

PERANCANGAN KOTAK PERISAI TERHADAP *ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE* UNTUK *FLIGHT CONTROLLER* PADA UAV

(Skripsi)

Oleh

REZA ADITYA RAHADI



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

ABSTRACT

THE DESIGN OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE SHIELDING ENCLOSURE FOR FLIGHT CONTROLLER ON UAV

BY:

REZA ADITYA RAHADI

Flight controller is used at unmanned aerial vehicle (UAV) for autonomous flight. Performance of the flight controller is vulnerable to electromagnetic interference. In general, flight controller is covered with a box made from plastic. Plastic is an insulating material that has a small conductivity so it is not good enough to be used as an electromagnetic interference (EMI) shielding. This study proposes an EMI shielding enclosure made of metal and CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). The enclosure materials are aluminum, CFRP, CFRP with multi wall carbon nanotubes (MWCNTs) as filler, and CFRP coated with metal paint. Experiments were carried out to measure shielding effectiveness (SE). Shielding effectiveness of enclosure are measured in range from 1 MHz to 20 MHz according to frequency range of function generator. Two antennas, i.e., monopole antenna and slip dipole antenna are used as receiver and transmitter antennas. The amplitude of input and output signals was measured using oscilloscope. The Enclosure also works as Faraday cage which is omitting induction voltage due to electrostatic discharge. Induction voltage inside enclosure was measured using Electrostatic Field Meter. The electrostatic discharge was generated by lightning flash generated from an impulse generator of 6 kV. The impulse voltage was supplied to high-voltage electrodes 0.2cm away from shielding enclosure.

The results of shielding effectiveness test show that shielding enclosure made of aluminum has the best shielding effectiveness value compared to other materials used in the study. The greatest shielding effectiveness value is -11.56 dB. It means the SE of enclosures is acceptable effectiveness. The induced voltage measured inside enclosure is zero. The result shows that enclosure is able to protect electronic devices against induced voltages that may occur due to electrostatic discharge.

Key Words: Enclosure, unmanned aerial vehicle (UAV), flight controller, electromagnetic interference (EMI), shielding effectiveness, induced-voltage, impulse voltage.

ABSTRAK

PERANCANGAN KOTAK PERISAI TERHADAP *ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE* UNTUK *FLIGHT CONTROLLER* PADA UAV

Oleh

REZA ADITYA RAHADI

Flight controller merupakan pengatur wahana pada pesawat tanpa awak atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) a saat terbang otomatis. Unjuk kerja *flight controller* sangat rentan terhadap interferensi elektromagnetik. Pada umumnya, *flight controller* yang digunakan diselubungi dengan kotak yang terbuat dari plastik. Plastik merupakan bahan isolator yang memiliki konduktivitas yang sangat kecil sehingga tidak bagus jika digunakan sebagai perisai interferensi elektromagnetik (EMI). Penelitian ini mengusulkan kotak perisai interferensi elektromagnetik yang terbuat dari logam dan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Material kotak yang digunakan adalah aluminium, CFRP.(*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) saja, CFRP dengan *filler* MWCNTs, dan CFRP yang dilapisi dengan cat logam. Pengukuran dilakukan untuk mengukur *shielding effectiveness* (SE). SE kotak perisai diukur dari 1 MHz sampai 20 MHz sesuai engan rentang frekuensi dari generator fungsi. Dua buah antena digunakan yaitu antena *monopole* sebagai antena pengirim dan antena *slip dipole* sebagai antena penerima. Amplitudo dari sinyal input dan output diukur menggunakan osiloskop. Selain itu, kotak perisai juga berfungsi sebagai sangkar Faraday yang menghilangkan tegangan induksi akibat dari peluahan elektrostatis. Tegangan induksi di dalam kotak perisai diukur menggunakan Electrostatic Field Meter. Peluahan elektrostatis dihasilkan dari sambaran petir yang dibangkitkan melalui generator impuls sebesar 6 kV. Tegangan impuls disuplai ke elektroda tegangan tinggi yang berjarak 0,2 cm dari kotak perisai.

Hasil pengujian *shielding effectiveness* menunjukkan bahwa kotak perisai yang terbuat dari aluminium memiliki nilai *shielding effectiveness* yang terbaik dibandingkan material lain yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai *shielding effectiveness* terbesar yaitu -11,56 dB. Hal ini berarti bahwa SE dari kotak perisai menunjukkan efektivitas perisai yang dapat diterima. Tegangan induksi yang diukur dalam kotak adalah nol. Hasil ini menunjukkan bahwa kotak perisai mampu melindungi perangkat elektronik yang ada didalamnya terhadap tegangan induksi yang mungkin terjadi akibat peluahan elektrostatis seperti akibat sambaran petir.

Kata kunci: Kotak, Pesawat tanpa awak (UAV), *flight controller*, interferensi elektromagnetik (EMI), *shielding effectiveness*, tegangan induksi, tegangan impuls

PERANCANGAN KOTAK PERISAI TERHADAP *ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE* UNTUK *FLIGHT CONTROLLER* PADA UAV

Oleh

REZA ADITYA RAHADI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Univeritas Lampung**



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

Judul Skripsi : **PERANCANGAN KOTAK PERISAI
TERHADAP *ELECTROMAGNETIC
INTERFERENCE* UNTUK *FLIGHT
CONTROLLER* PADA UAV**

Nama Mahasiswa : Reza Aditya Rahadi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615031053

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Diah P.

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

Mona Arif Muda

Mona Arif Muda, S.T., M.T.
NIP. 19711112 200003 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Khairudin

Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.
NIP. 19700719 200012 1 001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Purwasih

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Diah P.
.....

Sekretaris

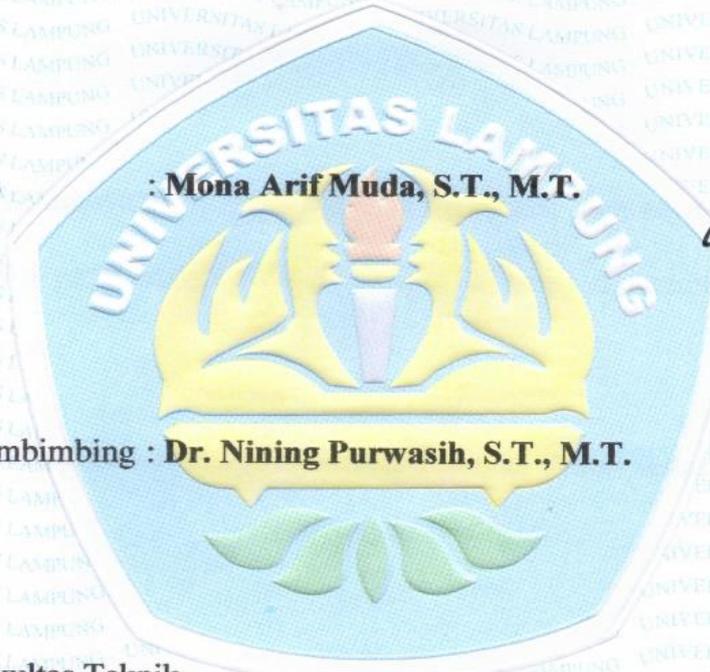
: Mona Arif Muda, S.T., M.T.

Mona Arif Muda
.....

Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Nining Purwasih, S.T., M.T.

Nining Purwasih
.....



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 04 Agustus 2021

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Aditya Rahadi

NPM : 1615031053

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Adapun karya orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dicantumkan sumbernya pada daftar pustaka.

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

Bandar Lampung, 26 Agustus 2021



Reza Aditya Rahadi

NPM. 1615031053

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandarjaya, 14 April 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Wasyadi dan Ibu Lilik Rahayu.

Penulis memulai pendidikan di TKIT Insan Kamil pada tahun 2002-2004, SDIT Insan Kamil pada tahun 2004-2010, SMPN 3 Terbanggi Besar pada tahun 2010-2013, dan SMAN 1 Terbanggi Besar pada tahun 2013-2016. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung eksekutif muda BEM-U KBM Unila tahun 2016. Lalu, Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai sekretaris Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri, pada periode 2017 dan ketua umum HIMATRO Unila pada periode 2018. Penulis juga mengikuti lembaga riset Unila Robotika dan Otomasi (URO) sejak 2016 sebagai anggota. Pada tanggal 8 Juli 2019 – 17 Agustus 2019, penulis melaksanakan kerja paktik di PT. Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuhan, Pandeglang, Banten dengan mengangkat judul “Perhitungan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berdasarkan Perubahan Beban Generator Unit 2 di PT. INDONESIA POWER PLTU BANTEN 2 LABUAN ”.

