

**ANALISIS INTERFERENSI ELEKTROMAGNETIK PADA KABEL
DAYA INVERTER MOBIL LISTRIK**

(Skripsi)

Oleh

BIMO ERLANGGA

2115031076



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISIS INTERFERENSI ELEKTROMAGNETIK PADA KABEL
DAYA INVERTER MOBIL LISTRIK**

Oleh

**BIMO ERLANGGA
2115031076**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISIS INTERFERENSI ELEKTROMAGNETIK PADA KABEL DAYA INVERTER MOBIL LISTRIK

Oleh

BIMO ERLANGGA

Penelitian ini mempelajari interferensi elektromagnetik yang terjadi pada kabel daya inverter mobil listrik akibat adanya proses pensaklaran di inverter. Interferensi elektromagnetik yang terjadi pada kabel daya merambat melalui emisi konduksi dan emisi radiasi. Penelitian ini menyelidiki pengaruh tegangan sumber dan jenis kabel yang digunakan. Empat jenis tegangan yang divariasikan saat pengujian yaitu 170 V; 195 V; 220 V dan 245 V. Dua jenis kabel yang digunakan saat pengujian yaitu kabel berpelindung yaitu kabel *coaxial RG-6* dan tak berpelindung yaitu NYAF. Pada pengujian emisi konduksi parameter yang diukur adalah arus *common mode* menggunakan *current trafo* (SN RFHPC 12943). Hasil pengukuran yang ditampilkan pada osiloskop merupakan gelombang tegangan *common mode* sehingga untuk mendapatkan arus *common mode* dilakukan dengan membagi tegangan dengan impedansi transfer CT. Gelombang arus dalam domain waktu diubah ke domain frekuensi menggunakan FFT dengan perangkat lunak LT *Spice*. Perhitungan dalam domain frekuensi untuk mendapatkan derau yang terjadi pada kabel daya tersebut. Sedangkan pada pengujian emisi radiasi parameter yang diukur adalah medan listrik dan medan magnet yang dipancarkan dari kabel daya menggunakan *spectrum analyzer* (*Spectran NF-5035*). Untuk pengukuran medan listrik dan medan magnet dilakukan pada jarak vertikal 10 - 100 cm dari kabel daya.

Hasil pengujian emisi konduksi berupa tegangan *common mode*, arus *common mode* dan derau menunjukkan terjadi kenaikan nilai dengan meningkatnya tegangan keluaran inverter. Pada tegangan keluaran inverter 245 V tegangan *common mode*, arus *common mode* dan derau pada kabel berpelindung adalah 1,17 V; 0,4318 A dan -23,034 dB. Sedangkan tegangan *common mode*, arus *common mode* dan derau pada tegangan keluaran inverter 245 V yang terjadi pada kabel tak berpelindung adalah 1,68 V; 0,6222 A dan -17,714 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kabel berpelindung menghasilkan tegangan *common mode*, arus *common mode* dan derau yang lebih kecil dari kabel tak berpelindung. Pada pengujian emisi radiasi medan listrik dan medan magnet mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak dari kabel. Medan listrik yang dipancarkan oleh kabel daya jika tegangan keluaran inverter 245 V pada jarak 10 cm adalah 55,95 V/m untuk kabel berpelindung dan 63,81 V/m untuk kabel tak berpelindung. Medan magnet yang dipancarkan oleh kabel daya jika tegangan keluaran inverter 245 V pada jarak 10 cm adalah 53,28

A/m untuk kabel berpelindung dan 57,21 A/m untuk kabel tak berpelindung. Kabel berpelindung juga menghasilkan medan listrik dan medan magnet yang lebih kecil dari kabel tak berpelindung. Hal ini menunjukkan bahwa perisai (*shielding*) pada kabel berpelindung sangat berpengaruh dalam mengurangi interferensi pada kabel daya.

Kata kunci: Interferensi elektromagnetik, arus *common mode*, tegangan *common mode*, derau, medan listrik, medan magnet, kabel berpelindung, kabel tak berpelindung, inverter.

ABSTRACT

ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ANALYSIS ON POWER CABLES OF ELECTRIC VEHICLE INVERTER

by

BIMO ERLANGGA

This research studies the electromagnetic interference that occurs in the power cable of an electric car inverter due to the switching process in the inverter. Electromagnetic interference that occurs in the power cable propagates through conducted and radiated emissions. This study investigated the effect of inverter output voltage and the types of power cable. Four types of supply voltage: 170 V; 195 V; 220 V dan 245 V were used during testing. Two types of cables were used during testing: shielded cable, i.e., RG-6 coaxial cables, and unshielded, i.e., NYAF. In the conducted emission test, the common mode current was measured using a current transformer (SN RFHPC 12943). The measured result was displayed on the oscilloscope as common mode voltage; hence, the common mode current was calculated by dividing the common mode voltage by the transfer impedance of CT. The current waves in the time domain were converted to the frequency domain using FFT from the LT Spice software. Transformation to the frequency domain in order to get the noise that occurs in the power cable. While in the radiated emission test, the electric field and magnetic field emitted from the power cable were measured using a spectrum analyzer (Spectran NF-5035). Electric and magnetic field measurements were done at a vertical distance of 10 - 100 cm from the power cable.

The test results of conducted emission in the form of common mode voltage, common mode current, and noise increased with increasing the inverter output voltage. If the inverter voltage is 245 V, the common mode voltage, common mode current, and noise in the shielded cable are 1.17 V, 0.4318 A, and -23.034 dB. While the common mode voltage, common mode current, and noise at inverter voltage of 245 V occurring in the unshielded cable are 1.68 V, 0.6222 A, and -17.714 dB. This shows that the shielded cable yields a common mode voltage, common mode current, and noise smaller than those from an unshielded cable. In the radiated emission test, the electric field and magnetic field decreased as the distance from the cable increased. The electric field emitted by the power cable when the input voltage is 245 V at a distance of 10 cm is 55.95 V/m for the shielded cable and 63.81 V/m for the unshielded cable. The magnetic field emitted by the power cable, if the

input voltage is 245 V at a distance of 10 cm, is 53.28 A/m for the shielded cable and 57.21 A/m for the unshielded cable. The shielded cable generates a smaller electric field and magnetic field than those from unshielded cable. This shows that shielding on shielded cables is very important in reducing electromagnetic interference on power cables.

Keyword: Electromagnetic interference, common mode current, common mode voltage, noise, electric field, magnetic field, shielded cable, unshielded cable, inverter.

Judul Skripsi

: **ANALISIS INTERFERENSI
ELEKTROMAGNETIK PADA KABEL
DAYA INVERTER MOBIL LISTRIK**

Nama Mahasiswa

: **Bimo Erlangga**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2115031076**

Program Studi

: **Teknik Elektro**

Fakultas

: **Teknik**



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.
NIP. 197005281998032003

Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.
NIP. 197111301999031003

MENGETAHUI

2. Jurusan Teknik Elektro

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001

Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Diah P.
.....

Sekretaris

: **Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**

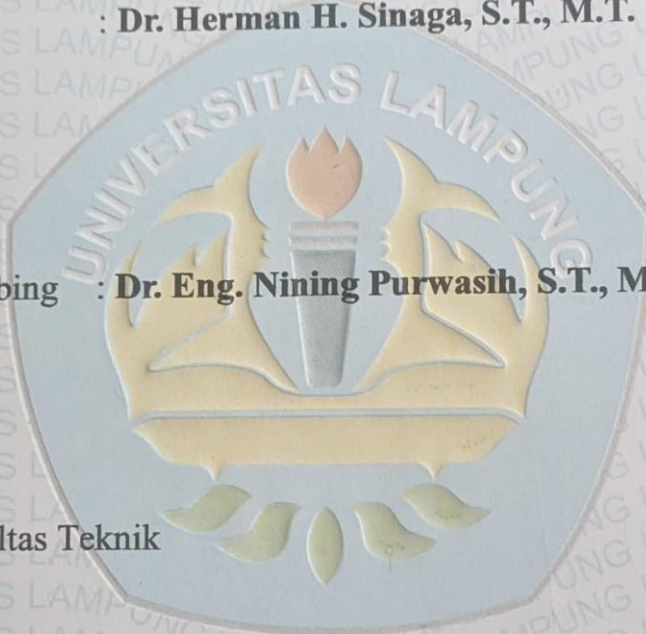
Herman H. Sinaga
.....

Penguji

Bukan Pembimbing

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

Nining Purwasih
.....



2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 Juli 2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul "Analisis Interferensi Elektromagnetik Pada Kabel Daya Inverter Mobil Listrik" dibuat oleh saya sendiri. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum atau akademik berlaku.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025

Pembuat Pernyataan,



Bimo Erlangga
NPM 2115031076

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Kota Jawa, Kec. Punduh Pidada, Kab. Pesawaran pada tanggal 4 November 2003. Anak kedua dari tiga bersaudara, dari Bapak Mulyadi dan Ibu Hety Setiyawati. Pendidikan formal yang pernah diselesaikan oleh penulis adalah SDN 2 Sukarame pada tahun 2015. SMP N

13 Pesawaran pada tahun 2018. SMAN 13 Bandar Lampung pada tahun 2021.

Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Studi Strata 1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa kegiatan sebagai berikut :

1. Menjadi Wakil Ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung pada periode 2023 dan anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung pada periode 2022.
2. Menjadi Panitia Pengawas pada kegiatan *Electrical Engineering in Action* dari Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro pada tahun 2023.
3. Mengikuti program Magang Studi Independen Bersertifikat (MSIB) *Batch 7* Kampus Merdeka dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai Intern Tenaga Ahli Teknik di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) yang ditempatkan di Ibu Kota Nusantara (IKN) pada tahun 2024.

4. Menjadi *Tribe Leader* pada MSIB *Batch 7* untuk Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) selama pelaksanaan magang pada tahun 2024.
5. Mengikuti program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) Membangun Desa di Desa Rukti Endah, Lampung Tengah untuk pemasangan Pentanahan dan Proteksi Petir pada Gedung Ternak Raman Farm pada tahun 2023.
6. Melaksanakan program Kerja Praktik sebagai Staff Pemeliharaan Gardu Induk di PT. PLN (Persero) ULTG (Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk) Tegineneng pada tahun 2024.
7. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Negeri Besar, Kecamatan Negeri Besar, Kabupaten Way Kanan pada bulan Januari 2024 sampai dengan Februari 2024.
8. Menjadi Asisten Laboratorium di Lab. Konversi Energi Elektrik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2023 sampai dengan 2025.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*atas ridho ALLAH SWT dan Nabi
MUHAMMAD SAW*

Skripsi ini

*Dipersembahkan
untuk kedua orang tua,
bapak, mamak, adik,
kakak, ateh, teman-
teman, kampus &
negara.*

Bimo Erlangga

Faṣbir inna wa‘dallāhi
ḥaqqu wa lā
yastakhiffannakal-laẓīna
lā yūqinūn(a)

Maka, bersabarlah engkau,
Sesungguhnya janji Allah itu
benar. Jangan sampai orang-orang
yang tidak meyakini (kebenaran
ayat-ayat Allah) itu membuat
engkau bersedih.

