

**DESAIN *MULTIPHASE INTERLEAVED BUCK CONVERTER* SEBAGAI  
PENGURANG *RIPPLE* PADA CATU DAYA TINGGI**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Usman Agani  
NPM 1915031070**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## **ABSTRAK**

### **DESAIN *MULTIPHASE INTERLEAVED BUCK CONVERTER* SEBAGAI PENGURANG *RIPPLE* PADA CATU DAYA TINGGI**

**Oleh:**

**USMAN AGANI**

Makalah ini menyajikan pemodelan dan implementasi dari DC DC *buck converter* untuk catu daya dengan daya tinggi. Topologi yang diterapkan adalah *Multiphase Interleaved Buck Converter* (MIBC) yang dibandingkan hasil *ripple* tegangan dan arus keluarannya terhadap topologi *Single Phase Buck Converter* (SPBC). Pembahasan meliputi aspek desain dan analisis rinci terhadap hasil simulasi PSIM untuk memvalidasi hasil yang didapat pada implementasi alat. Dari simulasi dan eksperimen alat yang dilakukan membuktikan bahwa dengan menggunakan topologi MIBC dapat mengurangi *ripple* tegangan dan arus keluaran dari konverter. Selain itu, konverter daya akan memiliki efisiensi yang lebih baik. Simulasi untuk topologi MIBC dengan berbagai tegangan masukan yang lebih tinggi dan kondisi perubahan beban akan mempresentasikan kinerja dan perilaku konverter yang diusulkan. Didapatkan dari hasil pengujian, bahwa MIBC mampu menghasilkan performa yang baik pada suatu konverter.

Kata Kunci: *DC DC Converter, Buck Converter, Multiphase, Ripple, Interleaved.*

## **ABSTRAK**

### ***DESIGN MULTIPHASE INTERLEAVED BUCK CONVERTER AS A RIPPLE REDUCTION IN HIGH POWER SUPPLY***

**By:**

**USMAN AGANI**

*This paper presents the modeling and implementation of a DC DC buck converter for high power supplies. The topology applied is a Multiphase Interleaved Buck Converter (MIBC) which compares the output voltage and current ripple results to the Single Phase Buck Converter (SPBC) topology. The discussion includes design aspects and detailed analysis of the PSIM simulation results to validate the results obtained in the implementation of the tool. From the simulations and equipment experiments carried out, it has been proven that using the MIBC topology can reduce voltage ripple and output current from the converter. Additionally, the power converter will have better efficiency. Simulations for MIBC topology with various higher input voltages and load changing conditions will present the performance and behavior of the proposed converter. It was found from the test results that MIBC was able to produce good performance in a converter.*

*Keywords: DC DC Converter, buck converter, Multiphase, Ripple, Interleaved*

**DESAIN *MULTIPHASE INTERLEAVED BUCK CONVERTER* SEBAGAI  
PENGURANG *RIPPLE* PADA CATU DAYA TINGGI**

**Oleh**

**USMAN AGANI**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

Judul Skripsi : **DESAIN MULTIPHASE INTERLEAVED BUCK CONVERTER SEBAGAI PENGURANG RIPPLE PADA CATU DAYA TINGGI**

Nama Mahasiswa : **Usman Agani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915031070

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

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

**Anisa Ulya Darajat., S.T.,M.T.**  
NIP. 199106102019032024

**2. Mengetahui**

Ketua Jurusan  
Teknik Elektro

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

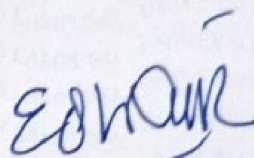
Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

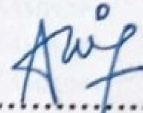
**Herlinawati, S.T.,M.T.**  
NIP. 197103141999032001

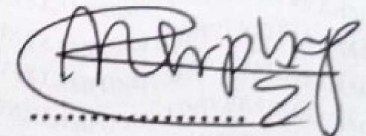


MENGESAHKAN

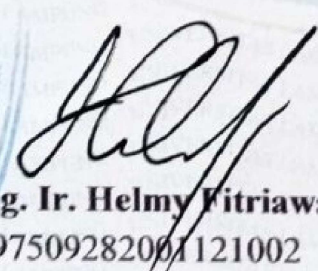
1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Anisa Ulya Darajat., S.T., M.T. 

Penguji : Dr. Eng. Charles R.Harahap.S.T., M.T. 

2. Dekan Fakultas Teknik

  
Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc  
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 15 Maret 2024



## 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 hukuman yang berlaku.

Bandar Lampung, 5 April 2024



Usman Agani  
NPM 1915031070



### **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di P1. Mardiharjo, Kecamatan Purwodadi, Kabupaten Musi Rawas, Sumatera Selatan. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Jemakir dan Ibu Dasilah.

Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Mardiharjo pada tahun 2007 hingga 2013, sekolah menengah pertama SMPN O. Mangunharjo pada tahun 2013 hingga 2016, sekolah menengah atas SMAN Sumatera Selatan pada tahun 2016 hingga 2019, Penulis menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN. Saat menjadi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, penulis mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL). Penulis melakukan kerja praktik di PT. TORASIA pada bulan Maret 2022 sampai September 2022 dengan judul penelitian “*Analisis Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap Karakteristik Torsi dan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa*”.





## PERSEMBAHAN



Alhamdulillahirbbil'alam, 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  
menjad suri tauladan bagi kehidupan

### **KUPERSEMBAHKAN DENGAN TULUS KARYA INI UNTUK:**

“Ibunda Dasilah dan Ayahanda Jemakir sebagai wujud cinta, kasih sayang, dan bakti atas segala yang telah diberikan. Juga tidak lupa kepada adik saya Latifah, dan seluruh keluarga besar saya atas do'a dan motivasu yang selalu diberikan”

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

“Tak lupa kepada teman-teman ETERNITY 2019, terimakasih telah menemani, membantu, dan memberi pelajaran kepada saya selama duduk dibangku perkuliahan”





## **MOTTO**

*“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”*  
(QS. Al-Insyirah [94]: 6)

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

*“Tidaklah mungkin bagi matahari megejar bulan, dan malampun tidak dapat mendahului siang. Masing-masing beredar pada garis edarnya”*  
(Q.S Yasin: 40)

*“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu”*  
(Umar bin Khattab)

*“Pendidikan mempunyai akar yang pahit, tapi buahnya manis”*  
(Aristoteles)

*“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu. Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu berjalan lancar. Tapi, gelombang-gelombang itu yang nanti bisa kau ceritakan”*  
(Boy Chandra)

*“I am not the first person who experience this, if others can survive, I will survive”*  
(ARB)



## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan berjudul “Desain *Multiphase Interleaved Buck Converter* Sebagai Pengurang *Ripple* Pada Catu Daya Tinggi” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
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 Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung;
5. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
6. Ibu Anisa Ulya Darajat., S.T.,M.T.,selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
7. Bapak Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini;

8. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T., selaku pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang sarjana teknik;
9. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis;
10. Segenap staff Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal lainnya;
11. Keluarga besar ETERNITY Angkatan 2019, yang telah memberi banyak motivasi, nilai-nilai sosial, dan bantuan dalam berbagai hal;
12. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis;
13. Segenap keluarga *Power Ranger 19*. Kebersamaan selama berproses dengan kalian itu luar biasa;
14. Segenap keluarga besar TORASIA, Kak Krismon, Kak Hadiyat, Mas Syahrul, Mas Aziz, Mas Adri, Kak Fatah, dan Andri yang telah membantu, berproses, dan mengasah ilmu penulis mulai sejak magang, bimbingan hingga menyelesaikan skripsi;
15. Teman-teman Laboratorium Konversi Energi Elektrik: Gesang Amar, Rio Pratama, Ridho Alfat, Amos Siregar, Joseph Nicholas, Hari Agus, Rina Arjulina dan lainnya yang selalu memberi masukan serta kritikan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
16. Teman-teman seperantauan yang berasal dari Sumatera Selatan. Terima kasih sudah menjadi obat dikala rindu dengan bahasa, budaya, dan keluarga di kampung halaman, sehingga tetap merasakan suasana rumah di tanah rantau;
17. Rinaldo, didik yang telah memberi saran dan semangat dikala penulis sedang bersusah hati;
18. Terima kasih kepada GUYON WATON, DENNY CAKNAN, NDX, GILGA, AFTERSHINE dan musisi jawa lainnya yang sudah menjadi playlist dalam menemani penulis saat menyusun skripsi;
19. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.



Semoga Allah SWT membalas semua perbuatan dan kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis sampai dengan terselesaikannya Skripsi ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 5 April 2024

Penulis,

**Usman Agani**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Rumusan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis .....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Konverter .....	6
2.3 <i>DC-DC Buck Converter</i> .....	7
2.3.1 Prinsip Kerja <i>Buck Converter</i> .....	7
2.3.2 Analisa Rangkaian <i>Buck Converter</i> .....	10
2.4 <i>DC-DC Interleaved Buck Converter</i> .....	12
2.5 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> .....	15
2.6 Mikrokontroler Launchxl-f28379d .....	17
2.6 Rangkaian Pemicu <i>Gate Mosfet (Gate Driver)</i> .....	18
2.7 Sistem Kontrol <i>Close Loop</i> .....	19
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>20</b>
3.1 Perancangan Sistem .....	20
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Perancangan Model MIBC .....	22
3.3 Penentuan Parameter Spesifikasi Rangkaian Konverter.....	24
3.3.1 Beban.....	24
3.3.2 Induktor .....	24
3.3.3 Kapasitor .....	25
3.4 Spesifikasi Konverter.....	26
3.5 Perancangan Simulasi Menggunakan PSIM .....	26
3.6 Pengujian dan Pengukuran.....	27

3.6.1 Pengujian pada simulasi .....	27
3.6.2 Pengujian dan pengukuran pada <i>Hardware</i> .....	27
3.7 Perancangan Simulasi Menggunakan LTSpice .....	28
3.7.1 <i>Gate Driver</i> .....	28
3.8 Desain PCB .....	29
3.8.1 Skematik 3 <i>Leg Main Board</i> .....	29
3.8.2 Skematik <i>Gate Driver</i> .....	30
3.8.3 DC Supply .....	30
3.8.4 Konektor PWM .....	31
3.8 Perancangan Perangkat Lunak .....	32
3.9 Pengujian Perangkat Keras .....	32
3.9.1 Perancangan Pengujian Penyearah Dioda Jembatan Penuh 1 Fasa..	32
3.9.2 Rancangan Pengujian Keluaran Sinyal PWM.....	33
3.9.3 Rancangan Pengujian Keluaran <i>Gate Driver</i> .....	33
3.9.4 Beban.....	33
3.9.5 Induktor .....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>36</b>
4.1 Pengujian Simulasi <i>Converter</i> Pada PSIM .....	36
4.1.1 Simulasi Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Buck Converter</i> .....	36
4.1.2 Simulasi Pengujian Keluaran SPBC .....	39
4.1.3 Simulasi Pengujian Keluaran MIBC .....	44
4.1.4 Perbandingan <i>Ripple</i> Keluaran <i>DC-DC Converter</i> pada Simulasi... 48	
4.2 Implementasi Alat .....	50
4.3.1 <i>Controller</i> .....	50
4.3.2 <i>Firmware</i> .....	50
4.3.3 Implementasi Rangkaian <i>Isolated Bias Power Supply</i> .....	51
4.3.4 Implementasi Rangkaian <i>Isolated DC DC</i> .....	52
4.3.5 Implementasi Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	52
4.3.6 Implementasi <i>Interface Board</i> .....	53
4.3.7 Implementasi Alat Secara Keseluruhan .....	54
4.4 Pengukuran Rangkaian Kontrol .....	55
4.4.1 Pengukuran Tegangan Keluaran Sinyal PWM launchpad .....	55
4.4.2 Pengukuran Tegangan Rangkaian <i>Gate Driver</i> .....	58
4.5 Pengukuran Rangkaian Daya .....	59
4.5.1 Pengukuran Tegangan Sumber DC .....	59
4.5.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Induktor.....	59
4.5.3 Pengukuran Tegangan dan Arus Keluaran pada Konverter SPBC ..	61
4.5.4 Pengukuran Tegangan dan Arus Keluaran pada Konverter MIBC..	63
4.5.5 Perbandingan <i>Ripple</i> Keluaran <i>DC-DC Converter</i> pada <i>Hardware</i> 66	
4.6 Perbandingan Simulasi dan <i>Hardware</i> .....	68
4.6.1 Perbandingan Simulasi dan <i>Hardware</i> pada Tegangan Keluaran....	68
4.6.2 Perbandingan Simulasi dan <i>Hardware</i> pada <i>Ripple</i> Tegangan Keluaran.....	69
4.6.3 Perbandingan Simulasi dan <i>Hardware</i> pada <i>Ripple</i> Arus Keluaran 71	
4.7 <i>Close Loop Voltage Control</i> .....	72
4.8 Pengujian Simulasi Pada Tegangan Tinggi .....	76