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya kecil ini dengan rasa hormat, cinta dan kasih sayang, kepada:

Bapak dan Ibu yang terkasih

Wasyadi dan Lilik Rahayu

Serta

Saudara/i:

Aprian Eka Rahadi dan Fitriyani Amalia Rahadi

Yang telah menjadi motivasi dan inspirasi serta tiada hentinya memberikan dukungan dan do'a-nya:

SINS 2016

JEMATRO UNILA

Unila Robotika & Otomasi

Terima kasih atas kekeluargaan, do'a, serta dukungan yang selalu mengiringi hingga merasa lebih baik dari hari ke hari

MOTTO HIDUP

“Sesungguhnya Kami telah menawarkan amanat kepada langit, bumi, dan gunung-gunung; tetapi semuanya enggan untuk memikul amanat itu dan mereka khawatir tidak akan melaksanakannya (berat), lalu diipikullah amanat itu oleh manusia. Sungguh, manusia itu sangat zalim dan sangat bodoh.”

(QS. Al-Ahzab 33: ayat 72)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah 94: ayat 5)

“What’s happened, happened, which is an expression of fate in the mechanics of the world. It’s not an excuse to do nothing.”

(Neil, TENET)

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Skripsi dengan judul “**Perancangan Kotak Perisai Terhadap *Electromagnetic Interference* untuk *Flight Controller* pada UAV**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng., selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

4. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu, bimbingan, bantuan, arahan, masukan, motivasi, dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
5. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ilmu, bimbingan, bantuan, arahan, masukan, motivasi, dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis.
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T selaku Pembimbing Akademik dari semester 1 hingga semester 8 yang telah memberikan arahan, nasehat, dan bimbingan yang membangun bagi penulis dalam masa perkuliahan.
8. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan pengalaman kepada penulis selama menempuh pendidikan perkuliahan.
9. Segenap staff di Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan lain-lain.
10. Bapak dan ibu yang kukasihi yang telah memberikan kasih sayang, do'a, serta motivasi untuk ketiga anaknya selama ini.
11. Kakak-kakak tercinta, Aprian Eka Rahadi dan Fitriyani Amalia Rahadi yang telah memberikan do'a dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

12. Terimakasih juga kepada **KAMU** yang selalu memberi semangat dan motivasi tapi tak bisa ku sebutkan namanya, namun selalu ku bawa dalam do'a.
13. Rekan seperjuangan, Muhammad Ifan Saputra yang telah berbagi suka maupun duka serta melimpahkan pikiran dan waktunya selama menjalankan kepengurusan HIMATRO 2018, semoga kita selalu diberikan kemudahan serta umur panjang dalam memperjuangkan kebaikan.
14. Keluarga Besar Unila Robotika dan Otomasi, Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T., Bapak Dr.-ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ibu Dr. -ing. Melvi S.T., M.T., Mas Aris, Kak Dana, Kak Nora, Mas Isol, Mas Anggi, Mbak Nur, Kak Andrew, Ocid, Malik, Fathimah, Indah, Jonathan, Nima, Ade, Fattah, Abdul, Bobby, Fikri, Awan, Mardi, dan Ikhsanuddin yang memberikan banyak ilmu, masukan dan saran kepada penulis yang tidak bisa dibayarkan.
15. Gen Permata, Tio Dwi Kristian dan Aan Ridho S.I yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuannya kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini dan semoga pertemanan kita selalu terjaga.
16. Teddy Bear Squad, Muhammad Ifan Saputra, Mochamad Rafly Nurzamzam, Tio Dwi Kristian, Rahmad Romadona, Abdul Rosyid, Muhammad Rizki Pratama, Mohammad Garbiel, dan Adestya Willy Saputra terimakasih atas dukungan, nasehat, dan bantuannya.
17. Letingku Teknik Elektro'16, terimakasih atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro.
18. Rekan Peri Pani, Adit, Prima, Janggan, Rizky, Ipan, Ipin dan Artha. Yang selalu memberikan motivasi dan semangat pada penulis

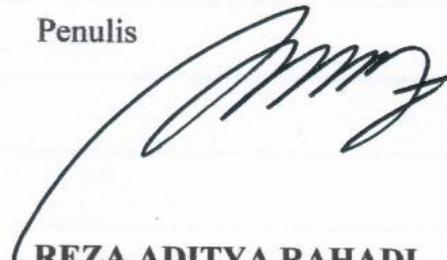
19. Keluarga Besar HIMATRO yang telah memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis selama pendidikan baik secara langsung maupun tak langsung.
20. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Alhamdulillahirabil'amin

Bandar Lampung, 26 Agustus 2021

Penulis



REZA ADITYA RAHADI

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO HIDUP.....	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Rumusan Masalah.....	4

1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Electromagnetic Interference (EMI)</i>	6
2.2 <i>Electromagnetic Shielding</i>	8
2.3 <i>Material Shielding</i>	10
2.3.1. Logam	10
2.3.2. Non Logam	11
2.4. Metode <i>Vacuum Assisted Resin Infusion</i>	14
2.5. Metode <i>Spray Cat konduktif</i>	15
2.6. FEKO.....	16

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	19
3.3. Alat dan Bahan	20
3.3.1. Pembuatan kotak perisai	20
3.3.2. Pengujian kotak perisai.....	21
3.4. Simulasi	22
3.5. Proses Pembuatan Kotak Perisai EMI.....	23
3.5.1. Pembuatan kotak perisai dengan material plat aluminium	23
3.5.2. Pembuatan kotak perisai dengan material CFRP.....	24
3.6. Pengujian	30
3.6.1. Pengujian <i>Shielding Effectiveness</i> dari Kotak Perisai EMI	30

3.6.2. Pengujian Tegangan Induksi pada Kotak Perisai EMI	31
--	----

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil.....	33
4.1.1. Simulasi	35
4.1.2. Pengujian <i>Shielding Effectiveness</i> pada Kotak Perisai EMI.....	37
4.1.3. Pengujian Tegangan Induksi pada Kotak Perisai EMI.	45
4.2. Analisis dan Pembahasan	49
4.2.1. Analisis <i>Shielding Effectiveness</i> Simulasi pada Kotak Perisai EMI	49
4.2.2. Analisis <i>Shielding Effectiveness</i> Pengujian pada Kotak Perisai EMI.....	50
4.2.3. Analisis Tegangan Induksi pada Kotak Perisai EMI.....	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran	53

DAFTAR PUSTAKA	54
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	56
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Konduktivitas dan resistivitas listrik dari beberapa logam.	10
Tabel 3.1. Jadwal penelitian.....	18
Tabel 4.1. Hasil pembuatan kotak perisai EMI.....	34
Tabel 4.2. Data hasil simulasi	37
Tabel 4.3. Data hasil pengujian tegangan saat pelindung tidak terpasang.....	40
Tabel 4.4. Data hasil pengujian tegangan saat pelindung terpasang.....	42
Tabel 4.5. Data hasil perhitungan nilai <i>shielding effectiveness</i>	44
Tabel 4.6. Data hasil pengujian tegangan induksi.....	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Aspek dasar <i>electromagnetic interference</i>	6
Gambar 2.2. Spektrum elektromagnetik.....	7
Gambar 2.3. Mekanisme dari shileding effectiveness pada pelindung	9
Gambar 2.4. Skema makroskopis fasa-fasa material komposit.....	12
Gambar 2.5. Serat karbon.....	13
Gambar 2.6. Struktur MWCNTs	14
Gambar 2.7. (a) Diagram VARI <i>surface infusion</i>	15
(b) Diagram VARI <i>interlaminar infusion</i>	15
Gambar 2.8. Teknik spray cat konduktif.....	15
Gambar 2.9. Tampilan aplikasi FEKO	17
Gambar 2.10. Tampilan simulasi FEKO	17
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2. Desain kotak perisai yang digunakan	22
Gambar 3.3. Pemotongan plat aluminium.....	23
Gambar 3.4. Pembengkokkan aluminium	24
Gambar 3.5. Penyatuan aluminium dengan paku rivet	24
Gambar 3.6. Pelumasan PVA pada cetakan	25

Gambar 3.7. Pemotongan serat karbon, <i>peel ply</i> , plastik rilis film, dan <i>breather cloth</i>	25
Gambar 3.8. Ukuran resin epoksi dan MWCNTs yang akan dicampurkan	26
Gambar 3.9. Ukuran pengeras yang dicampurkan	26
Gambar 3.10. Pelapisan resin pada cetakan dan serat karbon	27
Gambar 3.11. Pemasangan <i>peel ply</i> , plastik rilis film, dan <i>breather cloth</i>	27
Gambar 3.12. Pemasangan plastik vakum	28
Gambar 3.13. Proses vakum	28
Gambar 3.14. Pelepasan CFRP dari cetakan	29
Gambar 3.15. Pemotongan dan penyatuan CFRP dengan lem <i>cyanoacrilate adhesive</i>	29
Gambar 3.16. Pelapisan kotak perisai dengan cat konduktif	30
Gambar 3.17. Diagram blok pengujian <i>shielding effectiveness</i> pada kotak perisai EMI	30
Gambar 3.18. Diagram blok pengujian tegangan induksi pada kotak perisai	32
Gambar 4.1. Hasil simulasi kotak perisai dengan material aluminium pada frekuensi 1 MHz	36
Gambar 4.2. (a) Rangkaian pengujian <i>shielding effectiveness</i>	37
(b) Posisi antena <i>monopole</i> sebagai pengirim, dan antena <i>slip dipole</i> sebagai penerima	38
Gambar 4.3. Rangkaian uji <i>shielding effectiveness</i> saat pelindung tidak terpasang	38
Gambar 4.4. Bentuk gelombang tegangan dengan frekuensi 1 MHz pada saat pelindung tidak terpasang	39