(QS. Ar-Rum: 60)

SANWACANA

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia serta ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi tugas akhir ini dengan judul “Analisis Interferensi Elektromagnetik Pada Kabel Daya Inverter Mobil Listrik“. Tak lupa shalawat serta salam dihaturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya, sahabatnya, dan para pengikutnya yakni kaum muslim di seluruh dunia.

Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan kurikulum mata kuliah Skripsi pada Program Studi Strata 1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam pelaksanaan dan pembuatan Skripsi/Tugas Akhir ini penulis menerima dukungan baik secara moril maupun materil yang sangat berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sehingga mampu melaksanakan penelitian hingga menyelesaikan laporan tugas akhir penelitian ini.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik Penulis selama melaksanakan perkuliahan di Universitas Lampung.

6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama penulis yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan memberikan arahan dalam mengerjakan penelitian hingga selesai.
7. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan dan bimbingan dalam pembuatan skripsi ini hingga selesai.
8. Ibu Dr. Eng., Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan nasihat, arahan, dan saran kepada penulis selama penelitian tugas akhir ini.
9. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah membagikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
10. Segenap staf di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah sangat membantu penulis dalam hal administrasi dan hal-hal lainnya.
11. Kedua orang tua yang paling berjasa dalam hidup penulis, Bapak Mulyadi dan Ibu Hety Setiyawati yang sangat penulis cintai dan sayangi, yang sudah memberikan segenap do'a, dukungan yang luar biasa, nasihat untuk kebaikan penulis di masa depan, memberikan semangat, serta pengorbanannya selama penulis berkuliah sehingga penulis mampu menyelesaikan satu tahap akhir ini yaitu skripsi, tanpa mereka penulis tidak bisa melakukannya sendiri.
12. Kepada kakak yang saya sayangi, Nova Clarissa Rivera yang telah memberikan dukungan yang luar biasa kepada penulis untuk menyelesaikan perkuliahan dan skripsi ini.
13. Kepada adik laki-laki yang saya sayangi, Muhammad Refli yang selalu menjadi adik dan teman selama ini, sehingga penulis lebih bersemangat untuk menyelesaikan perkuliahan dan skripsi ini.
14. Kepada nenek saya yang saya sayangi, Ateh Wasila yang selalu memberikan segenap do'anya setiap hari demi kelancaran penulis menuntut ilmu dalam perkuliahan, memberikan nasihat untuk penulis sehingga penulisan dapat menyelesaikan perkuliahan ini.

15. Seluruh teman-teman EXCALTO Teknik Elektro Angkatan 2021 atas dukungan yang telah diberikan selama menempuh studi di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
16. Pengurus Harian (PH) 2023 yang selalu menjadi tempat yang nyaman selama menjadi Pengurus Himpunan, menjadi tempat bercerita, tempat mengekspresikan diri dan mengembangkan diri bersama-sama.
17. Seluruh pengurus HIMATRO (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) 2023 yang penulis banggakan, terimakasih atas kerjasamanya mengurus Himpunan selama setahun, memberikan pengalaman berharga selama berorganisasi yang sangat bermanfaat bagi penulis.
18. Teman-teman ANKER yang merupakan “tempat berkumpul” yang dari awal menemani penulis berkuliah, sehingga penulis memiliki teman-teman pada saat awal perkuliahan hingga saat ini, semoga semuanya sukses.
19. Kepada Rohid, Niken, Alda, dan Serlin yang sudah menjadi teman penulis sejak bermain voli di SMA serta memberikan dukungan selama pengerjaan penelitian tugas akhir ini, semoga semuanya sukses aamiin.
20. Kepada M. Rizki Febrian dan M. Tegar Sabilillah yang menjadi teman penulis sejak masih menjadi maba pada saat awal perkuliahan hingga menyelesaikan penelitian tugas akhir ini, semoga sukses kedepannya.
21. Segenap teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik (KEE) Universitas Lampung angkatan 2021 yang menjadi tempat belajar bersama selama menjadi asisten laboratorium.
22. Segenap pengurus Laboratorium Konversi Energi Elektrik (KEE) Universitas Lampung, Ibu Dr. Endah Kumalasari selaku Kepala Laboratorium, Mba Ani selaku PLP Laboratorium dan Pengurus laboratorium angkatan 2021 atas kerjasamanya selama penulis menjadi asisten, semoga sukses semua.
23. Segenap pengurus Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi (TTT) Universitas Lampung, Bapak Dr. Herman H. Sinaga selaku Kepala Laboratorium, Pak Sugiarto S.T. selaku PLP Laboratorium, dan Pengurus Laboratorium angkatan 2021 atas bantuannya untuk bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga sukses semua.

24. Kepada seluruh pihak lainnya, yang belum bisa disebutkan disini, atas bantuan ilmu, materi, dan sebagainya. Semoga senantiasa diberi kebaikan yang berlimpah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan penelitian ini masih bisa disempurnakan kembali. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari para pembaca. Penulis berharap laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bimo Erlangga' in a stylized, cursive script.

Bimo Erlangga
NPM. 2115031076

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
ABSTRAK	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	viii
SURAT PERNYATAAN.....	ix
RIWAYAT HIDUP	x
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	xii
HALAMAN MOTTO	xiii
SANWACANA.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Mobil Listrik	6
2.2 Inverter.....	7
2.3 Inverter Sebagai Sumber Emisi	8

2.4 Emisi Pada Inverter.....	10
2.4.1 Emisi konduksi (<i>conducted emission</i>).....	10
2.4.2 Emisi Radiasi (<i>radiated emission</i>)	11
2.5 Emisi Konduksi Pada Kabel Daya Inverter	12
2.5.1 <i>Common Mode Noise</i>	13
2.5.2 <i>Differential Mode Noise</i>	14
2.6 Pendeteksian Arus <i>Common Mode</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Metodologi Penelitian.....	18
3.4 Diagram Pelaksanaan Penelitian.....	19
3.5 Peralatan Pengujian.....	20
3.6 Pengujian Arus <i>Common Mode</i>	24
3.6.1 Pengujian Kabel Berpelindung	24
3.6.2 Pengujian Kabel Tak Berpelindung.....	26
3.7 Pengujian Emisi Radiasi	27
3.7.1 Pengujian Emisi Radiasi Kabel Berpelindung	27
3.7.2 Pengujian Emisi Radiasi Kabel Tak Berpelindung	28
3.8 Perhitungan	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Data Hasil Pengujian Interferensi Elektromagnetik	30
4.1.1 Pengujian Interferensi Elektromagnetik Secara Konduksi	30
4.1.2 Pengujian Interferensi Elektromagnetik Secara Radiasi	35
4.2 Analisis Data Hasil	40

4.2.1 Hubungan Antara Tegangan <i>common mode</i> dan arus <i>common mode</i> Terhadap Variasi Tegangan Keluaran Inverter dan Jenis Kabel pada Emisi Konduksi	40
4.2.2 Hubungan Derau Terhadap Variasi Tegangan Keluaran Inverter dan Jenis Kabel	42
4.2.3 Hubungan Emisi Radiasi pada Kedua Jenis Kabel	43
4.2.4 Perhitungan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Mobil listrik [1]	7
Gambar 2. 2 Rangkaian inverter [6].....	8
Gambar 2. 3 (a) karakteristik V dan I pada <i>switching</i> , (b) respon tegangan transien	9
Gambar 2. 4 Model simulasi emisi konduksi [11]	10
Gambar 2. 5 (a) Rancangan pengujian medan magnet [12], [13], (b) model <i>mini magneto-static manipulator</i> [12], [13].....	11
Gambar 2. 6 Ilustrasi pengujian emisi konduksi [14]	12
Gambar 2. 7 <i>Common mode noise</i>	13
Gambar 2. 8 <i>Differential mode noise</i>	14
Gambar 2. 9 Pengujian arus mode bersama [17]	15
Gambar 2. 10 Hasil pengujian [17]	16
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3. 2 <i>DC power supply</i>	20
Gambar 3. 3 Osiloskop.....	21
Gambar 3. 4 Inverter	21
Gambar 3. 5 (a). Kabel NYAF, (b) kabel <i>coaxial</i>	22
Gambar 3. 6 Motor AC.....	22
Gambar 3. 7 <i>Current transformer</i>	23
Gambar 3. 8 <i>Handheld spectrum analyzer</i>	23
Gambar 3. 9 Gambaran pengujian	24
Gambar 3. 10 Pengujian kabel berpelindung	25
Gambar 3. 11 Pengujian kabel tak berpelindung	26
Gambar 3. 12 Pengujian emisi radiasi kabel berpelindung.....	27
Gambar 3. 13 Pengujian emisi radiasi kabel tak berpelindung.....	28