4.9 Pengujian Desain MIBC 10kW .....	77
4.9.1 Pemilihan <i>Device</i> .....	77
4.9.2 Pengujian <i>Open Loop</i> .....	83
4.9.3 Pengujian <i>Close Loop</i> .....	86
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>93</b>
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran .....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>94</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Rangkaian dasar <i>buck converter</i> [12].....	7
2. Mode I saklar <i>on</i> [13].....	7
3. Mode II saklar <i>Off</i> [13] .....	8
4. Gelombang dari <i>Buck Converter</i> ketika arus induktor bersifat <i>continuous</i> dan tegangan murni dc. (a) Arus induktor; (b) Arus saklar S; (c) arus induktor D; (d) tegangan induktor; (e) arus kapasitor; (f) <i>ripple</i> tegangan kapasitor; (g) arus keluaran; (h) tegangan dioda; (i) sinyal pulsa [13].....	10
5. <i>Multiphase interleaved buck converter</i> .....	12
6. Gelombang arus masukan .....	14
7. <i>Cancellation of inductor ripple current</i> .....	14
8. Pembangkitan <i>Pulse Width Modulation</i> .....	16
9. <i>launchxl-F28379D</i> pinout [14].....	18
10. Rangkaian <i>gate driver</i> [15] .....	18
11. Diagram blok PID kontrol.....	19
12. Alur pengerjaan tugas akhir .....	20
13. Alur pengerjaan simulasi.....	21
14. Skema sistem konverter .....	22
15. Blok diagram perancangan perangkat keras .....	23
16. Rangkaian <i>gate driver</i> UCC5350MC.....	29
17. Tegangan PWM masukan dan keluaran.....	29
18. Skematik <i>main board</i> .....	30
19. Skematik <i>gate driver</i> .....	30
20. <i>DC supply</i> .....	31
21. Jalur tegangan PWM ke <i>board controller</i> .....	31
22. Desain penyearah dioda jembatan penuh 1 fasa .....	32
23. Resistor.....	33
24. <i>Air inductor</i> .....	34
25. Realisasi <i>wiring diagram</i> .....	35
26. Keluaran <i>interleaved PWM</i> .....	37
27. PWM dengan <i>deadtime</i> .....	37
28. Keluaran arus konverter .....	38
29. Pemodelan <i>single buck converter</i> .....	41
30. Hasil keluaran simulasi SPBC saat <i>duty cycle 60%</i> .....	41
31. <i>Ripple</i> tegangan <i>output</i> SPBC saat <i>duty cycle 60%</i> .....	41
32. <i>Ripple</i> arus <i>output</i> saat SPBC <i>duty cycle 60%</i> .....	42
33. Grafik hubungan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran simulasi SPBC .....	43
34. MIBC.....	46
35. Hasil keluaran simulasi MIBC saat <i>duty cycle 60%</i> .....	46

36. <i>Ripple</i> tegangan <i>output</i> MIBC saat <i>duty cycle</i> 60%.....	46
37. <i>Ripple</i> arus <i>output</i> MIBC saat <i>duty cycle</i> 60%.....	47
38. Grafik hubungan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran simulasi MIBC.....	48
39. Perbandingan <i>ripple</i> tegangan <i>output</i> pada simulasi.....	49
40. Perbandingan <i>ripple</i> tegangan <i>output</i> pada simulasi.....	49
41. Implementasi Kontroler .....	50
42. <i>Firmware</i> MIBC.....	50
43. Implementasi <i>isolated bias power supply</i> .....	52
44. Implementasi <i>isolated DC DC</i> .....	52
45. Implementasi <i>gate driver</i> .....	53
46. <i>Layout interface board</i> .....	53
47. Tampilan tampak atas <i>interface board</i> .....	53
48. Tampilan tampak bawah <i>interface board</i> .....	54
49. Implementasi alat .....	54
50. Rangkaian pengukuran tegangan keluaran launchxl-F28379D .....	55
51. Hasil pengukuran tegangan keluaran launchxl-F28379D .....	56
52. Hasil pengukuran tegangan <i>interleaving</i> sinyal PWM.....	56
53. Hasil pengukuran tegangan PWM dengan <i>deadtime</i> .....	58
54. Keluaran sinyal PWM dari <i>gate driver</i> .....	58
55. Hasil gelombang pada konverter.....	59
56. Tegangan hasil <i>interleaved converter</i> .....	60
57. Tegangan dan arus induktor .....	60
58. Rangkaian pengukuran <i>SPBC</i> .....	61
59. Hasil keluaran pada <i>hardware SPBC</i> saat <i>duty cycle</i> 60%.....	61
60. <i>Ripple</i> tegangan <i>output</i> saat <i>duty cycle</i> 60%.....	62
61. <i>Ripple</i> arus <i>output</i> saat <i>duty cycle</i> 60%.....	62
62. Grafik hubungan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran <i>hardware</i> pada <i>SPBC</i> .....	63
63. Rangkaian pengukuran MIBC.....	64
64. Hasil keluaran pada <i>hardware</i> MIBC saat <i>duty cycle</i> 60%.....	64
65. <i>Ripple</i> tegangan <i>output</i> MIBC saat <i>duty cycle</i> 60%.....	64
66. <i>Ripple</i> arus <i>output</i> MIBC saat <i>duty cycle</i> 60%.....	65
67. Grafik hubungan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran <i>hardware</i> pada MIBC .....	66
68. Grafik hasil analisa perbandingan <i>ripple</i> tegangan <i>output</i> pada <i>hardware</i> .....	67
69. Grafik hasil analisa perbandingan <i>ripple</i> arus <i>output</i> pada <i>hardware</i> .....	67
70. Grafik perbandingan simulasi dan <i>hardware</i> pada tegangan keluaran <i>SPBC</i> . 68	
71. Grafik perbandingan simulasi dan <i>hardware</i> pada tegangan keluaran MIBC 69	
72. Grafik perbandingan simulasi dan <i>hardware</i> pada <i>ripple</i> tegangan keluaran <i>SPBC</i> .....	69
73. Grafik perbandingan simulasi dan <i>hardware</i> pada <i>ripple</i> tegangan keluaran MIBC .....	70
74. Grafik perbandingan simulasi dan <i>hardware</i> pada <i>ripple</i> arus keluaran <i>SPBC</i> .....	71
75. Grafik perbandingan simulasi dan <i>hardware</i> pada <i>ripple</i> arus keluaran MIBC .....	72
76. Simulasi <i>close loop voltage control</i> .....	73

77. Tegangan dan arus keluaran saat perubahan tegangan $V_{ref} = 125V$ menjadi $V_{ref} = 150V$ .....	74
78. Perbandingan <i>ripple</i> tegangan <i>close loop</i> dan <i>open loop</i> .....	75
79. Perbandingan <i>ripple</i> arus <i>close loop</i> dan <i>open loop</i> .....	75
80. <i>Three phase interleaved buck converter</i> .....	77
81. C2M0021120D.....	78
82. Maksimum rating dari C2M0021120D .....	79
83. Modeling <i>VDS</i> versus <i>IDS</i> .....	79
84. <i>Eon</i> versus <i>Ic(3rd)</i> .....	80
85. <i>Eon</i> versus <i>IDS</i> .....	80
86. <i>Eoff</i> versus <i>IDS</i> .....	81
87. <i>Eon</i> versus <i>RG</i> .....	81
88. <i>Eon</i> versus <i>RG</i> .....	82
89. Hasil pemodelan dari C2M0021120D .....	82
90. Perbandingan grafik antara simulasi dan perhitungan .....	83
91. Efisiensi tegangan <i>input</i> minimal 700 Vdc .....	84
92. Efisiensi tegangan <i>input</i> nominal 800 Vdc .....	84
93. Efisiensi tegangan <i>input</i> maksimal 900vdc.....	85
94. Simulasi <i>close loop voltage control</i> .....	86
95. Tegangan dan arus keluaran saat $V_{in} = 700V$ dan $V_{ref} = 500V$ .....	87
96. Tegangan dan arus keluaran saat $V_{in} = 800V$ dan $V_{ref} = 600V$ .....	89
97. Tegangan dan arus keluaran saat $V_{in} = 900V$ dan $V_{ref} = 700V$ .....	91

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu.....	5
2. Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter .....	19
3. Alat dan bahan.....	22
4. Spesifikasi DC-DC <i>buck converter</i> .....	26
5. Pengujian dan parameter pada simulasi konverter.....	27
6. Pengukuran dan parameter pada alat konverter .....	27
7. Spesifikasi induktor.....	33
8. Hasil pengujian simulasi SPBC .....	42
9. Hasil pengujian simulasi MIBC .....	47
10. Hasil perubahan <i>ripple</i> keluaran Simulasi konverter.....	48
11. Keterangan bagian dari setiap <i>hardware</i> .....	54
12. Hasil pengukuran <i>hardware</i> SPBC .....	63
13. Hasil pengukuran <i>hardware</i> MIBC.....	65
14. Hasil perubahan <i>ripple</i> keluaran <i>Hardware</i> konverter.....	66
15. Data <i>close loop</i> MIBC.....	74
16. Pengujian konverter pada tegangan tinggi .....	76
17. Hasil pemodelan $V_{ds}$ dan $I_{ds}$ pada <i>device</i> .....	77
18. Data konverter saat $V_{in}=700V$ $V_{ref}=500V$ .....	87
19. Data konverter saat $V_{in}=800V$ $V_{ref}=600V$ .....	89
20. Data konverter saat $V_{in}=900V$ $V_{ref}=700V$ .....	91



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa waktu terakhir, kemajuan dalam bidang teknologi elektronika daya telah berkembang pesat di berbagai aspek terutama pada aspek regulasi, konversi dan distribusi energi [1]. Hal ini karena adanya kebutuhan pasar akan listrik dan elektronik yang menjadi bagian utama dalam mengembangkan berbagai cabang tersebut. Dari berbagai cabang power elektronik, DC-DC konverter menjadi bagian terpenting dalam perkembangan bidang power elektronik.

DC-DC Konverter adalah rangkaian elektronika daya yang mengubah tegangan DC ke bentuk tegangan DC dengan keluaran yang berbeda. Konverter diklasifikasikan menjadi 2 tipe, yaitu *general converter* dan *switch mode power supply (SMPS) converter*. Contoh untuk *General Converter* seperti *Buck Converter*, *Boost Converter*, dan *buck-boost converter*. Tipe tersebut merupakan konverter yang biasa atau disebut *converter* yang tidak ada isolasi. Sedangkan contoh untuk SMPS konverter seperti *flyback converter*, *forward converter* dan *bridge converter*. *Converter* ini disebut konverter dengan isolasi.

DC-DC konverter terus mengalami perkembangan seiring dengan bermunculnya inovasi teknologi yang terbaru seperti pada *power supply* atau catu daya yang mana dc-dc konverter menjadi bagian utama dalam alat tersebut [2], [3]. Hal ini dikarenakan konverter dapat bertindak sebagai pengaturan tegangan pada perangkat elektronik seperti pada *port USB* di komputer, *laptop*, *smartphone*, *tablets*, *charging station* yang menghubungkan dengan peripheral lain yang perlu adanya pengaturan [4]. Perangkat elektronik membutuhkan tegangan yang aman dan konstan yang didapat dari *power supply*.

*Buck Converter* merupakan konverter yang digunakan untuk memberikan tegangan keluaran yang lebih rendah dari tegangan masukan yang tinggi dengan

dikendalikan oleh sinyal kontrol berupa sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) [5]. Namun, *Buck converter* konvensional dengan topologi *Single Phase Buck Converter* (SPBC) dapat bekerja dengan baik pada arus yang rendah. Di lain sisi, pada aplikasi daya yang tinggi, frekuensi operasi *switching* juga harus ditingkatkan dengan tujuan mengurangi ukuran dari konverter. Namun ketika frekuensi semakin tinggi, membuat arus masukan dan tegangan keluaran yang dihasilkan terdapat *ripple* yang cukup besar. *Ripple* tersebut membuat masalah terhadap konverter yang mengakibatkan adanya *losses* pada komponen yang membuat efisiensi dan performa menurun [6].

