

**ANALISIS SIMULASI *FULL BRIDGE LLC RESONANT CONVERTER*
20kw UNTUK *CHARGING BATERAI ELECTRIC VEHICLE (EV)***

(Skripsi)

Oleh

**RIDHO ALFAT
1815031072**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Abstrak

ANALISIS SIMULASI *FULL BRIDGE LLC RESONANT CONVERTER* 20kw UNTUK *CHARGING BATERAI ELECTRIC VEHICLE (EV)*

Oleh

Ridho Alfat

Peningkatan jumlah kendaraan listrik saat ini memerlukan infrastruktur pengisian daya yang handal dan efisien. Salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi pengisian daya kendaraan listrik adalah dengan menggunakan konverter bertopologi *Fullbridge LLC resonant converter*, karena *LLC resonant converter* dapat mencapai kondisi *Zero Voltage Switching (ZVS)* dan *Zero Current Switching (ZCS)* untuk mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada saat switching. Paper ini membahas tentang analisis dan simulasi dari *Fullbridge LLC resonant converter* berkapasitas 20kW untuk pengisian baterai kendaraan listrik. Konverter ini menggunakan dua buah transformator yang terhubung secara seri-paralel untuk mengurangi rugi-rugi daya dengan membagi rata rugi-rugi ke masing-masing transformator dan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi konverter. Metode simulasi yang digunakan adalah simulasi berbasis komputer menggunakan perangkat lunak simulink matlab. Hasil simulasi matlab menunjukkan bahwa *Fullbridge LLC resonant converter* dengan menggunakan transformator seri-paralel memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi konvensional yang hanya menggunakan satu transformator. Konverter ini mampu menghasilkan tegangan serta arus keluaran yang stabil dan konstan dalam rentang yang diinginkan untuk pengisian baterai kendaraan listrik.

Kata Kunci : Kendaraan Listrik, *LLC resonant converter*, *ZVS*, *ZCS*, Transformator, Efisiensi.

Abstrack

***SIMULATION ANALYSIS OF FULL BRIDGE LLC RESONANT
CONVERTER 20 kW FOR ELECTRIC VEHICLE (EV) BATTERY
CHARGING***

By

Ridho Alfat

The increasing number of electric vehicles today requires a reliable and efficient charging infrastructure. One solution to increase the efficiency of charging electric vehicles is to use a converter with a Fullbridge LLC resonant converter topology, because the LLC resonant converter can achieve Zero Voltage Switching (ZVS) and Zero Current Switching (ZCS) conditions to reduce losses that occur during switching. . This paper discusses the analysis and simulation of a Fullbridge LLC resonant converter with a capacity of 20kW for charging electric vehicle batteries. This converter uses two transformers connected in series-parallel to reduce power losses by dividing the losses equally to each transformer and aims to increase converter efficiency. The simulation method used is a computer-based simulation using simulink matlab software. Matlab simulation results show that the Fullbridge LLC resonant converter using a series-parallel transformer provides higher efficiency compared to the conventional configuration which only uses one transformer. This converter is capable of producing a stable and constant output voltage and current within the desired range for charging electric vehicle batteries.

Keywords : *Electric Vehicle, LLC resonant converter, ZVS, ZCS, Transformers, Efficiency.*

**ANALISIS SIMULASI *FULL BRIDGE LLC RESONANT CONVERTER*
20 kw UNTUK *CHARGING BATERAI ELECTRIC VEHICLE (EV)***

Oleh:

RIDHO ALFAT

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **ANALISIS SIMULASI FULL BRIDGE LLC
RESONANT CONVERTER 20kw UNTUK
CHARGING BATERAI ELECTRIC
VEHICLE (EV)**

Nama Mahasiswa : **Ridho Alfath**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815031072**


Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



1. Komisi Pembimbing

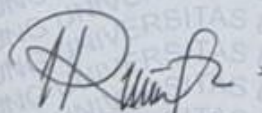

Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.
NIP. 197302151999032003

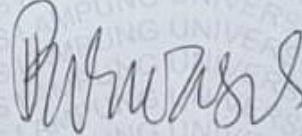

Syaiful Alam, S.T., M.T.
NIP. 196904161998031004

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

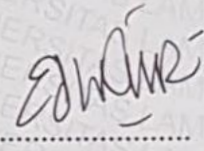

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001


Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 197404222000122001

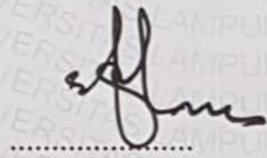
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

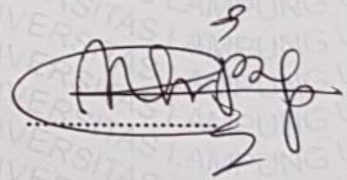
Ketua : **Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Syaiful Alam, S.T., M.T.**



Penguji : **Dr. Eng. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Februari 2023

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang telah disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 10 April 2023



Ridho Alfat
NPM 1815031072

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Selatan, 18 Mei 2001. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Bustomi dan Ibu Nurmaini.

Penulis memiliki riwayat pendidikan antara lain : MI Al-jauharotunnaqiyyah dari tahun 2006 hingga 2012, SMP Negeri 2 Katibung dari tahun 2012 hingga 2015 dan SMA Negeri 1 Katibung pada tahun 2015 hingga 2018.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur PMPAP (Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai Anggota Departemen PPD divisi Kerohanian pada Periode 2019 dan pada periode 2020 diamanahkan sebagai kepala divisi Kerohanian. Kemudian pada tahun 2020 – 2022, penulis berkesempatan menjadi asisten di Laboratorium Konversi Energi Elektrik serta menjadi asisten Mata Kuliah Praktikum Dasar Tenaga Listrik, Mesin Mesin Listrik dan Praktikum Elektronika Daya. Selain proses perkuliahan, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Lentera Bumi Nusantara (LBN) “Pemodelan Generator Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg) 12s8p Dengan Variasi Kecepatan”. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan magang mandiri MBKM di PT. Otomasi Raja Asia (TORASIA) Batam selama 6 bulan. Penulis juga pernah membuat inverter 1phase untuk daya rendah.

PERSEMBAHAN



Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji Syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa dan Maha Besar atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta Solawat kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wa Sallam yang selalu menjadi suri tauladan bagi kehidupan

KUPERSEMBAHKAN DENGAN TULUS KARYA INI TERUNTUK:

"Ibunda Nurmaini dan Ayahanda Bustomi sebagai wujud cinta, kasih sayang, dan bakti atas segala yang telah diberikan. Juga tidak lupa kepada kakak kakak saya, seluruh keluarga besar saya atas do'a dan motivasi yang selalu diberikan"

"Dosen Pembimbing dan Penguji serta Civitas Akademik Jurusan Teknik Elektro, terimakasih telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan ilmu yang sangat banyak selama perkuliahan serta pengerjaan skripsi ini"

"Tak lupa kepada teman-teman ELTICS 2018, terimakasih telah menemani, membantu, dan pembelajaran kepada saya selama duduk dibangku perkuliahan."

MOTTO

*“Maka nikmat tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?”
(QS.Ar-rahman:18)*

*“Amor fathi fatum bruthum(cintailah takdirmu walaupun itu
kejam)”
(Friedrich Nietzsche)*

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(QS. Al-Insyirah:5-6)*

*“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan
kesanggupannya”
(QS. Al-Baqarah:286)*

*“Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar”
(Umar bin Khattab)*

*“Manusia yang berakhlak ialah
manusia yang suka menerima dan meminta nasihat”
(Umar bin Khatab RA)*

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan Allah Subhanahu Wata'ala atas segala karunia, rahmat, dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Solawat serta salam tidak lupa juga penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan yang baik seluruh umat manusia dan senantiasa mengharapkan syafaat nya di yaumul akhir kelak.