Gambar 4. 1 Tegangan <i>common mode</i> pada kabel berpelindung.....	31
Gambar 4. 2 Arus <i>common mode</i> pada kabel berpelindung.....	31
Gambar 4. 3 Hasil analisis FFT kabel berpelindung.....	32
Gambar 4. 4 Tegangan <i>common mode</i> pada kabel tak berpelindung.....	33
Gambar 4. 5 Arus <i>common mode</i> pada kabel tak berpelindung.....	34
Gambar 4. 6 Hasil analisis FFT kabel tak berpelindung.....	35
Gambar 4. 7 Medan listrik kabel berpelindung.....	36
Gambar 4. 8 Medan magnet kabel berpelindung	37
Gambar 4. 9 Medan listrik kabel tak berpelindung.....	38
Gambar 4. 10 Medan magnet kabel tak berpelindung	39
Gambar 4. 11 Perbandingan V_{cm} pada kabel berpelindung dan tak berpelindung	41
Gambar 4. 12 Perbandingan I_{cm} pada kabel berpelindung dan tak berpelindung .	41
Gambar 4. 13 Perbandingan derau pada kabel berpelindung dan tak berpelindung	43
Gambar 4. 14 Perbandingan medan listrik kabel berpelindung dan tak berpelindung	44
Gambar 4. 15 Perbandingan medan magnet kabel berpelindung dan tak berpelindung	45
Gambar 4. 16 Perhitungan besaran medan listrik	46
Gambar 4. 17 Perhitungan besaran medan magnet.....	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Jadwal penelitian tugas akhir	17
Tabel 4. 1 Hasil tegangan <i>common mode</i> dan arus <i>common mode</i>	40
Tabel 4. 2 Hasil pengujian interferensi elektromagnetik secara konduksi	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan kendaraan listrik semakin meningkat seiring dengan kebutuhan energi yang ramah lingkungan dan efisien. Salah satu komponen penting dalam kendaraan listrik adalah Inverter, dimana perangkat ini berfungsi untuk mengkonversi daya DC dari baterai menjadi daya AC yang digunakan untuk menggerakkan motor [1]. Inverter menggunakan peralatan elektronik seperti IGBT, Mosfet dengan pensaklaran pada frekuensi tinggi. Proses pensaklaran ini menghasilkan interferensi elektromagnetik (IEM)/*Electromagnetic Interference* (EMI). Bentuk dari EMI salah satunya yaitu derau (*noise*) yang dapat mengganggu kinerja perangkat elektronik lain dalam mobil listrik. EMI dapat dihasilkan melalui propagasi secara konduksi dan radiasi. EMI secara konduksi bisa merambat melalui dua mode yaitu mode bersama (*common mode*) dan mode beda (*differential mode*). Mode bersama merupakan gangguan elektromagnetik yang terjadi ketika *noise* mengalir dalam arah yang sama pada dua atau lebih konduktor yang terhubung dengan referensi pentanahan yang sama. Untuk mode beda adalah gangguan elektromagnetik yang terjadi akibat perbedaan potensial antara dua konduktor dalam suatu sistem. Pada Mode beda, arus yang mengalir pada dua konduktor (misalnya pasangan kabel) menghasilkan medan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi perangkat lain di sekitarnya.

EMI yang dihasilkan dari proses pensaklaran Inverter dapat merambat ke motor melalui kabel daya sehingga dapat digolongkan sebagai interferensi yang merambat

dengan cara konduksi (*conducted* EMI). Interferensi medan elektromagnetik secara konduksi dapat menyebabkan gangguan pada komponen pencatu daya. Kabel yang dialiri oleh gelombang elektromagnetik yang mengandung derau akan bersifat sebagai antena sehingga dapat meradiasikan ke sekelilingnya [2], selain itu radiasi interferensi pada frekuensi tinggi dapat mengganggu sistem navigasi pada mobil listrik yang umumnya bekerja secara otomatis [1].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adanya EMI pada kabel daya mobil listrik. Interferensi elektromagnetik yang diukur yaitu secara konduksi dan radiasi. Parameter interferensi yang diukur pada emisi konduksi adalah tegangan dan arus *common mode*. Sedangkan yang diukur pada emisi radiasi adalah medan listrik dan medan magnet pada kabel daya mobil listrik. Untuk mengukur tegangan dan arus *common mode* menggunakan *current transformer*, dan untuk mengukur medan listrik dan medan magnet menggunakan *handheld spectrum analyzer*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengukur arus *common mode* dan tegangan *common mode* yang menjalar secara konduksi pada kabel daya inverter.
2. Mengukur medan listrik dan medan magnet yang diradiasikan dari kabel daya inverter.
3. Menghitung derau akibat arus *common mode*.
4. Menganalisis pengaruh tegangan keluaran inverter terhadap arus *common mode*, tegangan *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet.
5. Menganalisis pengaruh jenis kabel daya berpelindung dan tak berpelindung terhadap arus *common mode*, tegangan *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana EMI merambat secara konduksi dan radiasi pada kabel daya inverter mobil listrik?
2. Bagaimana mengukur arus *common mode*?
3. Bagaimana mengukur radiasi medan listrik dan medan magnet?
4. Bagaimana menghitung derau?
5. Bagaimana menganalisis arus *common mode*, tegangan *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet pada kabel daya inverter mobil listrik?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diterapkan pada penelitian kali ini meliputi beberapa hal, yakni sebagai berikut.

1. Pengujian dilakukan hanya untuk mengukur arus *common mode* dan radiasi medan listrik dan medan magnet pada kabel daya Inverter mobil listrik.
2. Tegangan keluaran inverter yang digunakan pada pengujian interferensi elektromagnetik hanya sebesar 170-245 V.
3. Penggunaan kabel hanya menggunakan dua jenis kabel yaitu kabel berpelindung dengan jenis *coaxial* RG-6 dan kabel tak berpelindung dengan jenis NYAF.
4. Pengujian tegangan dan arus *common mode*, medan listrik dan medan magnet dilakukan pada sisi AC (dari inverter ke motor).
5. Pengujian medan listrik dan medan magnet mengabaikan faktor *noise* pada lingkungan sekitar pengujian.
6. Pengukuran radiasi medan listrik dan medan magnet dilakukan sampai batas maksimum frekuensi alat ukur yaitu 1 MHz.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui besar interferensi elektromagnetik berupa tegangan *common mode*, arus *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet pada kabel daya inverter mobil listrik.
2. Mengetahui pengaruh besar tegangan keluaran inverter terhadap tegangan *common mode*, arus *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet pada kabel daya inverter mobil listrik.
3. Mengetahui pengaruh jenis kabel terhadap tegangan *common mode*, arus *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet pada kabel daya inverter mobil listrik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan akhir bertujuan guna memberikan suatu gambaran secara sederhana terkait pembahasan yang ada di dalam tugas akhir skripsi dan untuk memudahkan dalam memahami isi yang disajikan dalam skripsi ini. Adapun sistematika yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori pendukung materi tugas akhir yang merupakan pengantar dalam pemahaman terkait materi tugas akhir yang dikutip dari berbagai sumber ilmiah seperti jurnal dan buku yang digunakan sebagai panduan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan waktu, tempat, alat dan bahan, pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil pengujian dan pembahasan dari penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil pembahasan masalah yang dikaji dalam penelitian tugas akhir dan berisi saran penulis untuk meningkatkan wawasan bagi pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

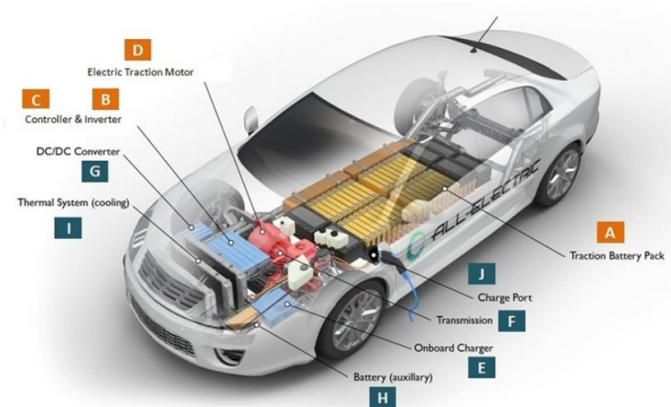
Bab ini berisi referensi yang ada.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mobil Listrik

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan oleh motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai. Motor listrik memberikan mobil listrik torsi yang instan, serta menciptakan akselerasi yang kuat dan halus. Mobil listrik memiliki beberapa kelebihan yang potensial jika dibandingkan dengan mobil bermesin pembakaran biasa, yang paling utama adalah mobil listrik tidak menghasilkan emisi kendaraan bermotor. Selain itu, mobil jenis ini juga mengurangi emisi gas rumah kaca karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya [1]. Mobil listrik menggunakan beberapa komponen utama didalamnya seperti motor listrik, *power electronic components* (Inverter, *controller*, *converter DC-DC*), baterai, pendingin dan *charger*. Akan tetapi, penggunaan Inverter pada sistem ini menimbulkan masalah terkait adanya gangguan atau interferensi gelombang elektromagnetik terhadap komponen dan sistem lainnya yang ada di dalam mobil listrik tersebut. Hal ini disebabkan oleh adanya proses *switching* yang terjadi pada cara kerja Inverter. Pensaklaran ini dilakukan untuk melakukan *inverting* atau perubahan arus searah menjadi arus bolak-balik. Ketika proses pensaklaran berlangsung, maka terjadi proses buka-tutup yang menyebabkan adanya perubahan yang dapat dikenal dengan tegangan dan arus transien. Berikut merupakan struktur dan komponen dari mobil listrik ditunjukkan pada Gambar 2.1.

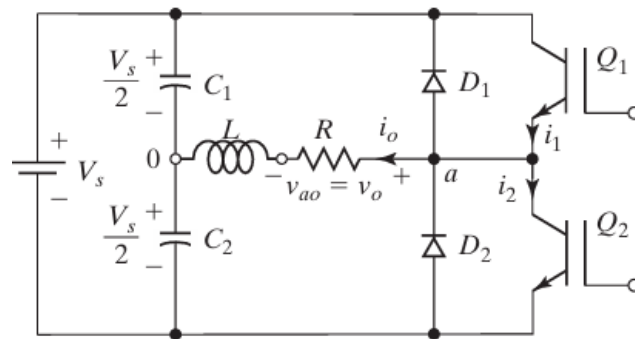


Gambar 2. 1 Mobil listrik [1]

2.2 Inverter

Inverter DC-AC merupakan peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Tegangan keluaran ini bisa bersifat tetap atau berubah pada frekuensi yang tetap atau berubah. Tegangan keluaran bervariasi dapat diperoleh dengan mengubah tegangan masukan DC sambil mempertahankan *gain* Inverter tetap. Di sisi lain, jika tegangan masukan tetap dan tidak dapat dikontrol, tegangan keluaran yang bervariasi dapat diperoleh dengan mengubah *gain* Inverter, yang biasanya dilakukan melalui kontrol *pulse width modulation* (PWM) di dalam Inverter [3]. Gelombang tegangan keluaran dari Inverter ideal seharusnya berbentuk *sinusoidal*. Namun, pada kenyataannya, gelombang keluaran dari Inverter praktis tidak *sinusoidal* dan mengandung harmonisa tertentu. Untuk aplikasi daya tinggi, diperlukan gelombang *sinusoidal* dengan distorsi rendah. Dengan ketersediaan perangkat semikonduktor daya berkecepatan tinggi, kandungan harmonisa pada tegangan keluaran dapat diminimalkan atau dikurangi secara signifikan melalui teknik *switching* [4]. Sumber masukan dapat berupa baterai, sel bahan bakar, sel surya, atau sumber DC lainnya. Keluaran Inverter fasa tunggal yang umum adalah: (1) 120 V pada 60 Hz, (2) 220 V pada 50 Hz, dan (3) 115 V pada 400 Hz. Untuk sistem tiga fasa berdaya tinggi, keluaran yang umum adalah: (1) 220 hingga 380 V pada 50 Hz, (2) 120 hingga 208 V pada 60 Hz, dan (3) 115 hingga 200 V pada 400 Hz, untuk mobil

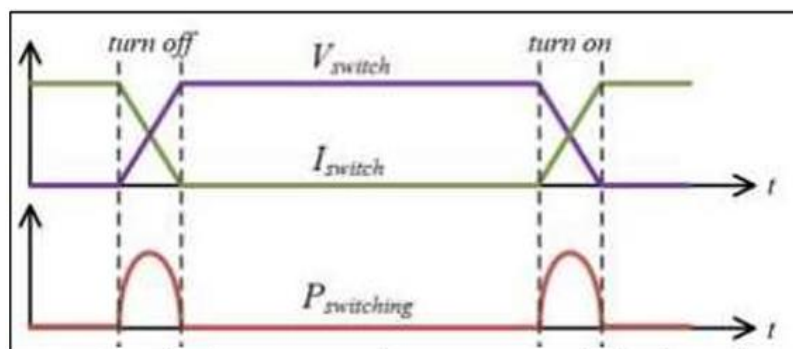
listrik yang menggunakan motor 3-phase keluaran yang dibutuhkan 230 hingga 400 V dengan frekuensi 50 Hz dan arus sebesar 1400 W. Jenis inverter diantaranya yaitu *half-bridge* inverter, *full-bridge* inverter dan 3-phase Inverter [5]. Contoh rangkaian inverter ditunjukkan pada Gambar 2.2.