Pada sistem DC ideal, bentuk gelombang tegangan maupun arus berupa garis lurus. Sistem ini tidak memiliki *ripple* (*ripple*) gelombang. Sebaliknya, sistem DC non ideal terdiri dari komponen DC dan komponen AC sebagai *ripple*. *Ripple* gelombang merupakan komponen tidak diinginkan dan selalu diupayakan agar nilai nol atau serendah mungkin.

*Multiphase Interleaved Buck Converter* (MIBC) merupakan salah satu pilihan untuk aplikasi tersebut. Dengan menggunakan *interleaved Buck Converter*, perangkat elektronik akan mampu bekerja pada power tinggi dengan *ripple* yang kecil pada arus masukan dan keluaran. Namun, *interleaved buck converter* mempunyai penambahan induktor dan saklar. *Multiphase buck converter* merupakan satu set *buck converter* yang disusun secara paralel, sedangkan *interleaved* berarti semua cabang bekerja pada periode masing-masing ditunda satu sama lain meskipun semua bekerja dalam frekuensi yang sama, siklus tugas sama dan arus rms sama. *Multiphase interleaved* memiliki masing-masing induktor tersendiri dan set MOSFET yang semuanya terhubung secara paralel dan membagi ke kapasitor *input* dan *output*. Selama beroperasi dalam keadaan tunak, fase individu aktif dengan pergeseran rentan  $360^\circ/n$  selama periode *switching* yang mana  $n$  adalah jumlah total *phase*. Karena pergeseran fasa tersebut menyebabkan besar nilai *ripple* pada arus keluaran dan arus masukan menjadi berkurang [7].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka ide dari penelitian ini adalah mendesain MIBC sebagai pengurang *ripple* pada catu daya tinggi. Dengan adanya dc-dc *interleaved Buck Converter* ini, diharapkan akan menghasilkan konverter dengan efisiensi dan performa yang baik.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, yaitu:

1. Mendesain *Multiphase Interleaved Buck Converter* (MIBC).
2. Menganalisis kinerja dari *Multiphase Interleaved Buck Converter* (MIBC).

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah mereduksi *ripple* pada keluaran tegangan dan arus pada sistem konverter sehingga terjadi peningkatan efisiensi pada konverter.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dan simulasi menggunakan *software*.
2. Nilai komponen induktor dan kapasitor menyesuaikan yang ada dipasaran.
3. Tidak membahas efisiensi pada pembahasan *hardware*.
4. Tidak membahas secara detail pada rangkaian kontrol *close loop*.

## 1.5 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain *interleaved buck converter* dengan menghitung besaran parameter komponen yang digunakan.
2. Bagaimana membandingkan dan menganalisis hasil simulasi rangkaian *Multiphase interleaved Buck Converter*.

## 1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan menggunakan *Multiphase interleaved buck converter* diharapkan dapat mengurangi *ripple* pada arus tegangan dan tegangan keluaran sehingga dapat memberikan kehandalan pada *buck converter*.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan tugas akhir 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 mengenai *DC DC interleaved buck converter*, penentuan parameter seperti induktor, dan kapasitor sebagai komponen filter, *Pulse Width Modulation* (PWM).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang hal-hal yang dilakukan dalam penelitian, seperti; Tahapan Penelitian, Alat dan Bahan, Perancangan MIBC, dan spesifikasi *hardware*.

## BAB IV SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil pengujian simulasi dan pengukuran pada *hardware* dari topologi SPBC dan MIBC serta dilakukan perbandingan antara simulasi dan *hardware*.

## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang didapat dari proses desain dan pemodelan rangkaian *DC DC Interleaved Buck Converter*. Bab ini juga berisi saran-saran kedepannya untuk perancangan konverter sehingga dapat dikembangkan lagi untuk mencapai hasil yang lebih maksimal kedepannya.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Di dalam sub ini menjelaskan tentang penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini, sehingga banyak teori yang telah di uji dan kemudian digunakan sebagai referensi untuk mengkaji penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Judul dan Tahun Terbit	Nama Penulis	Hasil Penelitian
1.	<i>Performance Analysis of DC DC Buck Converter for Renewable Energy Application</i> [8]. Tahun: 2018	N H Baharudin etc	Simulasi PSIM untuk pengaplikasian pada energi terbarukan yang menurunkan tegangan DC. Hasil yang didapat yaitu tegangan dan arus keluaran dari prototipe perangkat keras dibandingkan dengan hasil perhitungan dan simulasi setengahnya karena adanya kerugian atau <i>losses</i> yang terjadi pada dioda akibat adanya tegangan tinggi.
2.	<i>Multileg Interleaved Buck Converter for EV Charger Discrete Time Model and</i>	Stefania Cuoghi etc	Menyajikan pemodelan dan implementasi kontrol digital <i>multileg interleaved DC-DC buck converter</i> untuk pengisian kendaraan listrik (EV). Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa respon

No	Judul dan Tahun Terbit	Nama Penulis	Hasil Penelitian
	<i>Direct Control Design</i> [9]. Tahun: 2020		gelombang dari 0 A ke 10 A <i>output</i> dari arus induktor dan <i>output</i> tegangan yang diset selama 5ms menghasilkan gelombang dalam keadaan <i>steady-state</i> yang mana hasil pengaruh dari kontrol PI membuat arus induktor seimbang.
3.	<i>The Preliminary design of DC Magnet Power Supply System for ITER Static Magnet Field Test facility</i> [10]. Tahun: 2022	Xi Deng etc	Topologi <i>buck converter</i> pada dc <i>power supply</i> berupa <i>interleaving</i> paralel <i>buck converter</i> untuk mengatasi masalah pada besarnya harmonik yang dihasilkan dari besarnya arus keluaran.

## 2.2 Konverter

Power elektronik atau elektronik daya adalah teknologi yang berkaitan dengan konversi elektrik, kontrol dan pengkondisian daya listrik dari bentuk *input* yang tersedia ke dalam bentuk *output* yang diinginkan [11]. Secara umum konverter dibedakan menjadi 4 yaitu:

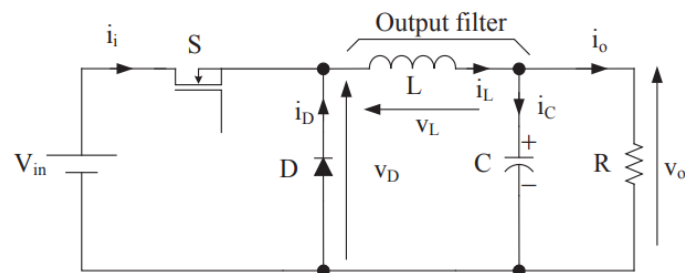
1. Konverert AC – DC (*Rectifier*)
2. Konverter AC – AC (*Cycloconverter*)
3. Konverter DC – DC (*DC Chopper*)
4. Konverter DC- AC (*Inverter*)

Konverter DC – DC merupakan bagian dari elektronika daya yang mempunyai dua fungsi operasi yaitu penaik tegangan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan dan penurunan tegangan dimana tegangan

keluaran lebih rendah dari tegangan masukan. Secara umum DC – DC konverter dibagi menjadi tiga yaitu, *buck*, *boost* dan *buck-boost*.

### 2.3 DC-DC Buck Converter

*Buck Converter* digunakan untuk mengubah tegangan dengan masukan yang tinggi ke tegangan keluaran yang rendah (*step down*). Gambar 1 dibawah ini menunjukkan bahwa *Buck converter* tersusun dari mosfet, dioda, induktor dan kapasitor.



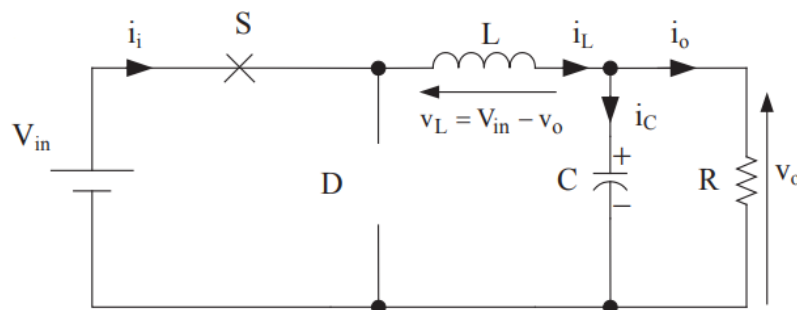
Gambar 1 Rangkaian dasar *buck converter* [12]

#### 2.3.1 Prinsip Kerja *Buck Converter*

Prinsip kerja dari *buck converter* dapat dibagi menjadi dua mode yaitu *switch ON* dan *switch OFF*. Masing-masing akan dijelaskan sebagai berikut:

##### a. Mode I (*Charging* induktor dan kapasitor)

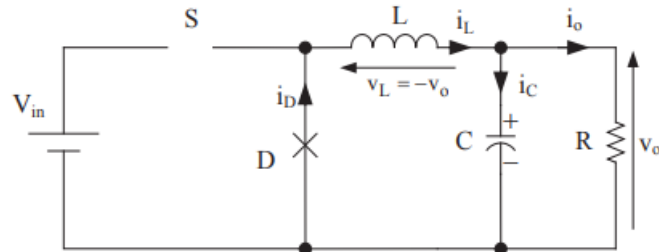
Mode ini terjadi saat saklar S menyala (*ON*) dan menghubungkan sumber DC melintasi filter *output* dan dioda (D). Pada mode ini, dioda bersifat *reverse biased* serta induktor dan kapasitor mengalami pengisian (*charged*). Mode ini ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Mode I saklar *on* [13]

b. Mode II (*Inductor Discharging*)

Mode ini terjadi ketika saklar S Off. Selama mode ini, induktor mengalami pengosongan (*discharging*) dan dioda bersifat *forward biased*. Mode ini berakhir ketika saklar S kembali ON atau arus induktor menjadi nol. Rangkaian ekivalen mode II ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Mode II saklar *Off* [13]

Tegangan keluaran dari *buck converter* dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$V_0 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_0(t) dt$$

$$V_0 = \frac{1}{T_s} \left[ \int_0^{t_{on}} V_{in} dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right]$$

$$V_0 = \frac{1}{T_s} (t_{on} V_{in} - 0 + 0 - 0)$$

$$V_0 = V_{in} \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.1)$$

Tegangan keluaran dapat diatur dengan nilai D (*Duty cycle*). *Duty cycle* adalah rasio waktu antara waktu *switch* tertutup  $t_{on}$  dengan periode  $T_s$  dan pulsa tegangan keluaran.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$D = t_{on} f \quad (2.2)$$

Substitusi persamaan (2.1) ke persamaan (2.2) seperti berikut:

$$V_0 = V_{in} \frac{t_{on}}{T_s}$$
$$V_0 = V_{in} D \quad (2.3)$$

Kemudian untuk nilai arus rata-rata menggunakan persamaan 2.4:

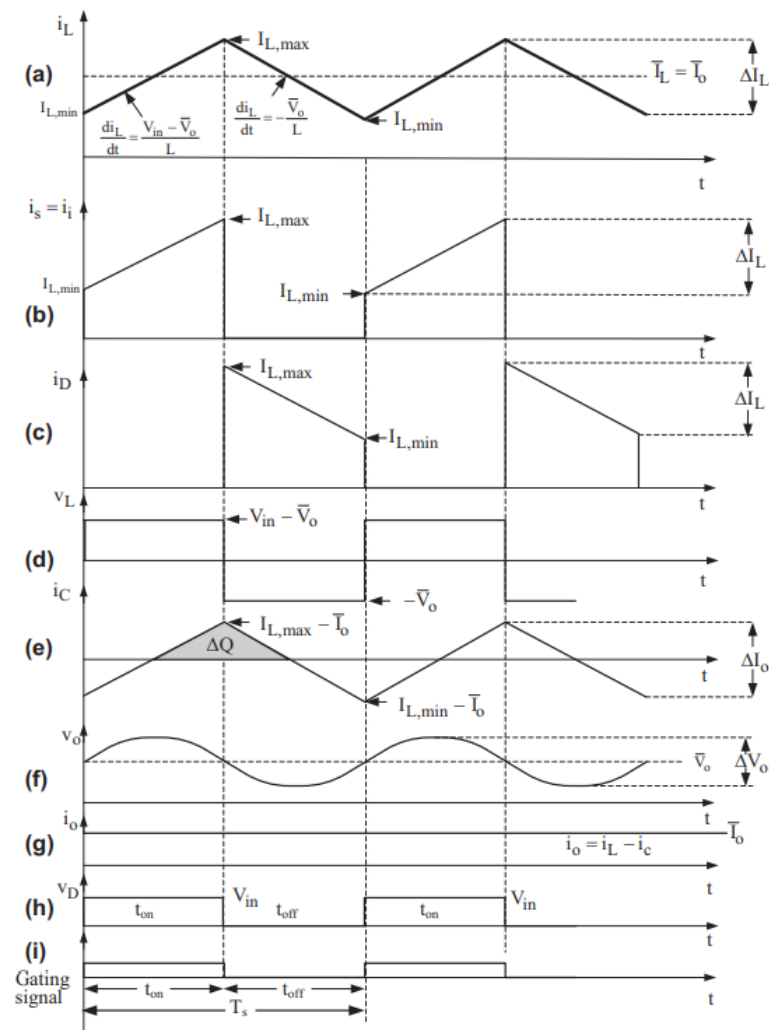
$$I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.4)$$

Selanjutnya, untuk hubungan arus dan beban terhadap daya buck converter yang digunakan ditunjukkan oleh persamaan 2.5 dan 2.6

$$I_o = \frac{P}{V} \quad (2.5)$$

$$I_o = \frac{V^2}{P} \quad (2.6)$$

### 2.3.2 Analisa Rangkaian *Buck Converter*



Gambar 4. Gelombang dari *Buck Converter* ketika arus induktor bersifat *continuous* dan tegangan murni dc. (a) Arus induktor; (b) Arus saklar S; (c) arus induktor D; (d) tegangan induktor; (e) arus kapasitor; (f) *ripple* tegangan kapasitor; (g) arus keluaran; (h) tegangan dioda; (i) sinyal pulsa [13]

Dengan menggunakan rangkaian ekivalen pada Gambar 2, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$v_L(t) = V_{in} - v_o \text{ (Ketika saklar S ON)} \quad (2.7)$$

$$v_L(t) = -v_o \text{ (Ketika dioda bekerja)} \quad (2.8)$$

Pada Gambar 4 (e), dan (f), arus kapasitor bernilai positif selama setengah periode, menghasilkan tegangan kapasitor naik anata tegangan yang paling rendah

dan tinggi. Selama selang waktu ini, muatan  $Q$  disimpan dalam kapasitor. Sehingga diberikan persamaan berikut:

$$\Delta Q = C \times \Delta V_o \quad (2.9)$$

Dimana  $\Delta V_o$  merupakan *ripple* tegangan keluaran *peak to peak*.

Daerah yang diarsir berupa segitiga (Gambar 4(e)) menunjukkan total pengisian kapasitor dan dapat menggunakan persamaan dari segitiga:

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T_s}{2} \right) \left( \frac{\Delta I_L}{2} \right) = \frac{T_s \Delta I_L}{8} \quad (2.10)$$

Substitusi persamaan (2.9) ke persamaan (2.10) yang menghasilkan persamaan (2.11) yang merupakan nilai untuk *ripple* tegangan keluaran *peak-to-peak*.

$$\Delta V_o = \frac{\Delta I_L T_s}{8C} \quad (2.11)$$

Kemudian akan dihitung *ripple* arus induktor  $\Delta I_L$ . Ketika saklar  $S$  ON, perubahan arus induktor seperti pada Gambar 4(a) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_{in} - \bar{V}_o}{L} \\ \frac{\Delta I_L}{t_{on}} &= \frac{V_{in} - \bar{V}_o}{L} \\ \Delta I_L &= \frac{V_{in} - \bar{V}_o}{L} t_{on} \\ \Delta I_L &= \frac{\bar{V}_o}{L} \frac{D}{1-D} DT_s \\ \Delta I_L &= \frac{\bar{V}_o(1-D)}{Lf_s} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dari persamaan 2.12 dapat dibuat untuk mencari nilai induktor yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \Delta I_L &= \frac{\bar{V}_o(1-D)}{Lf_s} \\ L &= \frac{\bar{V}_o(1-D)}{\Delta I_L f_s} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Kemudian substitusi persamaan (2.13) ke persamaan (2.11) untuk mendapatkan persamaan parameter kapasitor:



$$\Delta V_o = \frac{(1-D)\bar{V}_o T_s^2}{8LC}$$

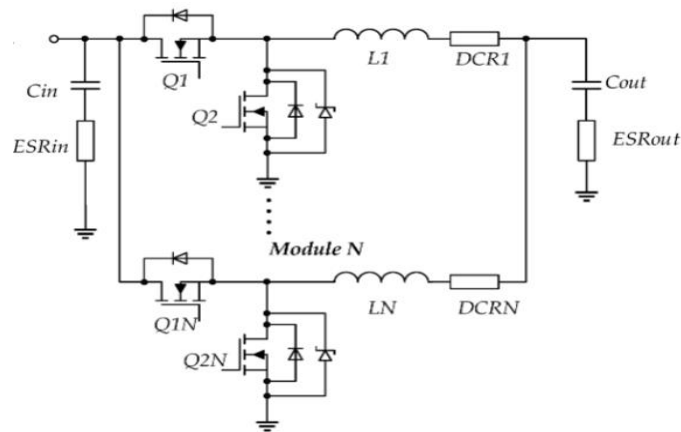
$$\Delta V_o = \frac{(1-D)\bar{V}_o}{8LCf_s^2}$$

$$C = \frac{(1-D)\bar{V}_o}{8 \cdot L \cdot \Delta V_o \cdot f_s^2}$$

$$C = \frac{(1-D)}{8 \cdot L \cdot \left(\frac{\Delta V_o}{\bar{V}_o}\right) \cdot f_s^2} \quad (2.14)$$

## 2.4 DC-DC Interleaved Buck Converter

*Multiphase buck converter* atau *interleaved buck converter* adalah satu set *buck converter* yang disusun secara paralel seperti Gambar 5 yang masing masing memiliki induktor sendiri dan set mosfet. Secara kolektif komponen ini disebut fase. Fase terhubung secara paralel dan berbagi kapasitor *input* dan *output*. Selama operasi keadaan tunak, fase individu aktif pada interval dengan  $360^\circ/n$  selama periode *switching* dimana  $n$  adalah jumlah fase.



Gambar 5. MIBC

*Interleaved buck converter* bekerja sama halnya dengan konverter konvensional *single-phase* yang setiap mosfet digerakkan secara bergantian dengan siklus *duty cycle*. *Interleaved buck converter* digerakkan dengan frekuensi *switching* yang mana setiap fase digeser berdasarkan jumlah fase yang digunakan. Misalnya ketika menggunakan dua fase maka digeser sebesar  $180^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ), sedangkan untuk tiga fase digeser sebesar  $120^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ ) dan begitu

seterusnya. Persamaan 2.15 dan 2.16 menunjukkan hubungan *duty cycle* di beberapa fase.

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (2.15)$$

$$D = D_1 = D_2 = D_3 = \dots = D_N \quad (2.16)$$

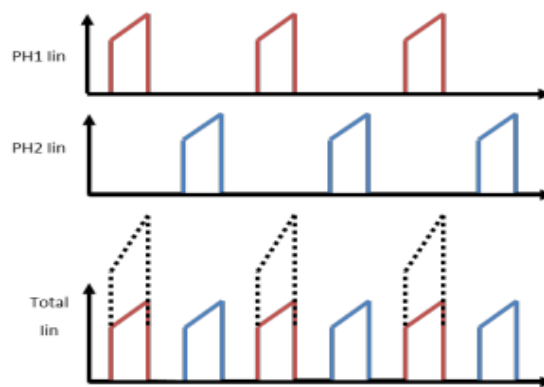
Pada desain MIBC perlu memperhatikan pemilihan induktor yang akan digunakan karena hal ini nanti akan menjadi faktor penting dalam bentuk keluaran konverter. Dalam menentukan induktor yang disusun paralel perlu memiliki kemampuan arus yang efektif. Nilai induktor yang lebih rendah akan menghasilkan arus *ripple* yang lebih tinggi dan *output* tegangan *ripple* yang tinggi. Hubungan antara arus *ripple*, tegangan *ripple* dan komponen LC ditunjukkan oleh persamaan 2.17

$$\Delta I_o = \frac{V_o}{f_s \cdot L_o} \left(1 - \frac{V_o}{V_{in}}\right) \quad (2.17)$$

*Multiphase converter* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan *single phase converter*. Keunggulan tersebut diantaranya yaitu sebagai berikut:

a. Pengurangan kapasitansi masukan

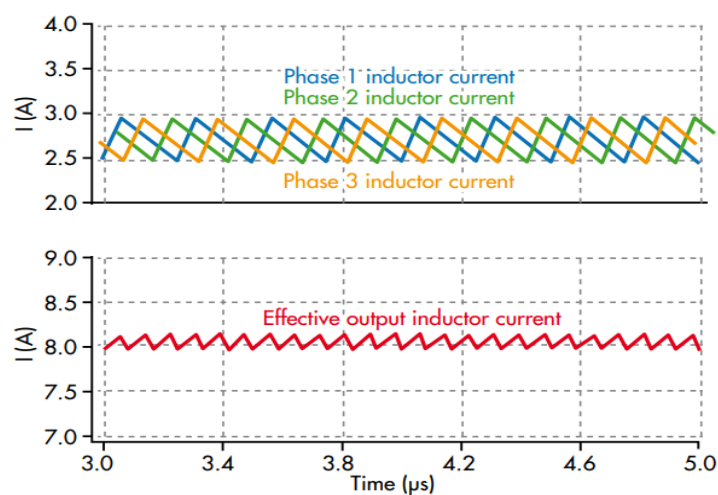
Dengan menambahkan lebih banyak fase dapat mengurangi arus *input* RMS yang mengalir melalui kapasitor *decoupling*, sehingga mengurangi *ripple* tegangan pada tegangan  $V_{in}$ . Dibandingkan dengan desain satu fasa, bentuk gelombang arus *input* total dari *multiphase* memiliki nilai puncak yang lebih rendah dan nilai arus RMS yang lebih rendah serta mengurangi tekanan pada MOSFET setiap fase. Pada Gambar 6 menunjukkan gelombang arus *input* dari dua fasa dibandingkan dengan satu fasa desain *buck converter* (garis putus-putus).



Gambar 6. Gelombang arus masukan

b. Mengurangi kapasitansi keluaran

Setiap fasa pada *multiphase converter* memiliki *ripple* arus induktor yang sama sebagaimana pada *single-phase* dalam kondisi operasi yang sama. Namun karena setiap fasa terhubung ke keluaran yang sama, arus induktor dijumlahkan secara bersama, sehingga kapasitor keluaran diisi dan dikosongkan pada saat yang bersamaan. Dari operasi yang terjadi bersamaan ini menghasilkan arus *ripple* keseluruhan yang lebih rendah. Dibandingkan dengan arus *ripple* dari fasa individu, jumlah arus memiliki nilai puncak ke puncak yang lebih rendah dalam keadaan *steady state* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. arus *ripple* di kapasitor keluaran menurunkan *ripple* tegangan *output* keseluruhan yang membuat menurunkan nilai kapasitansi yang diperlukan untuk  $V_{out}$  dalam keadaan toleransi.