Skripsi dengan judul “**Analisis Simulasi Full Bridge LLC Resonant Converter 20kw Untuk Charging Baterai Electric Vehicle(EV)**” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT sebagai Zat yang selalu memberikan rahmat, karunia, serta berbagai nikmat-Nya yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtua tercinta Bapak Bustomi dan Ibu Nurmaini, terimakasih atas segala kasih sayang, perhatian, dukungan, dan doa pada tiap jalan perjuangan selama penulis menempuh jalan untuk masa depan.
3. Kakak-kakak dan keluarga tersayang, yang sudah memberikan masukan, dukungan, serta doa untuk penulis.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Ibu Dr.Eng.Endah Komalasari,S.T.,M.T. selaku pembimbing utama yang

telah memberikan bimbingan rutin, motivasi, arahan dan pandangan mengenai dunia pekerjaan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.

9. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping dan telah memberikan bimbingan, masukan, arahan, dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis dengan baik
10. Bapak Dr.Eng.Charles Ronald Harahap,S.T.,M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
11. Bapak Heri Gusmedi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, pengetahuan, arahan dan bimbingan yang membangun saat penulis menempuh perkuliahan mulai dari semester I hingga semester X.
12. Segenap Dosen dan staff di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, wawasan dan pengalaman yang sangat bermanfaat bagi penulis ke depannya.
13. Segenap keluarga besar Laboratorium Konversi Energi Elektrik: Bu Endah dan Mba Ani atas kerjasamanya dan nasihatnya selama studi. Kepada Rekan Asisten LKEE 2018: Richard, Alpian, Ali, Aweng, Riko, Syuja, Mardi, Osan, Bani yang telah memberikan semangat, motivasi untuk berjuang dan juga memberikan kebahagiaan setiap harinya di Lab. Dan untuk kakak-kakak asisten Lab. LKEE 2017 dan dan 2016 Kak Yosa, Kak Aby,Kak Awi Kak Gesang dan Rina yang memberikan ilmu dan semangat. Untuk adik-adik asisten LKEE 2019 dan 2020: Usman, Rio dan lainnya yang telah banyak membantu penulis.
14. Angkatan tercinta ELTICS 2018, terimakasih sudah menjadi rumah, saudara dan teman dalam segala kesusahan dan kebaikan yang sudah kalian berikan.
15. Segenap keluarga besar HIMATRO yang telah mengajarkan berorganisasi dan mengajarkan banyak hal dan juga menjadi rumah yang sangat nyaman selama kuliah. Sukses selalu Himpunan ku HIMATRO Luar Biasa.
16. Segenap keluarga besar Torasia, serta teman-teman magang, rio, usman dan Ikhsan yang sudah membantu serta menemani mulai sejak magang, bimbingan, hingga sampai menyelesaikan skripsi.
17. Segenap teman-teman silampari, Budi, Azis, Edo, Raja, Doyog, Pian, yang sudah memberikan masukan serta kritikan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
18. Semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan laporan Skripsi dan memberikan bantuan, *support* serta do'a yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
19. *Last but not least. I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I*

wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having No. days off, I wanna thank me for never quitting.

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

Bandar Lampung, 10 April 2023

Ridho Alfat

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Rumusan Masalah.....	2
1.6 Hipotesis	2
1.7 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>EV Charger</i>	4
2.2 Konverter	6
2.2.1 <i>DC-DC Converter</i>	6
2.2.2 <i>Inverter</i>	9
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan.....	11
3.3 Metode Penelitian	12
3.4 <i>LLC resonant converter</i>	12
3.5 Pengontrol PI.....	18
3.6 Simulink Matlab	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pemodelan dan Simulasi.....	22

4.1.1	Penentuan <i>Gain Curve</i>	27
4.1.2	Perhitungan Nilai Komponen LLC Konverter.....	30
4.2	Hasil dan Analisis Simulasi Konverter	32
4.2.1	Simulasi Arus Keluaran (I_o) dan Arus Dioda (I_d) pada <i>Full-Bridge LLC Resonant Converter</i> Topologi Transformator Seri-Paralel terhadap <i>Switching</i> MOSFET	32
4.2.2	Simulasi Tegangan MOSFET 1&3 ($V_{ds1,3}$) dan Tegangan MOSFET 2&4 ($V_{ds2,4}$) pada <i>Full-Bridge LLC Resonant Converter</i> Topologi Transformator Seri-Paralel terhadap <i>Switching</i> MOSFET	37
4.2.3	Simulasi Arus MOSFET 1&3 ($I_{ds1,3}$) dan Tegangan MOSFET 2&4 ($I_{ds2,4}$) pada <i>Full-Bridge LLC Resonant Converter</i> Topologi Transformator Seri-Paralel terhadap <i>Switching</i> MOSFET	38
4.2.4	Analisis Kondisi ZVS pada <i>Full-Bridge LLC Resonant Converter</i> Topologi Transformator Seri-Paralel terhadap <i>Switching</i> MOSFET	39
4.2.5	Analisis Kondisi ZCS pada <i>Full-Bridge LLC Resonant Converter</i> Topologi Transformator Seri-Paralel terhadap <i>Switching</i> MOSFET	40
4.2.6	Analisis Hasil Simulasi V_{out} , I_{out} , ILr , ILm , pada <i>Full-Bridge LLC Resonant Converter</i> Topologi Transformator Seri-Paralel dengan V_{IN} yang Variatif	41
4.3	Design LLC menggunakan Variasi LM	49
4.4	Keluaran LLC konverter menggunakan 1 <i>Transformer</i>	58
4.5	Estimasi Pengisian baterai menggunakan LLC konverter 20 kW	62
4.6	Losses in MOSFET	65

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	68
5.2	Saran.....	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram blok DC-DC <i>converter</i>	7
2. DC-DC <i>converter</i> tipe linear	8
3. DC-DC <i>converter</i> tipe switch	9
4. Rangkaian inverter <i>full bridge</i>	9
5. Rangkaian <i>LLC converter</i>	12
6. <i>LLC resonant tank</i>	13
7. Mode 1 ketika mosfet 1 dan 3 ON	14
8. Mode 2 ketika mosfet 2 dan 4 ON	15
9. Rangkaian ekuivalen <i>LLC konverter</i>	17
10. Struktur Control PI	19
11. Software Matlab 2021	20
12. <i>LLC Konverter</i>	24
13. Blok sistem kontrol PI	25
14. Rangkaian ekuivalen <i>LLC konverter</i>	26
15. <i>Gain curve</i>	28
16. Pembagian wilayah kerja pada kurva penguatan	29
17. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1 sampai 4, Keluaran Dioda (<i>I_d</i>), dan Arus Keluaran (<i>I_o</i>)	32
18. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1 sampai 4 (S1-S4), Arus Dioda (<i>I_d</i>), dan Arus Keluaran (<i>I_o</i>) pada (<i>t₀ – t₁</i>)	33
19. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1 sampai 4 (S1-S4), Arus Dioda (<i>I_d</i>), dan Arus Keluaran (<i>I_o</i>) pada (<i>t₁ – t₂</i>)	34
20. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1 sampai 4 (S1-S4), Arus Dioda (<i>I_d</i>), dan Arus Keluaran (<i>I_o</i>) pada (<i>t₂ – t₃</i>)	35
21. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1 sampai 4 (S1-S4), Arus Dioda (<i>I_d</i>), dan Arus Keluaran (<i>I_o</i>) pada (<i>t₃ – t₄</i>)	36
22. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1-4 (S1-S4), Tegangan MOSFET 1&3 (<i>V_{ds1,3}</i>), dan Tegangan MOSFET 2&4 (<i>V_{ds2,4}</i>)	37
23. Hasil Simulasi <i>Switching</i> pada MOSFET 1-4 (S1-S4), Arus MOSFET 1&3 (<i>I_{ds1,3}</i>), dan Arus MOSFET 2&4 (<i>I_{ds2,4}</i>)	38
24. Gelombang Kondisi ZVS	40

