

**PERANCANGAN *SHIELDING ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE*
DENGAN MENGGUNAKAN KOMPOSIT *MICROCRYSTALLINE
CELLULOSE-POLYURETHANE/CARBON NANOTUBE* (MCC-PU/CNT)**

(Skripsi)

ANNISA YULIANTY

1815031055



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

**PERANCANGAN *SHIELDING ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE*
DENGAN MENGGUNAKAN KOMPOSIT *MICROCRYSTALLINE
CELLULOSE-POLYURETHANE/CARBON NANOTUBE (MCC-PU/CNT)***

Oleh

ANNISA YULIANTY

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERANCANGAN *SHIELDING ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE* DENGAN MENGGUNAKAN KOMPOSIT *MICROCRYSTALLINE CELLULOSE-POLYURETHANE/CARBON NANOTUBE* (MCC-PU/CNT)

Oleh

Annisa Yulianty

Semakin banyaknya perangkat elektronik digital yang rentan terhadap noise menyebabkan kebutuhan akan pelindung EMI (*EMI shielding*) meningkat. Material pelindung EMI saat ini banyak dibuat dari bahan komposit berbasis sintetis yang kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membuat pelindung EMI berbahan alami, yaitu serat dari batang singkong, yang merupakan limbah yang banyak ditemukan di Lampung. Serat batang singkong diolah menjadi Microcrystalline Cellulose (MCC) sebagai penguat komposit, dengan *polyurethane* (PU) sebagai matriks dan *carbon nanotube* (CNT) sebagai filler untuk meningkatkan konduktivitas. Komposit dibuat dalam lima variasi persentase CNT terhadap berat PU yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Komposit yang telah dibuat dilakukan pengujian FTIR dan pengukuran S-parameter. Pengujian FTIR dilakukan pada komposit MCC-PU dan MCC-PU/CNT 20%. Hasil FTIR menunjukkan adanya gugus O-H dan C-H pada kedua sampel dan gugus C≡N pada sampel MCC-PU/CNT 20%. Pengukuran S-parameter dilakukan pada material komposit dengan menggunakan *vector network analyzer* (VNA) pada frekuensi 8 GHz – 12 GHz. Nilai S-parameter digunakan untuk memperoleh nilai *shielding effectiveness* (SE) dan resistansi komposit MCC-PU/CNT. Hasil SE terbaik dari lima sampel MCC-PU/CNT berturut-turut yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% adalah 10,23 dB, 13,09

dB, 15,88 dB, 20,40 dB, dan 36,22 dB. Berdasarkan hasil nilai *shielding effectiveness*, sampel MCC-PU/CNT 20% memiliki nilai SE yang paling tinggi. Untuk nilai resistansi, sampel komposit MCC-PU memiliki resistansi yang paling tinggi dan sampel MCC-PU/CNT 20% memiliki resistansi paling lebih rendah. Nilai resistansi berkorelasi dengan nilai *shielding effectiveness*. Material MCC-PU/CNT 20% memiliki resistansi yang paling rendah sehingga menghasilkan SE yang paling tinggi.

Kata kunci : *Electromagnetic Interference (EMI), Microcrystalline Cellulose (MCC), Polyurethane (PU), Carbon Nanotube (CNT), Shielding Effectiveness (SE), Vector Network Analyzer (VNA).*

ABSTRACT**DESIGN OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE SHIELDING
USING MICROCRYSTALLINE CELLULOSE-
POLYURETHANE/CARBON NANOTUBE (MCC-PU/CNT)
COMPOSITES****By****Annisa Yulianty**

The vast growth of digital electronic devices is vulnerable to noise pollution causing the necessity for EMI shielding solutions to become essential. Nowadays EMI shielding materials are mostly made using synthetic-based composite materials, which is environmentally unfriendly. Accordingly, this research studied the manufacture of an EMI shielding material from natural fiber, particularly fiber extracted from cassava stems, which is an abundant waste in Lampung. Cassava stem fibers were processed into microcrystalline cellulose (MCC) as a composite reinforcement, with polyurethane (PU) serving as the matrix and carbon nanotubes (CNTs) acting as the filler to enhance conductivity. The composites were made in five compositions, based on the variation of CNT percentage to the weight of PU: 0 wt%, 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%, and 20 wt%. The composites were subjected to FTIR testing and S-parameter measurements. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was employed to examine the chemical composition of MCC-PU and MCC-PU/CNT 20 wt% composites. The FTIR results demonstrated the presence of O-H and C-H groups in both samples, as well as C≡N groups in the MCC-PU/CNT 20 wt% sample. The C≡N groups in MCC-PU/CNT 20 wt% indicate that the CNTs uniformly spread in the composites. The five samples undergone the S-

parameter measurements using a vector network analyzer (VNA) at frequencies ranging from 8 GHz to 12 GHz. The S-parameter values were used to obtain the shielding effectiveness (SE) and the resistance of the MCC-PU/CNT composite. The SE results from the five MCC-PU/CNT samples, namely 0 wt%, 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%, and 20 wt%, respectively, are as follows: 10.23 dB, 13.09 dB, 15.88 dB, 20.40 dB, and 36.22 dB. The MCC-PU/CNT 20 wt% sample showed the highest SE value. The MCC-PU composite displayed the highest resistance, while the MCC-PU/CNT 20 wt% exhibited the lowest resistance. The lowest resistance of MCC-PU/CNT 20 wt% resulted in the highest SE.

Kata kunci : *Electromagnetic Interference (EMI), Microcrystalline Cellulose (MCC), Polyurethane (PU), Carbon Nanotube (CNT), Shielding Effectiveness (SE), Vector Network Analyzer (VNA).*

Judul Skripsi : **PERANCANGAN SHIELDING ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE DENGAN MENGGUNAKAN KOMPOSIT MICROCRYSTALLINE CELLULOSE-POLYURETHANE/CARBON NANOTUBE (MCC-PU/CNT)**

Nama Mahasiswa : **Annisa Yulianty**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815031055**

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Dr. Eng Diah Permata, S.T., M.T.
NIP 19700528 199803 2 003

Lia Lismeri, S.T., M.T.
NIP 19850312 200812 2 004

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Sumadi, S.T., M.T.
NIP 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

Ketua : Dr. Eng Diah Permata, S.T., M.T.

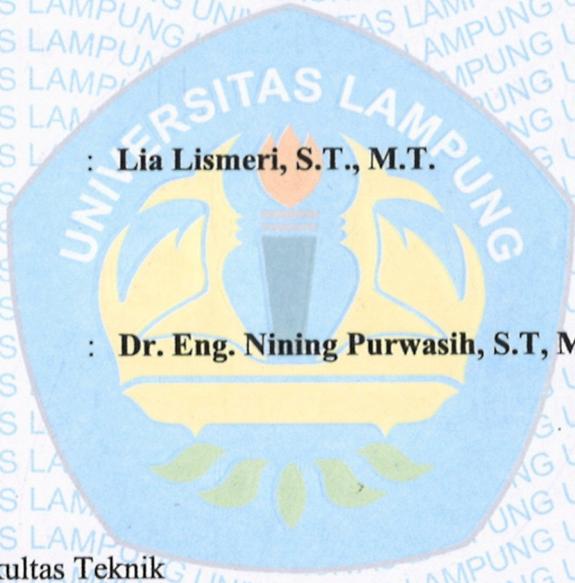
Diah P.

Sekretaris : Lia Lismeri, S.T., M.T.

Lia Lismeri

Penguji : Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T, M.T.

Nining Purwasih



2. **Dean Fakultas Teknik**



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M. Sc.