Gambar 7. Cancellation of inductor ripple current

c. Kerja termal dan efisiensi yang lebih baik pada beban tinggi

Konverter fase tunggal memiliki semua daya keluaran yang mengalir melalui satu induktor dan sepasang FET. Setiap kehilangan daya (*power losses*) hanya ada dalam komponen-komponen itu. Untuk aplikasi dengan lebih dari 100 A dari arus keluaran, membuat sumber FET dan induktor yang diberi nilai arus menjadi sulit dan mahal. Kerugian juga pada desain satu area kecil PCB. *multiphase converter* ini membuat hilang daya tersebar secara merata di semua fase. Karena setiap fase hanya berurusan dengan bagian dari total keluaran arus. Efisiensi *buck converter* juga jauh lebih tinggi dibandingkan dengan desain fase tunggal. Kinerja lebih ditingkatkan dengan adanya pengurangan *Cin* dan *Cout* karena arus *ripple* yang lebih rendah di kapasitor menghasilkan lebih sedikit pemanasan dan lebih rendah kehilangan daya (*power losses*)

d. Respon yang baik terhadap beban transien

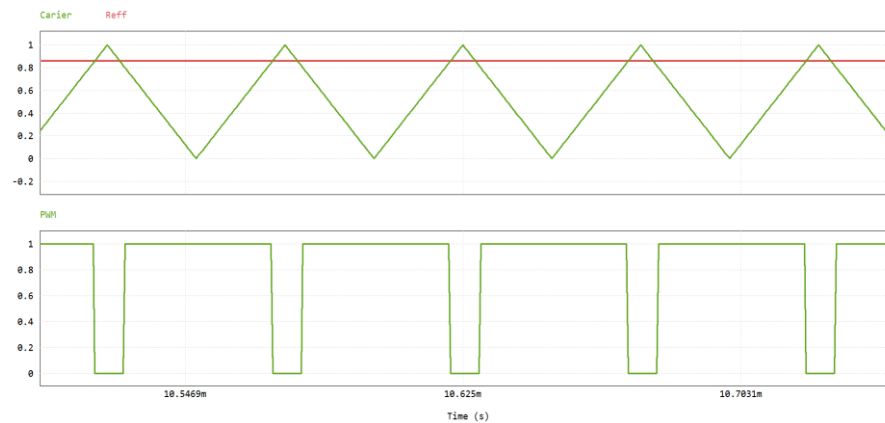
Pada penerapan konverter yang memiliki kinerja yang tinggi, membutuhkan persyaratan kapasitansi yang diminta oleh transien lebih tinggi dari apa yang diperlukan dengan tujuan untuk mencapai *ripple* DC yang dihasilkan. Selama peristiwa transien, pengontrolan *multiphase* dapat menggunakan pelepasan fase tumpang tindih selama terjadi pelepasan beban. Ketika beberapa fase beroperasi bersamaan, secara efektif induktor yang tersusun secara paralel membagi induktansi ekuivalen yang didapat dari keluaran  $n$  dimana  $n$  adalah jumlah total fase. Dengan induktansi ekuivalen yang lebih kecil, *multiphase buck* dapat menyuplai muatan ke kapasitor keluaran lebih cepat, sehingga mengurangi *undershoot*. Setiap induktor yang memiliki sedikit muatan untuk ditransfer ke kapasitor keluaran dapat mengurangi *overshoot*.

## 2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa atau lebih dikenal dengan sebutan PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier*. Pada umumnya untuk sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaji.

Prinsip dasar dari PWM adalah ketika besarnya amplitudo sinyal referensi lebih besar dari amplitudo sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal *high* atau *on* dan jika besar amplitudo sinyal referensi berada lebih kecil dari amplitudo sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal *low* atau *off*.

Proses membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier* terlihat dari Gambar 8.



Gambar 8. Pembangkitan *Pulse Width Modulation*

$T_{on}$  pada Gambar 8 memperlihatkan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *high* atau *on* sedangkan  $T_{off}$  merupakan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *low* atau *off*. Penjumlahan lama waktu dari  $T_{on}$  dengan  $T_{off}$  disebut dengan  $T_{total}$  yang bisa dikenal dengan satu periode gelombang.

$$T = T_{on} + T_{off} \quad (2.18)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.19)$$

Besarnya  $T_{on}$  dan  $T_{off}$  maka dapat ditentukan besarnya *duty cycle* yaitu perbandingan antara waktu ketika gelombang berada dalam kondisi *on* dibagi dengan total waktu antara gelombang dalam keadaan *on* dan gelombang dalam keadaan *off* sehingga *duty cycle* dapat ditulis dengan persamaan (2.20).

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \quad (2.20)$$

*Duty cycle* berguna untuk menentukan waktu kerja pada komponen saklar semikonduktor sehingga akan menjadi pulsa penyalan yang dapat mengontrol

keadaan *on* dan *off* pada saklar. Oleh karena itu prinsip dari PWM untuk mengontrol kerja dari saklar semikonduktor adalah ketika  $V_{control}/V_{ref}$  memiliki nilai amplitudo lebih besar dari gelombang segitiga oleh karena itu PWM akan mengeluarkan kondisi *high* yang menyebabkan saklar dalam keadaan *on* sehingga saklar menutup, sebaliknya jika  $V_{control}/V_{ref}$  memiliki amplitudo lebih kecil dari gelombang segitiga maka PWM akan mengeluarkan kondisi *low* yang akan menyebabkan saklar dalam keadaan *off* sehingga saklar akan membuka.

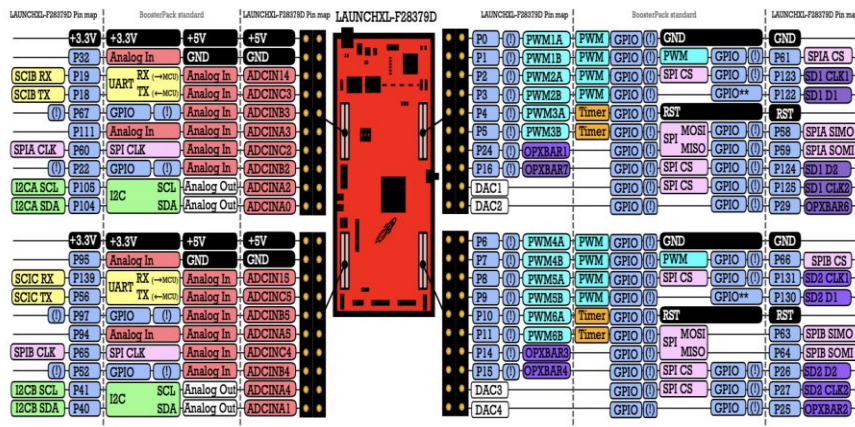
Pada proses interleaved PWM terdapat pergeseran yang terjadi pada sinyal *carrier* dengan persamaan (2.21).

$$Phase\ shift = 360/n \quad (2.21)$$

Dengan  $n$  merupakan jumlah fasa yang digunakan pada topologi *converter*.

## 2.6 Mikrokontroler Launchxl-f28379d

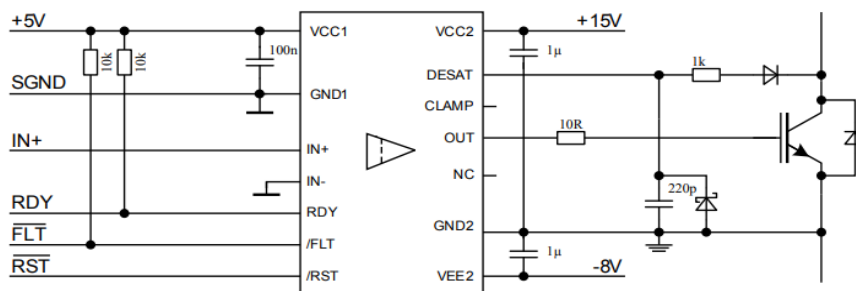
Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O dan pendukung lainnya seperti *Analog-to-Digital Converter* (ADC). Pada penelitian ini digunakan launchxl-F28379D sebagai kontroler dan penghasil sinyal PWM. launchxl-F28379D sebagaimana terlihat pada Gambar 9 yang merupakan suatu board yang dikembangkan Texas Instruments Delfino F287xD. Board ini kompatibel dengan berbagai paket *booster plug-on* di Launchpad TI MCU [14]. Dengan menggunakan IDE Code Composer Studio pengguna dapat memprogram, unduh, dan *debug* pada launchxl-F28379D.



Gambar 9. launchxl-F28379D pinout [14]

### 2.6 Rangkaian Pemicu Gate Mosfet (Gate Driver)

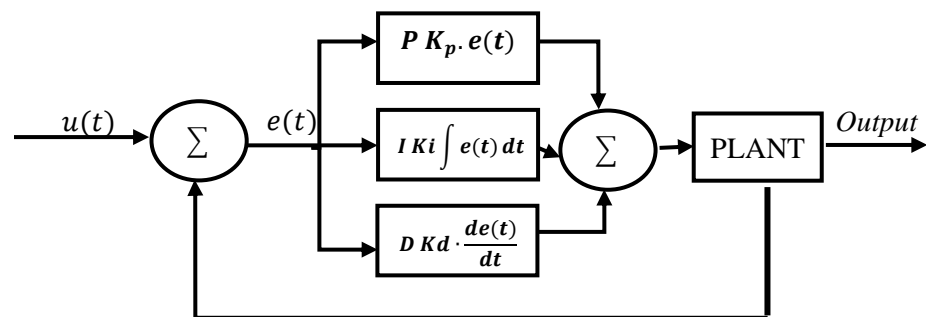
Komponen mosfet pada buck converter dapat bekerja sebagai saklar, mosfet harus bekerja pada kondisi saturasinya. Kondisi saturasi mosfet dibentuk dengan memberikan tegangan *gate-source* berkisar antara 12-15 Volt. Karena tegangan keluaran dari mikrokontroler sebesar 5 Volt, maka diperlukan pemicu pada mosfet yang disebut dengan *gate driver*. Pada penelitian ini gate driver yang digunakan adalah 1ED1020I12-F2, yang berfungsi menguatkan PWM kontrol dari 5 Volt menjadi 15 Volt. 1ED1020I12-F2 adalah *driver* IGBT saluran tunggal terisolasi galvanik dalam paket PG-DSO-16-15 yang menyediakan arus keluaran biasanya 2A. semua pin kompatibel dengan 5 V CMOS dan dapat dihubungkan langsung ke mikrokontroler [15]. Gambar 10 dibawah ini memperlihatkan *typical application* dari 1ED1020I12-F2 yang mempunyai suplai bipolar driver dengan tegangan positif 15V pada VCC2 dan tegangan negatif -8V pada VEE2. Masukan negatif mencegah pengaktifan dinamis karena ada tambahan dari kapasitansi *input* IGBT dikalikan tegangan suplai negatif.



Gambar 10. Rangkaian gate driver [15]

## 2.7 Sistem Kontrol Close Loop

Sistem kendali PI (*Proportional Integral*) merupakan kontrol untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada suatu sistem. Sistem kendali PI terdiri dari dua buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*) dan I (*Integral*) dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing dapat bekerja dengan sendiri maupun digabung. Tegangan transien yang muncul pada saat start up, yaitu timbulnya respon maksimum (*overshoot*), waktu naik (*rise time*) dan waktu menuju keadaan mantap (*settling time*) yang lama. Gejala transien ini tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diperkecil dampaknya dengan melakukan pengendalian PWM pada konverter. Proses pengontrol PID dengan menghitung nilai kesalahan (error) sebagai perbedaan antara set point yang diinginkan dan variabel proses terukur dan menerapkan koreksi berdasarkan istilahnya yaitu *Proportional* dan *Integral*. Sistem kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram blok PID kontrol

Ada beberapa metode untuk menentukan parameter respon yaitu dengan metode coba-coba (*cut and try method*), metode Ziegler-Nichols, dan metode tanggapan tangga [5]. Adapun tanggapan sistem kontrol PID ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