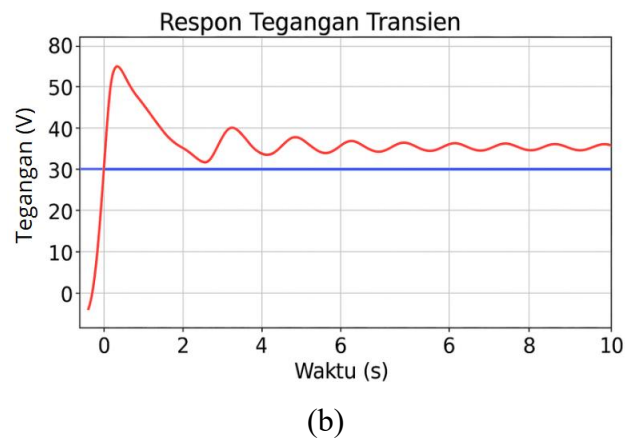
Gambar 2. 2 Rangkaian inverter [6]

2.3 Inverter Sebagai Sumber Emisi

Pada pengujian dan prediksi emisi pada inverter daya ini disebabkan oleh adanya proses *switching* yang terjadi pada cara kerja inverter. Pensaklaran ini dilakukan untuk melakukan *inverting* atau perubahan arus searah menjadi arus bolak-balik. Ketika proses pensaklaran berlangsung, maka terjadi proses buka-tutup yang menyebabkan adanya perubahan yang dapat dikenal dengan tegangan dan arus transien seperti Gambar 2.3.



(a)



Gambar 2. 3 (a) karakteristik V dan I pada *switching*, (b) respon tegangan transien

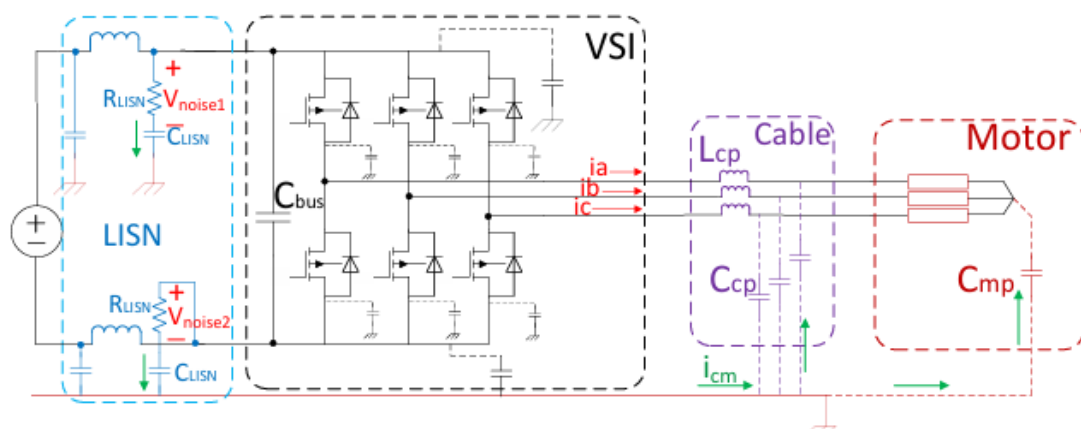
Ketika arus listrik berubah secara cepat dalam sebuah rangkaian, maka medan magnet di sekitarnya juga berubah dengan cepat. Hal ini sesuai dengan hukum *Maxwell* yang menyatakan bahwa perubahan dalam medan listrik akan menghasilkan medan magnet, dan perubahan dalam medan magnet akan menghasilkan medan listrik. Perubahan medan listrik dan medan magnet secara bersamaan akan menimbulkan medan yang dikenal dengan medan elektromagnetik. Kemudian medan elektromagnetik bergerak dengan merambat melalui jalur konduktif dan radiasi dan terkopling ke sistem lainnya. Sehingga berdasarkan hukum *Maxwell*, ketika proses *switching* pada inverter, tegangan dan arus yang mengalami perubahan terhadap satuan waktu tersebut bergerak mengalir di dalam konduktor, maka medan elektromagnetik dapat dihasilkan. Medan ini bergerak terpancar melalui udara dan dapat memengaruhi komponen lain. Ketika hal ini terjadi maka ini dapat disebut dengan interferensi elektromagnetik. Oleh karena itu, inverter dapat dikatakan sebagai sumber interferensi elektromagnetik akibat adanya perubahan tegangan dan arus dari proses *switching* yang mengalir melalui kabel daya. Kemudian kabel daya ini menghasilkan radiasi medan elektromagnetik akibat perubahan tegangan dan arus tersebut sehingga dapat mengganggu komponen penting lainnya seperti baterai, dan motor listrik [7].

2.4 Emisi Pada Inverter

Pada mobil listrik yang memiliki inverter dapat menyebabkan interferensi elektromagnetik yang beragam, terutama emisi konduksi berupa tegangan mode bersama, arus mode bersama serta tegangan mode berbeda dan arus mode berbeda. Pada emisi konduksi yang besar dapat menyebabkan emisi radiasi yang bisa menyebabkan gangguan peralatan lain pada sistem di dalam mobil listrik [8].

2.4.1 Emisi konduksi (*conducted emission*)

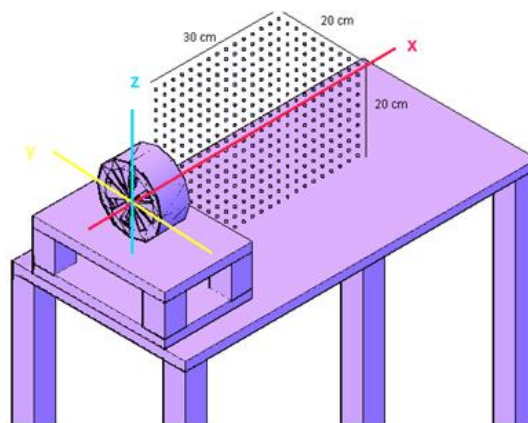
Emisi konduksi merupakan gangguan yang diukur pada kabel yang terhubung ke peralatan yang diuji (*Equipment Under Test*) [9]. Biasanya emisi yang dihasilkan menyebabkan gangguan langsung pada produk lain yang terhubung ke saluran daya yang sama. Emisi konduksi bisa menjadi radiasi apabila arus mode bersama tersebut cukup besar untuk membuat saluran daya memancarkan radiasi dan berpotensi menjadi sumber gangguan, misalnya terhadap radio frekuensi [10]. Gambar 2.4 dari penelitian Renato Amorim Torres [11] yang menjelaskan pengujian emisi konduksi dari sebuah inverter menggunakan *wide-bandgap switches* sebagai sumber dari *noise* yang akan diukur [11].



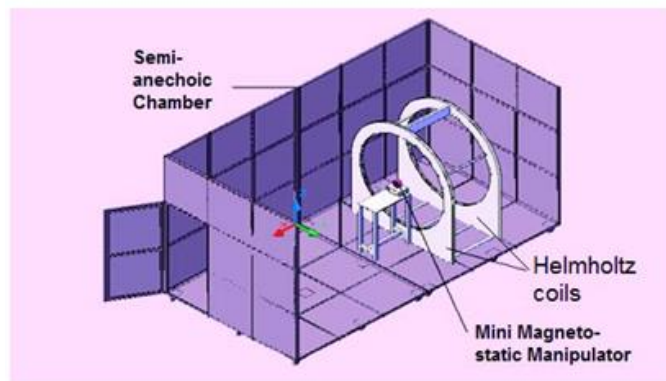
Gambar 2. 4 Model simulasi emisi konduksi [11]

2.4.2 Emisi Radiasi (*radiated emission*)

Emisi Radiasi adalah emisi elektromagnetik yang di propagasikan melalui ruang dan udara. Emisi Radiasi diukur di area terbuka untuk di uji (*open area test site/OATS*) [9]. Emisi radiasi pada penelitian Teti [12] Gambar 2.5 yaitu membahas pengukuran medan magnetik statis sebagai sumber energi alami melalui metode *wireless power transfer* (WPT) [12].



(a)



(b)

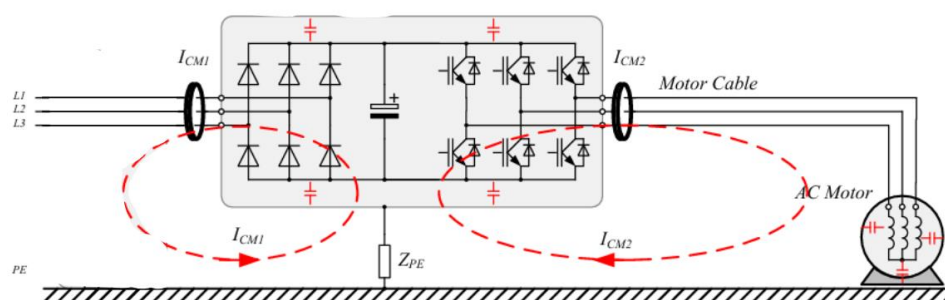
Gambar 2. 5 (a) Rancangan pengujian medan magnet [12], [13], (b) model *mini magneto-static manipulator* [12], [13]

Pengukuran medan listrik dan medan magnet umumnya dilakukan untuk mengetahui seberapa besar gangguan atau paparan medan terhadap lingkungan atau

perangkat lain. Pada kabel daya atau peralatan listrik, medan listrik dihasilkan oleh tegangan (bahkan tanpa arus), sedangkan medan magnet muncul hanya jika ada aliran arus. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian emisi konduksi dan emisi radiasi yang dihasilkan oleh kabel inverter pada sistem mobil listrik. Emisi konduksi ini akan dianalisis melalui pengukuran nilai arus mode bersama (*common mode current*) yang terjadi pada kabel daya sistem inverter mobil listrik, serta emisi radiasi dianalisis melalui pengukuran medan listrik dan medan magnet menggunakan alat *spectran*. Pengukuran ini bertujuan untuk memahami karakteristik dan pola penyebaran arus mode bersama dan radiasi medan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan, terutama pada aspek kompatibilitas elektromagnetik (*electromagnetic compatibility*).