NIP 19750928 200712 1 002

Helmy Fitriawan

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 November 2024

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “PERANCANGAN SHIELDING ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE DENGAN MENGGUNAKAN KOMPOSIT MICROCRYSTALLINE CELLULOSE-POLYURETHANE/CARBON NANOTUBE (MCC-PU/CNT)” dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Desember 2024



Annisa Yulianty
NPM. 1815031055

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, 16 Juni 2000. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Iswandi dan Ibu Ratna Dewi. Penulis memulai pendidikan di TK Melati Puspa pada tahun 2005 hingga 2006, SD Negeri 1 Perumnas Way Halim pada tahun 2006 hingga 2012, SMP Muhammadiyah 3 Bandar Lampung pada tahun 2012 hingga 2015 dan SMA Negeri 5 Bandar Lampung pada tahun 2015 hingga 2018. Kemudian penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi dan bergabung dalam kepanitiaan acara kampus. Penulis bergabung menjadi bagian anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) periode 2019 dan periode 2020. Penulis mengemban tanggung jawab sebagai Asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi (TTT) pada tahun 2021 hingga 2022. Selain itu, pada bulan Agustus 2021 – Februari 2022 penulis melakukan magang di PT. Haleyora Region 7 Lampung. Penulis juga mengikuti program MSIB Studi Independen Intelligence Cloud di PT. MariBelajar Indonesia cerdas pada bulan Januari – juni 2022.

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Karakteristik Komposit *Microcrystalline Cellulose-Polyurethane/Carbon Nanotube* (MCC-PU/CNT) Sebagai Material *Shielding Electromagnetic Interference* (EMI)”. Selama masa pengerjaan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan berkat, karunia serta menyertai penulis selama hidupnya.
2. Ibu Ratna Dewi dan Bapak Iswandi selaku orang tua penulis serta kakak, abang, dan adik penulis yang selalu medoakan, mendukung dan memberikan motivasi selama ini, serta segenap keluarga besar yang tetap memberi harapan kepada penulis untuk mendapat gelar sarjana.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
6. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dalam menjalani masa pengerjaan skripsi.
8. Bapak Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing serta

memberi arahan kepada penulis. Terimakasih untuk setiap ilmu, saran, nasihat serta kritik yang membangun selama proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung.

9. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku pembimbing yang telah bersedia memberi arahan, nasihat, saran dan kritik yang membangun selama proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa di Teknik Elektro Universitas Lampung.
10. Ibu Dr. Eng.Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku penguji utama dalam proses penyusunan skripsi ini. Terimakasih atas saran, kritik, ilmu dan nasihat yang membangun proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa di Teknik Elektro Universitas Lampung.
11. Bapak Yana Taryana selaku penyelia dan pendamping yang telah membantu saya dalam proses pengujian dan pengambilan data sampel di BRIN. Terimakasih atas ilmu, saran, dan nasihat yang diberikan selama proses penelitian ini.
12. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, pengajaran, serta bimbingan selama penulis menjalani perkuliahan di Teknik Elektro Universitas Lampung.
13. Seluruh staff Jurusan Teknik Elektro serta Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi.
14. Keluarga Besar Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Pak Sugiarto, rekan-rekan Lab. TTT yang membantu dan saling berjuang untuk mengerjakan tanggung jawab sebagai asisten Lab. serta bersama-sama menyelesaikan tugas akhir.
15. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan pengerjaan skripsi namun tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 06 Desember 2024

Penulis,



Annisa Yulianty

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Electromagnetic Interference (EMI)</i>	5
2.2 <i>Electromagnetic Shielding</i>	6
2.3 Material Komposit	8
2.3.1 <i>Reinforced (Penguat)</i>	8
2.3.1 Matriks (Pengikat)	9

2.4 Pengukuran S-Parameter dengan VNA.....	11
III. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode Penelitian.....	16
3.3.1 Studi Literatur	16
3.3.2 Pembuatan Komposit MCC-PU/CNT	16
3.3.3 Pengujian S-parameter	18
3.3.4 Pengujian FTIR	20
3.3.5 Analisis Data.....	20
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Hasil Pengujian FTIR	23
4.2 Hasil Pengukuran S-parameter	24
4.2.1 Hasil Perhitungan <i>Reflection Loss</i> dan <i>Absorption Loss</i>	28
4.2.2 Hasil Perhitungan <i>Shielding Effectiveness</i>	30
4.2.3 Hasil Perhitungan Resistansi.....	32
V. PENUTUP	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Aspek Dasar Interferensi Elektromagnetik (EMI)	5
Gambar 2. 2 Mekanisme shielding effectiveness	7
Gambar 2. 3 Skema fasa-fasa material komposit	8
Gambar 2. 4 Struktur dari Polyurethane	9
Gambar 2. 5 Struktur dari Carbon Nanotube	10
Gambar 3. 1 Ultrasonifikasi larutan MCC dan CNT	17
Gambar 3. 2 (a)Pencampuran larutan MCC dan TPU dan (b) Pencampuran larutan MCC/CNT dan TPU	17
Gambar 3. 3 (a) Sampel Komposit MCC-PU dan (b) Sampel Komposit MCC- PU/CNT 20%	18
<i>Gambar 3. 4 Rangkaian Pengujian S-parameter</i>	19
Gambar 3. 5 (a) Holder sampel x-band dan (b) sampel komposit dalam holder ..	19
Gambar 3. 6 Diagram blok analisis data	21
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4. 1 Hasil FTIR sampel MCC-PU dan MCC-PU/CNT 20%	23
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengukuran S11	26
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengukuran S21	26
Gambar 4. 4 Grafik Hasil pengukuran S12	27
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengukuran S22	27
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Reflection Loss (SE_R)	29
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Absorption Loss (SE_A)	29
Gambar 4. 8 Perbandingan Nilai Shielding Effectiveness pada Sampel Uji	31
Gambar 4. 9 Grafik nilai perhitungan resistansi pada sampel uji	33

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil pembuatan sampel komposit	24
Tabel 1 Hasil Pengukuran S-parameters MCC-PU.....	41
Tabel 2 Hasil Pengukuran S-Parameters MCC-PU/CNT 5%	50
Tabel 3 Hasil Pengukuran S-Parameters MCC-PU/CNT 10%	59
Tabel 4 Hasil Pengukuran S-Parameters MCC-PU/CNT 15%	68
Tabel 5 Hasil Pengukuran S-Parameters MCC-PU/CNT 20%	77
Tabel 6 Hasil Perhitungan Reflection Loss (SE_R).....	86
Tabel 7 Hasil Perhitungan Absorption Loss (SE_A)	91
Tabel 8 Hasil Perhitungan Shielding Effectiveness	96
Tabel 9 Hasil perhitungan resistansi.....	101

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Berbagai peralatan elektronik digital pada saat ini telah berkembang semakin pesat. Peralatan elektronik digital tersebut umumnya memancarkan gelombang elektromagnetik, yang dimana bila tidak dibatasi maka pancaran gelombang tersebut dapat mengganggu peralatan disekitarnya. Oleh karena itu peralatan tersebut harus mampu untuk bekerja dengan baik pada lingkungan dengan radiasi gelombang elektromagnetik. *Electromagnetic compability* merupakan suatu kemampuan dimana suatu peralatan atau sistem dapat bekerja dengan baik pada kondisi terdapat gangguan elektromagnetik. Gangguan elektromagnetik (*electromagnetic interference*) atau yang biasa disebut EMI merupakan gelombang elektromagnetik dari sebuah peralatan yang mengganggu kinerja peralatan lainnya. Untuk mencegah gangguan elektromagnetik tersebut, dibutuhkan perlindungan pada peralatan. Peralatan dapat dilindungi pelindung EMI (*EMI shielding*) [1].

Material yang digunakan untuk membuat pelindung (*shielding*) umumnya terbuat dari bahan logam yang bersifat konduktif, namun bahan tersebut memiliki kekurangan dimana bahan logam memiliki sifat korosi serta memiliki bobot yang berat. Namun saat ini telah banyak dikembangkan bahan komposit sebagai pengganti bahan logam. Bahan komposit memiliki keunggulan dibandingkan bahan logam yaitu memiliki harga yang lebih murah dibandingkan bahan logam, mempunyai berat yang ringan, serta tahan terhadap korosi. Salah satu jenis bahan komposit yang memiliki keunggulan tersebut adalah komposit yang terbuat dari bahan *microcrystalline cellulose* (MCC). Komposit dengan bahan MCC memiliki sifat dengan kekuatan yang baik, berat ringan, dan ramah lingkungan. Selain itu ketersediannya yang melimpah dibandingkan dengan serat sintetis [2].