Gambar 4.5. Bentuk gelombang tegangan dengan frekuensi 1 MHz pada kotak perisai dengan material aluminium	41
Gambar 4.6. (a) Generator impuls berkapasitas 6 kV	45
(b) Konduktor tegangan impuls.....	45
(c) <i>Set-up</i> pengujian kotak perisai EMI.....	46
(d) Pemasangan konduktor pentanahan kotak perisai EMI.....	46
(e) Sela Picu pada generator impuls	46
Gambar 4.7. Petir pada kotak perisai	47
Gambar 4.8. Alat ukur Simco FMX-004.....	48
Gambar 4.9. Grafik <i>shielding effectiveness</i> pada simulasi kotak perisai EMI ...	49
Gambar 4.10. Grafik <i>shielding effectiveness</i> pada pengujian kotak perisai EMI.	50
Gambar 4.11. Grafik tegangan induksi pada 4 material kotak perisai EMI.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peralatan komunikasi umumnya mengirimkan sinyal dan menerima sinyal dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Ketika peralatan komunikasi tersebut bekerja, maka peralatan tersebut menjadi sumber sekaligus sebagai korban dari medan elektromagnetik yang dipancarkan dari peralatan itu sendiri ataupun dari lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu peralatan komunikasi harus mampu untuk bekerja dengan memuaskan pada lingkungan dengan medan elektromagnetik yang dipancarkan dari sekelilingnya sekaligus peralatan tidak memancarkan gangguan elektromagnetik yang berlebihan sekelilingnya. *Electromagnetic Compatibility* (EMC) adalah kemampuan peralatan atau sistem untuk bekerja dengan baik pada kondisi terdapat gangguan elektromagnetik (*Electromagnetic Interference*) selanjutnya disingkat dengan EMI. EMI umumnya dikenal dengan sebutan “noise” merupakan gelombang elektromagnetik dari sebuah peralatan yang mengganggu kinerja peralatan yang lainnya, melalui konduksi atau radiasi. Untuk menghindari hal tersebut, peralatan butuh perlindungan dari EMI. Perlindungan terhadap EMI dapat dilakukan dengan membuat perisai (*shielding*), filter (*filtering*) dan

pentanahan (*grounding*). Bahan yang digunakan sebagai perisai yaitu bahan yang bersifat konduktif.

Pada pesawat tanpa awak atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) terdapat sebuah perangkat yang berguna sebagai pengatur wahana pada saat terbang otomatis, perangkat tersebut yaitu *flight controller*. Pada umumnya, *Flight controller* yang digunakan ditutupi dengan kotak yang terbuat dari plastik. Plastik merupakan bahan isolator yang memiliki konduktivitas yang kecil sehingga tidak cukup baik jika digunakan sebagai perisai EMI. Sehingga salah satu permasalahan yang ditemukan adalah timbulnya perangkat tidak bekerja dengan baik hingga terjadi perangkat mati. Oleh karena itu penelitian ini akan membuat perisai EMI untuk melindungi *flight controller* dari berbagai bahan konduktif.

Penelitian ini akan merancang kotak perisai EMI (*EMI shielded enclosure*) menggunakan material logam aluminium dan bahan komposit yang sekarang banyak digunakan. Material komposit dari serat karbon (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) selanjutnya disebut CFRP lebih ringan dari material logam sehingga cocok digunakan pada UAV selain itu CFRP juga mempunyai konduktivitas walaupun tidak setinggi material logam. Pada penelitian ini, konduktivitas CFRP ditingkatkan menggunakan *Multi Wall Carbon Nanotubes* (MWCNTs) sebagai *filler* dari polimer dan melapisi CFRP dengan cat logam. Sehingga ada 4 (empat) material yang digunakan sebagai bahan kotak perisai EMI yaitu aluminium, CFRP, CFRP dengan *filler* MWCNTs dan CFRP yang dilapisi cat logam.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain dan merancang kotak perisai EMI (*Electromagnetic Interference*) untuk *flight controller* pada UAV dengan aplikasi FEKO.
2. Membuat kotak perisai EMI (*Electromagnetic Interference*) untuk *flight controller* pada UAV.
3. Mengukur nilai *shielding effectiveness* dari kotak perisai dengan berbagai material.
4. Menganalisis nilai *shielding effectiveness* dari berbagai material yang digunakan.
5. Mengukur tegangan induksi dalam kotak perisai jika terjadi peluahan elektrostatik..

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kotak perisai EMI untuk *flight controller* pada UAV.
2. Mengetahui nilai *shielding effectiveness* dari berbagai material yang digunakan dalam pembuatan kotak perisai EMI.
3. Mengetahui material yang paling baik yang dapat digunakan sebagai material kotak perisai EMI
4. Mengetahui material yang dapat berfungsi sebagai sangkar Faraday dengan menganalisis hasil pengukuran tegangan induksi.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang kotak perisai EMI untuk *flight controller* pada UAV menggunakan material aluminium dan komposit CFRP.
2. Bagaimana mengukur *shielding effectiveness* kotak perisai EMI.
3. Bagaimana mengukur tegangan induksi pada kotak perisai EMI.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah plat aluminium, CFRP, CFRP dengan *filler* MWCNTs serta CFRP yang dilapisi cat konduktif.
2. Pembuatan kotak perisai dengan material CFRP menggunakan cetakan kaca dan disatukan dengan lem.
3. Pengujian *shielding effectiveness* dilakukan pada rentang frekuensi 1 MHz – 20 MHz.
4. Tegangan impuls yang digunakan pada pengujian tegangan induksi adalah 6 kV.

1.6. Hipotesis

Adapun hipotesis hasil penelitian ini adalah:

Kotak perisai mempunyai nilai *shielding effectiveness* yang baik sehingga dapat melindungi *flight controller* UAV terhadap *electromagnetic interference* (EMI) dan mampu berfungsi sebagai sangkar Faraday yang melindungi *flight controller* terhadap tegangan induksi akibat peluahan elektrostatik.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai penelitian maka tulisan akan dibagi menjadi lima bab, yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori yang mendukung yang digunakan sebagai referensi tentang *electromagnetic interference*, *electromagnetic shielding*, *material shielding*, metode *vacuum assisted resin infusion*, dan metode *spray cat konduktif*.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, garis besar metode yang diusulkan, langkah – langkah pengerjaan yang akan dilakukan, serta diagram metode yang diusulkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan prosedur pengujian, hasil pengujian dan analisis metode yang diusulkan.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Berisi simpulan yang didapatkan dari penelitian ini dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

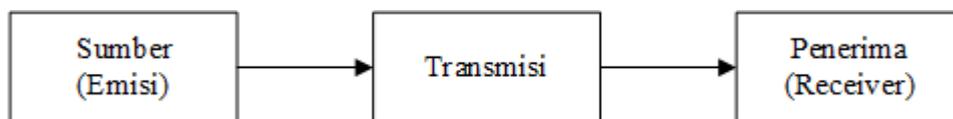
LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

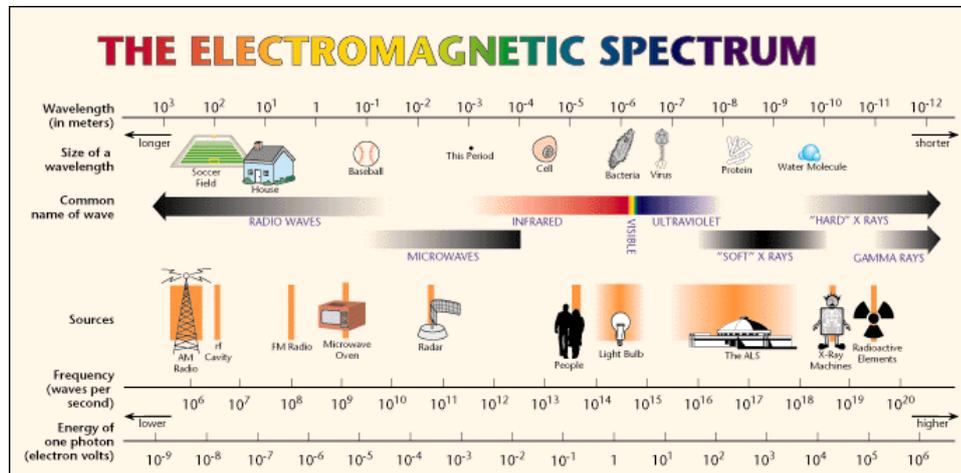
2.1 *Electromagnetic Interference* (EMI)

Dengan penggunaan yang semakin besar pada perangkat elektronik, untuk komunikasi dengan fungsi-fungsi penting dalam aplikasi militer dan konsumsi secara publik. Mencegah gangguan ke dan dari perangkat menjadi masalah yang semakin meningkat. Gangguan elektromagnetik atau *Electromagnetic interference* (EMI) berasal dari *electrostatic discharge* (ESD), petir, radar, transmisi radio dan TV, motor listrik, dan lain-lain. Dengan konduksi garis atau perambatan udara. Interferensi elektromagnetik dapat menyebabkan sinyal tegangan yang tidak diinginkan dalam elektronik peralatan yang menyebabkan pembacaan yang salah pada sensor atau instrumen dan terkadang kerusakan komponen [1, 2].