2.5 Emisi Konduksi Pada Kabel Daya Inverter

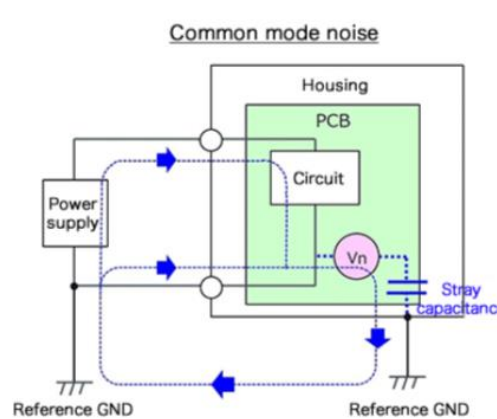
Sangat penting untuk memahami prosedur pengujian yang digunakan untuk memverifikasi standar terhadap batasan emisi konduksi. Pada penelitian Jaroslaw Luszc [14], Emisi diukur berupa arus mode bersama dengan *current transformer* yang dipasang antara keluaran daya inverter dan kabel menuju motor AC. Kabel daya AC produk dihubungkan ke *input* inverter, keluaran nya dihubungkan ke motor AC. Daya AC dari inverter mengalir untuk memberi daya pada produk. Osiloskop terhubung ke *current transformator* dan mengukur emisi konduksi yang berupa arus mode bersama dari kabel daya. Gambar 2.6 menunjukkan ilustrasi pengujian emisi konduksi [14].



Gambar 2. 6 Ilustrasi pengujian emisi konduksi [14]

2.5.1 Common Mode Noise

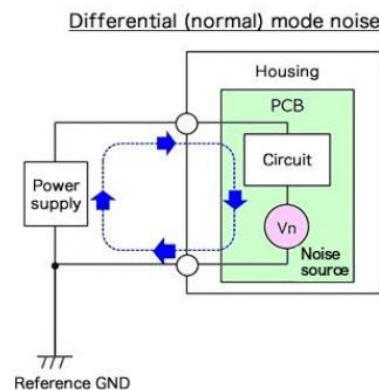
Common mode dalam konteks emisi konduksi adalah jenis gangguan elektromagnetik yang terjadi ketika arus *noise* mengalir dalam arah yang sama pada dua atau lebih konduktor yang terhubung dengan referensi pentanahan yang sama. Emisi ini dapat mempengaruhi perangkat lain yang terhubung ke sistem yang sama, menghasilkan potensi gangguan [10]. *Common mode* terbagi jadi *common mode voltage* dan *common mode current*. *Common mode voltage* tegangan yang muncul pada kedua konduktor relatif terhadap *ground* (tanah). Pada sistem dengan dua konduktor (seperti pada saluran transmisi atau sistem tenaga), *common mode voltage* didefinisikan sebagai rata-rata dari tegangan kedua konduktor terhadap tanah. Ini biasanya terjadi akibat kapasitansi parasitik, kesalahan *grounding*, atau medan elektromagnetik eksternal yang menginduksi tegangan pada kedua konduktor. Untuk arus *common mode* adalah arus yang mengalir melalui kedua konduktor dengan arah yang sama menuju tanah. Arus *common mode* dihasilkan ketika kedua konduktor pada suatu sistem elektronik membawa arus yang sama dengan referensi ke tanah.[9]. Gambar 2.7 menunjukkan ilustrasi *common mode noise* pada emisi konduksi.



Gambar 2. 7 Common mode noise

2.5.2 Differential Mode Noise

Differential mode pada emisi konduksi merujuk pada jenis emisi elektromagnetik yang terjadi akibat perbedaan potensial antara dua konduktor dalam suatu sistem. Pada emisi *differential mode*, arus yang mengalir pada dua konduktor (misalnya pasangan kabel) menghasilkan medan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi perangkat lain di sekitarnya [15]. Dalam konteks ini, arus pada satu konduktor memiliki arah yang berlawanan dengan arus pada konduktor lainnya, sehingga medan elektromagnetik yang dihasilkan cenderung lebih terfokus dan dapat mengakibatkan gangguan pada sistem lain yang terhubung ke sumber daya yang sama [10]. *Differential mode* juga terdapat *differential mode voltage* dan *differential mode current* [16]. Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi *differential mode noise* pada emisi konduksi.

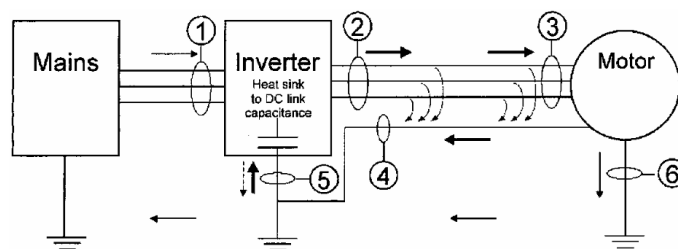


Gambar 2. 8 *Differential mode noise*

Pada penelitian ini, emisi elektromagnetik yang diukur yaitu *common mode noise* atau gangguan mode bersama dan emisi radiasi berupa medan listrik dan medan magnet, keduanya merupakan jenis gangguan yang sering terjadi dalam sistem kelistrikan mobil listrik. Pengukuran *common mode noise* dilakukan dengan menggunakan metode *current transformer* (CT), yaitu sebuah alat yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur arus listrik pada jalur tertentu tanpa perlu memutuskan rangkaian utama. Sedangkan pengukuran medan listrik dan medan magnet dilakukan dengan menggunakan alat *spectran*.

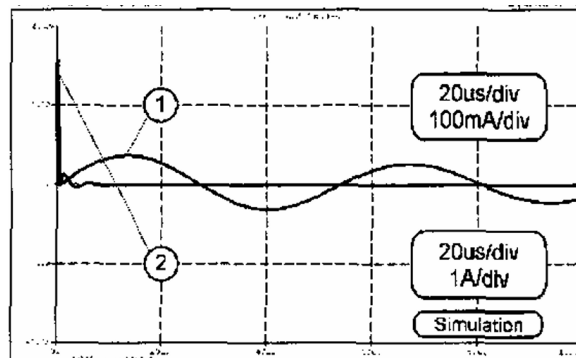
2.6 Pendeteksian Arus *Common Mode*

EMI mode umum pada inverter PWM berasal dari tegangan mode bersama yang terdapat dari keluaran inverter. Tegangan mode bersama ini disebabkan ketika jumlah tegangan fasa di titik netral terhadap pentanahan tidak selalu nol, akibatnya muncul pola tegangan mode bersama yang berubah-ubah. Perubahan itu mempengaruhi kapasitansi parasitik yang ada pada komponen, seperti kabel [8]. Efek ini memicu adanya arus mode bersama yang menyebar ke seluruh sistem, termasuk melalui sumber daya dan jalur pentanahan. Pengujian arus mode bersama pada sistem penggerak PWM dilakukan menggunakan pengaturan eksperimen dalam sistem yang umum digunakan di industri. Pengujian arus mode bersama dapat dilakukan dalam berbagai pengujian antara lain menggunakan alat *current transformer (CT)*, menggunakan metode LISN (*line impedance stabilization network*), *vector network analyzer (VNA)* dll. Pada penelitian Adam Kempinski [17] sistem terdiri dari motor induksi 2 kutub berdaya 1,5 kW yang digerakkan oleh inverter. Pengujian pada Gambar 2.9. menggunakan *current probe* dengan variabel yang diatur adalah frekuensinya. Melalui pengujian ini dapat memvisualisasi dan menganalisis jalur arus mode bersama pada jalur pengkabelan sistem penggerak PWM [17].



Gambar 2. 9 Pengujian arus mode bersama [17]

Pengujian dilakukan pada beberapa titik di sistem PWM penggerak, dimana hasil yang didapat yaitu arus mode bersama yang dihasilkan pada sisi motor sebagian besar kembali ke sumber tegangan mode bersama melalui *heat sink* dan *DC link*.



Gambar 2. 10 Hasil pengujian [17]

Dapat dilihat emisi yang dihasilkan pada sisi motor lebih tinggi dibandingkan dengan sisi sumber ditunjukkan pada Gambar 2.10 yang bisa mengganggu peralatan lain yang akan terintegrasi pada sistem motor penggerak, ini disebabkan karena pada sisi motor sudah terjadi proses *switching* di inverter sehingga emisi yang dihasilkan juga meningkat. Dalam penelitian ini, metode yang akan digunakan adalah metode pengukuran dengan menggunakan *current transformer* (CT), yang merupakan salah satu teknik mendeteksi arus mode bersama (*common mode current*).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tugas akhir ini dimulai sejak Januari 2025 dan selesai pada Juli 2025, bertempat di Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi (TTT), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Adapun jadwal penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jadwal penelitian tugas akhir

Agenda	Bulan						
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul
Studi Literatur dan Studi Bimbingan							
Pembuatan Proposal							
Seminar Proposal							
Pengumpulan Alat dan Bahan							
Pengujian Eksperimental							
Analisis Hasil							
Seminar Hasil							
Ujian Skripsi							

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi ; *processor AMD Ryzen 5 3500U with Radeon Vega Mobile Gfx 2.10 GHz*, memori sebesar 8 GB RAM, dengan *Operating System Windows 11 Home 64bit*.
2. Inverter.
3. Osiloskop.
4. *Current transformer*.
5. *DC Power Supply*.
6. Motor AC.
7. Kabel Daya.
8. *Handheld Spectrum Analyzer*.
9. Multimeter.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari, mengkaji literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir, yaitu mengenai pengujian Interferensi Pengujian arus *common mode* menggunakan *current transformer*. Literatur diambil dari berbagai sumber, seperti buku manual, jurnal ilmiah, prosiding dan laporan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir.