Microcrystalline cellulose (MCC) merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) pada komposit. Material komposit terdiri atas dua bahan yaitu penguat dan matriks. Matriks memiliki fungsi untuk mengikat penguatan serat dan melindungi serat. Salah satu jenis matriks yang digunakan dalam bahan komposit adalah matriks polimer [2].

Polyurethane merupakan salah satu jenis matriks polimer yang banyak digunakan. *Polyurethane* sebagai matriks memiliki beberapa keunggulan yaitu mudah dibentuk, memiliki sifat mekanik yang baik, memiliki sifat fisik yang baik seperti kepadatan rendah dan stabilitas termal yang baik. Selain itu *polyurethane* juga ramah lingkungan dan dapat didaur ulang [3] [4].

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan pelindung terhadap *elektromagnetic interference* dengan menggunakan MCC sebagai penguat pada bahan komposit dengan menggunakan *polyurethane* sebagai matriks untuk membuat komposit. Untuk menambahkan sifat konduktif pada komposit yang akan dibuat, dilakukan dengan penambahan filler *carbon nanotube* (CNT).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara pembuatan komposit *microcrystalline cellulose* sebagai *reinforced* dan *polyurethane* sebagai matriks dengan filler *carbon nanotube*.
2. Bagaimana mengetahui gugus fungsi dari komposit MCC-PU/CNT dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
3. Bagaimana mengukur nilai S-parameter pada komposit MCC-PU/CNT dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).
4. Bagaimana menganalisis nilai S-parameter yang telah didapat untuk mendapatkan nilai *shielding effectiveness* (SE), dan resistansi dari komposit MCC-PU/CNT.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat komposit menggunakan *microcrystalline cellulose* sebagai *reinforced* dan *polyurethane* sebagai matriks dengan penambahan *filler carbon nanotube* (MCC-PU/CNT) sebagai pelindung EMI.
2. Mengetahui gugus fungsi dari komposit MCC-PU/CNT dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
3. Mengukur nilai S-parameter dari komposit MCC-PU/CNT dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).
4. Menghitung dan menganalisis nilai *shielding effectiveness* (SE) dari komposit MCC-PU/CNT dengan menggunakan nilai S-parameter.
5. Menghitung dan menganalisis nilai resistansi dari komposit MCC-PU/CNT dengan menggunakan nilai S-parameter.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah *microcrystalline cellulose* sebagai penguat, *polyurethane* sebagai matriks, dan *carbon nanotube* sebagai filler.
2. Menggunakan campuran larutan antara *Dichloromethane* 63 ml, *Dimethylformamide* 18 ml, dan Metanol 9 ml sebagai bahan pelarut.
3. Komposisi *microcrystalline cellulose* yang digunakan adalah 1 gram.
4. Komposisi *carbon nanotube* sebagai filler dengan *polyurethane* 6gr adalah 0,3 gr (5 wt%), 0,6 gr (10 wt%), 0,9 gr (15 wt%), dan 1,2gr (20 wt%).
5. Pengujian S-parameter menggunakan *Vector Network Analyzer* dilakukan pada frekuensi 8GHz – 12GHz.
6. Pada pengujian S-parameter tidak mempertimbangkan *noise* dari alat uji.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat menghasilkan alternatif material sebagai pelindung *electromagnetic interference* (EMI) yang ramah lingkungan dan memiliki nilai SE yang baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, tujuan, manfaat, perumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori mengenai *Electromagnetic Interference* (EMI), metode *Shielding Effectiveness* (SE) serta komposit serat alami.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, garis besar metode yang diusulkan, serta diagram alir metode yang diusulkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang menjelaskan hasil penelitian, pembahasan dan perhitungan kinerja yang dilakukan.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dan saran-saran pada penelitian ini.

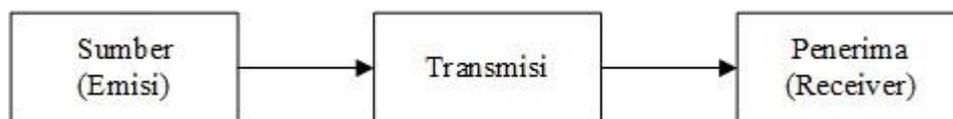
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Elecgtromagnetic Interference (EMI)*

Peralatan elektronik merupakan sumber dari interferensi elektromagnetik (EMI), juga sekaligus sebagai korban dari EMI yang berada disekelilingnya. Peralatan digital elektronik yang menggunakan sistem *clock pulse* merupakan sumber timbulnya EMI yaitu berupa harmonisa pada gelombang tegangan listrik. Penyebab EMI yang lain adalah pancaran gelombang elektromagnetik dari telepon selular, piranti yang menggunakan teknologi Bluetooth, dan pemancar sinyal seperti antena TV atau radio. Beberapa contoh efek EMI adalah kegagalan perangkat medis seperti ventilator atau monitor EKG akibat harmonisa tegangan listrik atau kegagalan transmisi sinyal pada peralatan avionik di pesawat udara akibat sinyal telepon selular. Gambar 2.1 menunjukkan aspek dasar dari interferensi elektromagnetik (EMI) [5].



Gambar 2.1 Aspek Dasar Interferensi Elektromagnetik (EMI)

Upaya agar peralatan elektronik dapat berfungsi secara sempurna tanpa terganggu dengan efek gelombang elektromagnetik disekelilingnya dan disampingnya tidak juga menghasilkan interefernsi elektromagnetik melebihi jumlah yang ditetapkan disebut dengan *Electromagnetic Compatibility (EMC)*. Salah satu cara untuk membuat suatu peralatan elektronik dapat memenuhi persyaratan *electromagnetic compatibility (EMC)* adalah dengan membuat kotak pelindung pada peralatan tersebut [6].

2.2 *Elegtromagnetic Shielding*

Penggunaan *electromagnetic shielding* ditentukan dengan mengukur *shielding effectiveness* (SE). SE dari suatu material didefinisikan sebagai pelemahan gelombang elektromagnetik yang merambat yang dihasilkan oleh bahan pelindung. SE dinyatakan dalam desibel (dB) sebagai fungsi dari logaritma rasio insiden dan intensitas medan listrik (E), magnet (H), atau gelombang bidang (F) yang ditransmisikan [7]. Berikut ini persamaan untuk mencari nilai *shielding effectiveness* :

$$SE_{dB} = 20 \log \frac{E_0}{E_1} = 20 \log \frac{H_0}{H_1} = 20 \log \frac{F_0}{F_1} \quad (2.1)$$

Dimana

E_0 = medan listrik sebelum pelindung dipasang

E_1 = medan listrik setelah pelindung dipasang

H_0 = medan magnet sebelum pelindung dipasang

H_1 = medan magnet setelah pelindung dipasang

SE juga dapat dinyatakan sebagai fungsi dari logaritma rasio daya *incident* terhadap daya yang ditransmisikan:

$$SE = 10 \log (P_i / P_t) \quad (2.2)$$

Dimana

P_i = daya *incident*

P_t = daya yang ditransmisikan

Apabila alat ukur penerima dalam satuan tegangan, maka persamaan berikut digunakan:

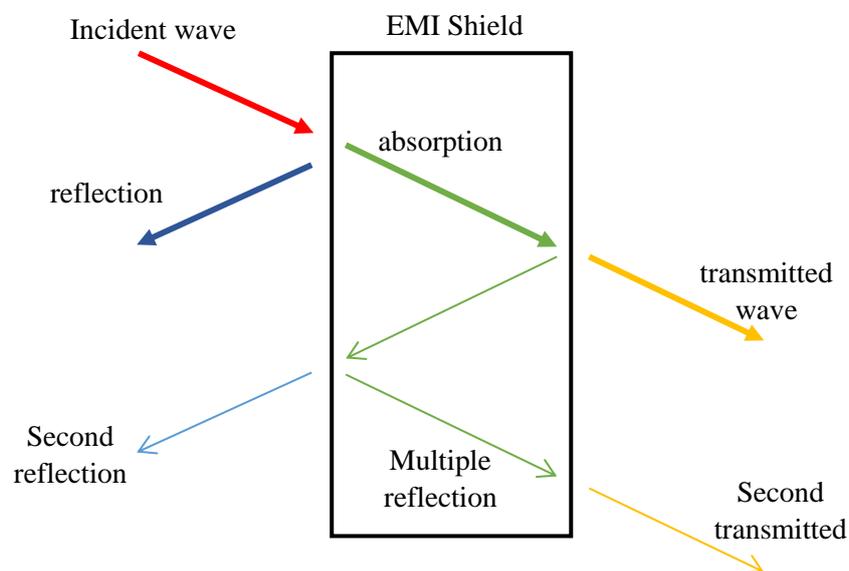
$$SE = 20 \log (V_1 / V_2) \quad (2.3)$$

Dimana

V_1 = tegangan saat pelindung dipasang

V_2 = tegangan saat pelindung tidak dipasang

Nilai SE yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sejumlah kecil energi melewati pelindung dan sebagian besar energi diserap atau dipantulkan oleh bahan pelindung. Setiap bahan pelindung melemahkan radiasi elektromagnetik melalui tiga mekanisme yaitu refleksi gelombang dari permukaan depan pelindung, penyerapan gelombang saat melewati pelindung, dan beberapa refleksi gelombang pada berbagai antarmuka. Berikut ini gambar dari mekanisme *shielding effectiveness* [6].



Gambar 2.2 Mekanisme shielding effectiveness

Mekanisme refleksi terjadi karena adanya perbedaan impedansi antara material shielding dan medium di sekitarnya. Gelombang elektromagnetik yang datang sebagian besar dipantulkan kembali jika terdapat konduktivitas atau permitivitas material yang cukup tinggi. Pada mekanisme absorpsi gelombang elektromagnetik yang tidak dipantulkan akan menembus material dan sebagian diserap. Pada *multiple reflection*, gelombang yang memasuki material akan dipantulkan berulang kali di dalam material sebelum akhirnya diserap atau keluar kembali. Hal ini biasanya terjadi pada material tipis atau material dengan permitivitas rendah karena gelombang tidak cukup diserap dalam perjalanan pertamanya.

2.3 Material Komposit

Material komposit tersusun atas dua bagian yang berbeda yaitu penguat (*reinforced*) dan matriks (pengikat). Untuk mendapatkan hasil produk komposit yang sesuai, dilakukan pemilihan matriks dan penguat. Adapun skema komposisi material komposit ditunjukkan pada gambar 2.3 [8].



Gambar 2.3 Skema fasa-fasa material komposit

2.3.1 Reinforced (Penguat)

Reinforced (penguat) merupakan bagian dari penyusun komposit yang berfungsi untuk menahan beban yang diterima sehingga tinggi rendah kekuatan komposit tergantung dari penguat yang digunakan. Salah satu bahan penguat komposit yang sedang berkembang saat ini adalah *microcrystalline cellulose* (MCC). Beberapa studi menunjukkan potensi *microcrystalline cellulose* sebagai penguat bahan komposit. *Microcrystalline cellulose* saat ini semakin banyak digunakan sebagai penguat pada bahan komposit menggantikan penggunaan serat sintesis. Hal ini dikarenakan *microcrystalline cellulose* memiliki sifat seperti kekuatan yang tinggi, memiliki berat yang lebih ringan, ramah lingkungan, dan dapat didaur ulang [2].

Lisneri, dkk [9] memaparkan mengenai limbah batang ubi kayu yang dimanfaatkan sebagai bahan baku dari *microcrystalline cellulose* (MCC). Pembuatan mikrokristalin selulosa terdiri dari empat tahap yaitu, prahidrolisis, delignifikasi, bleaching dan hidrolisis asam. Dari penelitian tersebut didapat kadar kemurnian selulosa sebesar 99,68%.

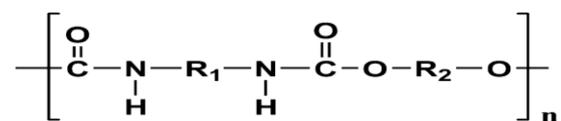
Kexia Jin, dkk [10] memaparkan pembuatan film komposit dengan bahan cellulose nanocrystals dan reduced graphene sebagai pelindung interferensi elektromagnetik.

Komposit dengan bahan serat CNC sebagai penguat dan pendispersi serta penambahan graphene oxide yang tereduksi menghasilkan lapisan yang tipis, kuat, fleksibel, dan hidrofobik. Hasil pembuatan film komposit CNC/RGO menunjukkan potensi yang baik sebagai bahan pelindung EMI.

Hongchao, dkk [11] memaparkan pembuatan film komposit selulosa/MWCNT. Film komposit selulosa/MWCNT dibuat dengan menggunakan proses pembuatan kertas sederhana dan proses subsequents in situ dengan cairan ionik sebagai pelarut selulosa. Pembuatan film komposit selulosa/MWCNT menghasilkan komposit multifungsi dengan kinerja yang baik, efisiensi pelindung interferensi elektromagnetik, konduktivitas listrik yang cukup tinggi, sifat mekanik yang baik, stabilitas termal, dan tahan air.

2.3.1 Matriks (Pengikat)

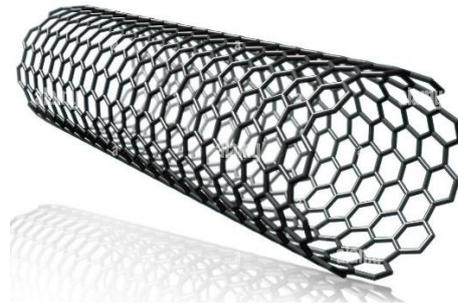
Matriks sebagai salah satu penyusun material komposit berasal dari bahan polimer, logam, dan keramik. Matriks memiliki fungsi untuk mengikat penguatan serat dan melindungi serat. Dibandingkan dengan komposit matriks logam dan matriks keramik, komposit matriks polimer memiliki proses pembuatan yang lebih sederhana dan lebih mudah [12]. Salah satu jenis matriks polimer adalah *polyurethane*. Berikut ini adalah struktur kimia dari *polyurethane*.



Gambar 2.4 Struktur kimia dari Polyurethane

Polimer *polyurethane* merupakan salah satu polimer yang sering digunakan dalam industry sebagai bahan penyusun material komposit. Bahan ini memiliki sifat mekanik yang baik, tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, dan memiliki fleksibilitas tinggi. Selain itu *polyurethane* juga ramah lingkungan dan dapat didaur ulang. Sifat-sifat tersebut menjadikan *polyurethane* banyak digunakan sebagai material komposit untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal [3] [4].

Untuk meningkatkan konduktivitas pada komposit, dapat dilakukan dengan penambahan *filler*. *Carbon nanotube* (CNT) merupakan salah satu jenis *filler* yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit. CNT adalah serat karbon ultra tipis dengan diameter berukuran nanometer dan panjang berukuran mikrometer yang tersusun dari lapisan grafena yang berbentuk silinder. Selain untuk meningkatkan konduktivitas, CNT juga dapat meningkatkan kekuatan mekanis, kekakuan, dan sifat termal dari komposit [13].



Gambar 2.5 Bentuk struktur dari *Carbon Nanotube*

Penambahan *carbon nanotube* sebagai filler pada komposit telah banyak diteliti. Beomsu, dkk [14] meneliti komposit poliuretan termoplastik (TPU) yang diperkuat dengan nanotube karbon (CNT) untuk aplikasi perisai interferensi elektromagnetik (EMI) dan manajemen termal. Menggunakan metode pencampuran larutan dengan strategi pemisahan fase yang diinduksi non-pelarut (NIPS), tiga jenis CNT dengan panjang berbeda digunakan untuk membuat komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan CNT paling panjang memiliki efisiensi perisai EMI terbaik (42,5 dB) dan konduktivitas listrik tertinggi ($1,9 \times 10^{-3}$ S/cm) dibandingkan dengan komposit konsentrasi CNT.