Gambar 2.1. Aspek dasar *electromagnetic interference* [1].

Gelombang elektromagnetik dapat berkisar dalam frekuensi, seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Spektrum elektromagnetik [3].

Sumber memiliki *bandwidth* (rentang frekuensi yang dicakup). Sumber-sumber EMI *broadband* memancarkan frekuensi yang tinggi dan cenderung berasal dari sumber-sumber seperti saluran transmisi tenaga listrik. EMI *narrowband* berasal dari sumber yang biasanya dirancang untuk memancarkan frekuensi tertentu seperti stasiun radio atau ponsel. EMI dapat terjadi karena medan frekuensi rendah atau tinggi [3].

Sehingga sangat penting untuk mencegah gangguan sinyal baik yang memasuki suatu sirkuit. Perlindungan terhadap EMI dengan penggunaan pelindung (*shielding*), *filtering*, dan *grounding*. Metode terbaik yang saat ini diterapkan untuk menghilangkan EMI adalah dengan menggunakan pelindung elektromagnetik. Pelindung elektromagnetik biasanya merupakan bahan konduktif dan / atau magnetik yang menutupi peralatan elektronik yang dilindungi. Pelindung terbuat

dari material logam maupun non logam yang bersifat konduktif atau ditambahkan dengan cat konduktif.

2.2 *Electromagnetic Shielding*

Penggunaan *electromagnetic shielding* ditentukan dengan mengukur *shielding effectiveness* selanjutnya disebut 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 kejadian dan listrik (E) atau magnetik (H) yang ditransmisikan [4]. Rumus untuk mencari nilai *shielding effectiveness* adalah:

$$SE_{dB} = 20 \log \frac{E_b}{E_a} = 20 \log \frac{H_b}{H_a} \quad (1)$$

Dimana

E_b = medan listrik sebelum pelindung dipasang.

E_a = medan listrik setelah pelindung dipasang.

H_b = medan magnet sebelum pelindung dipasang.

H_a = medan magnet setelah pelindung dipasang.

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

$$SE = 10 \log (P_i / P_t) \quad (2)$$

di mana

P_i adalah daya *incident*

P_t adalah daya yang ditransmisikan.

Jika alat ukur penerima dalam satuan tegangan, persamaan berikut digunakan:

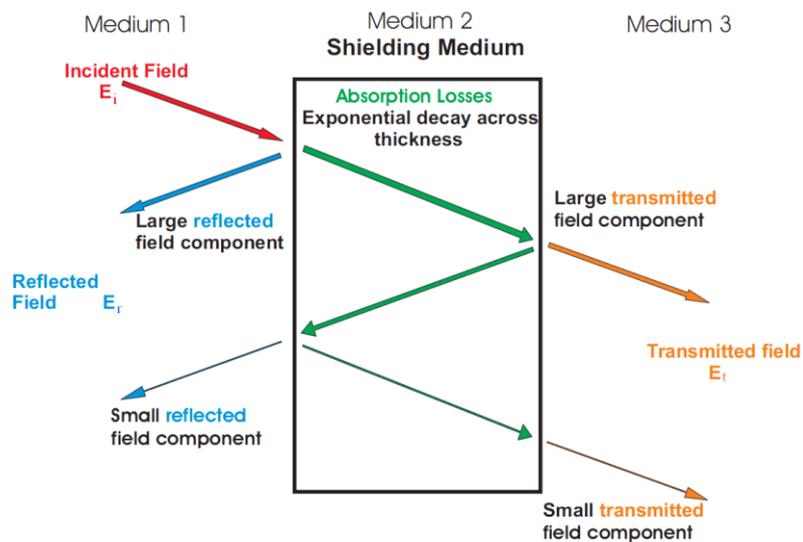
$$SE = 20 \log (V_1 / V_2) \quad (3)$$

di mana

V_1 adalah tegangan pada saat pelindung dipasang.

V_2 adalah tegangan pada 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: refleksi gelombang dari permukaan depan pelindung, penyerapan gelombang saat melewati pelindung, dan beberapa refleksi gelombang pada berbagai antarmuka [5]. Mekanisme dari SE ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Mekanisme dari *shileding effectiveness* pada pelindung [5].

2.3 Material *Shielding*

Persyaratan utama suatu material untuk menjadi pelindung terhadap EMI, adalah bahwa harus konduktif secara elektrik. Berbagai macam tipe pelindung digunakan dan masih dalam penelitian potensi dari karakteristik dari bahan untuk mengatasi EMI [6]. Logam biasanya digunakan untuk aplikasi pelindung EMI dalam bentuk lembaran tipis atau selubung. Material yang lainnya dengan menggunakan komposit polimer konduktif. Komposit polimer berasal dari CNTs (*carbon nanotube*), karbon hitam / *carbon black* (CB), *graphene*, nanopartikel logam, CFRP, busa, dan nanopartikel magnetik mempunyai kapasitas pelindung yang baik terhadap gelombang EM [7].

2.3.1. Logam

Logam memiliki konduktivitas listrik dan sifat magnetik yang baik. Konduktor logam digunakan untuk *grounding* peralatan berkecepatan tinggi dan perangkat listrik untuk melindunginya dari panas yang hilang dan muatan statis [8]. Konduktivitas listrik dari beberapa bahan ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Konduktivitas dan resistivitas listrik dari beberapa logam [9].

Material	Resistivitas (ρ) ($\Omega.m$) pada 20°C	Konduktivitas (σ)($S.m^{-1}$) pada 20°C
Perak	1.59×10^{-8}	6.30×10^7
Tembaga	1.68×10^{-8}	5.98×10^7
Emas	2.44×10^{-8}	4.52×10^7
Aluminium	2.82×10^{-8}	3.50×10^7
Berilium	4.00×10^{-8}	2.50×10^7
Magnesium	4.66×10^{-8}	2.15×10^7
Platinum	1.06×10^{-7}	9.44×10^6

Terdapat dua cara untuk mendapatkan pelindung yang efektif, yaitu dengan pelindung aktif dan pelindung pasif. Pelindung aktif mengacu pada medan *incident* dan menghasilkan medan elektromagnetik yang berlawanan untuk menghilangkan medan magnet *incident*. Pelindung aktif ini digunakan untuk sensor medan elektronik dan generator, sementara pelindung pasif menggunakan baja, yang memiliki permeabilitas magnetik tinggi, seperti bahan feromagnetik mu-metal dan paduan nikel-besi, lalu bahan konduktif seperti besi, serta aluminium digunakan untuk pelindung. Permeabilitas yang baik dan bahan konduktif yang lebih baik, meningkatkan kinerja pelindung elektromagnetik [5].

Menurut penelitian tentang pelindung, yang didasarkan pada refleksi, *kotak perisai* dengan bahan magnesium memberikan kinerja pelindung yang baik pada spektrum frekuensi dengan rentang yang luas. Namun, kotak perisai dari magnesium dan aluminium memiliki SE yang setara pada proses penyerapan. Kotak perisai dengan bahan paduan magnesium memiliki banyak keuntungan jika digunakan untuk pelindung EMI dibandingkan plastik dan pelindung berbahan logam yang lainnya [10].

