Thermogravimetri adalah teknik untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu. Hasilnya biasanya berupa rekaman diagram reaksi dekomposisi satu tahap yang skematik diperlihatkan pada Gambar 2.6. sampel yang digunakan, dengan berat beberapa miligram, dipanaskan pada laju konstan, berkisar antara 1 – 20 0C /menit, mempertahankan berat awalnya , W_i , sampai mulai terdekomposisi pada suhu T_i . Pada kondisi pemanasan dinamis, dekomposisi biasanya berlangsung pada range suhu tertentu, $T_i - T_f$, dan daerah konstan kedua teramati pada suhu diatas T_f , yang berhubungan harga berat residu W_f . Berat W_i , W_f , dan ΔW adalah harga-harga yang sangat penting dan dapat digunakan pada perhitungan kuantitatif dari perubahan komposisinya, dll. Bertolak belakang dengan berat, harga T_i dan T_f , merupakan harga yang bergantung pada beragam variabel, seperti laju pemanasan, sifat dari padatan (ukurannya) dan atmosfer di atas sampel. Efek dari atmosfer ini dapat sangat dramatis, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.7 untuk dekomposisi $CaCO_3$; pada kondisi vakum, dekomposisi selesai sebelum ~ 500 0C, namun dalam CO_2 tekanan atmosfer 1 atm, dekomposisi bahkan belum berlangsung hingga suhu di atas 900°C. Oleh sebab itu, T_i dan T_f merupakan nilai yang sangat bergantung pada kondisi eksperimen, karenanya tidak mewakili suhu-suhu dekomposisi pada equilibrium (Ramachandran, dkk. 2002).



Gambar 2.5 Skema termogram dekomposisi satu tahap (Rahmachandran, dkk. 2002)



Gambar 2.6 Dekomposisi CaCO₃ yang berbeda (Rahmachandran, dkk. 2002)

2.10 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah alat pengujian yang mempunyai jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan suatu resolusi tinggi dari gambar pada permukaan sampel yang akan diuji pada alat tersebut. Prinsip kerja SEM yaitu dengan memanfaatkan hamburan balik elektron (*Electron Beam*) pada permukaan sampel dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan sampel (Setyaningsih & Septiano, 2019). Kemajuan pada teknologi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat memungkinkan pemindaan area yang luas dan mengumpulkan sejumlah besar pada data untuk mendapatkan karakteristik sampel, sehingga menghitung sampel dan pengumpulan statistik sampel tersebut. Untuk mendapatkan citra morfologi menentukan distribusi ukuran (Kharin, 2020). Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) mendapatkan hasil citra morfologi dan konsentrasi dari variasi bahan campuran (Septiano et al., 2021).

2.11 Mega ohmmeter Testing

Mega ohmmeter digunakan sebagai pengujian resistansi isolator atau megger juga banyak digunakan sebagai alat ukur isolator terhadap resistansi kabel listrik dan saluran transmisi. Alat tersebut dapat mengukur resistansi isolator kabel terhadap arus DC tegangan tinggi. Dengan menerapkan tegangan tinggi antara konduktor maupun isolator, ukuran mega ohmmeter kebocoran arus melalui isolator. Nilai resistansi yang tinggi dapat menunjukkan kondisi isolator yang baik (Zhang, jian, et al. 2021).

Nilai resistansi diperoleh dari pengujian mega ohmmeter yang dapat mengidentifikasi kelemahan isolator, yang memungkinkan pencegahan pemeliharaan, perbaikan, atau penggantian suatu komponen yang rusak sebelum material tersebut menyebabkan masalah atau kegagalan yang signifikan di sistem kelistrikan. Pengujian resistansi isolator dengan mega ohmmeter dapat menguntungkan dalam mengevaluasi kondisi isolator kabel dan saluran transmisi (Zhang, Nan, et al., 2021). Pada gambar 2.9 alat mega ohmmeter tipe ZC-90E



Gambar 2.7 Alat Mega ohmmeter tipe ZC-90E

2.11.1 Standar Resistansi Isolator

Menurut SNI PUIL 2000. bahwa nilai minum isolator berada pada peralatan LISTRIK dan instalasinya adalah $1000 \times$ Tegangan kerja. Hal yang dimaksud adalah apabila Instalasi atau peralatan listrik menggunakan tegangan 220 volt, maka nilai tahanan dari isolatornya sekurang-kurangnya sebesar $220 \times 1000 \text{ ohm} = 0,22 \text{ M}\Omega$, demikian halnya dengan menggunakan 380 volt, maka nilai tahanan isolatornya minimumnya adalah $0,38\Omega$. Standar Nasional Indonesia untuk jenis kabel NYM diatur oleh SNI 04-2699:1999. Selain standar Nasional Indonesia, standar yang lain digunakan di Indonesia adalah SPLN 42-2:1992 yaitu standar yang digunakan oleh PLN.

2.11.2 Resistivitas Elektrik

Resistivitas elektrik adalah suatu tahanan jenis suatu bahan untuk menahan arus listrik yang direpresentasikan dengan ρ (rho) dalam sebuah persamaan matematik 1 dan 2. Resistivitas sendiri memiliki satuan ohm-meter. Material terdiri dari kumpulan sejumlah besar atom atau molekul. Molekul terdiri atas banyak atom, atom terdiri dari inti yang bermuatan positif dan dikelilingi

oleh elektron yang bersifat negatif sehingga material pada umumnya memiliki sifat kelistrikan (Raharja, 2019).

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (10)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (11)$$

Dimana :

1. ρ = Resistivitas (ohm meter)
2. R = Resistansi (ohm)
3. V = Tegangan (volt)
4. I = Arus (Ampere)
5. A = Luas Permukaan (m^2)
6. L = Panjang (m)

2.12 Isolator

Isolator merupakan salah satu bahan dielektrik yang digunakan untuk memisahkan konduktor bertegangan dengan kerangka penyangga yang dibumikan. Isolator berfungsi secara mekanik untuk menahan beban kawat saluran udara, secara elektrik mengisolasi saluran yang bertegangan dengan menara atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan dalam gradien medan tinggi terjadi korona dan lompatan listrik baik lewat denyar (*flashover*) atau percikan (*sparkover*) (Juliandhy, dkk, 2014).

2.12.1 Sifat Isolator yang Baik

Sifat isolator yang baik agar isolator dapat melaksanakan fungsinya dengan baik mengikuti subdirektorat standardisasi ketenagalistrikan dengan nomor standar SNI IEC 6629.1-2011 dengan kabel isolator PVC dengan voltase pengenal sampai dengan 450/750 V (direktorat jenderal ketenagalistrikan, 2015). Sehingga dapat mempunyai sifat elektris, mekanis, termis dan sifat kimia yang baik. Sifat elektris merupakan sifat yang paling penting suatu isolator dan hal ini ditunjukkan oleh kekuatan dielektrisnya yaitu kemampuan memisahkan bagian-bagian yang berarus atau bertegangan. Hal ini kekuatan dielektrik adalah besarnya ketahanan suatu isolator untuk dapat bertahan terhadap tegangan listrik dan isolator yang baik harus mempunyai kuat dielektrik yang besar. Sifat elektris

meliputi tegangan saat terjadi *flashover*, tegangan dadal (*breakdown voltage*), kuat dielektrik bahan, resistivitas dan faktor kehilangan dielektrik. *Flashover* adalah peristiwa terjadinya lompatan listrik di sekitar permukaan insulator, sedangkan *breakdown* keadaan dimana terjadi tembus listrik pada isolator (Dermawan T, 2012).

2.12.2 Tegangan Tembus Zat padat

Dalam teknik tegangan tinggi, fungsi yang paling utama dari suatu bahan isolasi adalah untuk mengisolasi konduktor yang membawa tegangan terhadap yang lainnya sama baiknya terhadap tanah. Hal ini sebagai tambahannya, harus sering melakukan fungsi mekanis dan harus mampu menahan penekanan termal dan kimia. Serta juga memiliki daya tahan yang lama atau usia daya tahannya di bawah jenis-jenis penekanan yang bervariasi yang dihadapi dalam praktek sebagai pertimbangan penentuan aplikasi ekonomis.

2.12.3 Macam – Macam Isolator

Isolator yang ada di pasaran, memiliki jenis bahan pembuatnya adalah yang terbuat dari karet, dari kertas, dari XLPE dan jenis-jenis yang lain. Penjelasan dari masing - masing bahan pembuat isolator tersebut adalah sebagai berikut (Jaamaluddin, 2019:53):

1. Kabel selubung karet (*Ecicables*) yaitu jenis insulator kabel yang terbuat dari karet, di mana isolator yang terbuat dari bahan karet memiliki sifat sebagai berikut :
 - a). Karet organik bersifat keras namun sifat ini dapat dihilangkan melalui vulkanisasi.
 - b). Ketika dipergunakan mudah menjadi kaku dan rapuh.
 - c). Kalau sudah berusia lama dan mengalami keretakan, maka akan hilang sifat insulatornya.
 - d). Lebih baik mempergunakan karet *syntesis*, dari pada menggunakan karet organik.
 - e). Karet *syntesis* lebih fleksibel dan memiliki ketahanan yang lebih baik.
 - f). Karet *syntesis* ini dapat di gunakan pada termperatur 60°C sampai 180°C tergantung dari campuran bahan pembuatnya.



Gambar 2.8 insulator konduktor dengan bahan karet (Jaamaluddin, 2019:54).

2. Kabel dengan selubung kertas adalah dipergunakan pada saat lalu. Saat ini sudah tidak di pergunakan kembali. Insulator kertas ini memiliki sifat karakteristik sebagai berikut (Jaamaluddin, 2019:54):

- a. Isolator kertas ini memiliki sifat insulator yang baik, kecuali jika basah.
- b. Kertas memiliki sifat higroskopis, yaitu menyerap kelembapan di sekitarnya (tidak boleh kontak langsung dengan udara).
- c. Kertas harus dilapisi oleh bahan penahan pada umumnya adalah timah, dikenal dengan sebutan PILC (*Insulated Lead Covered*)
- d. PILC biasa digunakan untuk kondisi yang berat.
- e. Selubung kertas dicampurkan minyak atau bahan tahan terhadap serat agar tetap ter insulator dengan baik.
- f. Kekurangannya kabel insulator kertas ini sangat berat, sehingga PVC dan XLPE lebih banyak dipakai.