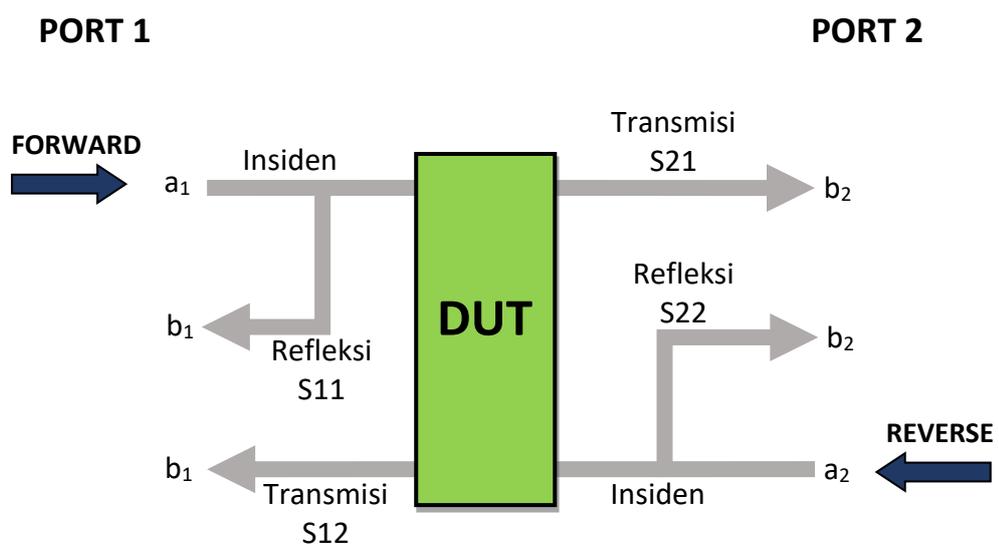
Jiun, dkk [15] membahas tentang pembuatan film komposit polimer yang diperkuat dengan carbon nanotube (CNT) multidinding untuk aplikasi shielding interferensi elektromagnetik (EMI). Film komposit yang dihasilkan menunjukkan peningkatan sifat listrik dan efektivitas shielding EMI, dengan konduktivitas listrik mencapai 4,33 S/cm dan nilai shielding EMI 30 dB pada kandungan CNT 7% berat. Hasil eksperimen sesuai dengan prediksi teoritis menggunakan persamaan perkolasi dan Simon, mengkonfirmasi dispersi CNT yang baik. Film komposit ini memiliki efektivitas shielding spesifik (SSE) yang lebih tinggi dibandingkan beberapa

logam, menunjukkan potensinya sebagai material shielding EMI yang ringan untuk aplikasi industri.

2.4 Pengukuran S-Parameter dengan VNA

Vector Network Analyzer (VNA) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur parameter jaringan listrik, salah satunya S-parameters. *Scattering Parameters* atau S-parameters adalah parameter yang digunakan untuk menggambarkan perilaku jaringan listrik, dengan mengukur energi yang dipancarkan dan dipantulkan dalam jaringan listrik. S-parameters mengukur energi refleksi dan transmisi pada port. Port adalah titik dimana sinyal listrik masuk atau keluar dari jaringan [16].

Alat VNA memiliki berbagai jenis dengan masing-masing jumlah port yang berbeda, salah satunya alat VNA yang memiliki dua port yaitu port 1 dan port 2. Port 1 digunakan untuk mengirim sinyal RF sedangkan port 2 digunakan untuk menerima sinyal yang dipantulkan. Dalam mengukur S-parameters alat VNA akan mengirimkan sinyal RF ke DUT (*Device Under Test*) dan menerima sinyal yang dipantulkan dan diteruskan. Berikut ini skematik dari S-parameters pada VNA dengan 2-port [17], [18].



Gambar 2.6 Skematik S-parameters pada VNA 2-port

Pada gambar 2.6 menunjukkan skema dari S-parameters dengan VNA 2-port dimana menunjukkan port 1 dan port 2, a_1 dan a_2 , b_1 dan b_2 , dan S_{11} , S_{22} , S_{12} , S_{21} . Port 1 dan port 2 adalah dua titik dimana sinyal masuk dan sinyal yang keluar yang diukur dari DUT. a_1 dan a_2 menunjukkan gelombang insiden pada port 1 dan port 2. b_1 dan b_2 menunjukkan gelombang refleksi pada port 1 dan port 2. Dengan menggunakan gelombang insiden dan gelombang refleksi, DUT dapat dicirikan dengan persamaan berikut [17].

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{\text{Refleksi}}{\text{Insiden}} = \frac{b_1}{a_1} & S_{22} &= \frac{\text{Refleksi}}{\text{Insiden}} = \frac{b_2}{a_2} \\ S_{21} &= \frac{\text{Transmisi}}{\text{Insiden}} = \frac{b_2}{a_1} & S_{12} &= \frac{\text{Transmisi}}{\text{Insiden}} = \frac{b_1}{a_2} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dimana,

S_{11} = koefisien refleksi di port 1, dengan mengukur a_1 yang sebagian dipantulkan sebagai b_1 .

S_{22} = koefisien refleksi di port 2, dengan mengukur a_2 yang sebagian dipantulkan sebagai b_2 .

S_{21} = koefisien transmisi dari port 1 ke port 2, dengan mengukur a_1 yang diteruskan ke b_2 .

S_{12} = koefisien transmisi dari port 2 ke port 1, dengan mengukur a_2 yang diteruskan ke b_1 .

Nilai S-parameter dapat digunakan untuk pengukuran *shielding effectiveness* pada DUT. Untuk menghitung nilai *shielding effectiveness*, nilai S-parameter real dan imajiner yang terukur pada VNA diubah dalam S-parameter absolut. Berikut ini persamaan untuk mencari nilai S-parameter absolut.

$$|S_{ij}| = \sqrt{\text{Re}(S_{ij})^2 + \text{Im}(S_{ij})^2} \quad (2.5)$$

$$S_{ij}(\text{dB}) = 20 \log |S_{ij}| \quad (2.6)$$

Dimana,

$|S_{ij}|$ = nilai absolut S-parameter

$\text{Re}(S_{ij})$ = nilai real S-parameter

$Im(S_{ij})$ = nilai imajiner S-parameter

Apabila nilai S-parameter sudah dalam bentuk desibel, maka persamaan untuk *shielding effectiveness* adalah sebagai berikut [19], [20].

$$SE_{Total} = SE_R + SE_A \quad (2.7)$$

$$SE_R = -20 \log |S_{11}| \quad (2.8)$$

$$SE_A = -20 \log |S_{21}| \quad (2.9)$$

Dimana,

SE_R = reflection loss (dB)

SE_A = absorbtion loss (dB)

Reflection loss adalah hilangnya kekuatan sinyal yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik dipantulkan kembali ke sumbernya. *Reflection loss* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8. Sedangkan *absorption loss* adalah hilangnya kekuatan sinyal yang pada gelombang elektromagnetik yang disebabkan oleh penyerapan gelombang pada material yang dilalui. *Absorption loss* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.9.

VNA mengukur koefisien refleksi. Pengukuran refleksi kembali ke port 1 dari sinyal insiden yang dihasilkannya disebut pengukuran satu port dan S-parameter disebut S11. Koefisien refleksi S11 adalah bilangan kompleks yang memiliki besaran dan fase dan merupakan fungsi dari impedansi kompleks Z yang diukur dengan persamaan berikut [21] [22].

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.10)$$

Dimana Z_0 adalah impedansi referensi sistem yaitu 50 ohm.