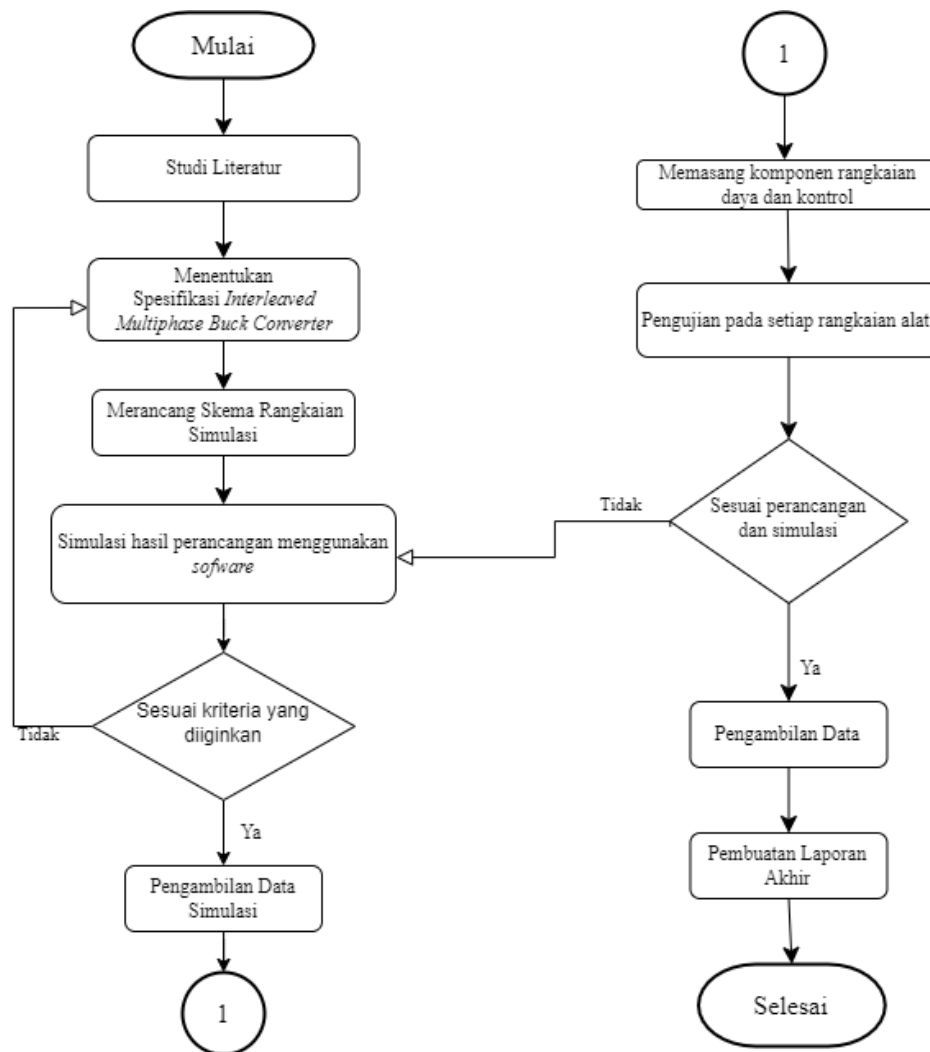
<i>Close-Loop Response</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>SS Error</i>
<i>K<sub>p</sub></i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>
<i>K<sub>i</sub></i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
<i>K<sub>d</sub></i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small change</i>



### III. METODOLOGI PENELITIAN

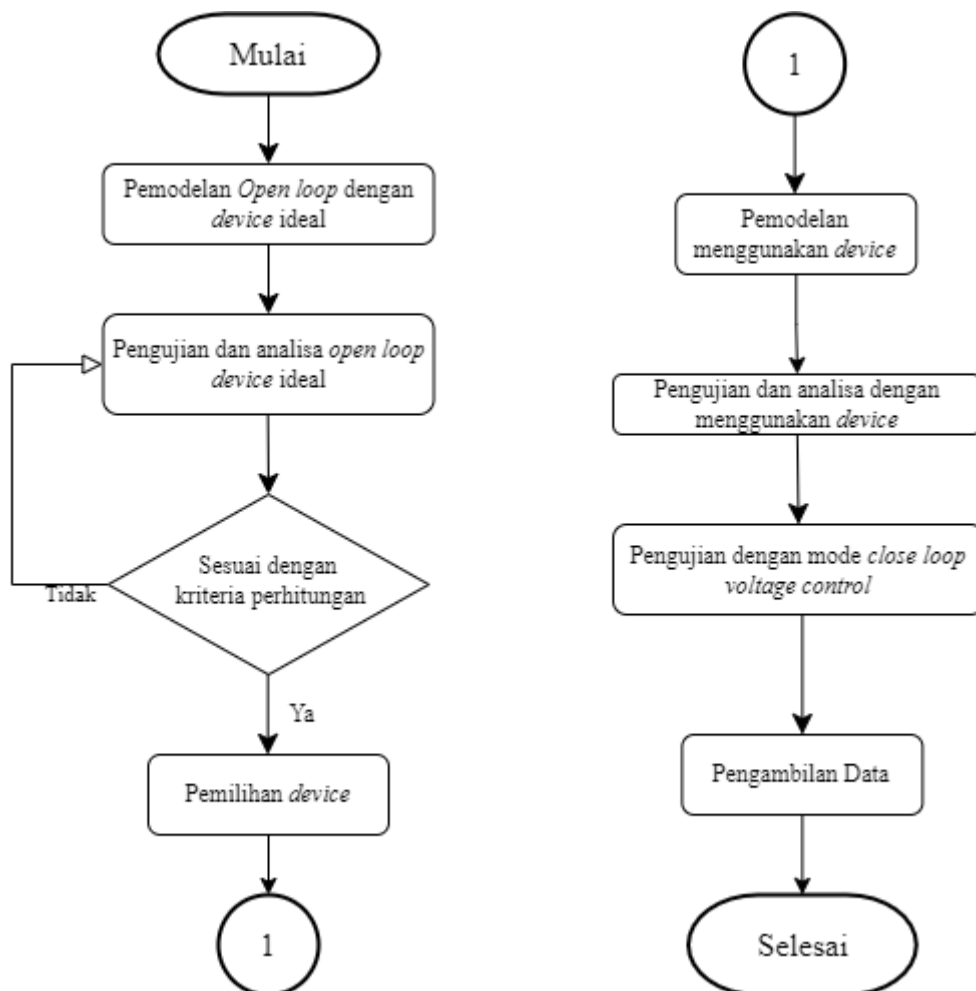
#### 3.1 Perancangan Sistem

Perancangan tugas akhir ini terdiri dari rangkaian MIBC dan rangkaian kontrol. Diagram perancangan tugas akhir ditunjukkan pada Gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12. Alur pengerjaan tugas akhir

Diagram alir dari penelitian sesuai pada Gambar 12. Langkah pertama dengan studi literatur untuk menentukan dasar teori dan kriteria dari pembahasan penelitian tugas akhir yang akan dirancang, yaitu MIBC. Kriteria dan rangkaian yang sudah didapatkan akan dilakukan simulasi agar dapat mengetahui hasil keluaran dari penelitian yang dilakukan. Rangkaian MIBC akan disimulasikan menggunakan *software* PSIM untuk melihat sinyal pemicu IGBT dan gelombang tegangan keluarannya. Dari simulasi didapatkan kriteria nilai dalam menentukan komponen yang sesuai dan akan diimplementasikan menjadi *hardware* dalam merancang MIBC. Proses selanjutnya realisasi alat yang dilanjutkan dengan pengambilan data serta pembuatan laporan untuk tugas akhir. Adapun Gambar 13 menunjukkan alur bagian dari simulasi hasil perancangan.



Gambar 13. Alur pengerjaan simulasi

### 3.2 Alat dan Bahan

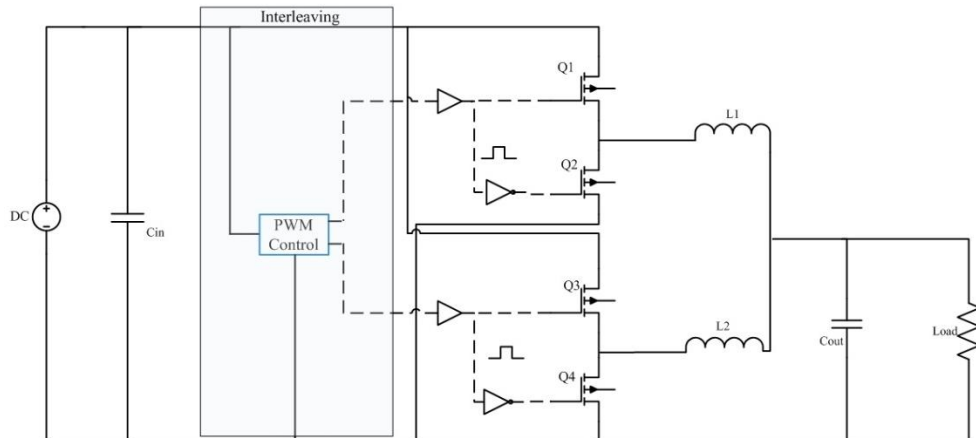
Adapun alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

Tabel 3. Alat dan bahan

No	Nama Alat dan Perangkat Lunak	Keterangan
1.	PSIM	Sebagai pemodelan simulasi konverter
2.	LTSpice	Sebagai pemodelan IC komponen yang digunakan
3.	KiCad	Sebagai perancangan desain PCB
4.	Lauchxl_f28379d	Sebagai mikrokontroler
5.	Multimeter	Sebagai alat ukur tegangan
6.	Digital Oscilloscope	Sebagai pengukur keluaran gelombang
7.	LCR Meter	Sebagai alat ukur untuk induktor, kapasitor dan resistor
8.	<i>Current Probe</i>	Sebagai alat ukur arus
9.	<i>Heatsink</i>	Sebagai pendingin IGBT, resistor dan dioda <i>bridge</i>

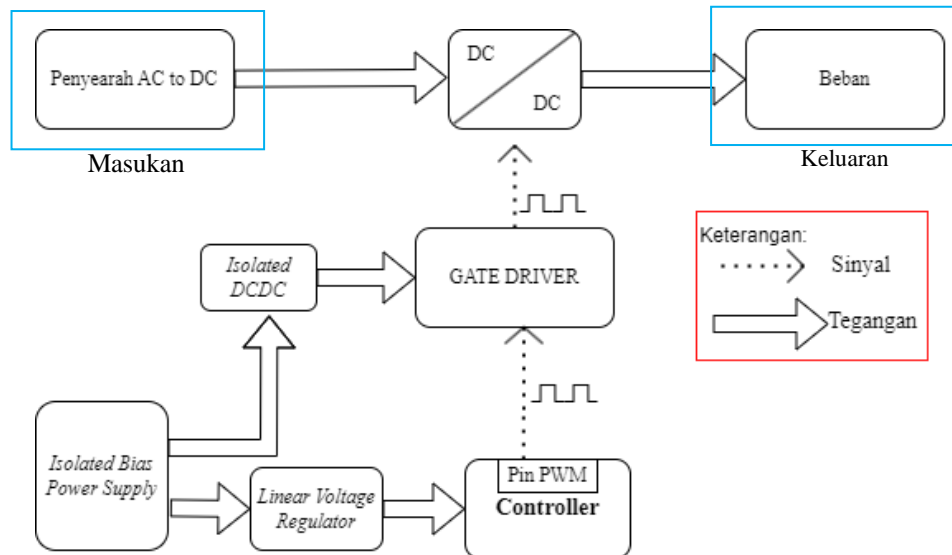
### 3.3 Perancangan Model MIBC

Adapun skema model konverter yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema sistem konverter

Gambar 14 merupakan skema dari sistem konverter yang mana terdapat rangkaian MIBC yang akan mengubah nilai tegangan *output* berupa DC menjadi lebih dari tegangan DC *input*.



Gambar 15. Blok diagram perancangan perangkat keras

Spesifikasi MIBC berdasarkan Gambar 15 yang dirancang di tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Sumber DC berasal dari penyearah AC to DC yang bersumber dari tegangan AC PLN.
2. *Isolated Bias Power Supply* ini memiliki nilai 12V sebanyak tiga buah yang masing-masing memiliki *ground* berbeda. 12V pertama digunakan untuk mensuplai *Isolated DC DC* untuk *Gate Driver* yang menghasilkan *output* 12v dan -5V. Kemudian 12V kedua diturunkan menjadi 5v IC REG LINEAR 5V 500mA yang digunakan untuk mensuplai rangkaian *Gate Driver*, serta 12V ketiga digunakan untuk *supply conditioning* pada mikrokontroler yang telah diturunkan menjadi 5v dengan IC REG LINEAR 5V 100mA.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah launchxl-F28379D sebagai pemacu tegangan PWM.
4. Rangkaian *driver* menggunakan UCC5350MC. Rangkaian ini digunakan untuk menguatkan sinyal PWM keluaran launchxl-F28379D supaya dapat memicu IGBT.
5. Beban menggunakan beban yang tersedia di laboratorium 100 ohm.
6. *Device* IGBT menggunakan FGH40T120SQDNL4. IGBT ini memiliki arus maksimal 40A dan tegangan *peak* hingga 1200V.

### 3.3 Penentuan Parameter Spesifikasi Rangkaian Konverter

Sebelum melakukan perancangan, diperlukan adanya perhitungan parameter untuk spesifikasi yang akan digunakan. Adapun parameter yang dihitung seperti induktor, kapasitor dan beban.