2.3.2. Non Logam

Logam, karena konduktivitas listriknya yang sangat besar, telah menjadi pilihan untuk perlindungan EMI. Namun, biayanya yang besar, kesulitan dalam pemrosesan, kepadatan tinggi, korosivitas, dan beberapa masalah lainnya telah menarik perhatian para peneliti ke bahan non logam sebagai pelindung EMI. Salah satunya adalah komposit polimer, banyak keunggulannya dibandingkan dengan

logam, antara lain dalam hal biaya, kepadatan, dan kemudahan pemrosesan. Salah satu keunggulan komposit polimer dibandingkan logam adalah kemampuan untuk melindungi gelombang EM melalui absorpsi daripada refleksi. Karakteristik ini penting ketika perangkat yang menghasilkan sinyal EM perlu melindungi dirinya sendiri serta membatasi radiasi pantulan agar tidak mengganggu pengoperasian perangkat terdekat lainnya .

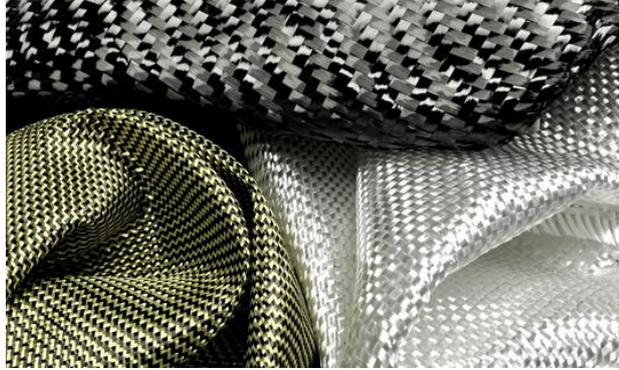
Material komposit tersusun atas dua bagian yang berbeda yaitu matriks dan penguat. Pada desain pembuatan material komposit dilakukan pemilihan matriks dan penguat, hal ini dilakukan untuk memastikan kemampuan material sesuai dengan produk yang akan dihasilkan [11]. Adapun skema komposisi material komposit ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema makroskopis fasa-fasa material komposit [11]

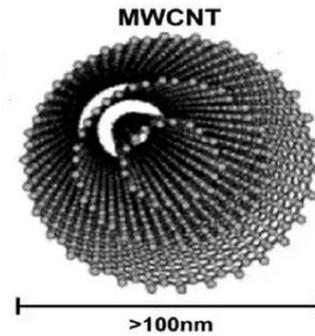
Reinforcement (penguat) adalah salah satu bagian utama dari komposit yang berperan untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Serat karbon merupakan salah satu penguat yang paling banyak digunakan karena mempunyai sifat lelah yang super terhadap semua metal yang dikenal, dan ketika berpasangan dengan resin yang tepat, komposit serat karbon adalah salah satu bahan yang paling tahan korosi serta memiliki nilai konduktivitas yang baik untuk dijadikan penguat pada material komposit [12]. Adapun bentuk

penguat (*reinforcement*) berupa serat karbon ditunjukkan pada gambar 2.5 yang merupakan penguat material komposit.



Gambar 2.5. Serat karbon [11]

Matriks dalam struktur komposit berasal dari bahan polimer atau logam. Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar bekerja dengan baik. Pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan yang lebih tinggi. Untuk meningkatkan konduktivitas pada material komposit digunakan juga metode penambahan *filler* pada matriks. *Filler* dengan bahan *Multi Walled Carbon Nanotubes* (MWCNTs) merupakan SWCNTs yang tersusun secara aksial konsentris dengan jarak antara SWCNTs yang satu dengan yang lainnya sebesar 0,34 nm. Jumlah lapisan yang terdapat pada MWCNTs juga bervariasi antara dua sampai puluhan lapisan, sehingga memungkinkan diameter eksternalnya mencapai 100 nm [13, 14]. Aplikasi *carbon nanotube* jenis MWCNTs biasanya digunakan sebagai penguat walaupun kegunaannya tidak sebaik SWCNTs. Gambar 2.6 menunjukkan struktur MWCNTs.



Gambar 2.6. Struktur MWCNTs [15]

2.4. Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion*

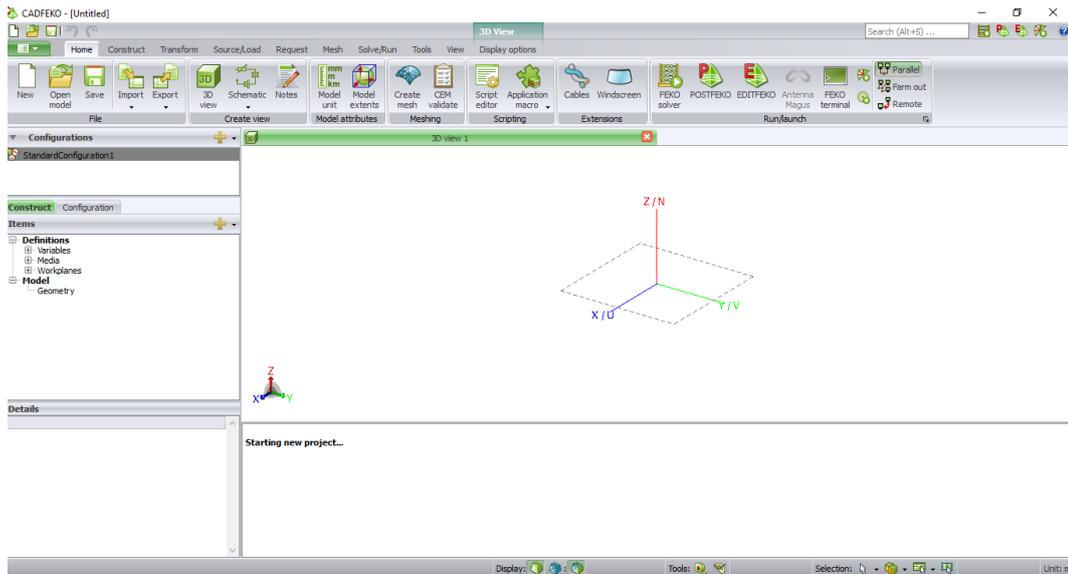
Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio *fiber-resin* yang tinggi dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Metode VARI dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode *surface infusion* dan metode *interlaminar infusion*. Pada metode *surface infusion*, resin dialirkan melewati bagian permukaan lamina, dengan kerugian terbesar terdapat pada biaya yang disebabkan persiapan pengoperasian mesin, dan kompleksitas yang meningkat jika metode ini diaplikasikan untuk skala besar ditunjukkan pada gambar 2.7a yang menjelaskan mengenai diagram VARI *surface infusion*. Sedangkan pada metode *interlaminar infusion*, resin dialirkan melalui ruang antar lamina. Metode *interlaminar infusion* memiliki banyak keuntungan jika diaplikasikan dalam skala besar. Resin dialirkan diantara lamina sehingga ketebalan resin terjaga pada ruang lamina yang ditunjukkan pada gambar 2.7b yang menjelaskan mengenai diagram VARI *interlaminar infusion*. Selain itu, proses pengaliran resin lebih cepat karena melewati ruang yang sudah dijaga ketebalannya. Proses yang lebih terjaga ini juga, menyebabkan material sisa yang terbuang semakin berkurang [16].

Pada saat penyemprotan tekanan nosel, diameter nosel, dan laju kecepatan penyemprotan ditetapkan sesuai dengan kebutuhan pelapisan. Semakin tinggi tekanan maka akan mendorong fragmentasi cairan menjadi lebih kecil. Apabila diameter nosel yang digunakan semakin kecil maka butiran cairan yang keluar semakin kecil. Kecepatan penyemprotan harus dilakukan sesuai dengan yang dibutuhkan. Apabila kecepatan penyemprot lebih tinggi maka bahan pelapis yang tersebar pada substrat hanya sedikit.

Aplikasi *spray cat konduktif* sangat bervariasi, kategori penggunaannya bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus atau korosi suatu permukaan. Aplikasi lain sebagai hambatan termal, konduktor termal, konduktor listrik atau resistor, pelindung elektromagnetik, dan untuk meningkatkan atau memperlambat radiasi [19].