2. Studi Bimbingan

Studi bimbingan dilakukan dengan diskusi bersama dosen pembimbing untuk menyelesaikan persoalan-persoalan selama penelitian. Diskusi dilakukan secara berkala, mulai dari diskusi mengenai penentuan topik dan judul, metode penelitian. Dengan adanya studi bimbingan, penulis banyak mendapatkan pengetahuan serta arahan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

3. Perancangan rangkaian pengujian

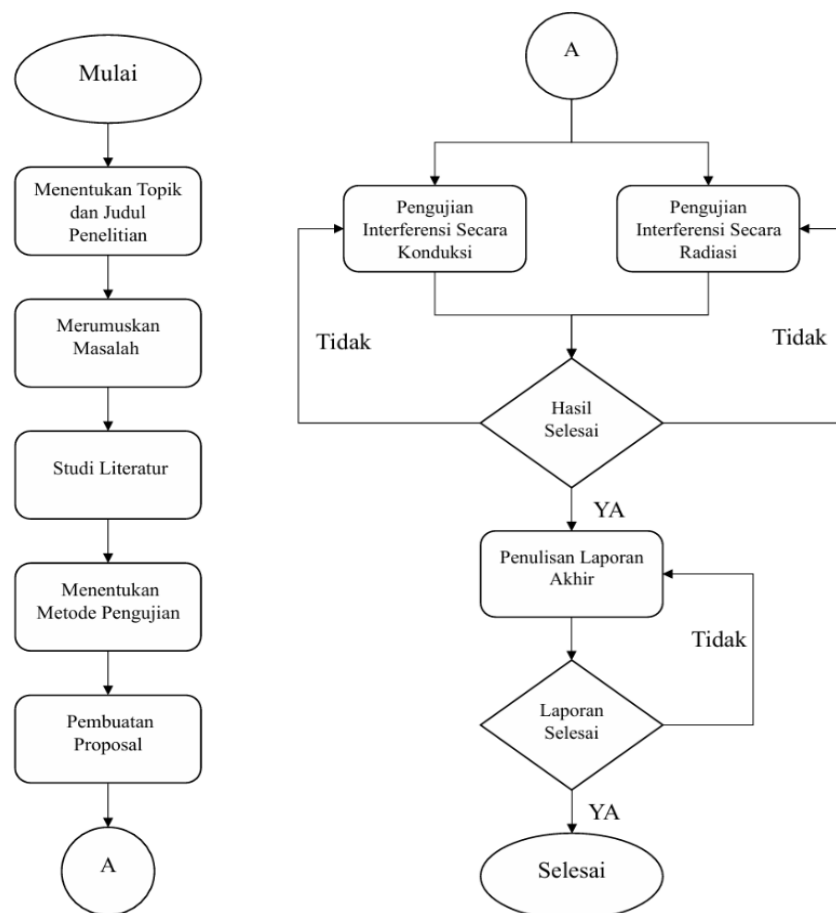
Perancangan rangkaian pengujian tegangan dan arus *common mode* pada kabel daya mobil listrik dan pengujian radiasi medan listrik dan medan magnet yang dilakukan di laboratorium dengan metode *current transformer* dan *handheld spectrum analyzer*. Setelah itu dilakukan analisis mengenai hasil dari pengujian.

4. Penulisan Laporan

Perancangan penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan proposal penelitian. Lalu, hasil penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan akhir penelitian/ skripsi. Laporan ini merupakan dokumentasi pengerjaan penelitian tugas akhir dan dapat dipertanggungjawabkan sebagaimana mestinya.

3.4 Diagram Pelaksanaan Penelitian

Tahap-tahap pelaksanaan penelitian tugas akhir ini seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.5 Peralatan Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung. Pada pengujian ini akan diukur arus *common mode* akibat adanya emisi konduksi pada kabel daya mobil listrik, pengujian medan listrik dan medan magnet akibat emisi radiasi pada kabel daya inverter. Adapun peralatan untuk pengujian eksperimental ini adalah sebagai berikut :

- *DC Power Supply*

Peralatan ini digunakan untuk menyuplai tegangan DC menuju inverter. Gambar 3.2 menunjukkan gambar dari *DC Power Supply* dengan spesifikasi *keluaran tunggal, 300W, switching power supply DC. Wanptek KPS605DF* bisa mensuplai hingga 60V / 5A *Switching Mode DC Power Supply*.



Gambar 3. 2 *DC power supply*

- *Osiloskop*

Peralatan ini digunakan untuk menerima sinyal *noise* yang akan diukur selama pengujian, terutama dalam bentuk arus *common mode*. Osiloskop dengan spesifikasi merk *GWInstek* dengan *display resolution 128x64 pixels, Bandwidth 60-99 Hz* dengan model nomor GDS 1072B. gambar osiloskop ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Osiloskop

- Inverter

Peralatan digunakan sebagai pengubah gelombang suplai DC menjadi gelombang AC untuk menggerakkan motor pada mobil listrik. Jenis Inverter yang dipakai dengan merk *Taffware Power Inverter Pure Sine Wave* DC 24 V to AC 220 V dengan keluaran daya puncak 1000 W dengan nomor seri NBQ4000W. Gambar Inverter ditunjukkan pada Gambar 3.4.

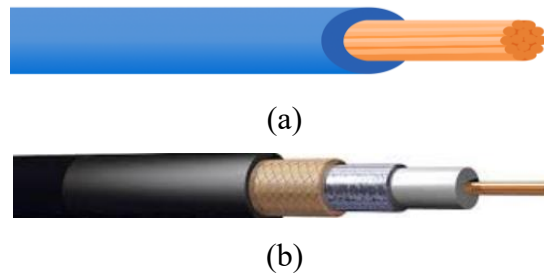


Gambar 3. 4 Inverter

- Kabel daya

Kabel daya digunakan sebagai *Equipment Under Test* (EUT) yaitu yang akan menjadi objek pengujian arus *common mode* pada sistem inverter mobil listrik. Kabel tak berpelingdung yang digunakan yaitu jenis kabel NYAF dengan ukuran dimensi 1.5 mm, dan kabel berpelingdung menggunakan kabel *coaxial* kabel ini terdiri dari konduktor dalam, lapisan isolasi, konduktor luar, dan lapisan. Kedua

kabel ini merupakan kabel daya yang akan menjadi penghubung dari inverter menuju ke motor pada mobil listrik. Kedua kabel ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 (a). Kabel NYAF, (b) kabel *coaxial*.

- Motor AC

Motor AC digunakan sebagai penggerak dari mobil listrik yang diletakkan setelah inverter. Motor AC yang digunakan dengan spesifikasi tegangan masukan yang diperlukan 140-230 VAC, daya yang dibutuhkan 40-60 W dan frekuensi 50 Hz. Berikut gambar motor AC ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Motor AC

- *Current transformer*

Current transformer merupakan peralatan yang akan digunakan untuk mengukur tegangan dan arus *common mode* pada kabel daya mobil listrik. *Current transformer* diletakkan pada kabel daya sisi antara inverter dengan motor AC. CT yang digunakan jenis HFCT SN RFPHC 12943. Gambar 3.7 menunjukkan gambar *current transformer* yang akan digunakan pada pengujian.



Gambar 3. 7 *Current transformer*

- *Handheld Spectrum Analyzer*

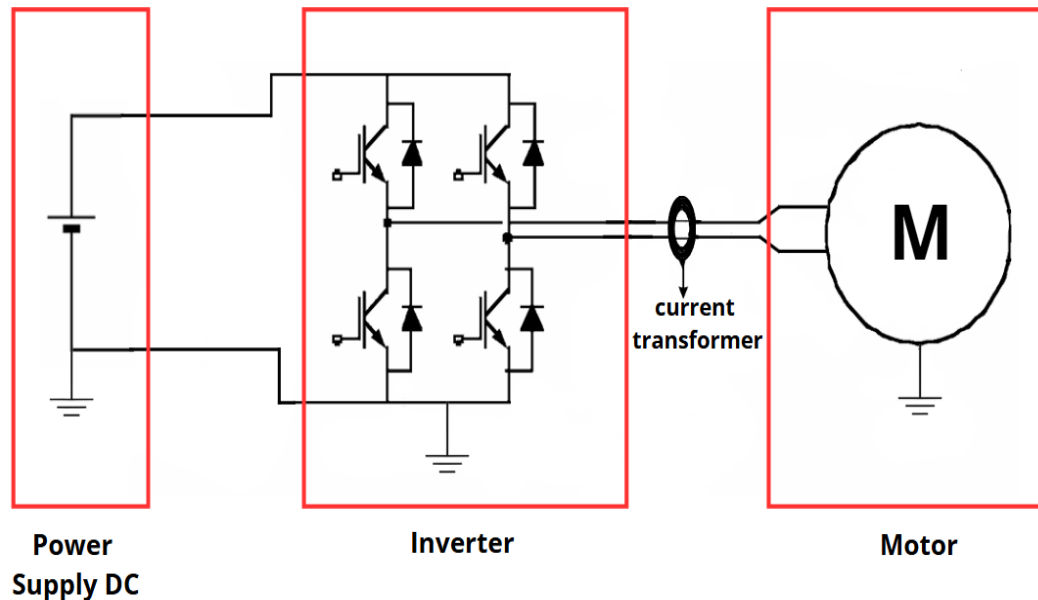
Handheld Spectrum Analyzer merupakan peralatan yang akan digunakan untuk mengukur emisi radiasi berupa medan listrik dan medan magnet pada kabel daya inverter. *Handheld spectrum analyzer* yang digunakan adalah *Aaronia Spectran NF-5035*. Gambar 3.8 menunjukkan gambar *Spectran* yang akan dilakukan dalam pengujian.



Gambar 3. 8 *Handheld spectrum analyzer*

3.6 Pengujian Arus *Common Mode*

Pada pengujian arus *common mode* ini menggunakan metode *current transformer method* [18]. Berikut Gambar 3.9 menunjukkan topologi pengujian arus *common mode* menggunakan *current transformer method*.