Gambar 2 9 Kabel Berisolasi Kertas (Jaamaluddin, 2019:55).

3. Kabel dengan selubung PVC (*Polivinyl Chloride*) sangat banyak dijumpai di lapangan. Di karena kan bahannya yang kuat, nilai resistivitasnya yang cukup tinggi dan temperatur kerjanya juga cukup tinggi. Karakteristik insulator PVC ini adalah sebagai berikut (Jaamaluddin, 2019:55):

- a) Mudah digunakan dan mampu menahan minyak dan bahan kimia lain
- b) Jika terbakar, maka PVC akan menghasilkan asap tebal disebabkan mengandung gas *chlorida hydrogen korosif*.
- c) PVC ini tidak boleh digunakan pada suhu yang kurang dari 5°C. Walau jenis PVC khusus yang bekerja pada suhu - 20°C
- d) Bila terkena suhu tinggi maka PVC akan meleleh.
- e) PVC tidak mudah meleleh pada suhu 70°C, walau tersedia juga PVC yang aman sampai suhu 85°C
- f) Pancaran sinar ultra violet yang terus menerus diarahkan ke PVC akan menyebabkan PVC menjadi kaku dan rapuh.



Gambar 2.10 Kabel Berinsulator PVC (Jaamaluddin, 2019:56).

2.13 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan Kosong Kelapa Sawit TKKS merupakan limbah padat kelapa sawit yang memiliki berat kurang lebih 3,5 kg/tandan kosong, memiliki ketebalan hingga 130 mm, lebar 300 mm dan panjang 300 mm. Komponen utama TKKS ialah selulosa dan lignin, sehingga limbah ini disebut sebagai limbah lignoselulosa (komponen utama tumbuhan) Selulosa merupakan senyawa karbon yang memiliki 1000 lebih unit glukosa yang terikat oleh ikatan beta 1,4 glikosida dan mampu tdekomposisi oleh berbagai organisme selulolitik menjadi senyawa C sederhana. Sedangkan lignin merupakan komponen limbah TKKS yang relatif sulit didegradasi. Senyawa ini merupakan polimer struktural yang berasosiasi dengan selulosa dan hemiselulosa (Salmina, 2017). Sebagai contoh dapat kita lihat pada gambar 2.14 di bawah ini :



Gambar 2.11 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Kandungan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit terdiri dari struktur lignoselulosa non-kayu, di mana 60% dari beratnya terdiri dari uap air. Selain selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dari segi mikro, TKKS memiliki dinding sel serat yang lebih tebal daripada kayu keras sehingga serat TKKS dianggap sebagai bahan yang sulit diolah. Saat ini serat TKKS biasa dimanfaatkan sebagai isian karet, matres, kasur, keset dan bahan baku produk papan komposit berbasis serat, tetapi sampai sekarang belum termanfaatkan secara maksimal. Selain itu, TKKS juga memiliki kandungan lignoselulosa yang belum termanfaatkan secara optimal.

Berikut ini data komposisi kimia TKKS dalam tabel 2.2 (Muryanto et al., 2016).

Tabel 2.2 Komposisi TKKS (Muthia. Rahmasita, dkk. 2017)

Komposisi	Kadar (%)
Air	8,56
Holoselulosa	56,49
α – selulosa	33,25
Lignin	25,83
Hemiselulosa	23,24
Ekstraktif	4,19

Dengan melihat sifat fisik dan mekanik *fiber* kelapa sawit sangat cocok digunakan sebagai bahan penguat pada komposit karena mempunyai diameter *fiber* kelapa sawit berkisar 150-500 μm dan kekuatan tarik dan modulus elastisitas *fiber* kelapa sawit bisa mencapai 400 MPa dan 9 GP. (M. Rahmasita, dkk. 2017).

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Mekanik Serat Kelapa Sawit (M. Rahmasita, dkk. 2017)

Sifat	Nilai
Diameter (μm)	150-500
<i>Microfibrillar angle</i> ($^{\circ}$)	46
<i>Density</i> (gr/cm^3)	0.7 – 1.55
<i>Tensile strength</i> (MPa)	50 - 400
<i>Young's modulus</i> (GPa)	0.57 - 9
<i>Elongation at break</i> (%)	4 – 18
<i>Tensile strain</i> (%)	13.71
<i>Length-weighted fiber length</i> (mm)	0.99
<i>Cell-wall thickness</i> (μm)	3.38
<i>Fiber coarseness</i> (mg/m)	1.37
<i>Rigidity indeks</i> $(T/D)^3 \times 10^{-4}$	55.43

2.14 Review Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini menggunakan beberapa penelitian sebelumnya sebagai referensi untuk penelitian ini. Adapun tabel 2.4 *review* penelitian sebelumnya yang digunakan berupa jurnal untuk dijadikan acuan penelitian.

Tabel 2.5 Review Penelitian Sebelumnya

No.	Nama Peneliti	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
1.	Abdul Rasyid, dkk (2017)	Karakteristik tegangan tembus ac pada material isolasi padat campuran resin	Sampel yang digunakan resin murni +0,2 g dan resin 0,2 alumina	dengan penambahan alumina dapat menaikkan nilai tegangan tembus pada

		dengan alumina (Al_2O_3)		isolator padat.
2.	Trisna amelia fitriah (2017)	Pengaruh bahan pengisi (<i>filler</i>) eceng gondok Dan sekam padi pada material isolasi listrik (<i>polymer epoxy</i>)	Sampel yang digunakan adalah bahan eceng gondok dan sekam padi dengan masing-masing diberikan komposisi kimia	Karakteristik eceng gondok dan sekam padi sebagai <i>filler</i> dalam resin <i>epoxy</i> dapat meningkatkan beberapa parameter elektrik dari material resin <i>epoxy</i> .
3.	Sepannur Bandr (2014)	Analisis kegagalan isolasi akibat partial discharge pada kabel na2xseby 20 kv berisolasi xlpe dan pvc	Luas permukaan/penampang isolasi, Permittifitas udara, Kapasintasi per phasa dan Tebal isolasi	Ikatan kekuatan intrinsik tidak tercapai pada tekanan normal, maka dapat dihitung kekuatan maksimum dimana bahan menjadi <i>stress</i> yang menyebabkan kegagalan elektromekanik. Untuk tegangan uji pada kabel NA2XSEBY 30 KV dalam

				waktu 5 menit, pada isolasi XLPE sebesar 23,31 KV dan PVC sebesar 24,87 KV
4.	Handerson Panjaitan, dkk (2018)	Karakteristik tegangan tembus ac campuran Minyak jagung dan minyak mineral sebagai Pertimbangan alternatif isolasi cair	Sampel yang digunakan minyak jagung dan minyak mineral terhadap volume wadah pengujian (25%, 50%, 75%, dan 100%)	Nilai tegangan tembus rata-rata sampel 100% <i>pure</i> minyak jagung sebelum pengurangan kadar air, 100% <i>pure</i> minyak jagung sesudah pengurangan kadar air, dan 100% <i>pure metil ester</i> lebih rendah dibandingkan dengan nilai tegangan tembus rata-rata pada sampel 100% <i>pure</i> minyak mineral.
5.	Fiki gunanda putra (2021)	Pengaruh komposisi pencampuran	Sampel yang digunakan adalah abu	Dari hasil pengukuran konduktivitas

		<p>abu cangkang kelapa sawit dan grafit dengan matriks resin <i>epoxy</i> pada <i>pellet</i> konduktor komposit terhadap mikrostruktur, konduktivitas listrik dan kerapatan</p>	<p>cangkang kelapa sawit dan grafit masing-masing komposisi, abu 60% 20% resin 20%, abu 50% grafit 30% resin 20% dan abu 40% grafit 40% resin 20%</p>	<p>listrik menggunakan alat, didapatkan hasil bahwa sampel 3 dengan kandungan abu sawit 40% : grafit 40% : 20% dapat menghantarkan arus listrik yang lebih besar dengan nilai 49,21 S/cm sedikit melebihi nilai konduktivitas listrik sel bahan bakar yang dilakukan peneliti</p>
--	--	---	---	---

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Material dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh. Penelitian ini terdiri dari beberapa waktu tahapan dimulai dari persiapan material dan bahan, persiapan pengujian *Megger Insulation Tester*, TGA, SEM, dan perhitungan nilai resistivitas listrik, pengambilan data pada pengujian. Dari keseluruhan penelitian ini dilaksanakan mulai Februari sampai Agustus 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Berikut alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian pembuatan spesimen komposit isolator kabel listrik dengan matrik *silicone rubber* dan katalis berpenguat *fiber* TKKS

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Timbangan digital, yang digunakan untuk menimbang *fiber* TKKS, *silicone rubber* dan katalis
2. Penggaris atau jangka sorong, berfungsi untuk mengukur dimensi spesimen
3. Gelas ukur, yang digunakan sebagai pengukur larutan katalis dengan *silicone rubber*
4. Gunting, untuk merapikan hasil dan memotong cetakan *silicone rubber*
5. Cetakan spesimen, berfungsi untuk menjadi tempat cetakan spesimen yang mau dibuat

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. *Silicone rubber* dengan jenis *Rhodorsil 683 RTV* berfungsi sebagai matriks dalam pembuatan produk komposit.

2. Katalis berfungsi untuk mempercepat proses pengeringan
3. *Fiber* TKKS, berfungsi sebagai pengisi (*filler*) pada komposit.
4. Larutan NaOH, berfungsi sebagai menghilangkan kandungan lignin pada *fiber* TKKS.
5. *Aquades*, digunakan untuk pembersih *fiber* TKKS setelah direndam dengan NaOH.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari variabel tetap, variabel bebas dan variabel terikat, yaitu :

3.3.1 Variabel Tetap

Adapun variabel tetap pada penelitian ini adalah:

1. NaOH 5%
2. Ukuran serat TKKS minimal 4cm
3. Ukuran cetakan tabung 10 x 1,5 cm
4. Total campuran SR : *fiber* TKKS = 100%

3.3.2 Variabel Bebas

Adapun variabel bebas pada penelitian ini adalah pada komposisi *silicone rubber* (SR) dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS):

1. (SR : TKKS) % : (90:10),(80:20),(70:30)
2. Katalis (gram) : 2, 4 dan 6

3.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengujian dengan *Megger insulation tester*, perhitungan resistivitas listrik, uji TGA, dan uji SEM.