25. Gelombang Kondisi ZCS	41
26. V_{out} 400 V dan I_{out} terhadap referensi saat $f_s > f_r$	42
27. I_{Lr} dan I_{Lm} saat V_{out} 400V dan $f_s > f_r$	43
28. V_{out} 500V dan I_{out} terhadap referensi saat $f_s = f_r$	45
29. I_{Lr} dan I_{Lm} saat $f_s = f_r$	45
30. V_{out} 600 V dan I_{out} terhadap referensi saat $f_s < f_r$	47
31. I_{Lr} dan I_{Lm} saat $f_s < f_r$	48
32. Operating Region for design 1	50
33. Gelombang Simulasi pada desain 1 dengan V_{out} 600V	50
34. Operating region for design 2	52
35. Gelombang Simulasi pada desain 2 dengan V_{out} 600V	52
36. Operating region for design 3	53
37. Gelombang Simulasi pada desain 3 dengan V_{out} 600V	54
38. Operating region for design 4	55
39. Gelombang Simulasi pada desain 4 dengan V_{out} 600V	55
40. Perbandingan rugi-rugi saat V_{in} 220V	57
41. Perbandingan rugi-rugi saat V_{in} 300V	57
42. Perbandingan rugi-rugi saat V_{in} 380V	58
43. Tegangan (grafik berwarna hitam) dan arus keluaran (grafik berwarna merah) saat V_{ref} 400V	59
44. Tegangan (grafik berwarna hitam) dan arus keluaran (grafik berwarna merah) saat V_{ref} 500V	59
45. Tegangan (grafik berwarna hitam) dan arus keluaran (grafik berwarna merah) saat V_{ref} 600V	60
46. Efisiensi Konverter LLC kW dengan Transformator tunggal.....	62
47. Charging Point Mode Pengisian Rumah untuk Hyundai Ioniq 5.....	63
48. Efisiensi LLC konverter 20 kW	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jadwal kegiatan penelitian	11
2. Parameter Spesifikasi Konverter	30
3. Parameter nilai komponen.....	32
4. Ringkasan 4 desain konverter resonansi LLC.....	56
5. Keluaran Konverter dengan 1 Transformator	61
6 Estimasi <i>Losses</i> pada mosfet.....	65
7. Keluaran konverter.....	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) Republik Indonesia No. 55 Tahun 2019 yang berisi tentang percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*Battery Electric Vehicle*)/BEV/KBLBB untuk transportasi jalan, hal ini akan menyebabkan pesatnya perkembangan BEV yang ada di Indonesia.

Perkembangan BEV membutuhkan infrastruktur kendaraan listrik. Infrastruktur kendaraan listrik ini membutuhkan suatu elemen penting, yaitu konverter daya yang mensuplai energi kendaraan listrik. Konverter daya yang sudah ada dipasaran saat ini yaitu konverter daya dengan topologi *phaseshift full bridge* konverter yang memiliki beberapa kelemahan diantaranya memiliki *noise electromagnetic interface* (EMI) yang besar, serta efisiensi daya yang rendah. Dengan adanya kebutuhan suplai energi kendaraan listrik maka pada penelitian ini diusulkan DC-DC konverter frekuensi tinggi terisolasi yaitu *LLC resonant converter*.

Pada konverter tipe *soft switching* yaitu *LLC resonant converter* memiliki keunggulan dalam hal efisiensi yang lebih tinggi dan EMI yang lebih rendah. *LLC resonant converter* dapat mencapai kondisi *Zero Voltage Switching* (ZVS) untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh proses *switching*, selain itu *LLC resonant converter* memiliki keunggulan yaitu kepadatan daya yang tinggi. Dengan keunggulan tersebut dilakukan penelitian full bridge *LLC resonant converter* dengan daya keluaran sebesar 20 kW yang akan disimulasikan menggunakan *software* simulink matlab.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penulis melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensimulasikan LLC converter yang memiliki daya keluaran sebesar 20 kW dengan sistem *control close loop PI*.
2. Menganalisis Kinerja *LLC resonant converter* dengan keluaran 20 kW

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mampu mensimulasikan dan menganalisis kinerja *LLC converter* serta dapat digunakan dalam pengembangan penggunaan *LLC resonant converter*.
2. Memberikan informasi kepada dunia penelitian tentang peluang *LLC converter* sehingga dapat digunakan untuk *charging EV*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Converter* yang digunakan yaitu *LLC resonant converter*
2. *Control* yang digunakan yaitu *control close loop pi*
3. Rancangan berupa simulasi menggunakan *software*.

1.5 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain *LLC resonant converter* dengan menghitung besaran parameter komponen yang digunakan.
2. Bagaimana mengatur *control close loop* pengendali konverter.

1.6 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Konverter mampu menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan beban. Dimana kenaikan dan penurunan tegangan diatur menggunakan *control close loop* dengan *control feedback* untuk mengatur frekuensi resonansi.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori, tentang beberapa pembahasan karya tulis dan literatur yang membahas tentang EV Charger, konverter, dan Inverter.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang hal-hal yang dilakukan dalam penelitian, seperti; Waktu dan tempat penelitian, Alat dan Bahan, Tahapan Penelitian, *LLC resonant converter*, *control PI* dan simulink matlab.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan Hasil dan analisa yang didapatkan pada penelitian

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Memuat simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, dan saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *EV Charger*

Stasiun pengisian kendaraan listrik atau EVCS (*Electric Vehicle Charging Station*) atau stasiun pengisian baterai kendaraan listrik adalah tempat dan perangkat untuk mengisi baterai kendaraan listrik. Stasiun pengisian EV adalah elemen kunci dari perencanaan global untuk menggemparkan kendaraan listrik pribadi dan publik. Fungsi utama dari stasiun pengisian kendaraan listrik, disingkat EVCS adalah untuk memasok energi listrik ke baterai kendaraan. EVCS adalah tempat di mana kendaraan listrik "minum" seperti kendaraan bermesin pembakaran dalam yang diisi bahan bakar di SPBU. Namun, keunggulan kendaraan listrik adalah Anda dapat melakukan "titik minum" dengan beberapa cara. Stasiun Pengisian Serbaguna disebut Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) atau Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU). Jenis pengisi daya untuk kendaraan listrik:

1. Pengisi daya *onboard* berarti pengisi daya dipasang di dalam mobil. Pengisi daya adalah komponen dari sistem otomotif. Jenis listrik yang masuk ke dalam mobil adalah arus bolak-balik (AC).
2. Pengisi daya *offboard* berarti pengisi daya tidak termasuk sistem kendaraan listrik. Pengisi daya berada di luar sistem kendaraan. Pengisi daya eksternal diperlukan untuk mengisi daya baterai. Karena charger berada di luar ruangan, jenis listrik yang masuk ke mobil adalah arus searah (DC).

Jenis sumber listrik pengisian mobil listrik:

1. Pengisian arus bolak-balik (AC):
 1. Pengisian lambat (*AC slow charging*)
 2. Pengisian cepat (*AC fast charging*)
 3. Pengisian induktif (*AC inductive charging*)

2. Pengisian arus Searah (*DC charging*)

1. Pengisian Cepat (*DC fast charging*)

Energi yang dihasilkan disimpan oleh baterai kendaraan listrik. Penghitungan daya stasiun pengisian kendaraan listrik membutuhkan diketahuinya jenis fase, besar tegangan, dan arus. Pada sistem stasiun yg memakai arus bolak-balik (AC) perlu diketahui pula besar faktor daya (*power factor, pf*). Daya pengisian secara kasar bisa dihitung melalui rumus berikut:

Pengisian arus bolak-pulang (AC):

$$\text{Satu Fase} = V \times I \text{ (VA) atau } V \times I \times \text{pf (Watt)} \dots\dots\dots[1]$$

$$\text{Tiga Fase} = 1.73 \times V \times I \text{ (VA) atau } 1.73 \times V \times I \times \text{pf (Watt)} \dots\dots\dots[2]$$

Dimana:

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

pf = faktor daya

Pengisian arus searah (DC):

$$\text{Daya pengisian} = V \times I \text{ (VA/(Watt))} \dots\dots\dots[3]$$

Waktu pengisian bisa dihitung secara kasar dengan membagi kapasitas baterai terhadap daya stasiun pengisian kendaraan beroda empat listrik. Waktu pengisian = kapasitas baterai atau kapasitas charger.