#### 3.3.1 Beban

Nilai beban yang digunakan berdasarkan tegangan keluaran serta daya *output* pada konverter. Perhitungan arus dan beban menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6).

$$I = \frac{P}{V} = \frac{10 \text{ KW}}{600 \text{ V}} = 16.66 \text{ A}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{600^2 \text{ V}}{10000 \text{ W}} = 36 \text{ ohm}$$

#### 3.3.2 Induktor

Dalam menentukan nilai induktansi induktor rangkaian MIBC yang digunakan, pertama kali dipertimbangkan adalah nilai induktansi minimal yang dibutuhkan agar konverter dapat beroperasi pada mode CCM pada nilai pensaklaran yang digunakan. Untuk menentukan nilai induktansi minimal, terlebih dahulu menentukan *duty cycle* dan *ripple* induktor. *Ripple* induktor yang diizinkan untuk desain konverter adalah 20%-40%. Setelah menentukan *ripple* induktor yang diinginkan, kemudian ditentukan nilai induktor yang akan diimplementasikan pada *converter*. Berdasarkan persamaan dapat ditentukan nilai induktor sebagai berikut:

Pertama menentukan *duty cycle* untuk nantinya menjadi salah satu parameter dalam menghitung induktor dengan menggunakan persamaan (2.3).

$$D = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$D = \frac{600}{800} = 0.75$$

Setelah didapat nilai *duty cycle*, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai induktor yang menggunakan persamaan (2.13). Pada perhitungan induktor ini, *ripple* arus yang diinginkan adalah 20%.

$$L = \frac{V_{out}(1-D)}{\Delta I L \cdot F_{sw}}$$

$$L = \frac{600 \cdot (1-0.75)}{(0.2 \cdot \frac{16.66}{3}) \cdot 20000}$$

$$L = 6.777 \times 10^{-3} H$$

$$L = 6.7 \text{ mH}$$

Agar konverter bersifat CCM, maka nilai induktor harus diatas nilai minimum. Maka dengan menggunakan hasil yang didapat, nilai induktor yang digunakan adalah sebesar 7 mH. Kemudian menentukan kembali nilai *ripple* arus dari induktor yang digunakan seperti persamaan (2.12).

$$\Delta IL = \frac{V_{out}(1-D)}{L \cdot F_{sw}}$$

$$\Delta IL = \frac{600 \cdot (1-0.75)}{(0.007) \cdot 20000}$$

$$\Delta IL = 1.071 A$$

Nilai *ripple* arus ini menjadi salah satu parameter dalam menentukan nilai kapasitor.

### 3.3.3 Kapasitor

Dalam menentukan besar nilai kapasitansi kapasitor yang akan digunakan, terlebih dahulu menentukan nilai *ripple* tegangan yang diinginkan. Ditentukan nilai *ripple* tegangan pada converter ini adalah 1% - 5%, dan nilai *ripple* tegangan yang digunakan pada kapasitor sebesar 1%. Sehingga berdasarkan persamaan (2.14) pada bab 2 dapat ditentukan nilai kapasitor adalah:

$$C_{out} = \frac{\Delta IL}{8 \cdot F_{sw} \cdot \Delta V_c}$$

$$C_{out} = \frac{1.071 A}{8 \cdot 20000 \cdot 0.01 \cdot 600}$$

$$C_{out} = 1.115265 \times 10^{-6} F$$

$$C_{in} = \frac{I_{phase} \times D \times N(1-D)}{F_{sw} \cdot \Delta V_{in}}$$

$$C_{in} = \frac{5.53 \times 0.75 \times 3(1-0.75)}{20000 \cdot (0.2 \times 800)}$$

$$C_{in} = 9.720e - 7 F$$

Pada eksperimen yang dilakukan di laboratorium, terdapat keterbatasan sumber tegangan tinggi yang diperoleh dari penyearah tiga fasa serta ada beberapa komponen yang belum dipesan sesuai dengan perhitungan diatas. Sehingga untuk melakukan eksperimen tugas akhir ini menggunakan komponen seperti resistor, kapasitor dan induktor yang tersedia di laboratorium. Untuk resistor yang digunakan sebagai beban senilai 100 ohm, kemudian untuk kapasitor sebesar 15uf

dan untuk induktor akan dibuat dengan melilitkan kabel pada paralon yang akan dibuat *air inductor*.

Adapun perhitungan untuk *air inductor* yaitu:

$$L \approx K \frac{d^2 n^2}{18d + 40l}$$

$$L \approx 0.395 \frac{(11^2)(120^2)}{(18 \cdot 11) + (40 \cdot 35)}$$

$$L \approx 430.6933 \text{ uH}$$

### 3.4 Spesifikasi Konverter

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat spesifikasi dari konverter yang ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi DC-DC *buck converter*

*PARAMETER		TEST CONDITION	MIN	NOM	MAX	UNITS
<b>**Karakteristik Input</b>						
Vin	Tegangan Input	$220\sqrt{2}$	-	-	-	V
<b>Karakteristik Output</b>						
Vout	Tegangan Output	D = 30% - 70%	93.3	162	217.78	V
L	Induktor	0.450	-	-	-	mH
C	Kapasitor	15	-	-	-	uF
R	Resistor	100	-	-	-	Ohm
<b>Frekuensi Switching</b>						
Fs	Frekuensi	10	-			Khz

Catatan:

\*Parameter menyesuaikan dengan yang tersedia di laboratorium

\*\*Tegangan *input* berdasarkan tegangan dari PLN yang telah disearahkan

### 3.5 Perancangan Simulasi Menggunakan PSIM

Pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi pemodelan *multiphase buck converter* pada aplikasi PSIM. Simulasi ini bertujuan untuk mensimulasikan hasil dari perhitungan sebelumnya sebelum direalisasikan dalam bentuk alat.

### 3.6 Pengujian dan Pengukuran

Berikut merupakan beberapa tahap pengujian simulasi konverter dan pengukuran pada alat konverter:

#### 3.6.1 Pengujian pada simulasi

Dalam melakukan pengujian pada simulasi, beberapa hal yang perlu menjadi parameter keberhasilan setiap pengujian, Tabel 5 menunjukkan jenis pengujian dan parameter keberhasilan dari pengujian simulasi pada PSIM.

Tabel 5. Pengujian dan parameter pada simulasi konverter

Jenis Pengujian	Parameter Keberhasilan
1. Pengujian keluaran sinyal <i>Interleaved</i> PWM	1. Pengujian pergeseran ( <i>time delay</i> ) pada PWM 2. Pengujian <i>Deadtime</i>
2. Pengujian keseluruhan model konverter	1. Pengujian keluaran dari buck converter berdasarkan teori $D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ 2. Pengujian <i>ripple</i> keluaran <i>Buck converter</i> dan MIBC

#### 3.6.2 Pengujian dan pengukuran pada *Hardware*

Pada pengujian dan pengukuran di *hardware*, terdapat beberapa hal yang akan menjadi parameter keberhasilan. Adapun jenis pengukuran dan parameter keberhasilan dari eksperimen ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6. Pengukuran dan parameter pada alat konverter

Jenis Pengukuran	Parameter Keberhasilan
1. Pengukuran rangkaian kontrol	1. Pengujian tegangan rangkaian PWM dari <i>launcpad</i>



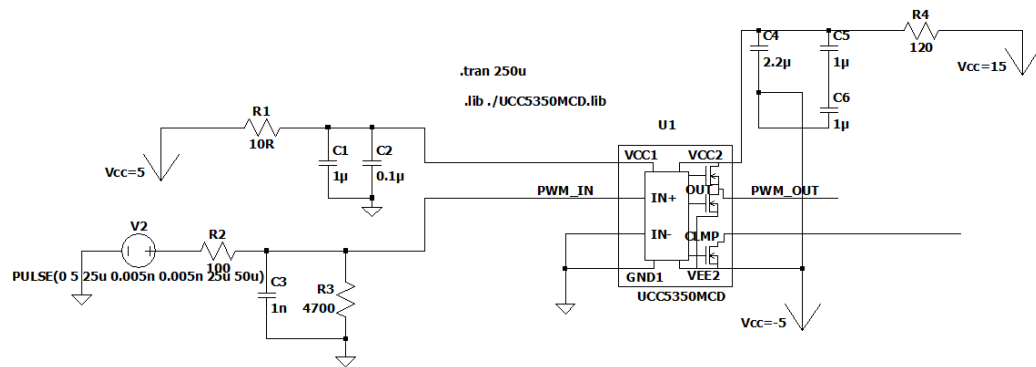
Jenis Pengukuran	Parameter Keberhasilan
	2. Pengukuran tegangan rangkaian <i>gate driver</i> . Tegangan berbentuk kotak dengan nilai peak tegangan keluaran sebesar nilai tegangan masukan yaitu 15V dan -5V.
2. Pengujian rangkaian daya	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengukuran sumber <i>input</i> DC. Nilai tegangan sebesar bersumber dari penyearah satu fasa.</li> <li>2. Pengukuran tegangan keluaran MIBC dan arus dengan variasi menggunakan variasi beban 100 ohm</li> </ol>

### 3.7 Perancangan Simulasi Menggunakan LTSpice

LTSpice merupakan *software* untuk membantu mensimulasikan dan menganalisa sinyal keluaran dari *device* yang digunakan. Pemodelan ini berdasarkan model Spice yang disediakan dari pabrikasinya.

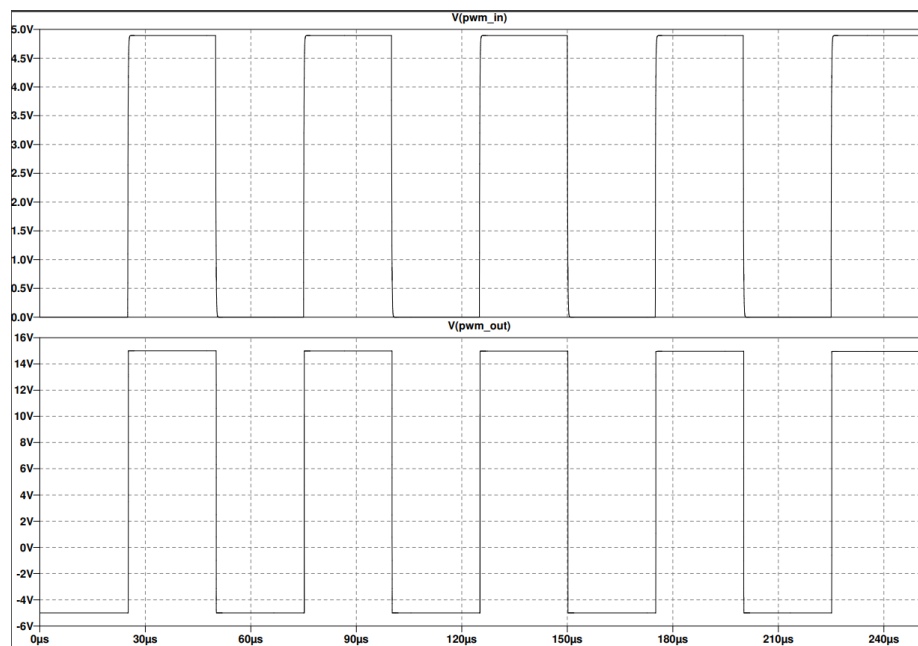
#### 3.7.1 Gate Driver

*Gate driver* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah UCC5350MC. Pemilihan UCC5350MC sebagai *gate driver* dikarenakan UCC5350MC memiliki fungsi isolasi yang memisahkan ground rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Selain itu juga UCC5350MC dapat menguatkan sinyal PWM dengan nilai tegangan 5V yang di bangkitkan oleh rangkaian kontrol PWM dengan nilai tegangan yang lebih tinggi berdasarkan dengan tegangan VCC nya. Rangkaian simulasi dari UCC5350MC ditunjukkan oleh Gambar 16.



Gambar 16. Rangkaian *gate driver* UCC5350MC

Adapun hasil dari simulasi rangkaian *Gate Driver* tersebut diukur pada PWM *input* dan PWM *output* yang ditunjukkan oleh Gambar 17.