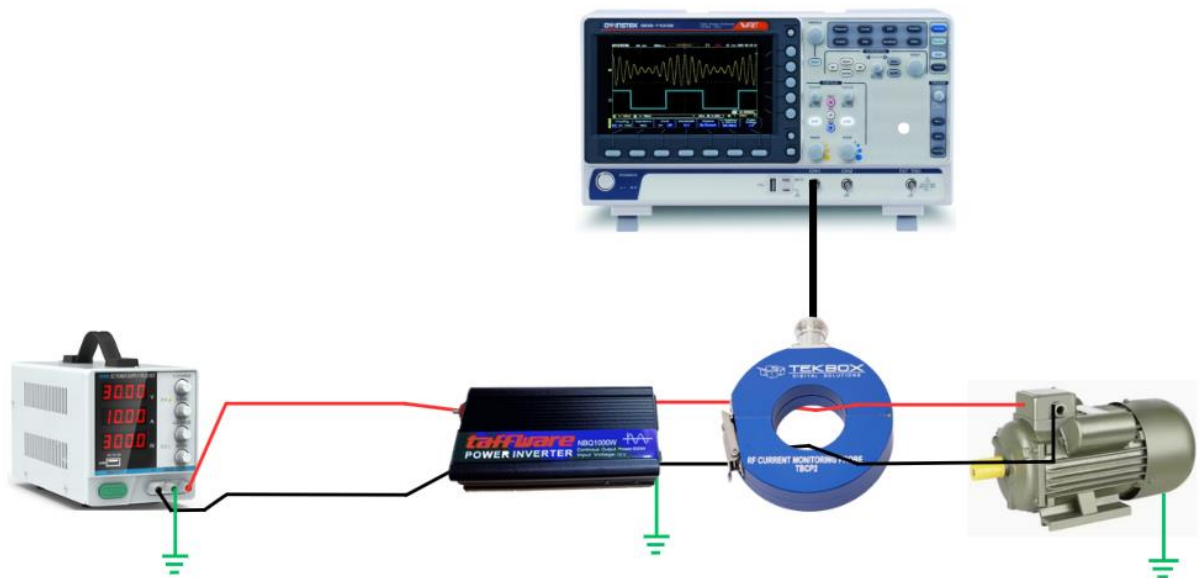


Gambar 3. 9 Gambaran pengujian

Pada pengujian arus *common mode* kali ini akan diuji dengan jenis kabel yang akan digunakan, yaitu kabel berpelindung dan kabel tak berpelindung, serta pengujian akan dilakukan di kabel antara inverter dengan motor AC (*AC side*) [18].

3.6.1 Pengujian Kabel Berpelindung

Pada pengujian ini akan digunakan kabel berpelindung yang akan dipasang pada rangkaian pengujian. Pengujian menggunakan kabel berpelindung jenis *coaxial* RG-6.

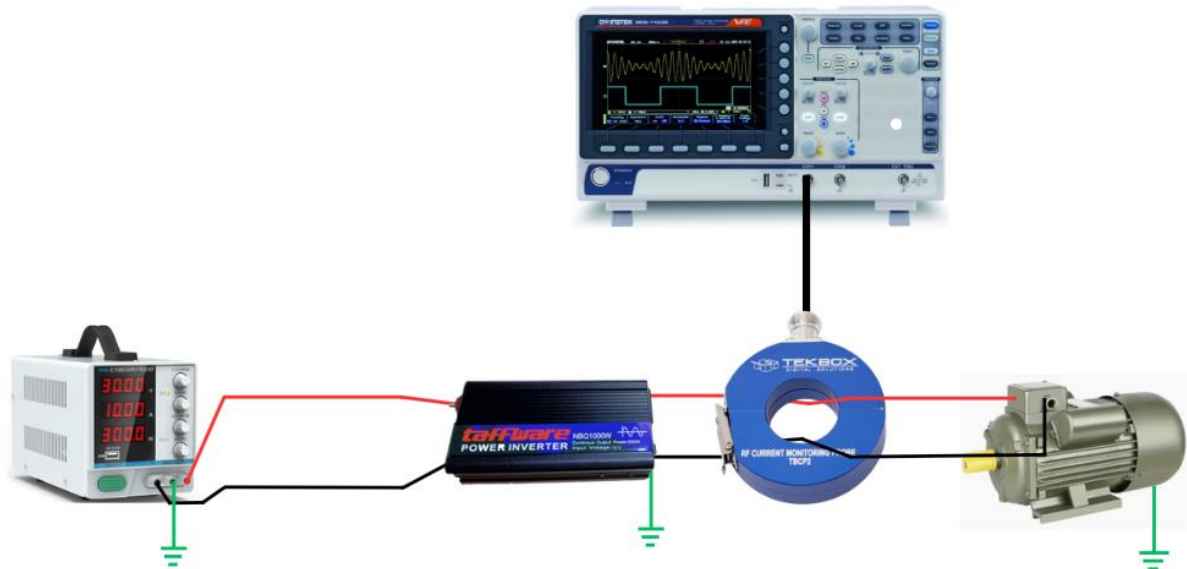


Gambar 3. 10 Pengujian kabel berpelindung

- Siapkan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian arus *common mode* pada kabel daya inverter mobil listrik, yaitu sumber DC, inverter, osiloskop, *current transformer* dan kabel daya berpelindung.
- Letakkan semua peralatan secara rapi sesuai dengan skematik pengukuran pada Gambar 3.10.
- Atur keluaran inverter 170 V ; 195 V ; 220 V ; 245 V lalu hubungkan keluaran inverter menuju ke motor AC menggunakan kabel daya berpelindung yang telah disiapkan.
- Pasangkan *current transformer* pada kabel daya di antara inverter dengan motor AC (*AC side*). Selanjutnya, hubungkan *current transformer* ke osiloskop.
- Ukur tegangan dan arus *common mode* pada tegangan keluaran inverter 170 V ; 195 V ; 220 V ; 245 V.

3.6.2 Pengujian Kabel Tak Berpelindung

Pada pengujian ini akan digunakan kabel tak berpelindung yang akan dipasang pada rangkaian pengujian. Kabel pada pengujian ini menggunakan kabel jenis NYAF 1.5 mm.



Gambar 3. 11 Pengujian kabel tak berpelindung

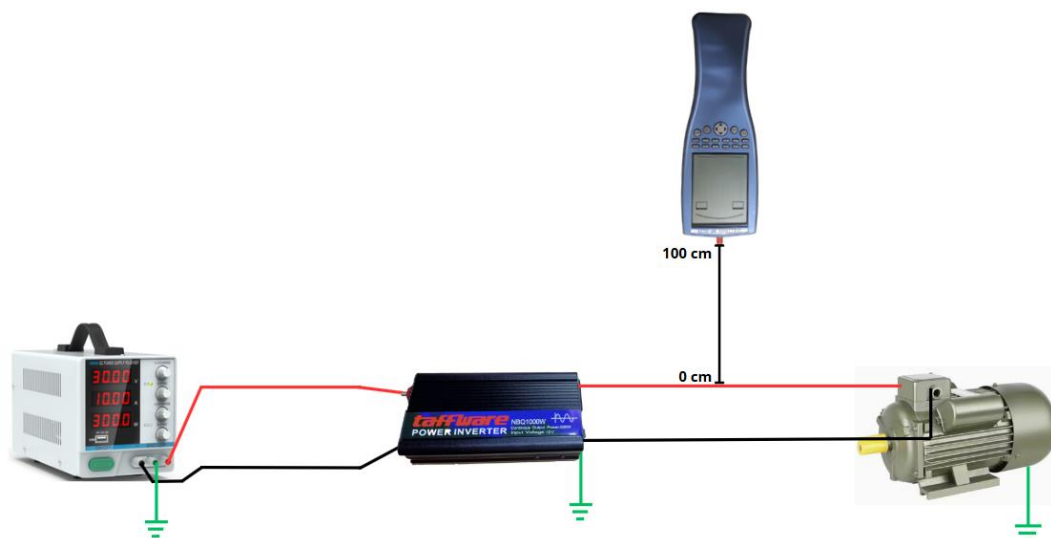
- Siapkan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian arus *common mode* pada kabel daya inverter mobil listrik, yaitu sumber DC, inverter, osiloskop, *current transformer* dan kabel daya tak berpelindung.
- Letakkan semua peralatan secara rapi sesuai dengan skematik pengukuran pada Gambar 3.11.
- Atur keluaran inverter 170 V ; 195 V ; 220 V ; 245 V lalu hubungkan keluaran inverter menuju ke motor AC menggunakan kabel daya tak berpelindung yang telah disiapkan.
- Pasangkan *current transformer* pada kabel daya di antara inverter dengan motor AC (*AC side*). Selanjutnya, hubungkan *current transformer* ke osiloskop.
- Ukur tegangan dan arus *common mode* pada tegangan keluaran inverter 170 V ; 195 V ; 220 V ; 245 V.

3.7 Pengujian Emisi Radiasi

Pada pengujian ini akan diukur nilai medan listrik dan medan magnet pada setiap kabel menggunakan alat *handheld spectrum analyzer* merk *Spectran NF-5035 Series*. Pada pengujian ini jenis kabel yang akan digunakan, yaitu kabel berpelindung jenis *coaxial* RG-6 dan kabel tak berpelindung jenis NYAF.

3.7.1 Pengujian Emisi Radiasi Kabel Berpelindung

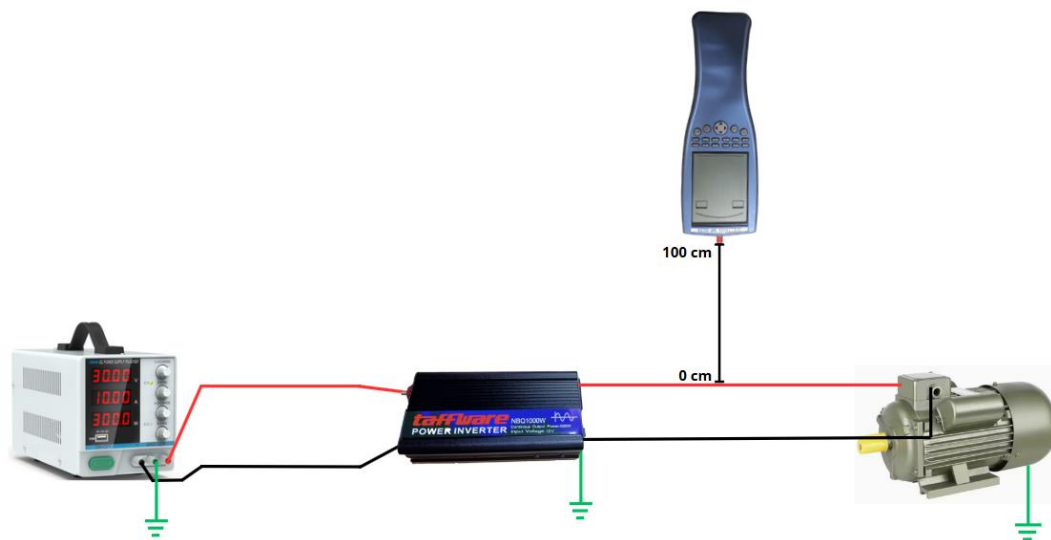
Pada pengujian ini akan digunakan kabel berpelindung yang akan dipasang pada rangkaian pengujian menggunakan kabel jenis *coaxial* RG-6 yang memiliki konduktor dalam, lapisan isolasi, konduktor luar, dan lapisan pelindung. Pengujian dilakukan dengan menggunakan keluaran tegangan keluaran inverter yang divariasikan, yaitu sebesar 170 V; 195 V; 220 V dan 245 V untuk melihat bagaimana perbedaan level tegangan dapat mempengaruhi tingkat emisi gangguan elektromagnetik yang dihasilkan. Pengukuran nilai medan listrik dan medan magnet dilakukan menggunakan alat ukur *Spectran* yang diposisikan dengan jarak bervariasi terhadap kabel, mulai dari 10 - 100 cm.