Kisaran jeda tempuh bisa dihitung dengan membagi kapasitas baterai kendaraan (kWH) terhadap konsumsi tenaga listrik (kWH) per kilometer. Kisaran jeda tempuh yang mendekati aktual tergantung dalam banyak faktor, misal dalam mode operasi dan penggunaan beban listrik, misalnya AC. Dengan jarak tempuh = kapasitas baterai atau konsumsi energi per km.

Stasiun pengisian kendaraan listrik atau *electric vehicle charging station* (EVCS) bisa dibagi sebagai tiga kategori dasar:

1. Stasiun Pengisian Rumahan (*Residential*)

Komponen stasiun pengisian kendaraan beroda empat listrik dipasang dan dilakukan pada rumah.

2. Stasiun Pengisian Khusus

Peralatan pengisian baterai kendaraan listrik dipasang sekaligus dilakukan waktu parkir, misalnya dalam perkantoran, mall, industri & sejenisnya. Stasiun pengisian kategori komersial mampu berbayar juga gratis.

3. Stasiun Pengisian Umum

Komponen stasiun pengisian kendaraan listrik ditaruh pada loka generik layaknya stasiun pengisian BBM generik (SPBU). Jenis stasiun pengisian kendaraan listrik ini biasanya berbayar. Stasiun pengisian generik ini dianggap menjadi stasiun pengisian listrik umum (SPLU) –Peraturan Presiden RI menyebutnya stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU).

2.2 Konverter

Konverter elektronika daya merupakan suatu alat yang dapat mengkonversi daya elektrik dari satu bentuk ke bentuk daya lainnya, konverter elektronika daya biasanya terdapat pada catu daya, konverter mengubah tegangan atau arus input menjadi tegangan atau arus keluaran yang berbeda, DC-DC *converter* merubah level tegangan input DC menjadi level tegangan keluaran dc yang berbeda. Dalam bidang elektronika daya konverter elektronika daya dibagi menjadi empat jenis, antara lain :

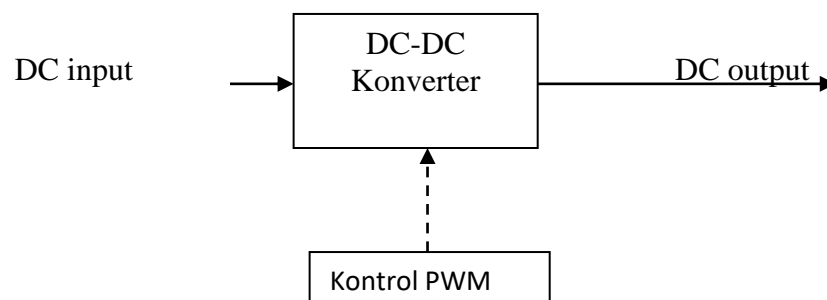
1. Konverter AC-DC (*Rectifier*)
2. Konverter AC-AC (*Cycloconverter*)
3. Konverter DC-DC (*DC Chopper*)
4. Konverter DC-AC (*Inverter*)

2.2.1 DC-DC Converter

DC-DC converter merupakan suatu alat yang mengkonversikan daya listrik searah dari suatu bentuk ke bentuk lainnya. Ada beberapa jenis DC-DC *converter* yaitu *Buck, boost, buck boost, cuk*, dan *sepic*. *Buck converter* yaitu konverter yang tegangan keluarannya lebih rendah dari tegangan inputnya atau dapat disebut penurun tegangan. *Boost converter* yaitu *converter* yang tegangan keluarannya lebih besar atau sama dengan tegangan inputnya. Pada *converter buck boost, cuk*,

dan *sepic converter* memiliki karakteristik yang sama yaitu konverter yang dapat sebagai penaik dan penurunan tegangan.

Pada DC-DC *converter* secara sederhana digunakan untuk mengkonversi daya listrik searah ke bentuk daya yang lainnya dan arus atau tegangan yang dapat dikontrol atau kedua-duanya. Pada DC-DC *converter* hal yang paling penting adalah *switching*. Proses *switching* terjadi pada transistor atau mosfet yang berfungsi sebagai *electronic switch* yang dapat dibuka (*off*) dan ditutup (*on*). Saat *switch* dalam keadaan *on* maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan sedangkan jika *switch* dalam posisi atau keadaan *off* maka tegangan keluaran sama dengan nol. Hal ini dapat menjadikan tegangan keluaran yang dihasilkan berbentuk pulsa. Induktor dan kapasitor biasanya digunakan sebagai penyimpan energi. Sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang ditentukan oleh tegangan input dan *duty cycle ratio* pada rangkaian *switching*. Diagram blok dari DC-DC *converter*, sebagai berikut :

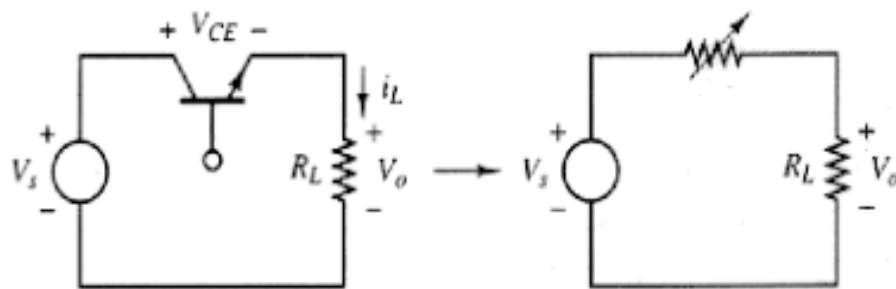


Gambar 1. Diagram blok DC-DC *converter*

Pada konfigurasi DC-DC *converter* yang beroperasi dari tegangan input DC tetap, nilai rata-rata tegangan keluaran dikendalikan oleh buka dan tutup saklar secara berkala yang digunakan dalam rangkaian DC-DC *converter*. Tegangan keluaran rata-rata dapat dikontrol dengan kontrol yang berbeda yaitu :

1. Kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*)
2. Kontrol Frekuensi
3. Kontrol PID dll.

Dalam kontrol PWM *switch* dihidupkan pada frekuensi pemotongan konstan. Periode waktu total dari satu siklus gelombang keluaran adalah konstan. Frekuensi *switching* PWM harus jauh lebih tinggi daripada apa yang akan mempengaruhi beban (perangkat yang menggunakan daya), yang berarti bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan ke beban harus sebaik mungkin. Dalam modulasi frekuensi, pulsa amplitudo dan durasi tetap dihasilkan dan nilai rata-rata keluaran disesuaikan dengan mengubah pulsa yang dihasilkan. Ada dua cara yang digunakan nilai tegangan keluaran dari *DC-DC converter* adalah *converter* tipe linear dan tipe *switching* (pensaklaran). Pada tipe linear, nilai tegangan keluaran dihasilkan dengan cara mengatur nilai arus pada basis transistor. Nilai arus yang mengalir menuju beban berubah sesuai dengan perubahan arus pada basis transistor.