3.4 Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja dalam penelitian ini ada beberapa tahapan proses yaitu:

3.4.1 Proses pengolahan *fiber* TKKS

Pada penelitian ini *fiber* TKKS yang akan diolah. Berikut proses pengolahannya, yaitu:

1. Mengambil tandan kosong kelapa sawit yang telah di proses dari pengolahan industri kelapa sawit
2. Melakukan perendaman fiber TKKS dengan larutan NaOH sebanyak 5% selama 2 jam, yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin yang terdapat pada fiber.
3. Kemudian bersihkan NaOH pada fiber TKKS dengan aquades.
4. Setelah fiber TKKS dibersihkan, kemudian fiber TKKS dijemur untuk melakukan proses pengeringan.
5. Apabila fiber telah kering, maka akan dilakukan pemotongan serat dengan ukuran 4 cm.

3.4.2 Proses Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit *silicone rubber* dengan katalis dan fiber TKKS adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan fiber TKKS yang telah dibersihkan serta dikeringkan.
2. Kemudian dilakukan proses untuk membuat fiber TKKS secara bertahap sesuai dengan volume cetakan dan sesuai ukuran standar untuk proses pengujian.
3. Kemudian campurkan *silicone rubber* dan katalis untuk mempercepat proses pengeringan
4. Tuangkan campuran *silicone rubber* dan katalis sesuai takaran ke dalam cetakan, sebelum bahan dituangkan ke dalam cetakan.
5. Kemudian dilanjutkan dengan penempatan fiber TKKS yang disusun secara rapi, lalu di atas fiber TKKS dituang kembali dengan sisa *silicone rubber* pada gelas takaran ke dalam cetakan tabung yang berukuran 10 x 1.5 cm, sambil diratakan dengan sendok agar campuran *silicone rubber* masuk ke dalam fiber TKKS.
6. Lakukan pembuatan komposit dengan jenis variasi yang berbeda-beda, untuk mendapatkan komposisi yang tepat nantinya.
7. Pengeringan dilakukan sampai kering 1-3 jam dan apabila masih belum kering, maka proses pengeringan dapat dilakukan lebih lama.
8. Komposit siap jadi spesimen benda uji.

3.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian yang mengambil data dan menentukan variabel serta diukur dengan untuk di analisa. Metode pembuatan komposit menggunakan proses *Hand Lay Up* yang merupakan pembuatan komposit dengan metode lapisan di mana lapisan tersebut berisi matrik dan filler. Setelah memperoleh ketebalan yang digunakan *roller* untuk meratakan dan menghilangkan udara yang terjebak di atasnya.

3.6 Tahap Pengujian Komposit

3.6.1 Uji *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

1. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel di atas meja putar yang ada di dalam mesin.
2. Selanjutnya dilakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer di mana berat maksimal 20 mg.
3. Kondisi dalam mesin dialiri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu.
4. Program pengoperasian mesin berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan dilakukan dengan melalui pemasukan data ke komputer.
5. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel.

3.6.2 Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

1. Letakkan sampel yang telah disiapkan pada mesin SEM pada tempat yang ditentukan.
2. Elektron gun yang berfungsi sebagai katoda yang berfungsi untuk tegangan yang diberikan pada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan, kemudian katoda akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

3. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
4. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
5. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel.
6. Kemudian akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.

3.6.3 Uji Megger Insulation Tester

1. Memeriksa kondisi baterai.
2. Melakukan pemeriksaan *mechanical zero*, yaitu pada kondisi alat megger mati. Jarum pada alat megger harus tepat di angka “0”
3. Melakukan pemeriksaan *electrical zero*.
4. Pasang kabel ke alat yang ingin diuji.
5. Atur tegangan ukur menggunakan saklar, yang menyesuaikan dengan tegangan kerja dari alat ingin diuji
6. Hidupkan megger

3.6.4 Uji Resistivitas elektrik

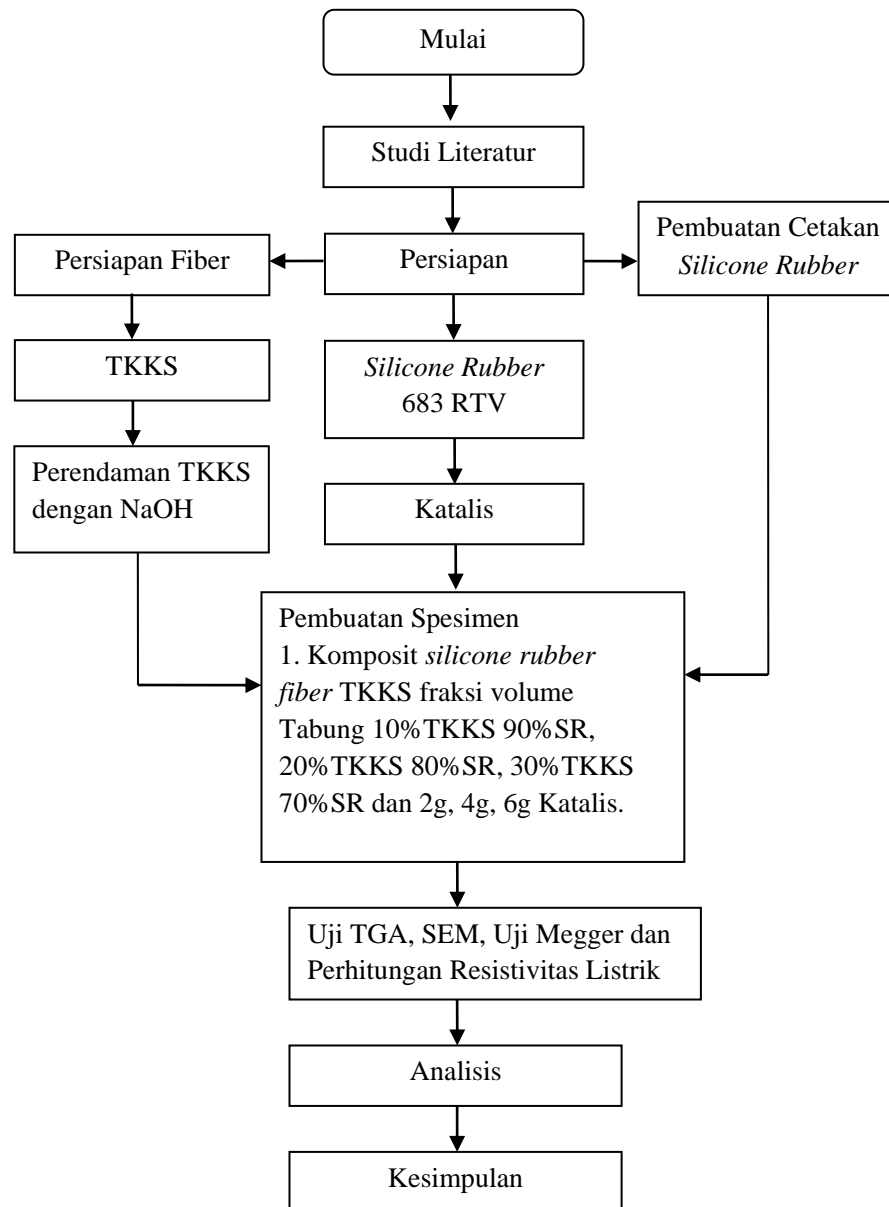
1. Siapkan sampel yang akan di uji dengan ukuran 10 x 1.5 cm
2. Mencari nilai resistansi (R) dengan menggunakan persamaan (11)
3. Setelah diketahui nilai resistansi (R) kemudian mencari Resistivitas (ρ) dengan menggunakan persamaan (10)

3.7 Analisis Data Penelitian

Sebagai indikator capaian dan keberhasilan penelitian ini, dilakukan analisis dan karakteristik kualitas komposit sesuai dengan tujuan untuk aplikasi isolator listrik, diantaranya:

1. Uji *Megger Insulation Tester* untuk menentukan nilai resistansi. sehingga dapat nilai Resistivitas Listrik (hambatan) dengan perhitungan persamaan (10).
2. Uji SEM untuk melihat morfologi permukaan patah dari komposit
3. Uji TGA untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.9 Jadwal Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian akan dilakukan pada Juli 2023 sampai Agustus 2023 seperti yang terlihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal penelitian.

Kegiatan	1	2	3	4
Pembuatan Proposal dan Pengolahan Komposit				
Pembuatan spesimen				
Pengujian Uji TGA				
Pengujian Uji SEM				
Pengujian Uji Resistivitas Elektrik				
Pengolahan data dan hasil penelitian				

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Uji Megger *Insulation Tester*

Uji *Megger Insulation Tester* adalah sebuah pengujian ketahanan terhadap isolator pembungkus konduktor yang berfungsi untuk mengetahui nilai resistansi isolator ketika diberikan arus listrik terhadap konduktor. Pada Tabel 4.1 hasil dari pengujian isolator dengan rasio sampel (SR : TKKS) 90% : 10%, 80% : 20%, 70% : 30% dengan katalis (2, 4, dan 6) gram.

Tabel 4.1 Hasil dari Pengujian *Megger Insulation Tester*

Komposisi Komposit (SR : TKKS)	Katalis (gr)	Uji Megger <i>Insulation Tester</i> (MΩ)
90% : 10%		19.000
80% : 20%	2	190
70% : 30%		450
90% : 10%		52.000
80% : 20%	4	580
70% : 30%		250
90% : 10%		11.000
80% : 20%	6	500
70% : 30%		360

Berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji *Megger Insulation Tester* dengan rasio sampel (SR : TKKS) 90% : 10%, 80% : 20%, 70% : 30% dengan Katalis (2, 4 dan 6) gram. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat tahanan paling tinggi berada pada sampel (SR : TKKS) 90% : 10% dengan 4 gram katalis yaitu sebesar 52.000M Ω . Sedangkan nilai daya tahanan terendah pada sampel (SR : TKKS) 80% : 20% dengan 4 gram Katalis dan (SR : TKKS) 70% : 30% dengan 4gram Katalis sebesar 190, dan 250M Ω .