Maka Z_{in} dapat dituliskan sebagai persamaan berikut.

$$Z_{in} = Z_0 \left(\frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \right) \quad (2.11)$$

Dimana S11 adalah bilangan kompleks, maka S11 dapat diganti dengan $S_{11r} + S_{11i}$,

$$Z_{in} = Z_0 \left(\frac{1 + S_{11r} + S_{11i}}{1 - S_{11r} - S_{11i}} \right) \quad (2.12)$$

Kalikan penyebut persamaan 2.12 dengan konjugat kompleksnya untuk memisahkan komponen riil dan imajiner,

$$Z_{in} = Z_0 \left(\frac{1+S_{11}r+S_{11}i}{1-S_{11}r-S_{11}i} \right) \left(\frac{1-S_{11}r+S_{11}i}{1-S_{11}r+S_{11}i} \right) \quad (2.13)$$

$$Z_{in} = Z_0 \left(\frac{1-S_{11}r^2-S_{11}i^2+2S_{11}i}{(1-S_{11}r)^2+S_{11}i^2} \right) \quad (2.14)$$

Sehingga, persamaan untuk komponen real dan persamaan untuk komponen imajiner dari impedansi input adalah sebagai berikut.

$$Z_{in}(real) = Z_0 \left(\frac{1-S_{11}r^2-S_{11}i^2}{(1-S_{11}r)^2+S_{11}i^2} \right) \quad (2.15)$$

$$Z_{in}(imajiner) = Z_0 \left(\frac{2S_{11}i}{(1-S_{11}r)^2+S_{11}i^2} \right) \quad (2.16)$$

Dimana bagian riil dari impedansi adalah resistansi dan bagian imajiner adalah reaktansi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat penelitian ini dilaksanakan pada :

Waktu : Januari 2024 – Selesai

Tempat : Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT)
Universitas Lampung
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Sub Laboratorium
Elektronika C situ

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat komposit MCC-PU/CNT adalah sebagai berikut.

1. *Microcrystalline cellulose* (MCC)
2. *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)
3. *Carbon nanotube* (CNT)
4. *Dichloromethane* (DCM)
5. *Dimethylformamide* (DMF)
6. *Methanol*
7. Gelas beker 300mL
8. *Hot plate magnetic stirrer*
9. Timbangan
10. *Mixer*
11. Cetakan ukuran 10cm x 10cm

12. Ultrasonic
13. Termometer air raksa
14. Oven

3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode penelitian dilakukan dengan memulai studi literatur, pembuatan komposit MCC-PU/CNT, serta pengujian pada komposit.

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menemukan landasan teori terhadap berbagai sumber informasi yang terkait dengan topik pelindung *electromagnetic interference* (EMI). Tahap ini mencakup pengumpulan dan penelaahan pada sumber informasi yang terkait dengan penelitian berupa buku, jurnal, laporan penelitian sebelumnya, dan dokumen lainnya. Selain itu, tahap ini juga dilengkapi dengan bimbingan yang membantu dalam menentukan alat dan bahan, membuat komposit, serta menguji kemampuan komposit MCC-PU/CNT.

3.3.2 Pembuatan Komposit MCC-PU/CNT

Pembuatan komposit MCC-PU/CNT sebagai pelindung *electromagnetic interference* (EMI) dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyiapkan bahan seperti MCC sebanyak 1 gram, TPU sebanyak 6 gram, CNT sebanyak 0,3 gram (5wt%), 0,6 gram (10wt%), 0,9 gram (15wt%), dan 1,2 gram (20wt%) serta larutan campuran DCM 63 ml + DMF 18 ml + 9 ml metanol.
2. Kemudian larutan campuran ditambah dengan MCC dan CNT sesuai dengan jenis sampel yang akan dibuat. Setelah itu dilakukan ultrasonifikasi pada larutan yang telah ditambah dengan MCC dan CNT selama 15 menit.



Gambar 3.1 Ultrasonifikasi larutan MCC dan CNT

- Setelah itu, TPU sebanyak 6 gram yang telah disiapkan sebelumnya ditambahkan kedalam larutan MCC/CNT. Larutan MCC/CNT yang telah ditambah dengan TPU selanjutnya dipanaskan menggunakan *hot plate stirrer* selama 45 menit dengan suhu 50°C .



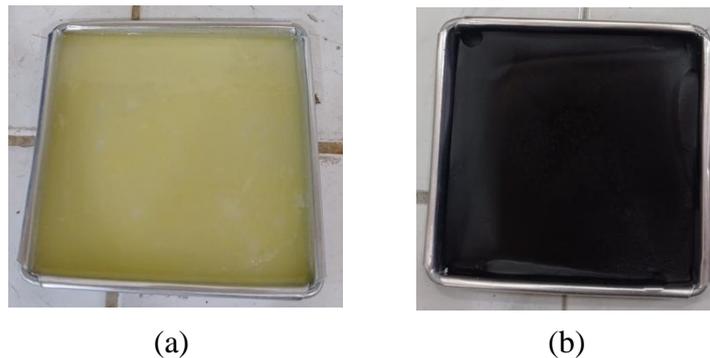
(a)



(b)

Gambar 3.2 (a)Pencampuran larutan MCC dan TPU dan (b) Pencampuran larutan MCC/CNT dan TPU

4. Campuran larutan MCC dan TPU yang telah dipanaskan, kemudian diaduk menggunakan mixer selama 15 menit dengan suhu 50°C . Setelah itu, larutan yang telah tercampur dituang ke dalam cetakan aluminium dengan ukuran $10 \times 10 \text{ cm}$. Larutan yang telah dicetak kemudian dimasukkan ke dalam oven dalam suhu 80°C selama 10 jam.

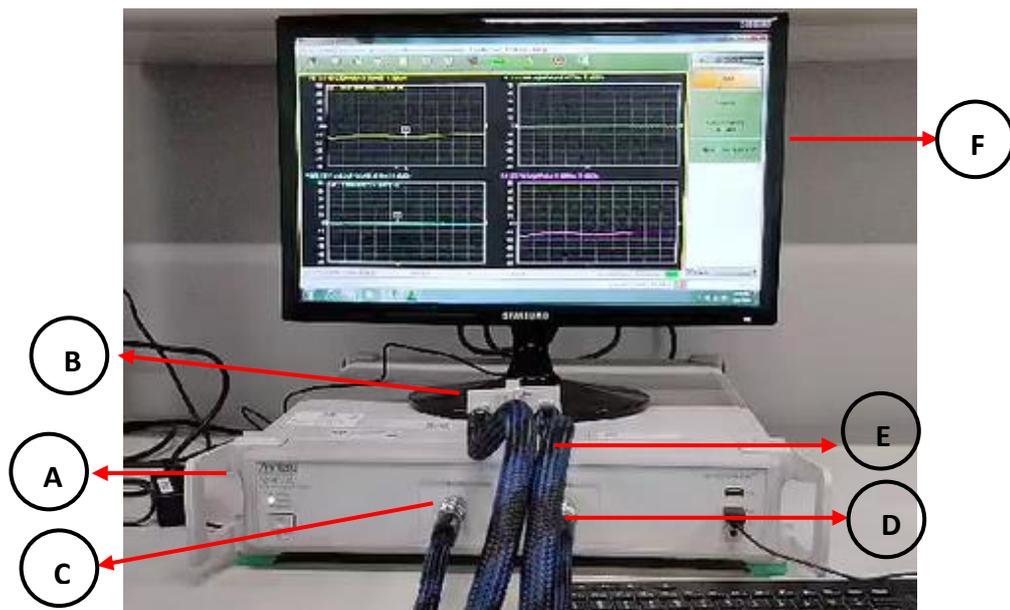


Gambar 3.3 (a) Sampel Komposit MCC-PU dan (b) Sampel Komposit MCC-PU/CNT 20%

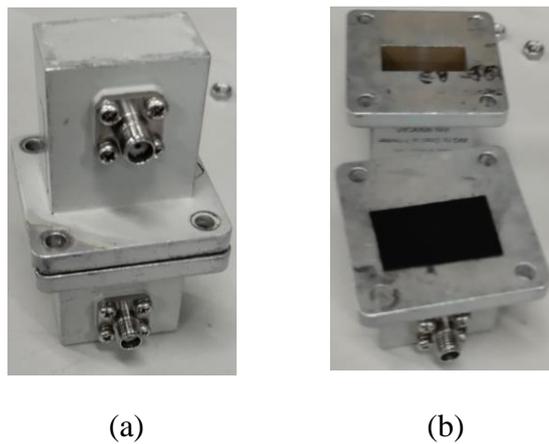
Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel komposit sebanyak lima jenis sampel yaitu sampel komposit MCC-PU tanpa CNT, MCC-PU/CNT 5%, komposit MCC-PU/CNT 10%, MCC-PU/CNT 15%, dan MCC-PU/CNT 20%. Konsentrasi filler CNT berbeda pada setiap sampel berturut-turut yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari banyak PU (6 gram) yang digunakan.