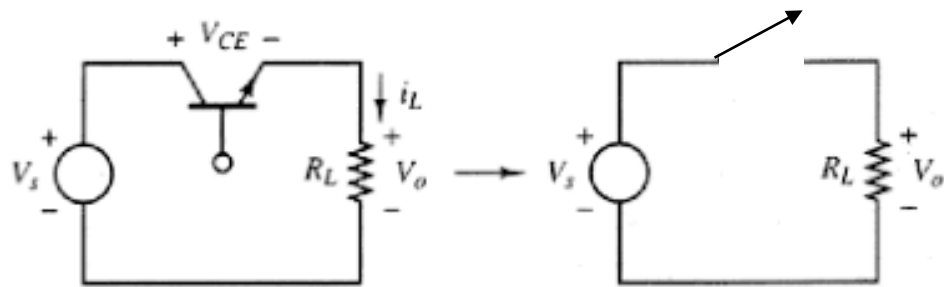


Gambar 2. DC-DC *converter* tipe linear

Gambar 2 adalah DC-DC *converter* tipe linear dimana nilai tegangan keluaran DC-DC *converter* didapatkan dari perkalian antara arus dengan beban resistansi, seperti pada persamaan dibawah ini :

$$V_o = I_L \cdot R_L$$

Selain DC-DC *converter* tipe linear adalah tipe *switching* (pensaklaran) yang di sebut DC *chopper*. Pada tipe pensaklaran transistor bekerja sebagai saklar *on* dan *off*, pada saat *on* yaitu kondisi saturasi sedangkan pada saat *off* yaitu kondisi *cutoff*. Dengan mengasumsikan Gambar 3 tegangan dan arus Keluaran sama dengan *input* ketika saklar ditutup aatu dalam kondisi *on*, dan Keluaran nol ketika kondisi *off* atau saklar terbuka.

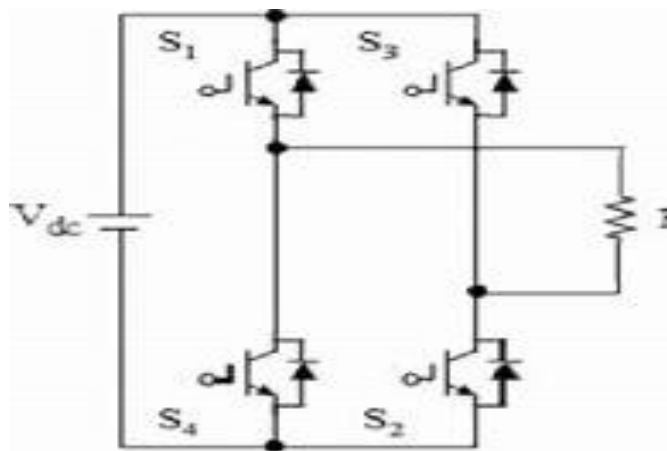


Gambar 3. DC-DC converter tipe switch

Besarnya tegangan keluaran bergantung dari nilai *duty cycle* yaitu perbandingan antara waktu on dan periode penyaklaran.

2.2.2 Inverter

Inverter adalah rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dengan frekuensi tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan adalah SCR, transistor, dan MOSFET yang berfungsi sebagai sakelar dan pengubah (konverter). Inverter dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis: inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Setiap jenis inverter dapat dibagi menjadi empat kategori sehubungan dengan jenis rangkaian penyearah SCR, yaitu: (1) modulasi lebar pulsa, (2) inverter resonansi, (3) inverter komutasi bantu, dan (4) inverter komutasi komplemen.



Gambar 4. Rangkaian inverter *full bridge*

Inverter disebut sebagai inverter catu-tegangan (*voltage-fed inverter-VFI*) apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu-arus (*current-fed inverter-CFI*) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variabel (*variable dc linked inverter*) apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu inverter: seri, paralel, dan jembatan. Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter setengah-jembatan (*half-bridge*) dan jembatan penuh (*full bridge*).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Penelitian dimulai pada bulan Juni 2022 sampai dengan September 2022. Jadwal kegiatan pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jadwal kegiatan penelitian

No.	Kegiatan	Juni				Juli				Agustus				September			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■												
2	Seminar Proposal		■														
3	Desain topologi dan Simulasi				■	■	■	■	■	■	■	■					
4	Analisis dan Hasil									■	■	■	■	■			
5	Pembuatan Laporan											■	■	■	■		
6	Seminar Hasil																■

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang

digunakan yaitu satu buah laptop sebagai perangkat utama yang digunakan. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan, yaitu :

1. *Software* Simulink matlab 2021 yang digunakan sebagai pendesainan dan simulasi pada penelitian.
2. *Microsoft office* 2019 untuk membuat laporan penelitian, file presentasi dan pengolahan data dalam penelitian.

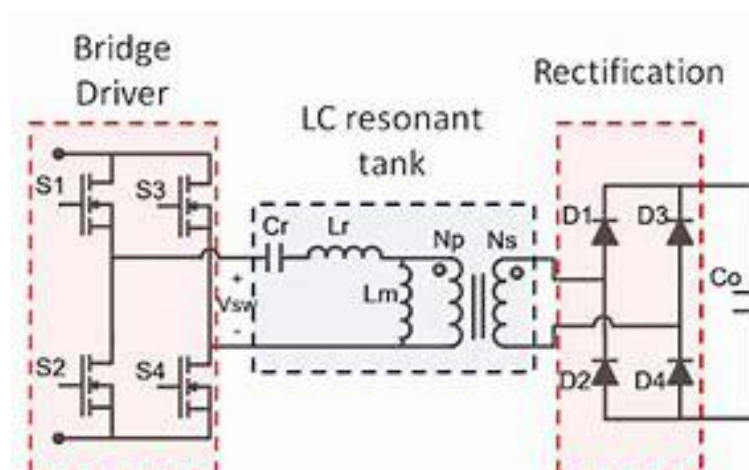
3.3 Metode Penelitian

Dalam tahap perancangan desain simulasi penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang akan dilakukan antara lain :

- a. Perancangan desain model *LLC resonant converter*
- b. Perancangan sistem kontrol PI
- c. Pensimulasian
- d. Pengolahan data dan analisa

3.4 *LLC resonant converter*

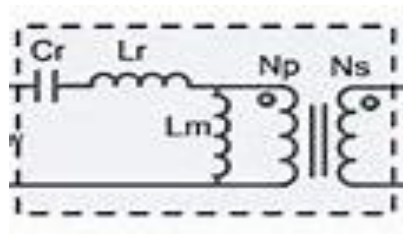
LLC converter adalah konverter daya listrik yang berisi komponen induktor dan kapasitor pada bagian resonant tank, yang digunakan untuk beresonansi pada rentang frekuensi tertentu. Rangkaian *LLC converter* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *LLC converter*

LLC *resonant converter* merupakan salah satu DC-DC konverter yang menggunakan kondisi resonansi pada rangkainnya. Ketika pada kondisi resonansi, impedansi yang dihasilkan oleh topologi resonansi adalah komponen riil atau impedansi kompleks hanya terdiri dari komponen resistor murni (R).