4.1.2 Resistivitas elektrik

Resistivitas elektrik adalah suatu tahanan jenis bahan untuk menahan arus listrik. Tabel 4.2 menunjukkan nilai Resistivitas Elektrik, untuk mengetahui nilai resistivitas dapat dilihat dari hasil pengujian *Megger Insulation Tester*. Hasil pengujian dengan rasio sampel (SR : TKKS) 90% : 10%, 80% : 20%, 70% : 30% dengan katalis (2, 4, dan 6) gram.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Nilai Resistivitas

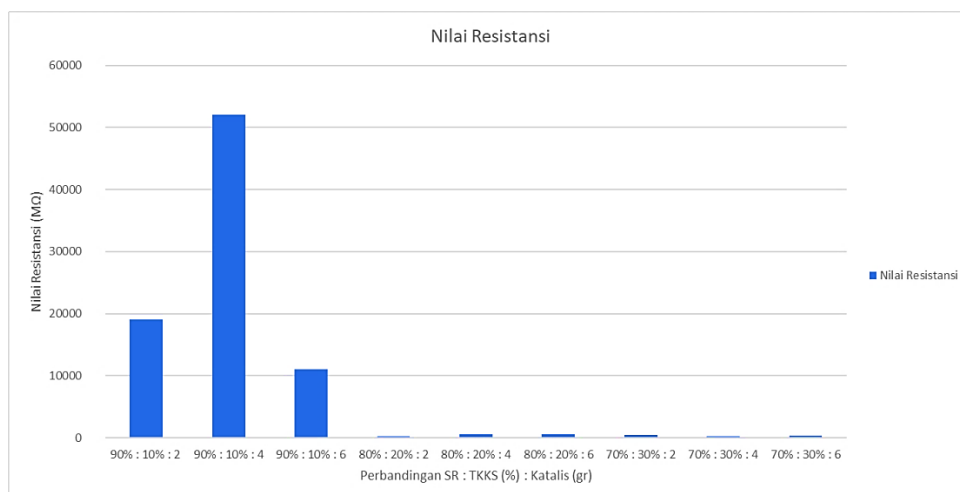
Komposisi Komposit (SR : TKKS : Katalis)	Rancangan Kabel		Perhitungan Nilai Resistivitas (Ωm)
	Diameter isolator dan konduktor (A)	Panjang Kabel (L)	
90% : 10% : 2	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$4,7 \cdot 10^{-3} m$	$3,93 \times 10^{11}$
90% : 10% : 4	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$7 \cdot 10^{-3} m$	$7,38 \times 10^{11}$
90% : 10% : 6	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$9 \cdot 10^{-3} m$	$1,2 \times 10^{11}$
80% : 20% : 2	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$3,5 \cdot 10^{-3} m$	$5,32 \times 10^9$
80% : 20% : 4	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$7,2 \cdot 10^{-3} m$	$8,0 \times 10^9$
80% : 20% : 6	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$3 \cdot 10^{-3} m$	$16,5 \times 10^9$
70% : 30% : 2	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$8,5 \cdot 10^{-3} m$	$5,26 \times 10^9$
70% : 30% : 4	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$5 \cdot 10^{-3} m$	$4,75 \times 10^9$
70% : 30% : 6	$9,987 \cdot 10^{-2} m$	$7,5 \cdot 10^{-3} m$	$4,79 \times 10^9$

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan nilai resistivitas dengan rasio sampel (SR : TKKS) 90% : 10%, 80% : 20%, 70% : 30% dengan Katalis (2, 4 dan 6) gram. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat daya tahanan jenis paling tinggi berada pada sampel (SR : TKKS) 90% : 10% dengan 4 gram katalis yaitu sebesar $7,38 \times 10^{11} \Omega m$. Sedangkan nilai daya tahanan jenis terendah pada sampel (SR : TKKS) 70% : 30% dengan 4 gram Katalis sebesar $4,75 \times 10^9 \Omega m$.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Uji Megger Insulation Tester

Uji *Megger Insulation Tester* digunakan untuk menguji kekuatan isolator kabel dan peralatan listrik, pengujian *megger* dilakukan untuk memastikan bahwa isolator pada kabel atau peralatan listrik memiliki nilai resistansi yang cukup tinggi untuk mencegah terjadinya konsleting atau hubungan pendek. Instalasi tegangan menengah digunakan *insulation tester* dengan batas ukur mega sampai dengan giga *ohm* dan tegangan alat ukur digunakan antara 5.000 sampai dengan 10.000 Volt arus searah. Instalasi tegangan rendah digunakan *insulation tester* dengan batas ukur sampai mega ohm dengan tegangan alat ukur antara 500 sampai dengan berkisar 1.000 Volt arus searah.



Gambar 4. 1 Grafik Nilai Resistansi

Berdasarkan pada Gambar 4.1 di atas, dapat dilihat bahwa pengukuran nilai tahanan isolator instalasi pada sampel (SR : TKKS) 90% : 10% : 4gr Katalis, memiliki nilai resistansi 52.000MΩ dan pada sampel (SR : TKKS) 80% : 20%

dengan 4 gram Katalis dan (SR : TKKS) 70% : 30% dengan 4gram Katalis sebesar 190, 250M Ω pengujian ini sampel diberikan tegangan kerja 5.000 volt.

Hasil tersebut menyatakan bahwa nilai resistansi telah memenuhi standart Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, dengan standart pengujian adalah 5.000 (tegangan kerja) \times 1.000 ohm = 5M Ω bahwa nilai yang di hasilkan pada saat pengujian rata-rata diatas 5M Ω .

Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Yusuf, dkk. 2021). “Tingkat isolator pada instalasi listrik layak untuk digunakan, sesuai dengan menggunakan tegangan kerja 450V-900 menghasilkan tahanan isolator 1-700M Ω yang masih diatas standar PUIL.

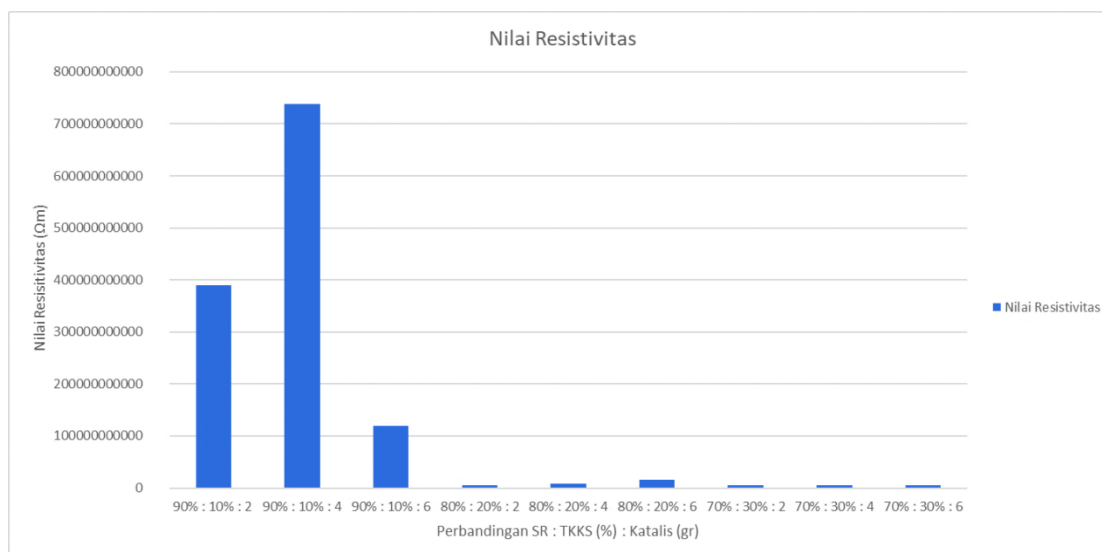
4.2.2 Nilai Resistivitas

Nilai resistivitas diperoleh dari hasil pengujian *Megger Insulation Tester* dengan mencari nilai resistansinya (tahanan). nilai resistivitas mempunyai satuan Ω m (Raharja, 2019), sehingga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$1. \rho = R \frac{A}{L}$$

Di mana :

1. ρ = Resistivitas (ohm.meter)
2. R = Resistansi (ohm)
3. V = Tegangan (volt)
4. I = Arus (Ampere)
5. A = Luas Permukaan (m^2)
6. L = Panjang (m)



Gambar 4. 2 Grafik Perhitungan Nilai Resistivitas

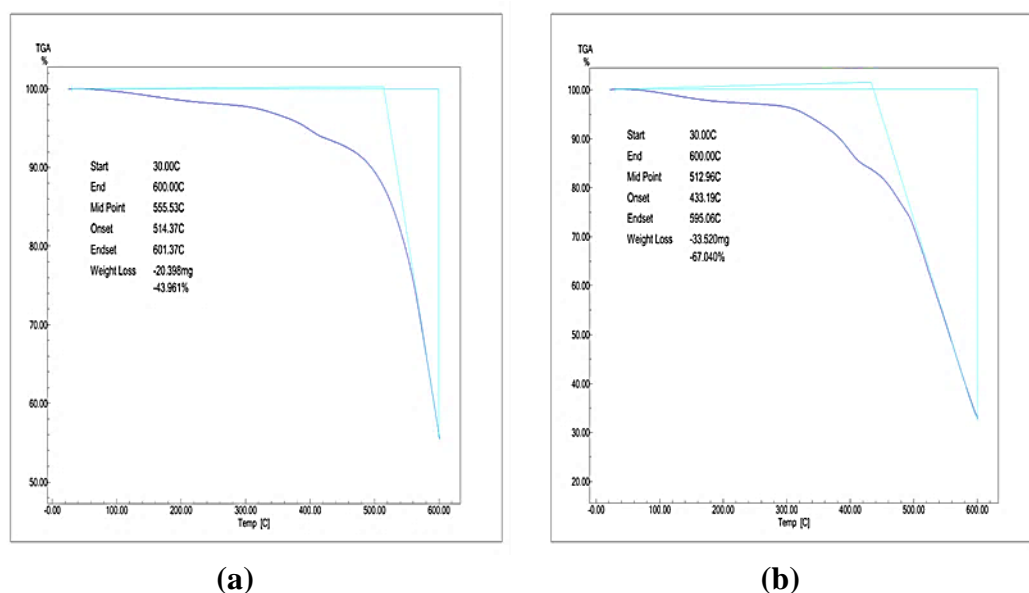
Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan hasil perhitungan nilai resistivitas yang dilakukan dengan rasio sampel (SR : TKKS) 90% : 10%, 80% : 20%, 70% : 30% dengan katalis (2, 4, dan 6) gram. Hasil perhitungan resistivitas yang memiliki nilai tertinggi pada sampel (SR : TKKS) (90 : 10) % 4gram katalis yaitu $7,38 \times 10^{11} \Omega m$, dihitung dengan rumus pada persamaan (1) dan nilai resistivitas terendah pada sampel (SR : TKKS) (70% : 30%) %, dengan 4 gram katalis yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. diperoleh $4,75 \times 10^9 \Omega m$.