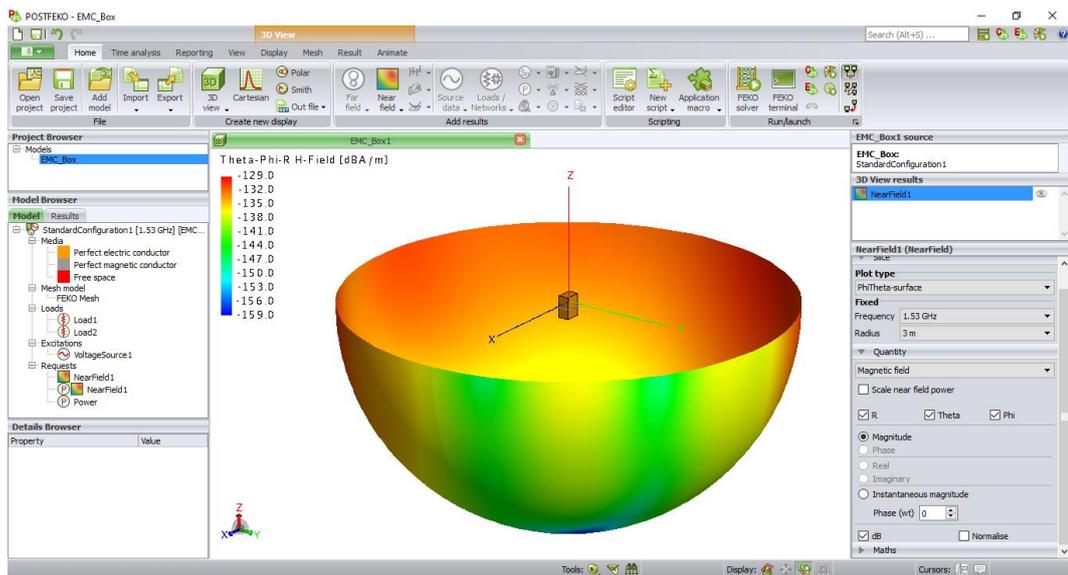
2.6. FEKO

FEKO merupakan sebuah aplikasi untuk melakukan *computational electromagnetics* (CEM) pada bidang telekomunikasi, kendaraan, bidang luar angkasa, serta industri pertahanan. FEKO memberikan simulasi EM dalam domain frekuensi dan waktu. Aplikasi ini memungkinkan analisis efisien dari spektrum yang luas dari masalah EM, termasuk antena, rangkaian *microstrip*, komponen RF dan sistem biomedis, penempatan antena pada struktur, perhitungan hamburan serta *electromagnetic compatibility* (EMC). WinProp adalah alat khusus untuk pemodelan propagasi gelombang dan perencanaan jaringan radio [20].



Gambar 2.9. Tampilan aplikasi FEKO

FEKO juga menawarkan alat yang dirancang untuk menyelesaikan interaksi EM, seperti pemecah khusus untuk analisis mode karakteristik dan pemasangan kabel dua arah. Formulasi khusus juga disertakan untuk simulasi antenna *windscreen* dan antenna *array* yang efisien.

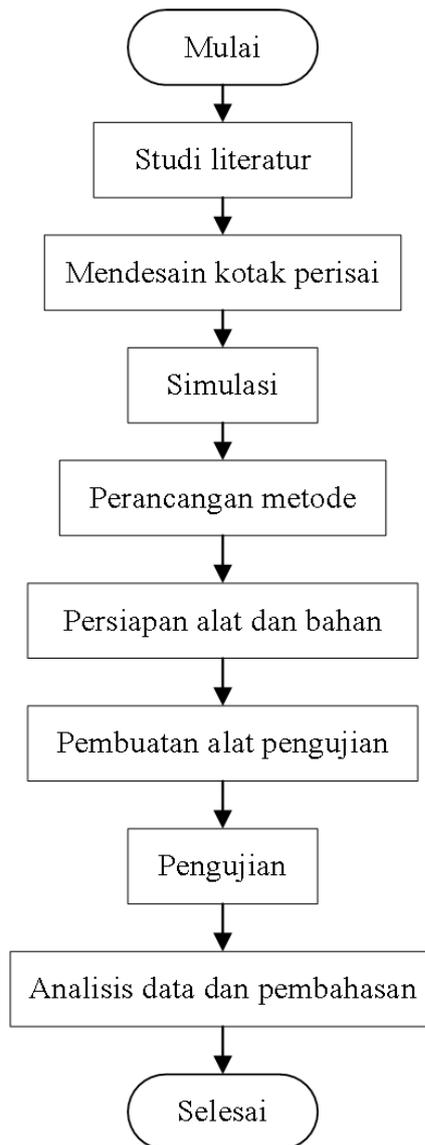


Gambar 2.10. Tampilan simulasi FEKO

3.2. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian mulai dari studi literatur hingga kesimpulan dari hasil pengujian dapat direpresentasikan dengan sebuah diagram alir penelitian secara keseluruhan.

Diagram alir penelitian dapat dilihat dalam Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diklasifikasikan ke dalam 2 (dua) kategori, yakni alat dan bahan untuk pembuatan kotak perisai dan pengujian kotak perisai. Adapun alat dan bahan tersebut adalah:

3.3.1. Pembuatan kotak perisai

Adapun alat dan bahan pembuatan kotak perisai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Plat aluminium 1 mm
2. CFRP 2x2 twill 3 K 240 gsm ukuran 2 x 1,5 m.
3. Resin Epoksi Lycal 1011
4. MWCNTs >95%, in<7 nm, out 2-5 nm
5. Paku Rivet
6. Pompa *vacuum*
7. *Sealant tape*
8. *Breather cloth, Peel ply, Release film*
9. Plastik
10. *Mixer stirring*
11. Penggaris
12. Alat pemotong berupa cutter dan gunting
13. Lem *cyanoacrilate adhesive*

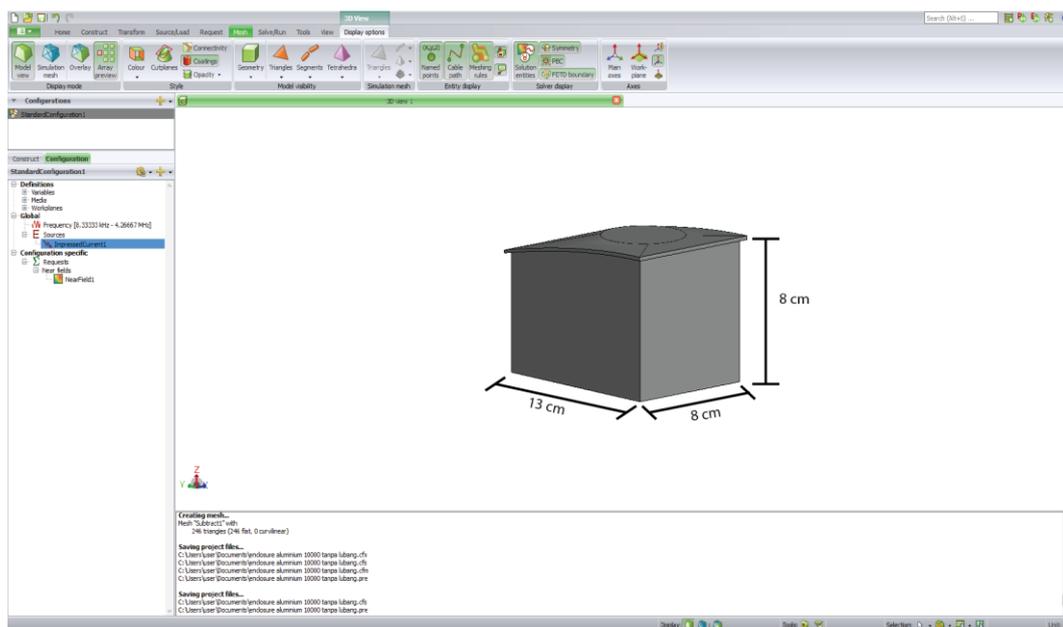
3.3.2. Pengujian kotak perisai

Adapun alat dan bahan pengujian kotak perisai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komputer Pribadi
2. *Function Generator*
3. Osiloskop
4. *Antena monopole*
5. *Antena slip dipole*
6. Kabel BNC *female to BNC female*
7. Kabel BNC *female to rp-sma female*
8. Alat ukur medan elektrostatis FMX-004
9. Kamera
10. Pembangkit impuls berkapasitas 6 kV

3.4. Simulasi

Pada penelitian ini, sebelum dilakukan perancangan alat dilakukan simulasi terlebih dahulu untuk mengetahui nilai SE dari material yang digunakan dan sebagai perbandingan antara simulasi dengan pengujian. Simulasi dilakukan dengan aplikasi FEKO. Tahap-tahap dalam simulasi adalah dimulai dengan membuat kotak perisai dengan dimensi 13cm x 8cm x 8cm. Agar isi dari kotak perisai menjadi kosong, *region* dari kotak perisai diubah menjadi *freespace*. Lalu mengganti material dari kotak perisai dengan aluminium dan CFRP dengan memasukkannya pada media. Kemudian membuat sumber tegangan impuls seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Desain kotak perisai yang digunakan

Langkah selanjutnya yaitu memberikan frekuensi sumber. Lalu, kotak perisai yang sudah selesai di-*mesh* terlebih dahulu. *Mesh* merupakan representasi dari geometri model, semua geometri model yang digunakan harus sudah melalui tahap *mesh*

sebelum solusi didapatkan. Kemudian setelah tahap *mesh*, langkah terakhir yaitu, memilih FEKO *solver*, lalu memilih POSTFEKO untuk melihat hasil dari simulasi.