3.3.3 Pengujian S-parameter

Pada komposit MCC-PU/CNT yang telah dibuat, kemudian dilakukan pengujian S-parameter. Pengujian S-parameter pada sampel dilakukan di BRIN Sub Laboratorium Elektronika di Cisitu. Pengujian pada sampel ini menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (VNA) dengan jenis VNA yang digunakan adalah Anritsu MS46322A.



Gambar 3. 4 Rangkaian Pengujian S-parameter



(a)

(b)

Gambar 3.5 (a) Holder sampel x-band dan (b) sampel komposit dalam holder

Keterangan :

- A. *Vector Network Analyzer* (VNA)
- B. Holder sampel x-band
- C. Port-1
- D. Port-2
- E. Kabel koaksial
- F. Monitor

Pada gambar 3.4 menunjukkan gambar rangkaian pada pengujian S-parameter dengan menggunakan VNA. Pengujian S-parameter pada sampel dilakukan dengan

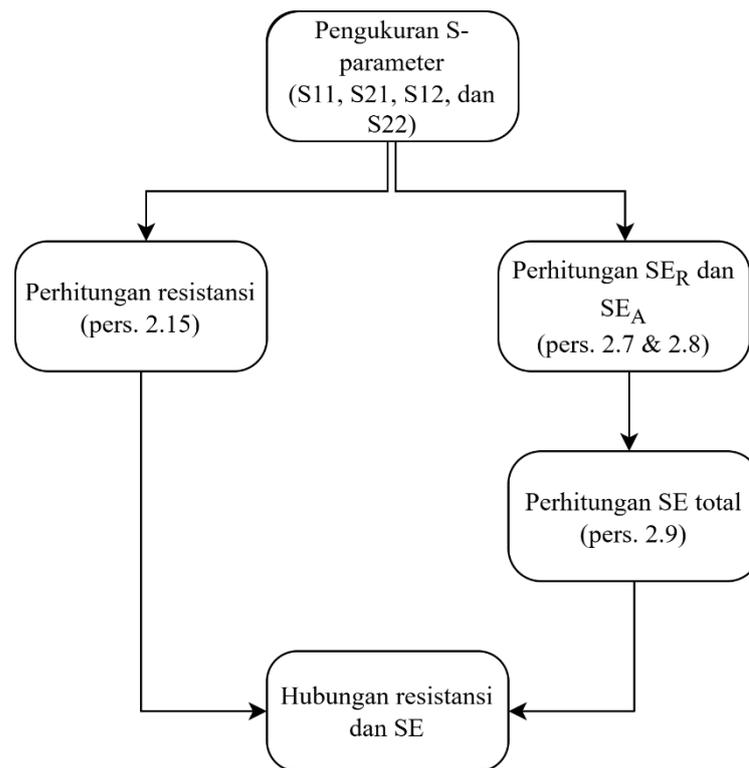
menggunakan frekuensi dari 8 GHz – 12 GHz. Sampel yang akan diuji diletakkan dalam holder. Holder dihubungkan pada VNA dengan menggunakan kabel koaksial. VNA kemudian akan menguji sampel yang ada pada dalam holder, hasil pengujian VNA dapat dilihat pada monitor.

3.3.4 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR pada penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa dan gugus fungsi dengan menganalisa hasil spektrum yang diperoleh dari sampel yang diuji. Sampel yang diuji pada penelitian ini adalah sampel MCC-PU dan MCC-PU/CNT 20%. Pengujian pada kedua sampel tersebut dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan hasil dan mengetahui perbedaan gugus fungsi dalam kedua sampel tersebut. Pada penelitian ini pengujian sampel dilakukan di UPT LTSIT Universitas Lampung dengan jenis FTIR yang digunakan adalah *Agilent Cary 630*.

3.3.5 Analisis Data

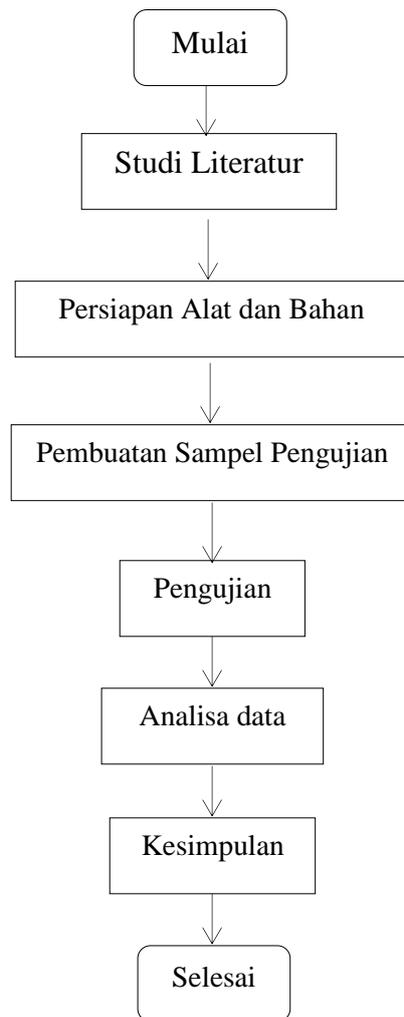
Setelah mendapatkan data dari hasil pengujian, data tersebut selanjutnya di analisa untuk mendapatkan kesimpulan dari sampel yang telah di uji. Hasil Analisa data ditampilkan berupa tabel dan grafik untuk melihat hasil pengukuran dan perhitungan *shielding effectiveness*, dan resintansi dari pengukuran S-parameter serta hasil dari pengujian FTIR. Berikut ini proses analisis data yang ditampilkan pada diagram blok gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram blok analisis data

3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7 yang merupakan diagram alir penelitian. Mulai dari studi literatur hingga kesimpulan dari data yang telah dianalisis ditunjukkan pada diagram alir penelitian berikut.



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) antara sampel MCC-PU dan MCC-PU/CNT 20% menunjukkan adanya perbedaan puncak pada spektrum 2110 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan gugus nitril $\text{C}\equiv\text{N}$ dimana hal ini disebabkan oleh interaksi antara material CNT dan PU.
2. Hasil perhitungan nilai SE_R tertinggi dimiliki sampel MCC-PU/CNT 20% dan nilai SE_A tertinggi dimiliki sampel MCC-PU dimana mekanisme refleksi lebih dominan daripada absorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa sampel komposit yang dibuat memiliki kemampuan untuk memantulkan gelombang elektromagnetik lebih tinggi dibandingkan dengan kemampuan sampel untuk menyerap gelombang elektromagnetik.
3. Nilai shielding effectiveness (SE) tertinggi dari lima sampel yaitu MCC-PU, MCC-PU/CNT 5%, MCC-PU/CNT 10%, MCC-PU/CNT 15%, MCC-PU/CNT 20% secara berturut-turut adalah 10,23 dB, 13,09 dB, 15,88 dB, 20,40 dB, dan 36,22 dB. Secara keseluruhan nilai SE dari komposit MCC-PU melebihi 10dB sehingga hasil SE menunjukkan bahwa semua sampel MCC-PU/CNT dapat digunakan sebagai bahan material pelindung yang baik. Sampel MCC-PU/CNT 20% memiliki nilai SE yang paling baik karena melebihi 30 dB.
4. Hasil perhitungan resistansi pada lima sampel MCC-PU menunjukkan bahwa sampel MCC-PU tanpa CNT memiliki nilai resistansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang dicampur CNT. Sampel MCC-PU/CNT 20% memiliki nilai resistansi yang paling rendah, sedangkan