Penjelasan di atas menunjukkan semakin banyak volume serat yang terdapat pada komposit SR : TKKS menghasilkan nilai resistivitas menurun, hal ini disebabkan oleh gaya intermolekuler pada TKKS dengan SR yang semakin kuat. Gaya intermolekuler tersebut akan menyebabkan transfer dan pembawaan pada gugus fungsi polar menjadi tertahan.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Lijun Gao, 2023) yang membuat isolator berbahan *silicone rubber* dengan poliuretan, pada penelitian tersebut menjelaskan “kinerja isolator listrik berbahan *silicone rubber* 19.5,7.1,17.0,16.3, dan 13.2 Poliuteran : 3,4,5,7, dan 10 menyatakan bahwa transfer dan orientasi pembawa dan gugus polar dalam medan listrik sangat terhambat.”

4.2.3 Uji *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Uji *Thermogravimetric Analysis* TGA biasanya digunakan untuk menentukan kemurnian sampel, dekomposisi, degradasi termal reaksi kimia yang melibatkan perubahan berat bahan karena adsorpsi, desorpsi dan kinetika kimia. TGA adalah teknik pengukuran suatu variasi berat sebagai fungsi suhu pemanasan. Karakterisasi ini digunakan untuk menentukan kehilangan berat (*weight loss*) atau peningkatan berat sampel (*gas fixation*). Hasil pengujian TGA pada matriks SR terhadap filler TKKS dengan penambahan katalis, diambil dari sampel terbaik dan kurang baik dari hasil perhitungan nilai resistivitas.



Gambar 4. 3 Grafik (a) Sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis

(b) sampel (SR : TKKS) (70 : 30) %, 4g Katalis

Kurva yang dihasilkan pada analisis TGA yaitu perubahan massa vs temperatur sebagai kurva TGA Berdasarkan gambar 4.3 (a) hasil dari analisis TGA komposit (SR : TKKS) %, 90 : 10, 4gram Katalis. Kurva TGA merupakan plot dari % penurunan massa pada sumbu y dan peningkatan temperatur pada sumbu x. Hilangnya massa seiring meningkatnya suhu, untuk proses awal pemanasan pada sampel dimulai dari 30°C/menit. Pada suhu ini kehilangan berat di akibatkan oleh kontaminan dan bahan tambahan lain yang terkandung dalam isolator listrik. Kehilangan berat secara ekstrim dimulai dari 514.37°C hingga

601.37°C dan memiliki titik tengah (*mid point*) 555.53°C. Total *weight loss* isolator listrik berbasis TKKS dengan penambahan SR sebesar 43.961% bersisa 20.398mg.

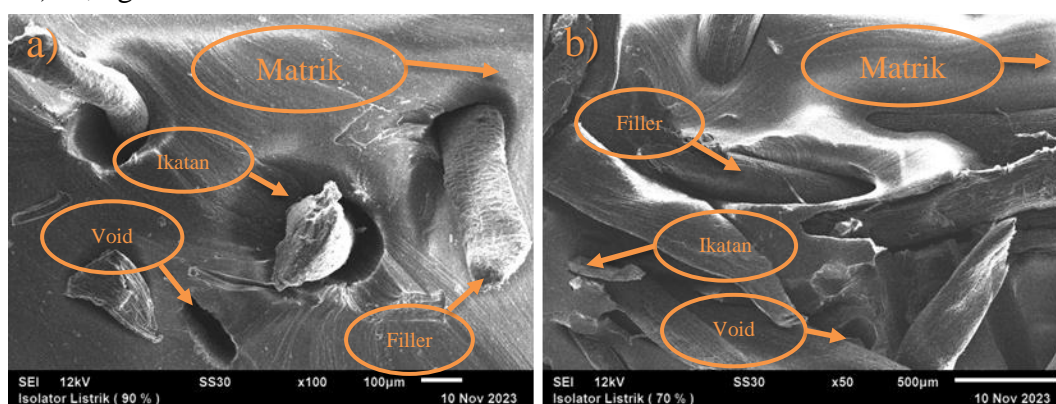
Perbandingan gambar 4.3 (b) sampel komposit (SR : TKKS) (70 : 30) %, 4gr Katalis dengan suhu awalan yang dimulai dari 30°C/menit. Pada suhu ini juga kehilangan berat yang di akibatkan oleh kontaminan dan bahan tambahan lain yang terkandung pada isolator listrik. Kehilangan berat secara ekstrim dimulai dari 433.19°C hingga 595.06°C dan memiliki titik tengah (*mid point*) 512.96°C. Total *weight loss* isolator listrik berbasis TKKS dengan penambahan SR sebesar 67.040% bersisa 33.520mg.

Isolator listrik pada pengujian TGA dengan masing-masing kedua sampel pada gambar 4.3 (a) dan (b). Pada dasarnya ada dua suhu termal yang diamati pada proses pengujian tersebut. Pertama transisi suhu di atas 100°C pada isolator listrik berbahan dasar SR. Selanjutnya rantai terjadi *vibration* dan mulai terputus yang ditunjukkan pada gambar 4.3 (a) 500-600°C dan (b) 450-600°C. Pada kondisi ini juga sebagian besar bahan terdekomposisi dan habis total pada suhu 600°C. Perubahan termogram TGA disebabkan dari perubahan panas pada isolator listrik, tetapi perubahan struktur dan perubahan fasa juga terjadi pada isolator tersebut. Dapat disimpulkan bahwa komposit tersebut dapat diaplikasikan sebagai isolator listrik.

Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu oleh (Lijun Gao, dkk. 2023). menyatakan putusnya rantai utama karet silikon dan poliuretan pada suhu 460-600°C tingkat komposit setelah dekomposisi lebih dari 45% memiliki ketahanan panas dan tahan api yang baik sehingga dapat digunakan sebagai alternatif untuk arester selubung komposit.

4.2.4 Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM (*scanning electron microscopy*) dilakukan untuk mengetahui struktur permukaan komposit yang merupakan hasil pengujian yang lain sebelum dilakukannya pengujian SEM. Pengujian SEM dilakukan pada tegangan 12kv. Kode sampel SS30 pada pembesaran 100 kali. Penelitian dilakukan pada 10 November 2023. Seperti pada Gambar 4.4 di bawah ini. Dengan rasio sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis dan (SR : TKKS) (70 : 30) %, 4g Katalis.



Gambar 4. 4 Sampel (SR : TKKS) 90:10 %, 4gram Katalis dan (SR : TKKS) 70:30, 4gram Katalis

Berdasarkan Gambar 4.4 (a) dengan sampel (SR : TKKS) 90 : 10 %, 4gram katalis dengan pembesaran 100 kali. Terlihat bahwa komposit tersebut memiliki jumlah serat yang sedikit, komposit lebih banyak didominasi oleh matrik sehingga memiliki permukaan yang kurang merata dan pada komposit tersebut terdapat serat yang keluar dari permukaan, namun pada komposit tersebut juga sebagian berikatan tetapi memiliki rongga udara yang terperangkap.

Gambar 4.4 (a) dengan sampel (SR : TKKS) 90 : 10 %, 4gram pada komposit dengan skala 100 μ m serat terdapat *void* pada komposit isolator. Menurut (Shirley, 2012) pada dasarnya semakin besar diameter serat akan memiliki banyak void yang terdapat pada komposit.

Perbandingan dengan sampel (SR : TKKS) 70 : 30 % 4gram Katalis Gambar 4.4 (b) pembesaran 50 kali dengan diameter serat 500 μ m memiliki permukaan matrik yang juga kurang merata namun sebagian *filler* TKKS

berikatan dengan baik pada komposit isolator dibandingkan dengan sebelumnya dan tidak adanya rongga udara yang terperangkap.

Hal tersebut masing-masing dipengaruhi ukuran serat TKKS masih terlalu besar atau juga disebabkan oleh tidak menggunakan *compatibilizer* agent sehingga masih kurang efektif. Hal ini terjadi pada penelitian terdahulu oleh (Elvi Kustiyah, dkk 2022) yang membuat komposit dari serat tandan kosong kelapa sawit dengan matrik polipropilen serta penambahan grafting agent PP-g-MA. Menjelaskan bahwa isian/*filler* material komposit masih kurang efektif pada penambahan *compatibilizer agent*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil pengujian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil oleh peneliti antara lain :

1. Nilai uji *Megger Insulation Tester* (tahanan isolasi) terbaik ditunjukkan pada sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis yaitu dengan nilai tahanan 52.000 M Ω sesuai standar PUIL dan memiliki nilai resistivitas tertinggi $7,38 \times 10^{11}\Omega\text{m}$.
2. Komposisi terbaik dalam pencampuran matrik dengan *filler* diperoleh pada campuran (SR : TKKS) (90 : 10) % dan penambahan 4 g katalis sangat berpengaruh untuk komposit dalam proses nya.
3. Jika dilihat dari hasil uji TGA dengan dua sampel terbaik dan terburuk, pada kondisi ini sebagian besar bahan terkomposisi dan habis total pada suhu 601.08°C dan 595.06°C. Total weight loss untuk kedua sampel yaitu 43.961% dan 67.040%.
4. Dari hasil uji SEM kedua bahan komposit struktur permukaan komposit (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis dan (SR : TKKS) (70 : 30) 4g Katalis permukaan patah yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa filler dan matrik pada komposit berikatan baik. Namun masih terdapat sedikit rongga antara serat dengan matrik dan juga terdapat udara yang terperangkap pada komposit sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan tarik dari komposit tersebut.

5.2 Saran

Pengujian karakterisasi komposit untuk aplikasi isolator listrik perlu adanya tambahan pengujian yaitu pengujian arus bocor, uji tarik dan Flash over dengan pengambilan hasil sampel terbaik pada komposisi (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis sebagai aplikasi isolator kabel listrik.