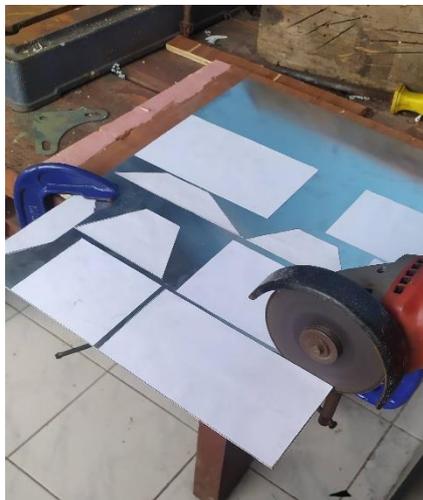
3.5. Proses Pembuatan Kotak Perisai EMI

Dalam tahapan ini dilakukan realisasi dari rancangan kotak perisai *flight controller* yang menggunakan empat jenis material yaitu dengan plat aluminium, CFRP, CFRP dengan *filler* MWCNTs dan CFRP dengan dilapisi cat konduktif.

3.5.1. Pembuatan kotak perisai dengan material plat aluminium

Kotak perisai dengan material plat aluminium yang memiliki ketebalan 1 mm. Adapun proses pembuatan kotak perisai tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Memotong plat aluminium sesuai dengan cetakan potong yang ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Pemotongan plat aluminium

2. Kemudian membengkokkan aluminium agar bisa disatukan yang ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Pembengkokkan aluminium

3. Setelah dibengkokkan, aluminium disatukan dengan menggunakan paku rivet yang ditampilkan pada Gambar 3.5



Gambar 3.5. Penyatuan aluminium dengan paku rivet

3.5.2. Pembuatan kotak perisai dengan material CFRP

Kotak perisai dengan material CFRP dibagi menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu CFRP, CFRP dengan *filler* MWCNTs, serta CFRP yang dilapisi cat konduktif. Pembuatan

kotak perisai dilakukan dengan menggunakan metode VARI. Adapun proses pembuatan *kotak perisai* tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Melumasi cetakan (kaca) dengan carian PVA sebagai zat anti perekat yang ditampilkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pelumasan PVA pada cetakan

2. Memotong lembaran serat karbon, *peel ply*, plastik rilis film, dan *breather cloth* dengan ukuran (16 x 16) cm yang ditampilkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Pemotongan serat karbon, *peel ply*, plastik rilis film, dan *breather cloth*

3. Mencampurkan resin dengan MWCNTs sebanyak 10% wt yang disesuaikan dengan berat resin epoksi pada spesimen 2 lapis yang ditampilkan pada Gambar 3.8.



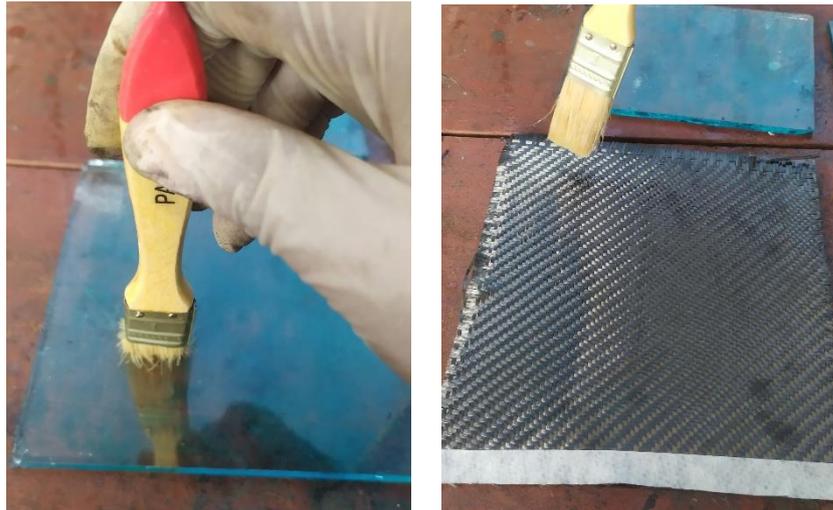
Gambar 3.8. Ukuran resin epoksi dan MWCNTs yang akan dicampurkan

4. Resin yang telah dicampur dengan MWCNTs diberi pengeras dengan perbandingan 3 : 1 yang ditampilkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Ukuran pengeras yang dicampurkan

5. Melakukan pelapisan pertama pada permukaan cetakan sampai rata, kemudian memasang serat karbon. Lakukan pelapisan tersebut secara berulang hingga memenuhi banyaknya lapisan yang diinginkan dan dilumasi kembali serat karbon dengan resin yang ditampilkan pada *Gambar 3.10*.



Gambar 3.10. Pelapisan resin pada cetakan dan serat karbon

6. Memasang *peel ply*, plastik rilis film, *breather cloth* sebagai pembatas lapisan terakhir yang ditampilkan pada *Gambar 3.11*.



Gambar 3.11. Pemasangan *peel ply*, plastik rilis film, dan *breather cloth*

7. Memasang plastik vakum sebagai penutup untuk membungkus susunan serat karbon yang telah dibuat yang ditampilkan pada *Gambar 3.12*.



Gambar 3.12. Pemasangan plastik vakum

8. Kemudian plastik vakum direkatkan pada cetakan dengan menggunakan sealant tape dan memastikan tidak ada kebocoran sistem yang telah dibuat untuk kemudian melakukan pemvakuman menggunakan pompa vakum. Proses pemvakuman dilakukan selama 2 jam yang ditampilkan pada *Gambar 3.13*.



Gambar 3.13. Proses vakum

9. Setelah itu keringkan selama 8 jam untuk memastikan bahwa resin telah mengeras dan kemudian melepaskan komposit serat karbon dari cetakan untuk

selanjutnya dipotong sesuai dengan cetakan potong yang ditampilkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Pelepasan CFRP dari cetakan

10. Setelah dipotong sesuai dengan cetakan, dilanjutkan dengan menyatukan potongan untuk membentuk *kotak perisai* dengan menggunakan lem *cyanoacrilate adhesive* yang ditampilkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Pemotongan dan penyatuan CFRP dengan lem *cyanoacrilate adhesive*

11. Kemudian melakukan pelapisan kotak perisai dengan cat konduktif dengan bahan tembaga yang ditampilkan pada Gambar 3.16.



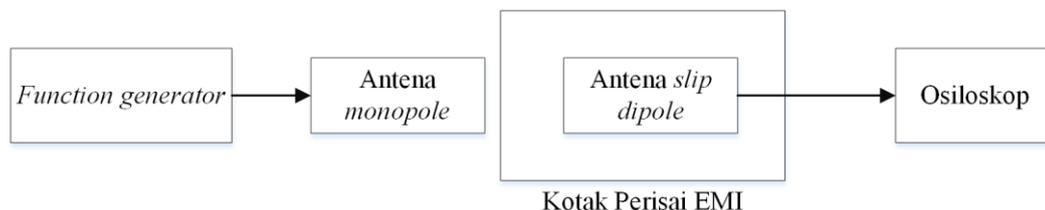
Gambar 3.16. Pelapisan kotak perisai dengan cat konduktif

3.6. Pengujian

Pengujian kotak perisai *flight controller* UAV dilakukan di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Universitas Lampung menggunakan generator impuls, *function generator*, dan osiloskop. Pengujian ini memiliki dua pengujian. Pengujian pertama adalah pengujian *shielding effectiveness* dari kotak perisai *flight controller* UAV. Pengujian kedua yaitu pengujian tegangan impuls pada kotak perisai *flight controller* UAV.

3.6.1. Pengujian *Shielding Effectiveness* dari Kotak Perisai EMI

Pengujian ini menggunakan *function generator* dan osiloskop. Diagram blok dari pengujian ini seperti pada *Gambar 3.17*.



Gambar 3.17. Diagram blok pengujian *shielding effectiveness* pada kotak perisai EMI

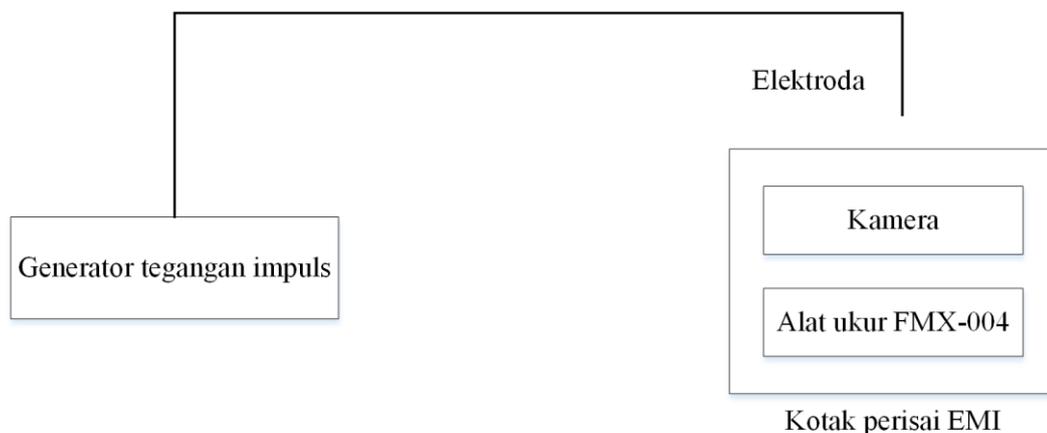
Function generator berfungsi untuk mengirimkan sinyal pulsa. Sinyal ini kemudian akan dikirimkan ke kotak perisai dan akan ditangkap oleh antena *slip dipole*.