Gambar 3. 12 Pengujian emisi radiasi kabel berpelindung

3.7.2 Pengujian Emisi Radiasi Kabel Tak Berpelindung

Pada pengujian ini akan digunakan kabel tak berpelindung yang akan dipasang pada rangkaian pengujian menggunakan kabel jenis NYAF yang memiliki yang memiliki inti (*core*) tunggal dengan inti tembaga serabut dan dilapisi PVC (*Polyvinyl Chloride*). Pengujian dilakukan dengan menggunakan keluaran tegangan keluaran inverter yang divariasikan, yaitu sebesar 170 V; 195 V; 220 V dan 245 V dilakukan menggunakan alat ukur *Spectran* yang diposisikan dengan jarak bervariasi terhadap kabel, mulai dari 10 - 100 cm.



Gambar 3. 13 Pengujian emisi radiasi kabel tak berpelindung.

3.8 Perhitungan

Pada pengujian arus *common mode* di kabel daya inverter mobil listrik selain mendapatkan grafik hasil pengujian, medan listrik dan medan magnet, ada beberapa perhitungan yang akan dilakukan untuk melihat perbandingan teoritis dengan pengujian, yaitu sebagai berikut :

- Arus *common mode*

$$I_{cm} = \frac{V_{cm}}{Z_{impedansi\ transfer}} \quad (3.1)$$

Dengan : V_{cm} = Tegangan *common mode*

$$Z_{impedansi\ transfer} = 2,7 \, \Omega$$

- *Electric Field* (E)

$$E = 4,19 \times 10^{-7} \frac{|I_{probe}| \times f \times l}{d} \quad (3.2)$$

Dengan : I_{probe} = arus pada konduktor atau kabel (A)

l = panjang konduktor atau kabel (m)

d = adalah jarak uji dari kabel (m)

f = frekuensi derau (Hz)

- *Magnetic Field* (H)

$$H = \frac{E}{Z_0} \quad (3.3)$$

Dengan : Z_0 = Impedansi intrinsik ruang hampa ($Z_0 = 377 \, \Omega$)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun Kesimpulan yang dapat diperoleh melalui penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian secara konduksi nilai tegangan *common mode* dan arus *common mode* semakin besar dengan meningkatnya tegangan keluaran inverter. Hasil pengujian dengan variasi tegangan 170 V; 195 V; 220 V; 245 V pada kabel berpelindung didapatkan tegangan *common mode* yaitu 0,72 V; 0,80 V; 0,92 V dan 1,17 V, dan arus *common mode* yaitu 0,2667 A; 0,2963 A; 0,3407 A dan 0,4318 A. Sedangkan pada kabel tak berpelindung tegangan *common mode* yaitu 1,24 V; 1,36 V; 1,48 V dan 1,68 V dan arus *common mode* yaitu 0,4593 A ; 0,5037 A ; 0,5481 A dan 0,6222 A berturut-turut untuk tegangan 170 V; 195 V ; 220 V ; 245 V.
2. Berdasarkan hasil pengujian interferensi elektromagnetik secara konduksi derau bertambah dengan meningkatnya tegangan keluaran inverter. Derau yang dihasilkan oleh kabel berpelindung mempunyai nilai yang lebih kecil dari yang dihasilkan kabel yang tidak berpelindung. Pada kabel berpelindung nilai derau yaitu -31,049 dB ; -28,137 dB ; -26,923 dB dan -23,034 dB berturut-turut untuk tegangan 170 V ; 195 V ; 220 V ; 245 V. Sedangkan pada kabel tidak berpelindung nilai derau terukur yaitu -22,416 dB ; -21,813 dB ; -18,003 dB ; -17,714 dB berturut-turut untuk tegangan 170 V ; 195 V ; 220 V ; 245 V.
3. Berdasarkan hasil pengujian interferensi elektromagnetik secara radiasi, medan listrik semakin kecil dengan bertambahnya jarak pengukuran dari kabel daya inverter. Medan Listrik terbesar terjadi pada jarak 10 cm. Kabel berpelindung

menghasilkan radiasi medan listrik 40,58 V/m; 45,46 V/m; 50,38 V/m; dan 55,95 V/m dengan tegangan berturut-turut 170 V; 195 V; 220 V; 245 V. Sedangkan, kabel tak berpelindung menghasilkan radiasi medan listrik 42,88 V/m; 50,12 V/m ; 54,34 V/m; dan 63,81 V/m dengan tegangan berturut-turut 170 V; 195 V; 220 V; 245 V.

4. Berdasarkan hasil pengujian interferensi elektromagnetik secara radiasi, medan magnet semakin menurun dengan bertambahnya jarak pengukuran dari kabel daya inverter. Medan magnet tertinggi pada jarak 10 cm, kabel berpelindung menghasilkan radiasi medan magnet 31,19 A/m; 43,85 A/m ; 51,42 A/m; dan 53,28 A/m dengan tegangan berturut-turut 170 V; 195 V; 220 V; 245 V. Sedangkan, kabel tak berpelindung menghasilkan radiasi medan magnet 48,01 A/m; 51,73 A/m; 54,2 A/m; dan 57,21 A/m dengan tegangan berturut-turut 170 V; 195 V; 220 V; 245 V.
5. Semakin tinggi tegangan keluaran inverter semakin besar nilai tegangan *common mode*, arus *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet.
6. Kabel berpelindung menghasilkan tegangan *common mode*, arus *common mode*, derau, medan listrik dan medan magnet lebih kecil dibandingkan kabel tak berpelindung. Pelindung (*shielding*) pada kabel berpelindung berfungsi mengurangi nilai interferensi elektromagnetik secara konduksi maupun radiasi.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan inverter pada pengujian selanjutnya bisa menggunakan inverter dengan model berbeda dari yang ada di penelitian.
2. Simulasi sangat direkomendasikan untuk memvalidasi hasil pengujian.
3. Pengukuran medan listrik dan medan magnet bisa menggunakan alat ukur medan dengan frekuensi yang lebih tinggi.
4. Pada pengujian selanjutnya rangkaian pengujian bisa menggunakan suplai tegangan, kapasitas baterai, beban motor yang lebih besar sehingga mendapatkan hasil pengujian yang lebih representatif terhadap kondisi operasional sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*, Second. 2010.
- [2] M. H. Nagrial and A. Hellany, ‘*Radiated and Conducted EMI Emissions in Switch Mode Power Supplies (SMPS): sources, causes and predictions*’.
- [3] J. S. Lai, X. Huang, E. Pepa, S. Chen, and T. W. Nehl, ‘Inverter EMI Modeling and Simulation Methodologies’, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 3, pp. 736–744, Jun. 2006.
- [4] M. H. . Rashid, *Power electronics : devices, circuits, and applications*, Fourth. Westford: Pearson Education, 2014.
- [5] Y. C. Son and S. K. Sul, ‘*Conducted EMI in PWM inverter for household electric appliance*’, *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 38, no. 5, pp. 1370–1379, 2002.
- [6] H. Bishnoi, A. C. Baisden, P. Mattavelli, and D. Boroyevich, ‘*EMI Modeling Of Half-Bridge Inverter Using A Generalized Terminal Model*’, *Center For Power Electronics Systems*, vol. 1, pp. 468–474, 2011.
- [7] F. Gao, C. Ye, Z. Wang, and X. Li, ‘*Improvement of Low-Frequency Radiated Emission in Electric Vehicle by Numerical Analysis*’, *Journal of Control Science and Engineering*, 2018.
- [8] B. Revol, J. Roudet, J. L. Schanen, and P. Loizelet, ‘*EMI study of three-phase inverter-fed motor drives*’, *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 47, no. 1, pp. 223–231, Jan. 2011.

- [9] R. Keller, *Design for Electromagnetic Compatibility-In a Nutshell Theory and Practice*, First. Einsiedeln: Springer Nature Switzerland AG, 2022.
- [10] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, Second. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [11] H. Dai, T. M. Jahns, R. A. Torres, D. Han, and B. Sarlioglu, 'Comparative Evaluation of Conducted Common-Mode EMI in Voltage-Source and Current-Source Inverters using Wide-Bandgap Switches', in *2018 IEEE Transportation and Electrification Conference and Expo, ITEC 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Aug. 2018, pp. 904–909.
- [12] T. Zubaidah, B. Kanata, Paniran, and A. Yani, 'Static and Dynamic Magnetic Fields Scattering on a Mini Magneto-static Flux Manipulator for Wireless Power Transfer', *Research Group on Applied Electromagnetic Technology*, vol. 1, pp. 377–382, 2017.
- [13] F. Gao, C. Ye, Z. Wang, and X. Li, 'Improvement of Low-Frequency Radiated Emission in Electric Vehicle by Numerical Analysis', *Journal of Control Science and Engineering*, vol. 2018.
- [14] J. Luszcz, 'Motor Cable Influence on the Converter Fed AC Motor Drive Conducted EMI Emission', *COMPATIBILITY AND POWER ELECTRONICS*, vol. 1, pp. 386–389, 2009.
- [15] G. Grandi, D. Casadei, and U. Reggiani, 'Common- and differential-mode HF current components in AC motors supplied by voltage source inverters', *IEEE Trans Power Electron*, vol. 19, no. 1, pp. 16–24, Jan. 2004.
- [16] S. Hrigua, F. Costa, B. Revol, and C. Gautier, 'Relevant Parameters of SPICE3 MOSFET Model for EMC Analysis', *National institute of Applied Sciences and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 319–323, 2009.
- [17] A. Kempski, R. Smolenski, and R. Strzelecki, 'Common mode current paths and their modeling in PWM inverter-fed drives', in *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, 2002, pp. 1551–1556.

- [18] T. G. Arora, M. M. Renge, and M. V Aware, '*Effects of Switching Frequency and Motor Speed on Common Mode Voltage, Common Mode Current and Shaft Voltage in PWM Inverter-fed Induction Motors*', IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), vol. 1, p. 583, 2017.
- [19] M. Dong, L. Zhai, R. Gao, and X. Zhang, '*Research on Radiated Electromagnetic Interference (EMI) from Power Cables of a Three-phase Inverter for Electric Vehicles*', IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), vol. 1, pp. 1–5, 2014.

LAMPIRAN