DAFTAR PUSTAKA

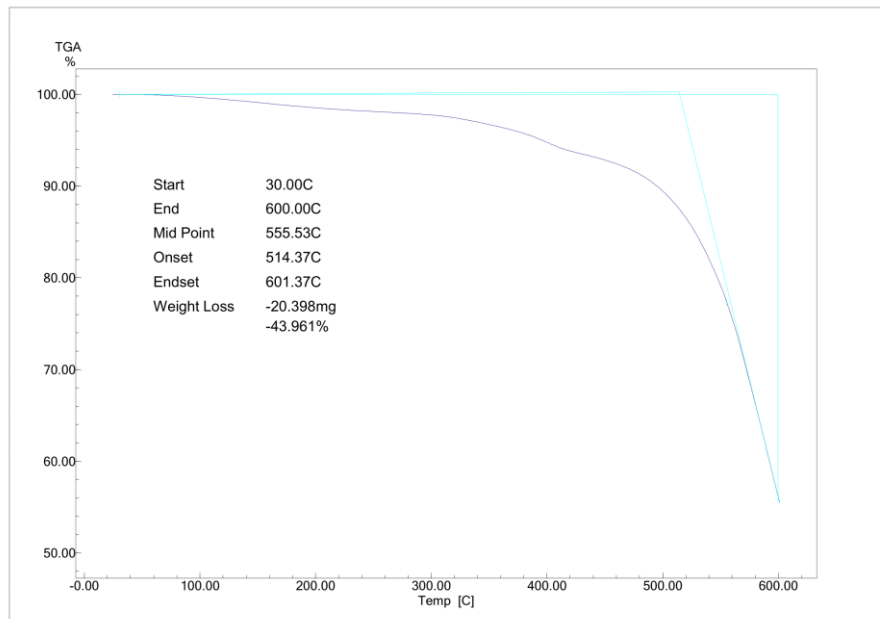
- Aditya Putri Kusuma Wardani, Dian Widiawati, (2014), “Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Material Tekstil Dengan Pewarna Alam untuk Produk Kriya”, Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain, vol. 1, no. 3, pp. 1-10.
- Alamsyah, T. Hidayat, dan A. N. Iskandar. 2021. Pengaruh Perbandingan Resin dan Katalis terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass-Polyester untuk Bahan Pembuatan Kapal. *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2(2): 26-32.
- Ari Supriyatna, Yudi M Solihin. 2018. Pengembangan Komposit Epoxy Berpenguat Serat Nanas Untuk Aplikasi Interior Mobil: Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ, vol. 8 No.2
- BSN, Peraturan Umum Instalasi Listrik, Yayasan PUIL, Jakarta 2000.
- Carter, L. J. 1970. *Industrial minerals: New study of how to avoid a supply crisis. In Science*. Vol. 170, Issue 3954.
- Callister Jr, William D, Materials Science and Engineering, an Introduction, Sixth Edition, John Willey & Sons Ltd., Singapore, 2003.
- Dermawan, T. 2012. Pengaruh *Komposisi Resin Terhadap Sifat Elektrik Dan Mekanik Untuk Bahan Isolator Tegangan Tinggi*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir.
- Dewi Yuanita Lestari. 2012. Pemilihan Katalis Yang Ideal: *Jurnal Fmipa UNY*.
- Erhaneli, Musnadi. Pengaruh Arus Bocor terhadap Perubahan Temperatur pada Kabel Bawah Tanah 20 kV. *J Momentum Institut Teknologi Padang*. 2012;12(1):5.
- Elvi, K. Indrako, W. Laras Andria, W. Sophia Shanti, M. Haudia, H (2022). Pembuatan Komposit dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Matrik Polipropilen serta Penambahan Grafting Agent PP-g-MA: *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, Vol. 16 No.3.
- Gusman, Hanif (2016). Peningkatan Kualitas Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Produk Torefaksi Basah Skala Pilot Sebagai Bahan Bakar Padat Bersih. *Teknik Mesin ITB*.
- Homogenitas, A., Ultrasonografi, C., Silicone, B., & Phantom, R. (2018). Analisis Homogenitas Citra Ultrasonografi Berbasis *Silicone Rubber* Phantom dengan GLCM. *Jurnal Fisika*, 8(1), 18–27.
- Istady. 2011. *Teknologi Katalis untuk Konversi Energi: Fundamental dan Aplikasi*. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu.
- Juliandhy, T., Haryono, T., Suharyanto. 2014. Kegagalan Alat Flue Gas Desulphur Terhadap Tegangan Lewat Denyar Isolator Di Gardu Induk Pembangkitan Tanjung Jati B Jepara. *Teknologi Elektro Vol. 13* (1).
- Jaamaluddin. (2019). *Konduktor-Isolator dan Semi Konduktor*. Sidoarjo:UMSIDA Press

- K. Yoshimuraa, K. Nakano, K. Okamoto, T. Miyake. 2012. "Mechanical And Electrical Properties in Porous Structure of Ketjenblack/Silicone–Rubber Composites". *Sensors and Actuators A*. Vol. 180. Hal. 55-62.
- Kharin, A.Y. (2020). Deep learning for scanning electron microscopy: synthetic data for the nanoparticle's detection. *Ultramicroscopy*, 113125.
- Lijun Gao, Ying Li, Wensheng Fu, Liming Zhou and Shaoming Fang (2023). "Preparation and Perfomance of Silicone Rubber Composites Modified by Polyurethane. *Journal Polymers*. Vol. 15, No.3920.
- Marsudi D, Generator P, Tobing B. PeralatanTegangan linggi. *Pembangkitan Energi Listrik*. 2016;7(1):4–31.
- 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), 1-8
- Muryanto, M., Sudiyani, Y. and Abimanyu, H., 2016. Optimasi proses perlakuan awal NaOH tandan kosong kelapa sawit untuk menjadi bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), pp.27-35. doi: 10.14203/jkti.v18i01.37.
- Nurudin, A., Sonief, A.A., Atmodjo, W.y., 2011, "Karakterisasi Kekuatan Mekanik Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Kontinyu Laminat Dengan Perlakuan Alkali Bermatrik Polyester", *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No.3, Hal. 209-217*
- Odian, George 2004. *Principles of Polymerization Fourth Edition*. Jhon Wiley & Sons, Inc. New Jersey
- Pambudi PE, Panjaitan J. Pengujian tegangan kritis dan tegangan tembus pada kabel nyfgby tegangan rendah (low voltage) 3X25 mm. Vol. 5, *Jurnal Teknologi*. 2012. p. 48–52.
- Rahmati, S., Akbari, J., & Barati, E. 2007. *Dimensional accuracy analysis of wax patterns created by RTV silicone rubber molding using the Taguchi approach. Rapid Prototyping Journal*, 13(2), 115–122.
- Rahmasita, Muthia. (2017). Analisa Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 6, No.2, A585.
- Rahmachandran, V. S., Paroli, R. M., Beaudoin, J. J., Delgad Handnook of Thermal Analysis of Constructions Materi: William Andrew Publishing.
- Reed, S.J.B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press. Florida. Pp. 23-24.
- Roe P.J. dan Ansel M.P. "Jute-reinforced polyester Composites", UK., *Journal of Materials Science* 20,. pp. 4015-4020. 1985.
- Raharja1, A. E., , Dr. Eng. Asep Suhendi, S.Si., M. S. ., & , Dr. Dudi Darmawan, S.Si., M. T. . (2019). Pengukuran Resistivitas Pada Pelat Konduktor Tipis Menggunakan Metode Four Point Probe Resistivity Measurement On Thin Conductor Plate Using Four Point Probe Method. *EProceedings of Engineering*, 6(2), 5305–5313.
- Riedel, U., Nickel, J., Applications of natural composites for constructive parts in aerospace, automobiles, and other areas, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2005.

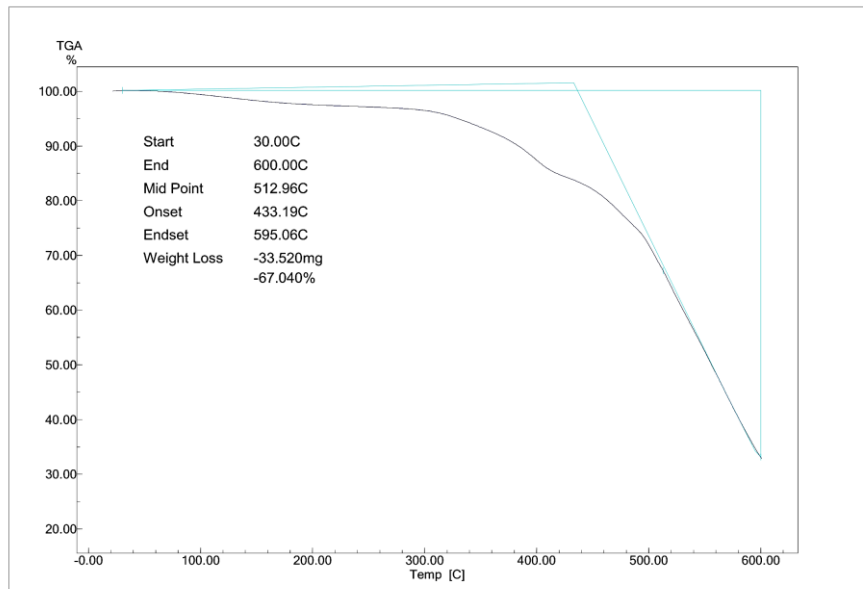
- Salmina, S., 2017. Studi Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Oleh Masyarakat Di Jorong Koto Sawah Nagari Ujung Gading Kecamatan Lembah Melintang. *Jurnal Spasial*, 3(2). doi: 10.22202/js.v3i2.1604.
- Saxena, M., Pappu, A., Haque, R & Sharma A. 2011. *Sisal Fiber Based Polymer Composites an Their Applications Cellulose Fibers: Bio- and Nano Polymer Composites*. Springer Book. ISBN 13783642173691.
- S (2007) Hidrofobisitas karet silikon yang digunakan untuk insulasi luar ruangan (ikhtisar). *Rev Adv Mater Sci* 16:10–26 29. Meng Y, Wei Z, Lu YL, Zhang LQ (2012).
- Setyaningsih, N.E. & Septiano, A.F. (2019). Optimasi kualitas citra scanning electron microscopy (sem) dengan metode contrast to noise ratio (CNR). *Prosiding Seminar Nasional IV Hasil Penelitian Pranata Laboratorium Pendidikan Indonesia, IV - ISSN: 2548-1924*.
- Septiano, A.F., Sutanto, H., & Susilo. (2020). Fabrication and analysis of radiation dose for elastic lead polyester composites as a glass coating. *Journal Of Physics: Conf Series*, 1567.
- Shirley S., Andreas A., (2012). Sifat-sifat Mekanik Komposit Serat TKKS-Poliester. *Jurnal Mechanical: Vol. 3, No.1*.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2000. SNI 04-0225-2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000): Jakarta.
- Wang, P; Molimard, J; Drapier, S; Vautrin, A; and J.C. Minni, 2011. Monitoring the Resin Infusion Manufacturing Processes Under Industrial Environment Using Distributed Sensors, *Journal of Composite Materials* 46(6) 691-706.
- Wayan S, & Komang Astana Widi, 2013. Pemanfaatan Silicon Rubber Untuk Meningkatkan Ketangguhan Produk Otomotif Buatan Lokal. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 6, No.1*.
- Yolanda, E. (2018). Analisis Karakteristik Arus Bocor dan Flashover pada Isolator Piring dengan Pelapisan RTV Silikon dan Epoxy Resin Kondisi Terkontaminasi. Universitas Sumatera Utara.
- Yuliyanto, Masdani. "Analisis Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Impak Dan Model Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Gaharu." *Machine: Jurnal Teknik Mesin* 4.2, 2018, pp. 15-20.
- Yusuf F., Sapto N., Deria P., 2021. Pengujian Tingkat Isolasi Instalasi Listrik Rumah Tinggal. *Teknik Elektro, Universitas Tidar*.
- Zikra Rufina, I Wayan Ratnata H. Analisis tegangan tembus kabel instalasi listrik. *Electr Vol 12, No1, Maret 2014*. 2014;13(1):89–98.
- Zhang, Jian, et al., "Research on High Voltage Insulation Performance of Grounding Grid in Large Substation", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 692. No. 2. IOP Publishing, 2021. [24] H. Penrose, "A review
- Zhang, Nan, et al., "New synthetic fiber armored cable for freezing-in thermal ice probes", *Annals of Glaciology*, Vol. 62, No. 85-86, pp. 179-190, 2021. [26] Grossmann, Peter, et al., "Testing." *Gas Insulated Substations*, pp. 271-291, 2021.