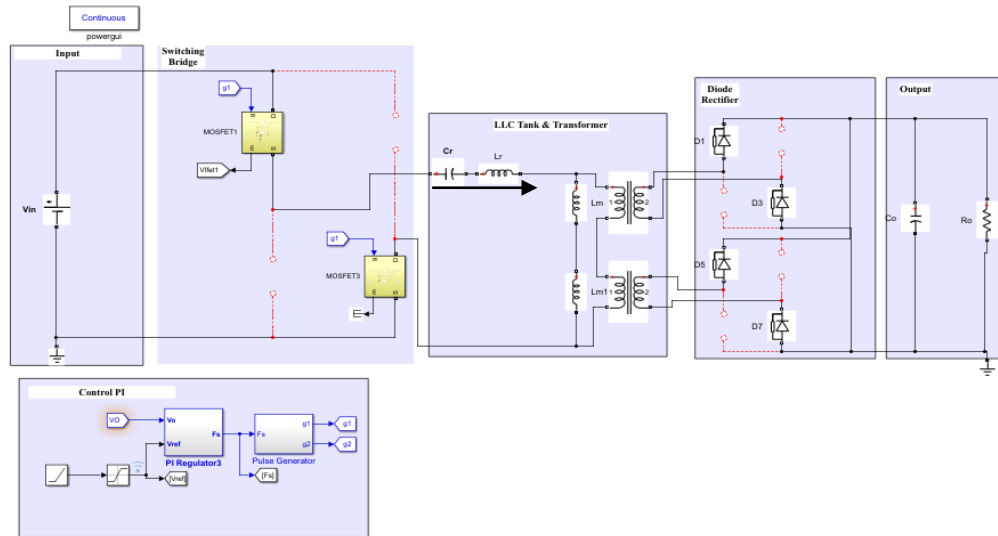
Resonant tank merupakan bagian penting pada konverter topologi LLC yang terdiri dari induktor, kapasitor serta transformator. *Resonant tank* merupakan bagian dari komponen utama dalam peningkatan ZVS serta ZCS yang berpengaruh pada pengurangan rugi-rugi daya untuk peningkatan efisiensi konverter. Bagian *resonant tank* dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini :



Gambar 6. LLC resonant tank

Pada Gambar 6 merupakan bagian *resonant tank* LLC yang terdiri dari induktor, kapasitor, dan transformator. Salah satu fungsi dari LLC adalah sebagai filter harmonisa ketika proses switch.

Pada proses kerja *full bridge* LLC konverter memiliki beberapa mode kerja diantaranya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

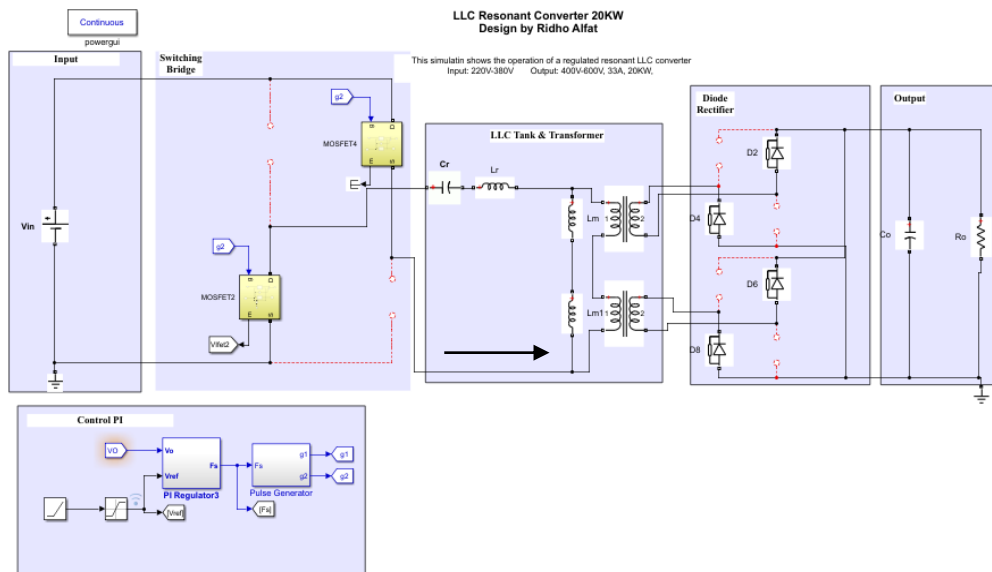


Gambar 7. Mode 1 ketika mosfet 1 dan 3 ON

Gambar 7 diatas, ketika mosfet 1 dan 3 ON arus mengalir dari sumber menuju mosfet 1 kemudian mengisi kapasitor dan induktor dan kemudian mengalir menuju transformator dan diinduksi dari belitan primer menuju belitan sekunder yang diparalelkan, ketika terjadi proses induksi pada transformator sisa arus pada belitan primer mengalir menuju mosfet 3 yang dialirkan kembali menuju sumber, dan pada belitan sekunder arus yang mengalir di searahkan oleh dioda 1 dan 5 yang kemudian mengisi kapasitor filter atau kapasitor keluaran dan mengalir menuju beban yang mengalir kembali menuju dioda 3 dan 7.

Saat mosfet 1 dan 3 ON, terjadi dua kejadian yakni kondisi pertama ZVS yang menyebabkan mosfet 1 dan 3 menyala sehingga arus reonansi IL_r berubah secara sinusoidal ke nilai positif, lalu dioda 1, 3, 5, dan 7 terkonduksi, tegangan pada trasformator 1 maupun 2 masih terjepit pada tegangan keluaran, arus primer pada transformator sama dengan $IL_r - I_m$ yang nilainya lebih besar dari nol sehingga energi mulai ditransmisi dari input ke beban, dan frekuensi resonansi bernilai f_r . Kondisi yang kedua sesaat setelah kondisi pertama, tepat saat memasuki kondisi kedua, frekuensi resonansi menjadi f_m , arus magnetisasi pada kedua transformator meningkat yang nilainya sama dengan arus resonansi IL_r sehingga arus primer pada kedua transformator bernilai nol. Pada keadaan ini, beban mulai disuplai daya hasil filter kapasitor C_o , energi sisi primer tidak lagi ditransmisikan

ke sisi sekunder. Tepat setelah itu, diode 1, 3, 5, dan 7, akan mati secara alami dengan ZCS sehingga tidak terjadi kerugian daya akibat pemulihan tersebut.



Gambar 8. Mode 2 ketika mosfet 2 dan 4 ON

Gambar 8 diatas, ketika mosfet 2 dan 4 ON arus mengalir dari sumber menuju mosfet 2 kemudian mengalir menuju transformator dan diinduksi dari belitan primer menuju belitan sekunder yang diparalelkan, ketika terjadi proses induksi pada transformator arus mengisi kapasitor dan induktor yang kemudian sisa arus pada belitan primer mengalir menuju mosfet 4 yang dialirkan kembali menuju sumber, dan pada belitan sekunder arus yang mengalir di searahkan oleh dioda 2 dan 6 yang kemudian mengisi kapasitor filter atau kapasitor keluaran dan mengalir menuju beban yang mengalir kembali menuju dioda 4 dan 8.

Saat mosfet 2 dan 4 dalam keadaan ON, dioda 2, 4, 6, dan 8 dalam keadaan aktif. Terdapat 3 kejadian yakni pertama, arus pada mosfet 2 dan 4 menuju kapasitor C_r yang melakukan proses pengisian dan pengosongan, hingga tegangan source-drain pada mosfet 2 dan 3 bernilai nol yang memberikan kondisi ZVS. Resonansi yang sebelumnya terjadi antara C_r, L_r, L_{m1} menurun, arus primer transformator sama dengan $I_{L_r} - I_m$ yang nilainya di bawah nol, tegangan magnetisasi pada kedua transformator menjadi bernilai negatif. Selanjutnya, keadaan kedua, kondisi ZVS menyebabkan Mosfet 2 dan 4 benar-benar menyala dan $I_{L_r} = 0$. Pada

keadaan ini, resonansi terjadi antara C_r dan L_r pada frekuensi resonansi f_r , lalu arus resonansi I_{L_r} perlahan menuju nilai negatif secara variatif dan arus pada kedua transformator berubah secara linier dari positif ke negatif, sehingga terjadi transmisi energi dari sisi primer ke sekunder dari kedua transformator. Selanjutnya, kejadian ketiga, nilai arus magnetisasi pada kedua transformator mencapai nilai yang sama dengan I_{L_r} . Kapasitor C_r dan induktor L_r , maupun kumparan pada transformator beresonansi dengan frekuensi magnetisasi f_m , energi sisi primer pada kedua transformator tidak ditransmisikan ke sekunder sehingga beban R_o hanya mendapatkan suplai daya dari C_o . Kerugian dari pemulihan dioda 2, 4, 6, dan 8 berkurang karena ZCS telah berakhir atau dalam keadaan mati.