Respon dari antenna *slip dipole* akan ditampilkan pada layar osiloskop digital untuk mempermudah proses analisis. Prosedur pengujian yang dilakukan adalah:

1. Mempersiapkan 1 unit kotak perisai yang siap uji. Kemudian, mempersiapkan peralatan tulis dan juga laptop.
2. Setelah objek uji, maka selanjutnya adalah mengaktifkan *function generator* dan melakukan pengkalibrasian osiloskop.
3. Jika objek uji dan pembangkit siap untuk digunakan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan mengaktifkan 1 unit kamera dimana kamera untuk merekam sinyal respon pada saat pengujian..
4. Selanjutnya, jika kamera sudah aktif, maka selanjutnya adalah menutup kotak perisai. Setelah kotak perisai siap untuk dilakukan pengujian, maka *function generator* akan dibangkitkan.

3.6.2. Pengujian Tegangan Induksi pada Kotak Perisai EMI

Pada pengujian ini alat ukur FMX-004 dipasang di dalam kotak perisai dan berhadapan dengan kamera. Diagram blok dari pengujian ini seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Diagram blok pengujian tegangan induksi pada kotak perisai EMI

Kamera berfungsi untuk merekam tegangan yang terukur pada alat ukur FMX-004. Jarak antara elektroda dengan kotak perisai adalah sebesar 0,2 cm. Prosedur pengujian yang dilakukan adalah:

1. Mempersiapkan 1 unit kotak perisai yang siap uji. Kemudian, mempersiapkan peralatan tulis dan juga laptop.
2. Setelah objek uji, maka selanjutnya adalah mengaktifkan pembangkit tegangan impuls dan melakukan pengkalibrasian osiloskop.
3. Jika objek uji dan pembangkit siap untuk digunakan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan mengaktifkan 2 unit kamera dimana kamera pertama dioperasikan di luar kompartemen kotak perisai untuk merekam petir yang terjadi dan kamera kedua dipasang di bagian dalam kotak perisai yang berfungsi untuk merekam tegangan pada alat ukur FMX-004.
4. Selanjutnya, jika kamera dan alat ukur FMX-004 sudah aktif, maka selanjutnya adalah menutup kotak perisai. Lalu, mengukur jarak sambar elektroda konduktor dengan kotak perisai sebesar 0,2 cm. Setelah kotak perisai siap untuk dilakukan pengujian, maka tegangan impuls akan dibangkitkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai *shielding effectiveness* (SE) terbesar dari kotak perisai EMIdari material aluminium, CFRP, CFRP dengan *filler* MWCNTs, dan CFRP dengan *cat* logam, berturut-turut yaitu -11,56 dB, -4,32 dB, -7,88 dB, dan -6,26 dB. Kotak Perisai yang dibuat dengan material aluminium memiliki nilai *shielding effectiveness* paling baik dibandingkan dengan material lain yang digunakan dalam penelitian.
2. Material komposit CFRP dengan *filler* MWCNTs memiliki nilai SE yang lebih baik dari material komposit CFRP murni dan CFRP yang dilapisi cat konduktif. Secara keseluruhan nilai *shielding effectiveness* (SE) material komposit masih dibawah 10 dB sehingga belum begitu baik digunakan sebagai perisai interferensi elektromagnetik.
3. Kotak Perisai EMI mampu melindungi perangkat elektronik yang ada di dalamnya terhadap tegangan impuls petir.. Hal ini ditandai dengan tidak adanya tegangan induksi di dalam kotak perisai EMI saat dikenai tegangan impuls 6 kV.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian *shielding effectiveness* di Laboratorium Kompabilitas Elektromagnetik (EMC) Pusat Teknologi Elektronika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, untuk frekuensi yang lebih tinggi. Serta ruang *anechoic*, untuk menghindari *noise* dari lingkungan pada saat pengujian
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan cetakan tiga dimensi, agar saat melakukan pencetakan CFRP tidak perlu menggunakan terlalu banyak lem dalam proses penyatuan.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian tegangan induksi dengan tegangan impuls yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility, Second Edition*, K. Cheng, ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [2] R. Septiawan *et al.*, "Electromagnetic Characteristics Measurement of Organic Material Absorber," *TELKOMNIKA*, vol. 16, no. 6, pp. 2507-2513, 2018.
- [3] A. C. White, "Novel High Frequency Electromagnetic Shielding Measurement Within Functional Geometries Using Non-Metal and Fatigued Conductors," Doctor of Philosophy in Engineering, University of Dayton, Ohio, 2017.
- [4] M. Jaroszewski, S. Thomas, and A. V. Rane, *Advanced Materials for Electromagnetic Shielding*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2019.
- [5] R. Armstrong, "Measurement of Shielding in Electrically Large Metallic Enclosures," Doctor of Philosophy, Department of Electronics, University of York, York, 2013.
- [6] S. Celozzi, R. Araneo, and G. Lovat, *Electromagnetic Shielding*, K. Chang, ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- [7] J. Chen, J. Wu, H. Ge, D. Zhao, C. Liu, and X. Hong, "Reduced Graphene Oxide Deposited Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites for Electromagnetic Interference Shielding," *ELSEVIER*, vol. 82, pp. 141-150, 2016.
- [8] D. M. Bigg and E. J. Bradbury, "Conductive Polymeric Composites from Short Conductive Fibers," in *Conductive Polymers*, R. B. Seymour Ed. Boston, MA: Springer US, 1981, pp. 23-38.
- [9] A. M. Helmenstine. "Table of Electrical Resistivity and Conductivity." <https://www.thoughtco.com/table-of-electrical-resistivity-conductivity-608499>. (accessed 27 Agustus, 2020).
- [10] J. Donald M. Yenni, J. P. d. Souza, and M. G. Baker, "EMI Shielding Enclosures," United States, 2000.
- [11] D. Munalli, G. Dimitrakakis, D. Chronopoulos, S. Greedy, and A. Long, "Electromagnetic shielding effectiveness of carbon fibre reinforced composites," *ELSEVIER*, vol. 173, 2019.
- [12] J.-M. Thomassin, C. Jerome, T. Pardoen, C. Bailly, I. Huynen, and C. Detrembleur, "Polymer/Carbon Based Composites as Electromagnetic Interference (EMI) Shielding Materials," *ELSEVIER*, vol. 74, no. 7, pp. 211-232, 2013.

- [13] Y.-J. Yim, K. Y. Rhee, and S.-J. Park, "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Nickel-Plated MWCNTs/High-Density Polyethylene Composites," *ELSEVIER*, vol. 98, pp. 120-125, 2016.
- [14] W. Tang, M. H. Santare, and S. G. Advani, "Melt Processing and Mechanical Property Characterization of Multi-Walled Carbon Nanotube/High Density Polyethylene (MWNT/HDPE) Composite Films," *ELSEVIER*, vol. 41, no. 14, pp. 2779-2785, 2003.
- [15] K. S. Ibrahim, "Carbon nanotubes—properties and applications: a review," *CARBON letters*, vol. 14, no. 3, pp. 131-144, 2013.
- [16] M. R. Abusrea, S.-W. Han, K. Arakawa, and N.-S. Choi, "Bending strength of CFRP laminated adhesive joints fabricated by vacuum-assisted resin transfer molding," *ELSEVIER*, vol. 156, pp. 8-16, 2019.
- [17] H.-S. Lee, H.-B. Choe, I.-Y. Baek, J. K. Singh, and M. A. Ismail, "Study on the Shielding Effectiveness of an Arc Thermal Metal Spraying Method against an Electromagnetic Pulse " *Materials*, vol. 10, no. 10, pp. 1-14, 2017.
- [18] H.-W. Hsu and C.-L. Liu, "Spray-coating semiconducting conjugated polymers for organic thin film transistor applications," *RSC Advances*, pp. 30145-30149, 2014.
- [19] U. Batra, "Thermal spray coating of abradable Ni based composite," *Surface Engineering*, vol. 25, no. 4, pp. 284-286, 2009.
- [20] A. Hyperworks, *FEKO User's Manual*. Stellenbosch: EM Software & Systems-S.A. (Pty) Ltd, 2011.