LAMPIRAN A
DATA PENGAMATAN

L.A.1 Grafik Uji *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

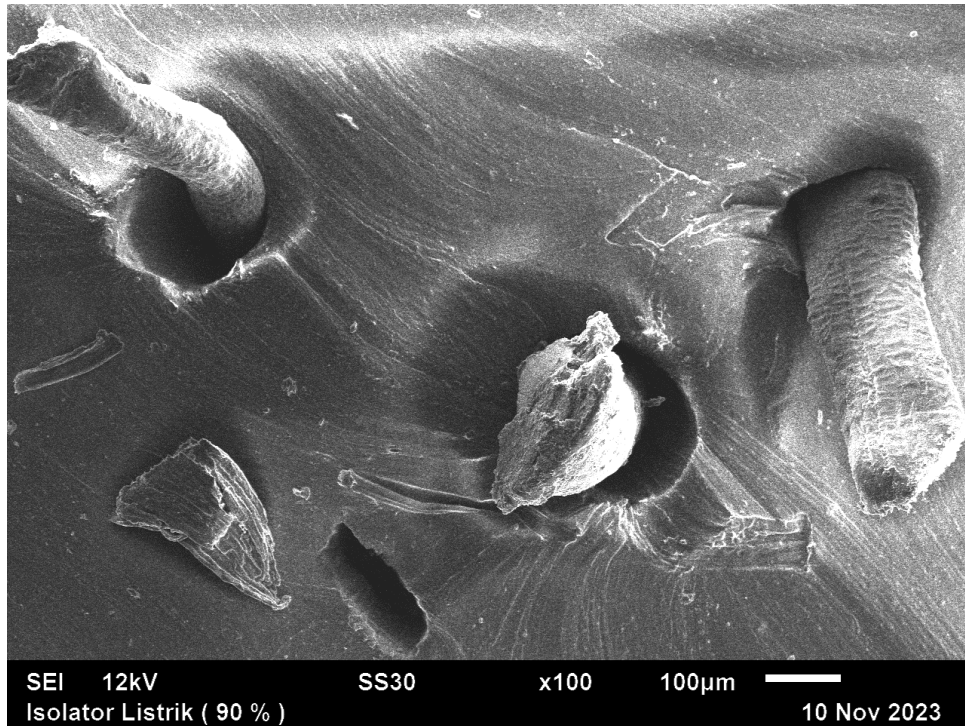


Gambar: Grafik Sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis

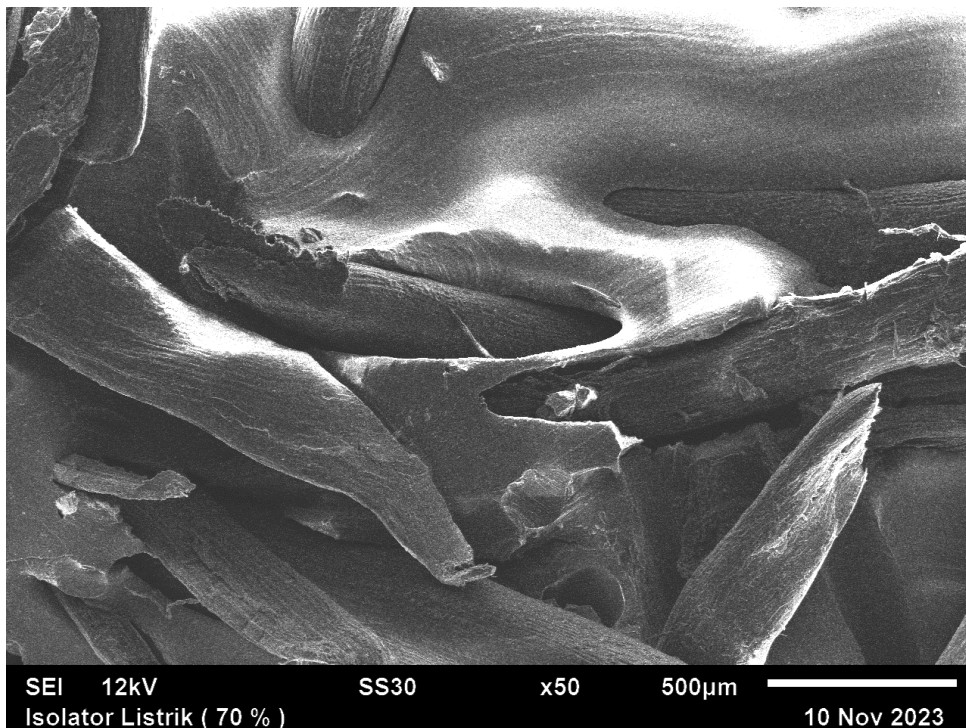


Gambar: Grafik sampel (SR : TKKS) (70 : 30) %, 4g Katalis

L.A.2 Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)



Gambar: Uji SEM (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis



Gambar: Uji SEM (SR : TKKS) (70 : 30) %, 4g Katalis

LAMPIRAN B

DATA PERHITUNGAN

L.B.1 Data Perhitungan Nilai Resistivitas

1. Sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 2g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 19.000MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 1,9 \cdot 10^{10} \Omega \times \frac{9,87 \cdot 10^{-2} m}{4,7 \cdot 10^{-3} m} \\ &= 1,9 \cdot 10^{10} \Omega \times 2,07 \cdot 10^1 m \\ &= 3,93 \cdot 10^{11} \Omega m\end{aligned}$$

2. Sampel (SR : TKKS) (80 : 20) %, 2g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 190MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 1,9 \cdot 10^8 \Omega \times \frac{9,987 \cdot 10^{-2} m}{3,5 \cdot 10^{-3} m} \\ &= 1,9 \cdot 10^8 \Omega \times 2,8 \cdot 10^1 m \\ &= 5,32 \cdot 10^9 \Omega m\end{aligned}$$

3. Sampel (SR : TKKS) (70 : 30) %, 2g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 450MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}&= 4,5 \cdot 10^8 \Omega \times \frac{9,987 \cdot 10^{-2} m}{8,5 \cdot 10^{-3} m} \\ &= 4,5 \cdot 10^8 \Omega \times 1,17 \cdot 10^1 m \\ &= 5,26 \cdot 10^9 \Omega m\end{aligned}$$

4. Sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 4g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 52.000MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 5,2. 10^{10}\Omega \times \frac{9,987. 10^{-2}m}{7. 10^{-3}m} \\ &= 5,2. 10^{10}\Omega \times 1,42. 10^1m \\ &= 7,38. 10^{11}\Omega m\end{aligned}$$

5. Sampel (SR : TKKS) (80 : 20) %, 4g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 580MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 5,8. 10^8\Omega \times \frac{9,987. 10^{-2}m}{7,2. 10^{-3}m} \\ &= 5,8. 10^8\Omega \times 1,38. 10^1 m \\ &= 8,0. 10^9\Omega m\end{aligned}$$

6. Sampel (SR : TKKS) (70 : 30) %, 4g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 250MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 2,5. 10^8\Omega \times \frac{9,987. 10^{-2}m}{5. 10^{-3}m} \\ &= 2,5. 10^8\Omega \times 1,9. 10^1 m \\ &= 4,75. 10^9\Omega m\end{aligned}$$

7. Sampel (SR : TKKS) (90 : 10) %, 6g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 11.000MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 1,1. 10^{10}\Omega \times \frac{9,987. 10^{-2}m}{9. 10^{-3}m} \\ &= 1,1. 10^{10}\Omega \times 1,1. 10^1 m \\ &= 1,2. 10^{11}\Omega m\end{aligned}$$

8. Sampel (SR : TKKS) (80 : 20) %, 6g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 500MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 5. 10^8\Omega \times \frac{9,987. 10^{-2}m}{3. 10^{-3}m} \\ &= 5. 10^8\Omega \times 3,3. 10^1 m \\ &= 16,5. 10^9\Omega m\end{aligned}$$

9. Sampel (SR : TKKS) (70 : 30) %, 6g Katalis

Nilai Resistansi dari hasil pengujian Megger = 360MΩ

Nilai Resistivitas dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 3,6. 10^8\Omega \times \frac{9,987. 10^{-2}m}{7,5. 10^{-3}m} \\ &= 3,6. 10^8\Omega \times 1,33. 10^1 m \\ &= 4,79. 10^9\Omega m\end{aligned}$$