Pada dasarnya konsep resonansi adalah menghilangkan reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C) yang saling meniadakan. Konverter LLC dapat dioptimalkan untuk tegangan input DC nominal, dan menggunakan mode *boost* dibawah resonansi utama untuk mencapai regulasi garis rendah, dengan desain yang tepat. Manfaat utama LLC adalah karena perilaku resonansi penuhnya yang memungkinkan transisi tegangan dan arus lunak yang secara instrinsik membantu meminimalkan kerugian pada perangkat daya dan komponen magnetik.

Pada *LLC resonant converter* dapat mencapai *Zero Voltage Switching (ZVS)* diseluruh rentang operasi, Komponen magnetik (L_M) dapat diintegrasikan kedalam transformator dan semua elemen esensial, termasuk kapasitansi pada penghubung perangkat semikonduktor yang digunakan untuk mencapai ZVS. Konverter Dc-Dc *resonant* adalah kelas *converter* yang memiliki tangki resonansi LLC yang berfungsi sebagai bagian utama dalam proses konversi daya. *Resonant converter* adalah konverter yang mengubah energi bersirkulasi dalam rangkaian, resonant LLC dapat dikelola dengan mengubah frekuensi switching, sehingga konverter dapat mengkondisikan daya *input* ke-daya Keluaran sesuai yang diinginkan.

Pada pemodelan *resonant converter* terdapat beberapa tahapan diantaranya:

1. Pemilihan topologi konverter

2. Penentuan spesifikasi konverter seperti tegangan input, tegangan, arus dan daya keluaran yang diinginkan.
3. Penghitungan nilai komponen konverter, pada bagian resonant tank yaitu L_r , C_r , L_m , dan pada bagian keluaran yaitu C_{out} dan R_{load} .

Pada perhitungan konverter yang pertama ialah menghitung rasio transformator dengan rumus:

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_{in\ nom}}{2 \cdot (V_{out\ nom} + 2 \cdot V_f)} \dots \dots \dots [4]$$

Setelah didapatkan rasio transformator lalu menghitung nilai gain maksimum dan minimum atau penguat tegangan dalam konverter LLC, dengan menggunakan rumus Gain sebagai berikut :

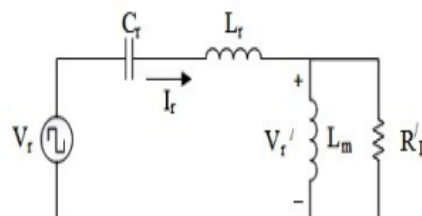
$$\text{Gain}(K_{min}) = \frac{2 \cdot n \cdot V_{o\ min}}{V_{in\ max}} \dots \dots \dots [5]$$

$$\text{Gain}(K_{max}) = \frac{2 \cdot n \cdot V_{o\ max}}{V_{in\ min}} \dots \dots \dots [6]$$

Setelah didapatkan nilai gain selanjutnya mencari grafik Gain untuk menentukan frekuensi operasi konverter dengan menggunakan *source code* pada matlab serta memasukan rumus sebagai berikut :

$$K(Q, m, F_x) = \left| \frac{V_{o_ac}(S)}{V_{in_ac}(S)} \right| = \frac{F_x^2(m-1)}{\sqrt{(m \cdot F_x^2 - 1)^2 + F_x^2 \cdot (F_x^2 - 1)^2 \cdot (m-1)^2 \cdot Q^2}} \dots \dots \dots [7]$$

Setelah didapatkan nilai frekuensi operasi, selanjutnya menghitung nilai resonant tank yang terdiri dari L_r , C_r , dan L_m dengan memperhatikan rangkaian ekuivalen LLC pada Gambar 9 berikut:



Gambar 9. Rangkaian ekuivalen LLC konverter

Kemudian dengan menggunakan rumus sebagai berikut dihitung:

$$R_{ac} = \frac{32.n^2.R_{load}}{\pi^2} \dots\dots\dots [8]$$

$$L_r = \frac{Q.R_{ac}}{(2\pi.Fr)} \dots\dots\dots [9]$$

$$C_r = \frac{1}{2\pi.Fr.Q.R_{ac}} \dots\dots\dots [10]$$

$$L_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot L_r \dots\dots\dots [11]$$

$$Q = \frac{0.95}{m.G_{max}} \sqrt{m + \frac{G_{max}^2}{G_{max}^2 - 1}} \dots\dots\dots [12]$$

Selanjutnya bagian Keluaran dihitung yaitu Cout dan Rload dengan rumus sebagai berikut :

$$R_{load} = \frac{V_{omax}}{I_{omax}} \dots\dots\dots [13]$$

$$C_o = \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot fr \cdot R_{ac} \cdot r} \dots\dots\dots [14]$$

$$f_{s_min} = Fx_{min} \cdot Fr \dots\dots\dots [15]$$

$$f_{s_max} = Fx_{max} \cdot Fr \dots\dots\dots [16]$$

Keuntungan utama dari *resonant converter* adalah kemampuannya untuk mencapai *Zero Voltage Switching (ZVS)* atau *Zero Current Switching (ZCS)*, yang menunjukkan bahwa tegangan atau arus untuk sakelar converter masing masing melintasi nol selama transisi sakelar. Dibandingkan konverter dengan modulasi PWM seperti *Buck*, *Boost* atau *Buck Boost*, *resonant converter* dapat beroperasi pada frekuensi *switching* yang lebih tinggi tanpa hambatan dari peningkatan rugi rugi *switching*. Manfaat lain dari softswitching pada topologi *resonant converter* adalah bahwa “*noise*” yang dihasilkan oleh komponen konverter dapat diminimalkan dengan *switching* yang mulus, dan EMI rendah yang dapat dicapai.

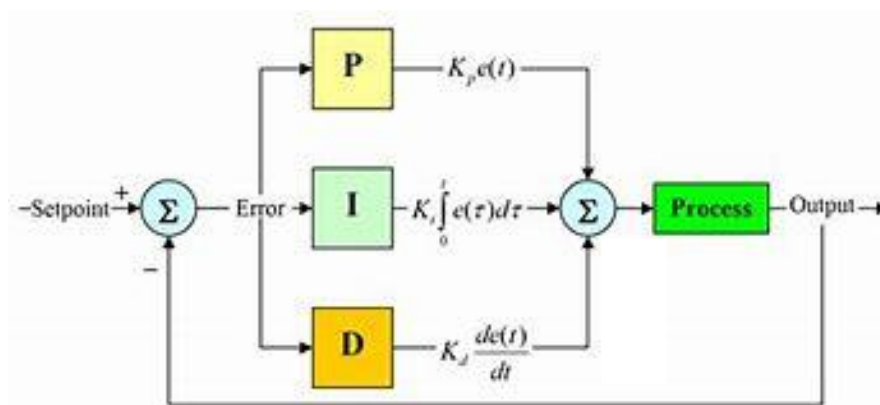
3.5 Pengontrol PI

Pengontrol PI adalah instrumen yang digunakan dalam aplikasi kontrol industri untuk mengatur suhu, aliran, tekanan, kecepatan, dan variabel proses lainnya.

Pengontrol PI (*Proportional Integral*) menggunakan mekanisme umpan balik loop kontrol untuk mengontrol variabel proses dan merupakan pengontrol yang paling akurat dan stabil. Kontrol PI adalah cara yang signifikan untuk mendorong sistem menuju posisi atau level target tertentu sebagai sarana untuk mengendalikan dan mengontrol aplikasi dalam berbagai proses kimia dan ilmiah serta otomasi.