sampel MCC-PU memiliki nilai resistansi yang paling tinggi. Resistansi berkorelasi dengan nilai-nilai SE. MCC-PU/CNT 20% mempunyai resistansi yang paling rendah dan menghasilkan nilai SE yang paling tinggi.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan *filler* konduktif selain *carbon nanotube* seperti *graphite*, *graphene*, perak, tembaga, dan logam lainnya.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengukuran konduktivitas pada masing-masing komponen komposit larutan tercampur agar dapat dilakukan perbandingan dengan sampel yang telah tercetak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hardiati, “Pengendalian Electromagnetic Interference (EMI) Printed Circuit Board (PCB) dalam Perkembangan Peralatan Elektronik.”
- [2] D. Trache *et al.*, “Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application—A review,” Dec. 01, 2016, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.09.056.
- [3] A. Kirana, Moh. Farid, and V. M. Pratiwi, “Efek Penambahan Serat Gelas pada Komposit Polyurethane Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Komposit Doorpanel,” *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 5, pp. A538–A541, 2016.
- [4] J. T. Haponiuk and K. Formela, “PU Polymers, Their Composites, and Nanocomposites,” in *Polyurethane Polymers*, Elsevier, 2017, pp. 1–20. doi: 10.1016/B978-0-12-804065-2.00001-2.
- [5] C. R. Paul, “Introduction to Electromagnetic Compatibility Second Edition Introduction to Electromagnetic Compatibility,” 2006.
- [6] R. Armstrong, “Measurement Of Shielding In Electrically Large Metallic Enclosure,” 2013.
- [7] M. Wladyslaw. Jaroszewski, Sabu. Thomas, and A. V. . Rane, *Advanced Materials for Electromagnetic Shielding: fundamentals, properties, and applications*. Wiley, 2019.
- [8] D. Munalli, G. Dimitrakakis, D. Chronopoulos, S. Greedy, and A. Long, “Electromagnetic shielding effectiveness of carbon fibre reinforced composites,” *Compos B Eng*, vol. 173, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.106906.
- [9] L. Lismeri, E. Agustina, Y. Darni, N. Agustin, and N. Damara, “Preparasi dan karakterisasi mikrokristalin selulosa dari limbah batang ubi kayu,” *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*, vol. 01, no. 01, pp. 28–036, 2020.
- [10] K. Jin *et al.*, “Manipulating the assembly of the CNC/RGO composite film for superior electromagnetic interference shielding properties,” *J Mater Chem A Mater*, vol. 9, no. 47, pp. 26999–27009, Dec. 2021, doi: 10.1039/d1ta08147k.

- [11] H. Lu *et al.*, “Cellulose-Based Conductive Films with Superior Joule Heating Performance, Electromagnetic Shielding Efficiency, and High Stability by In Situ Welding to Construct a Segregated MWCNT Conductive Network,” *Ind Eng Chem Res*, vol. 61, no. 4, pp. 1773–1785, Feb. 2022, doi: 10.1021/acs.iecr.1c04677.
- [12] T. G. Yashas Gowda, M. R. Sanjay, K. Subrahmanya Bhat, P. Madhu, P. Senthamarai Kannan, and B. Yogesha, “Polymer matrix-natural fiber composites: An overview,” Jan. 01, 2018, *Cogent OA*. doi: 10.1080/23311916.2018.1446667.
- [13] N. Sarkar, G. Sahoo, and S. K. Swain, “Nanocomposites of Polyurethane Filled with CNTs,” in *Polyurethane Polymers*, Elsevier, 2017, pp. 191–219. doi: 10.1016/B978-0-12-804065-2.00006-1.
- [14] B. Shin, S. Mondal, M. Lee, S. Kim, Y. Il Huh, and C. Nah, “Flexible thermoplastic polyurethane-carbon nanotube composites for electromagnetic interference shielding and thermal management,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 418, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.cej.2021.129282.
- [15] J. un Jang *et al.*, “Enhanced Electrical and Electromagnetic Interference Shielding Properties of Uniformly Dispersed Carbon nanotubes Filled Composite films via solvent-free Process using ring-opening Polymerization of Cyclic Butylene Terephthalate,” *Polymer (Guildf)*, vol. 186, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.polymer.2019.122030.
- [16] B. F. Drive, *Fundamentals of Vector Network Analysis Primer*. Rohde & Schwarz.
- [17] K. Technologies, “Understanding the Fundamental Principles of Vector Network Analysis 2.”
- [18] F. Ruiz-Perez, S. M. López-Estrada, R. V. Tolentino-Hernández, and F. Caballero-Briones, “Carbon-based radar absorbing materials: A critical review,” Sep. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jsamd.2022.100454.
- [19] M. Wladyslaw. Jaroszewski, Sabu. Thomas, and A. V. . Rane, *Advanced materials for electromagnetic shielding: fundamentals, properties, and applications*. Wiley, 2019.
- [20] D. M. Pozar, *Microwave Engineering 4th edition*. 2012.
- [21] M. Steer, *Microwave and RF Design: Networks, Volume 3*. NC State University, 2019. doi: 10.5149/9781469656953_Steer.

- [22] “Converting S-Parameters from 50Ω to 75Ω Impedance,” 2003.
- [23] H. Zhang, L. Quan, and L. Xu, “Effects of Amino-Functionalized Carbon Nanotubes on the Crystal Structure and Thermal Properties of Polyacrylonitrile Homopolymer Microspheres,” *Polymers (Basel)*, vol. 9, no. 8, p. 332, Aug. 2017, doi: 10.3390/polym9080332.
- [24] Y. Li, Y. Shang, M. Li, X. Zhang, and J. He, “High Electromagnetic Shielding Effect of Carbon Nanotubes/Waterborne Polyurethane Composites Prepared by ‘Break-Adsorption’ Method,” *Materials*, vol. 15, no. 18, p. 6430, Sep. 2022, doi: 10.3390/ma15186430.
- [25] Z. Liu *et al.*, “Reflection and absorption contributions to the electromagnetic interference shielding of single-walled carbon nanotube/polyurethane composites,” *Carbon N Y*, vol. 45, no. 4, pp. 821–827, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.carbon.2006.11.020.
- [26] M. H. Al-Saleh and U. Sundararaj, “Electromagnetic interference shielding mechanisms of CNT/polymer composites,” *Carbon N Y*, vol. 47, no. 7, pp. 1738–1746, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.carbon.2009.02.030.
- [27] S. Sankaran, K. Deshmukh, M. B. Ahamed, and S. K. Khadheer Pasha, “Recent advances in electromagnetic interference shielding properties of metal and carbon filler reinforced flexible polymer composites: A review,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 114, pp. 49–71, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.compositesa.2018.08.006.
- [28] R. Verma, P. Thakur, A. Chauhan, R. Jasrotia, and A. Thakur, “A review on MXene and its’ composites for electromagnetic interference (EMI) shielding applications,” *Carbon N Y*, vol. 208, pp. 170–190, May 2023, doi: 10.1016/j.carbon.2023.03.050.
- [29] Y. Huang *et al.*, “The influence of single-walled carbon nanotube structure on the electromagnetic interference shielding efficiency of its epoxy composites,” *Carbon N Y*, vol. 45, no. 8, pp. 1614–1621, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.carbon.2007.04.016.
- [30] W. Ghafoor, M. Ahmad, M. Raffi, and S. U. Awan, “Role of Electrical Conductivity in the Shielding Effectiveness of Composite Polyvinyl Alcohol/Multiwall Carbon Nanotube Nanofibers for Electromagnetic Interference Applications,” *ACS Omega*, Jan. 2024, doi: 10.1021/acsomega.3c04120.