LAMPIRAN C

GAMBAR DAN DOKUMENTASI

L.C.1 Alat-alat Pembuatan Komposit



Gambar C.1 Gelas Ukur



Gambar C.2 Gunting



Gambar C.3 Cetakan Spesimen



Gambar C.4 Besi Tabung



Gambar C.5 Gergaji Besi



Gambar C.6 Timbangan

L.C.2 Bahan Pembuatan Komposit



Gambar C.7 *Silicone Rubber*



Gambar C.8 Katalis



Gambar C.9 TKKS



Gambar C.10 Aquades

L.C.3 Proses Pembuatan Komposit



Gambar C.11 penimbangan *Silicone Rubber*



Gambar C.12 Penimbangan TKKS



Gambar C.13 Pengadukan SR:TKKS



Gambar C.14 Perendaman TKKS dengan NaOH



Gambar C.15 Sampel Akhir Siap untuk diuji

L.C.4 Proses Pengujian *Megger Insulation Tester*



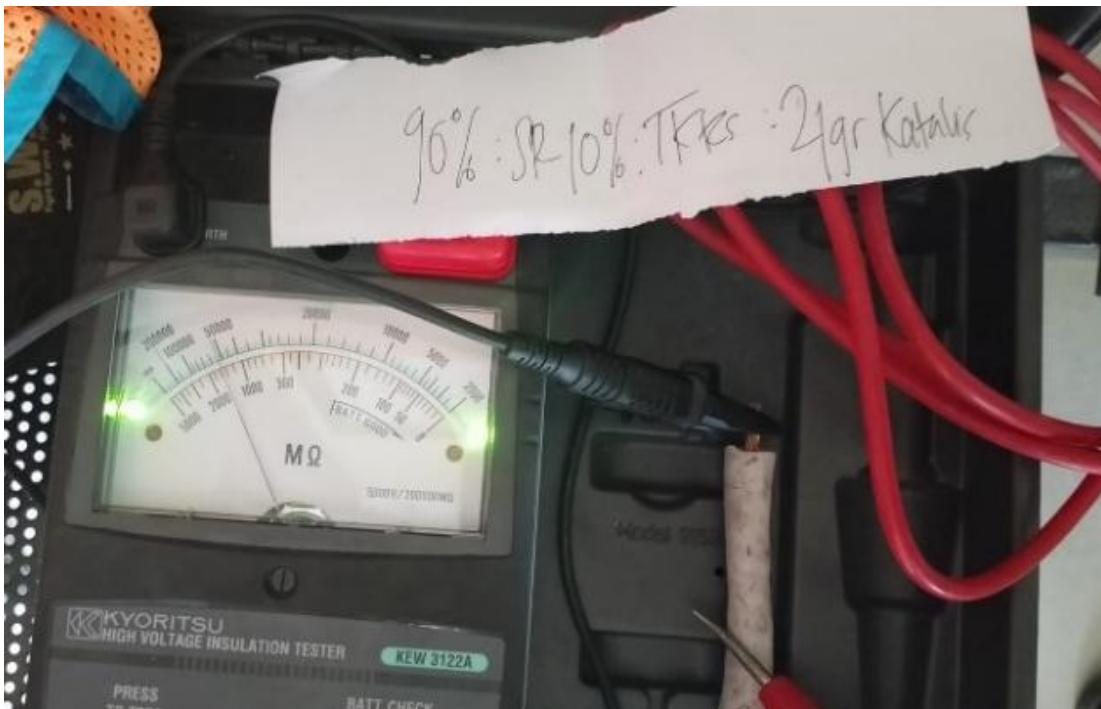
Gambar C.16 Sampel 90%SR:10%TKKS:2gr Katalis



Gambar C.17 Sampel 80%SR:20%TKKS:2grKatalis



Gambar C.18 Sampel 70%SR:30%:2gr Katalis



Gambar C.19 Sampel 90%SR:10%TKKS:4gr Katalis



Gambar C.20 Sampel 80%SR:20%TKKS:4gr Katalis



Gambar C.21 Sampel 70%SR:30%TKKS:4gr Katalis



Gambar C.22 Sampel 90%SR:10%TKKS:6gr Katalis




Gambar C.23 Sampel 80%SR:20%TKKS:6gr Katalis



Gambar C.24 Sampel 70%SR:30%TKKS:6gr Katalis

LAMPIRAN D
DOKUMEN DAN ADMINISTRASI

L.D.1 Surat Keterangan Bebas Laboratorium

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI**
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

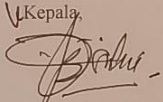
SURAT KETERANGAN BEBAS LABORATORIUM
Nomor : 150/UN45.1.1/PT/2024


Kepala Laboratorium Dasar Eksakta dan Laboratorium Proses dan Produksi Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh menyatakan bahwa :

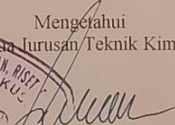
Nama : Ahmad Ade Putera NGL
Nim : 190190010
Jurusan : Teknik Material


Benar yang tersebut diatas telah menyelesaikan seluruh kegiatan yang berkaitan dengan
laboratorium dan tidak mempunyai tanggungan pinjaman alat-alat dan bahan pada
laboratorium tersebut, dan yang bersangkutan dinyatakan **Bebas Laboratorium**.

Demikian surat ini diperbuat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Lab. Proses dan Produksi
Kepala,

Ir. Ishak, M.T.
NIP 196201082001121001


Bukit Indah, 1 Februari 2024
Laboratorium Dasar Eksakta
Kepala,

Novi Sylvia, S.T., M.T.
NIP 197811252006042008

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Lukman Hakim, ST., M.Eng
NIP 197005082005011001



Tembusan :
Arsip

L.D.2 Surat Persetujuan Seminar/Sidang

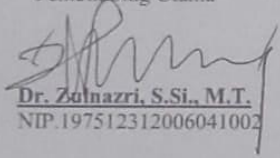
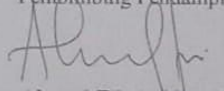
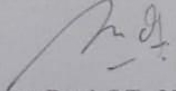
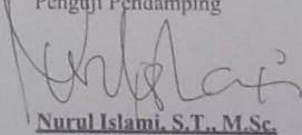
**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK**
Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

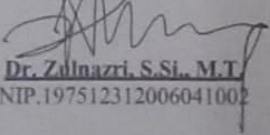
SURAT PERSETUJUAN SEMINAR/SIDANG

Nama : Ahmad Ade Putera Ngl
Nim : 190190010
Hari/Tanggal : 30, Januari 2024.
Pukul : 10:00 WIB
Sidang :
Sidang Tugas Akhir*)
Program Studi : Teknik Material
Judul : Karakterisasi Komposit Silicone Rubber –Tandan Kosong
Kelapa Sawit Untuk Aplikasi Isolator Listrik


Dengan ini menyatakan menyetujui mahasiswa tersebut diatas untuk mengikuti sidang

Menyetujui,

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
 <u>Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.</u> NIP.197512312006041002	 <u>Ahmad Fikri, S.Pd., M.T.</u> NIP.199107052022031008
Penguji Utama	Penguji Pendamping
 <u>Dr. Ir. Rozanna Dewi, S.T., M.Sc. IPM.</u> NIP. 197208302002121001	 <u>Nurul Islami, S.T., M.Sc.</u> NIP. 198209282023211011

Mengetahui,
Prodi Teknik Material

Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.
NIP.197512312006041002

L.D.3 Surat Undangan Sidang

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

Nomor : 27/UN45.9/KM/2024 25 Januari 2024
Lampiran : -
Perihal : Undangan Sidang Kolokium

Yth,

1. Pembimbing Utama (Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.)
2. Pembimbing Pendamping (Ahmad Fikri, S.Pd., M.T.)
3. Penguji Utama (Dr. Rozanna Dewi, S.T., M.Sc)
4. Penguji Pendamping (Nurul Islami, S.T., M.Sc.)

di -
Tempat

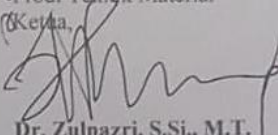
Dengan hormat,
Sehubungan dengan diadakannya Sidang Kolokium

Mahasiswa pada Program Studi Teknik Material Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang akan dilaksanakan pada :

Hari/Tanggal : Selasa / 30 Januari 2024
Pukul : 10.30 Wib s/d Selesai
Tempat : Ruang Sidang Teknik Material

Atas nama mahasiswa :
Nama : Ahmad Ade Putera NGL
NIM : 190190010
Program Studi : Teknik Material
Judul Penelitian : Karakterisasi Komposit Silicon Ruber – Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Aplikasi Isolator Listrik

Demikian kami sampaikan atas bantuan dan kehadiran bapak/ibu kami ucapkan terima kasih.

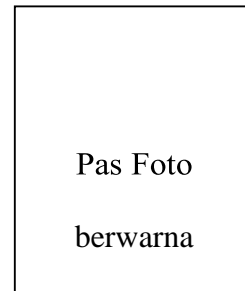
-Prodi Teknik Material
(Ketua,

Dr. Zulnazri, S.Si., M.T.
Nip. 197512312006041003

L.D. 4 Biodata

BIODATA

1. Personal

Nama : Ahmad Ade Putera Ngl
Nim : 190190010
Bidang : Teknik Material
Alamat : Bener Meriah
No HP/Telpon : 08994788855



2. Orang Tua

Nama Ayah : Masli
Pekerjaan : Tidak Bekerja
Umur : 58
Alamat : Asahan
Nama Ibu : Salmah
Pekerjaan : Pegawai Negeri Sipil (PNS)
Umur : 54
Alamat : Asahan

3. Pendidikan Formal

Asal SLTA (Tahun) : SMA Negeri 4 Kisaran, 2018
Asal SLTP (Tahun) : SMP Negeri 2 Kisaran, 2015
Asal SD (Tahun) : SD Negeri 1 Kisaran, 2012

4. Pendidikan Non Formal

Kursus/Pelatihan : -
Institusi Pelaksana : -
Tanggal Pelaksanaan : -

5. Software Komputer Yang Di Kuasai

Jenis Software : Microsoft Office
Tingkat Penguasaan : Intermediate
Jenis Software : Ds. Biovia Materiall
Tingkat Penguasaan : Basic
Jenis Software : Canva
Tingkat Penguasaan : Basic

6. Prestasi

Tingkat Nasional : 1 -
: 2.
: 3.
: 4.

Tingkat Provinsil : 1 -
: 2.
: 3.
: 4.

Tingkat Kabupaten/kota : 1 -
: 2.
: 3.
: 4

Lhokseumawe, 04 Febrauri 2024

Ahmad Ade Putera Ngl