Kontrol PI menggunakan umpan balik kontrol *close loop* untuk menjaga Keluaran aktual dari proses sedekat mungkin dengan target atau Keluaran *setpoint*. Kontrol PI dikembangkan pada tahun 1911 oleh Elmer Sperry. Namun, baru pada tahun 1933 *Taylor Instrumental Company (TIC)* memperkenalkan pengontrol proporsional yang dapat disetel sepenuhnya. Dan pada tahun 1942, ketika aturan penyetelan Ziegler dan Nichols diperkenalkan dengan penetapan parameter pengontrol PI yang sesuai.

Pada pertengahan 1950-an, pengontrol PI otomatis diadopsi secara luas untuk penggunaan industri. Proses pengontrol PI dengan menghitung nilai kesalahan (*error*) sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses terukur dan menerapkan koreksi berdasarkan istilahnya yaitu Proportional dan Integral. Sistem *control* PI dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur Control PI

Dimana $r(s)$, $d(s)$ adalah input referensi dan $y(s)$ merupakan keluaran yang menjadi nilai *feedback* sebagai input pembandingan dengan nilai referensi. Pada pengontrolan PI dibagi menjadi dua bagian, bagian Proporsional (P), dan Integral

(I), yang didasarkan pada nilai *error*. Istilah Proporsional adalah sebanding dengan nilai *error* saat ini dan memberikan control umum. Namun penggunaan *Proporsional* saja akan menyebabkan kesalahan kondisi *steady state* antara sinyal Keluaran dan *setpoint*. Untuk menghilangkan kesalahan kondisi *steady* maka digunakanlah bagian integral. Jika *error* tetap ada maka Integral digunakan untuk mengintegrasikan nilai kumulatif historis dari kesalahan. Pengendali Integral membawa penundaan besar kepada sistem karena integrasi.

3.6 Simulink Matlab



Gambar 11. Software Matlab 2021

Simulink merupakan salah satu komponen MATLAB yang berfungsi sebagai pemrograman grafis, pemodelan serta digunakan dalam simulasi. Aplikasi utama dari Simulink adalah simulasi sistem dinamik. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan diagram fungsional yang berisi blok yang terhubung dengan fungsi masing-masing. Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi, dan analisis dinamika sistem menggunakan antarmuka pengguna grafis.

Pada bagian simulasi menggunakan software simulink matlab dilakukan beberapa tahapan yaitu:

1. Penentuan komponen yang digunakan dalam penelitian sehingga memudahkan dalam memilih *tools* komponen. Seperti sumber tegangan, kapasitor, induktor, transformator, mosfet, dioda, voltage measurement, dan lain-lain.

2. Memodelkan rangkaian LLC *resonant converter* sesuai dengan yang telah ditentukan.
3. Memasukan nilai parameter yang telah dihitung pada bagian nilai komponen.
4. Mensimulasikan model rangkaian yang telah di masukan nilai parameter sehingga didapatkan keluaran simulasi dai rangkaian.
5. Melakukan pengambilan data berupa tegangan dan arus pada bagian *resonant tank* dan Keluaran serta mengambil gambar gelombang tegangan dan arus keluaran.

Setelah dilakukan tahapan tersebut selanjutnya melakukan analisa dan pengolahan data agar didapatkan inti bahasan serta kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semakin besar frekuensi *switching* maka tegangan keluaran akan semakin kecil hingga mencapai tegangan keluaran minimum dan sebaliknya jika frekuensi *switching* semakin kecil maka tegangan keluaran akan semakin besar hingga mencapai tegangan keluaran maksimum.
2. LLC *Resonant Converter* yang dirancang telah mencapai *ZVS-ON* untuk sakelar daya, *ZCS-OFF* untuk dioda penyearah, dan memiliki rentang tegangan keluaran yang lebar dan efisiensi yang tinggi sehingga LLC *Resonant Converter* ini dapat digunakan dalam aplikasi pengisi daya baterai kendaraan listrik.
3. Dengan tegangan masukan maksimum sebesar 380 V dan variasi beban 10%, 25%, 50%, 75% dan 100% dapat dicapai nilai efisiensi daya konverter di atas 99% dengan bentuk grafik yang signifikan naik dari beban rendah ke beban maksimal.
4. Penggunaan dua buah transformator memiliki nilai efisiensi daya yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan Transformator tunggal, sehingga dapat mengurangi rugi rugi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, terdapat beberapa rekomendasi/saran. Rekomendasi/saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya dibuatkan *prototype* LLC konverter dengan keluaran 20 kW agar dapat diketahui kondisi konverter secara langsung dengan dilakukan pengujian menggunakan prototipe.
2. Pada penelitian selanjutnya perancangan dengan LLC *Resonant Converter* diaplikasikan menggunakan beban berupa baterai dengan spesifikasi yang biasa digunakan pada kendaraan listrik yang beredar saat ini.
3. Pada penelitian selanjutnya dilakukan perancangan LLC konverter dengan daya keluaran yang lebih besar untuk *fast charging* dengan pembuatan *prototype*.
4. Pada penelitian berikutnya, dapat difokuskan pada model topologi yang baru khususnya DC/DC Konverter dengan efisiensi yang lebih tinggi dan kepadatan daya yang lebih tinggi untuk pengisi daya kendaraan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdel-Rahman, Sam. 2012. “Resonant LLC Converter: Operation and Design: 250W 33Vin 400Vout Design Example”. Infineon, Application Note AN 2012-09, Volume 1, September 2012.
- [2] Arief, Muhammad. 2018. “Pengertian Listrik 1 Phase dan 3 Phase”, <https://primatekniksystem.com/artikel/pengertian-listrik-1-phase-dan-3-phase>, diakses pada 26 Oktober 2022 pukul 16:30 WIB
- [3] Direktorat Jendral Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM RI. 2020. “Bahan Paparan Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020 Tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik Untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai”. Webinar Sosialisasi Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020 dan Launching Stasiun Penjualan Baterai Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU) di Direktorat Jendral Ketenagalistrikan, 2 September 2020.
- [4] EV Database, 2021. “Hyundai IONIQ 5 Standard Range 2WD”, <https://ev-database.org/car/1476/Hyundai-IONIQ-5-Standard-Range-2WD> , diakses 26 Oktober 2022 pukul 13.00 WIB
- [5] Gan Systems. GaN-Based 3KW Full Bridge LLC Resonant Converter Reference Design. 2021
- [6] Ilyas, Azhar. 2022. “6 Jenis Baterai Mobil Listrik: Segini Kapasitas, Daya Tahan, dan Harganya”, <https://jalantikus.com/kendaraan-listrik/baterai-mobil-listrik/> , diakses pada 26 Oktober 2022 pukul 17.00 WIB
- [7] Infineon Technologies: 300W LLC Evaluation Board with LLC controller ICE2HS01G, V1.1, August 2011.

- [8] Infineon Technologies: Design Guide for LLC Converter with ICE2HS01G.
- [9] Irawan, dkk. 2013. “*Perancangan Transformator Frekuensi Tinggi untuk Konverter DC-DC Full-Bridge Phase-Shifted 200 W*”. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2013 Yogyakarta, 15 Juni 2013.
- [10] Muhammad Rashid, “*Resonant and Soft-Switching Converters*” in Power electronics Handbook, 4th ed, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 329-384.
- [11] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019.
- [12] Rashid, Muhammad H. 2011. “*Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications, Third Edition*”. Elsevier Inc: USA.
- [13] Shen, dkk. 2018. “*Full-Bridge LLC Resonant Converter with Series-Parallel Connected Transformers for Electric Vehicle On-Board Charger*”. IEEE Access, 5 Maret 2018.
- [14] Wolfspeed “*Design Challenges and Considerations of Wolfspeed High Efficiency Bi-directional DCDC Converter*”, Power applications Oct. 2020.
- [15] YoCharge, 2021. “*Everything You Need To Know About The On-Board Charge for Electric Vehicles*”, <https://yocharge.com/everything-you-need-to-know-about-the-on-board-charger-for-electric-vehicles/> , diakses 29 Oktober 2022 pukul 17.50 WIB