Gambar 17. Tegangan PWM masukan dan keluaran

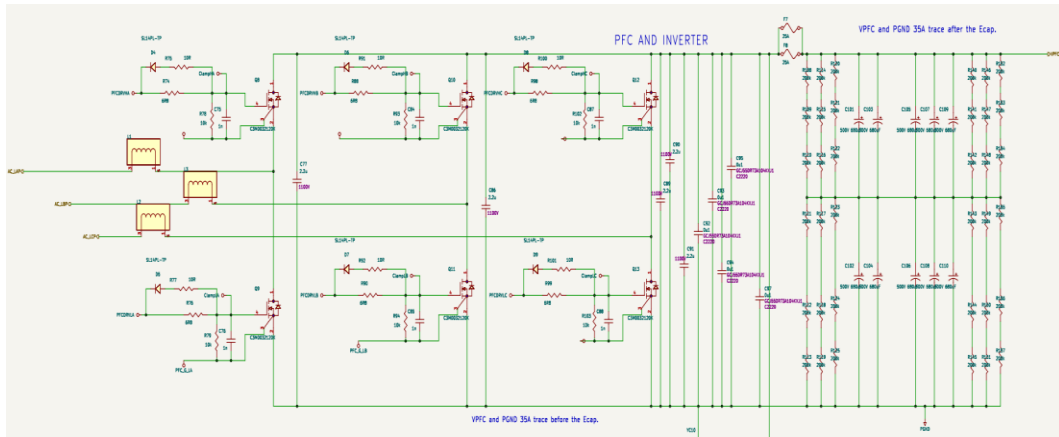
### 3.8 Desain PCB

Pada tugas akhir ini, PCB di desain dengan menggunakan *software* KiCad. Terdapat skematik desain dan layout hasil dari skematik yang telah di hubungkan setiap komponen.

#### 3.8.1 Skematik 3 Leg Main Board

*Main board* merupakan rangkaian utama pada sistem konverter. pada tugas akhir ini, skematik yang di desain merupakan skematik untuk rangkaian

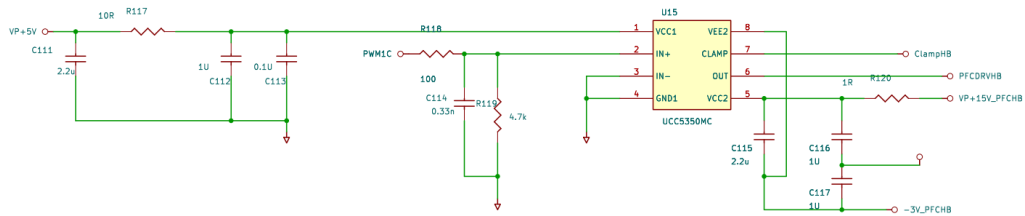
*bidirectional* yang memiliki 3 phasa. Adapun skematik ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 18. Skematik *main board*

### 3.8.2 Skematik *Gate Driver*

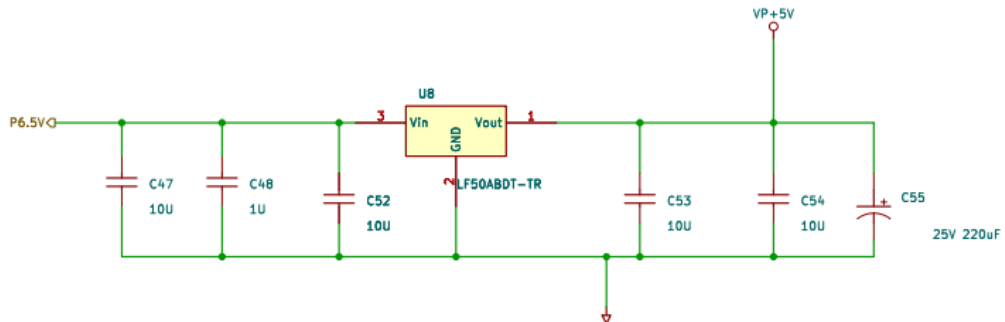
Pada Gambar 19 menunjukkan skematik dari *gate driver* yang bisa dilihat bahwa *gate driver* membutuhkan *supply input* tegangan VP+5V serta +15V dan -5V. Masing-masing dari *suply* ini memiliki isolasi tersendiri.



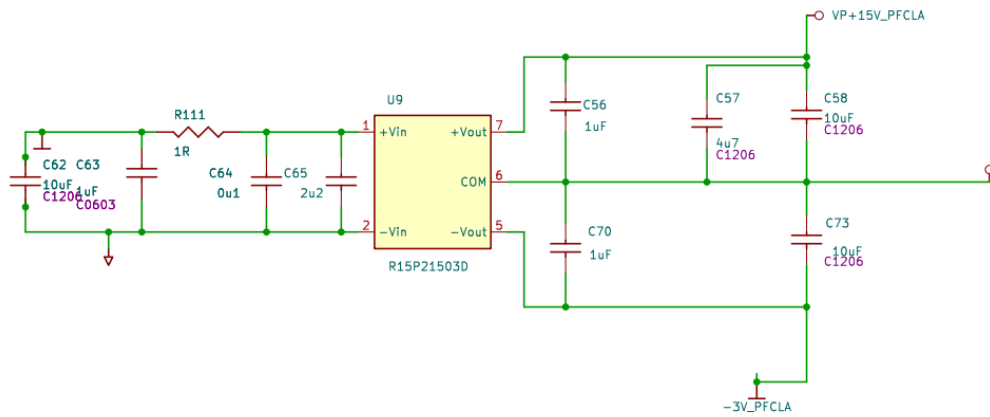
Gambar 19. Skematik *gate driver*

### 3.8.3 DC Supply

Untuk membuat setiap ic *gate driver* bekerja, maka diperlukan dc *supply* yang memiliki isolasi tersendiri. Skematik dari dc *supply* ditunjukkan oleh Gambar 20.



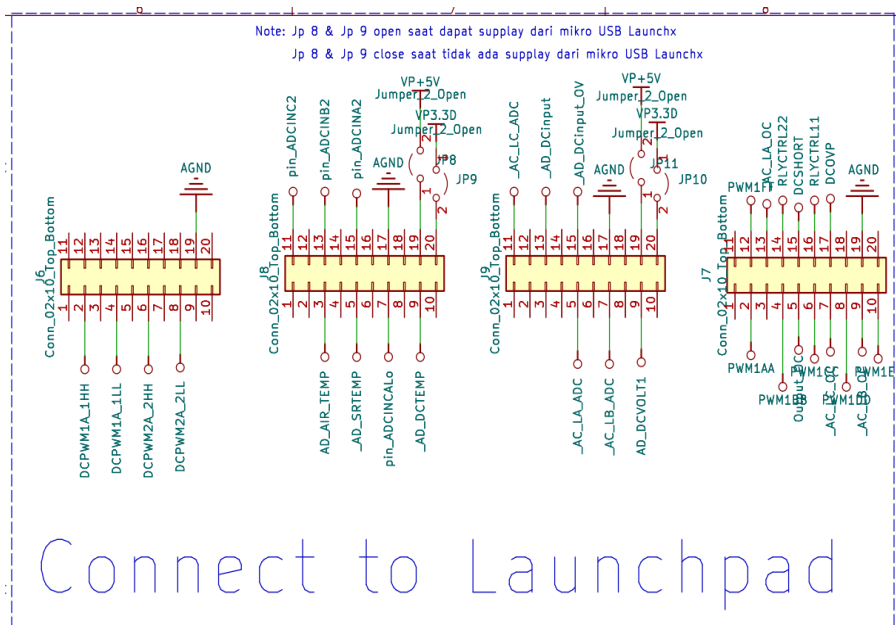
(a)



(b)  
Gambar 20. DC supply

### 3.8.4 Konektor PWM

Konektor digunakan sebagai penghubung sinyal dari *control board* ke *main board*. Gambar 21 merupakan pin konektor dari *Conditioning Board* yang terhubung dengan mikrokontroler launchxl-F28379D. Terdapat pin ADC yang merupakan sinyal umpan balik dari sensor, pin supply +5V dan 3.3V dan pin PWM. Pada tugas akhir ini menggunakan desain konverter secara umum yaitu 6 buah *device*, *gate driver*, *dc-dc power supply* untuk *gate driver* dan sensor. Maka dari itu, tidak semua komponen dipasang pada board serta terdapat beberapa komponen yang belum tersedia di laboratorium.



Gambar 21. Jalur tegangan PWM ke board controller

### 3.8 Perancangan Perangkat Lunak

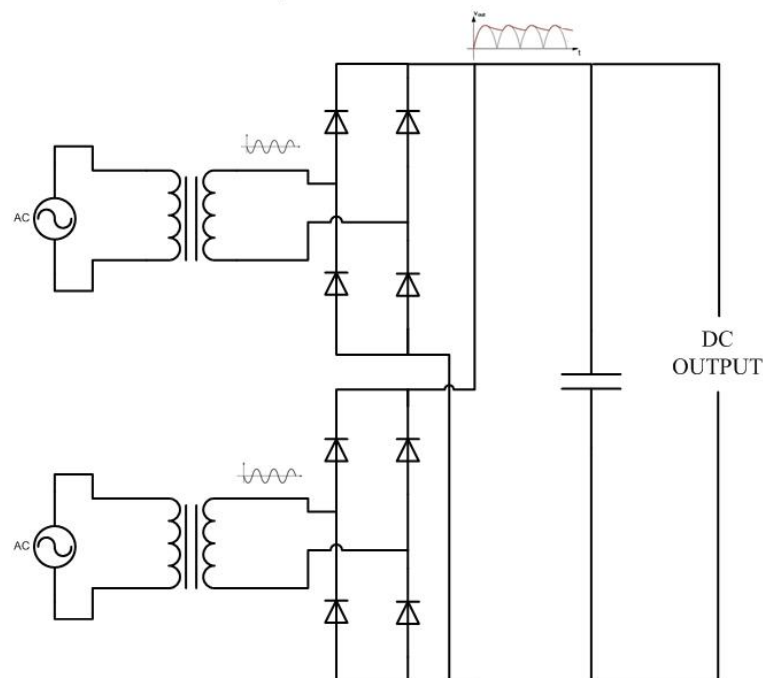
Perancangan program kontroler menggunakan *software CCS (Code Composer Studio) V10.1.0*.

### 3.9 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan mode *open loop dc dc interleaved buck converter*, yang mana sumber DC didapat dari proses penyearah tegangan listrik AC 1 Fasa.

#### 3.9.1 Perancangan Pengujian Penyearah Dioda Jembatan Penuh 1 Fasa

Penyearah tegangan AC 1 fasa digunakan sebagai tegangan *input* DC pada DC DC Konverter. Desain penyearah ini menggunakan 2 buah transformator dengan spesifikasi masing-masing 1 KW seperti pada Gambar 22.



Gambar 22. Desain penyearah dioda jembatan penuh 1 fasa

Keluaran masing-masing penyearah diparalelkan kemudian dihubungkan pada kapasitor bus. Tegangan keluaran dari masing-masing penyearah adalah kurang dari sama dengan tegangan puncak listrik AC1 fasa. Sisi keluaran dari kedua penyearah dihubung paralel dengan tujuan membuat tegangan keluaran tetap seperti keluaran 1 penyearah dengan daya 2 kali lipat.

### 3.9.2 Rancangan Pengujian Keluaran Sinyal PWM

Pengujian ini bertujuan untuk melihat keluaran sinyal PWM dari launchxl-F28379D sebelum masuk ke *gate driver*. Sinyal keluaran harus dipastikan memiliki *time delay* pada setiap fasa serta memiliki *deadtime* pada setiap sinyal PWM.

### 3.9.3 Rancangan Pengujian Keluaran *Gate Driver*

Tegangan keluaran sinyal PWM dari launchxl-F28379D akan diteruskan ke *gate driver*. Keluaran dari *gate driver* ini memiliki bentuk gelombang yang sama dengan sinyal PWM dari kontroler dengan level tegangan yang berbeda yaitu 15V dan -5V.

### 3.9.4 Beban

Beban resistor sebagai *dummy load* yang digunakan pada tugas akhir ini menyesuaikan dengan beban yang ada di laboratorium yaitu sebesar 100 ohm. Beban resistor *dummy load* ini digunakan untuk menganalisis kinerja dan bentuk gelombang keluaran tegangan dan arus pada *buck converter*.



Gambar 23. Resistor

### 3.9.5 Induktor

Induktor digunakan sebagai filter keluaran dari konverter serta menyimpan energi dalam bentuk arus. Adapun induktor yang digunakan jenis *air inductor* yang terbuat dari lilitan kabel NYA 16 serta paralon. Untuk spesifikasi dari induktor ditunjukkan pada Tabel 7 yaitu:

Tabel 7. Spesifikasi induktor

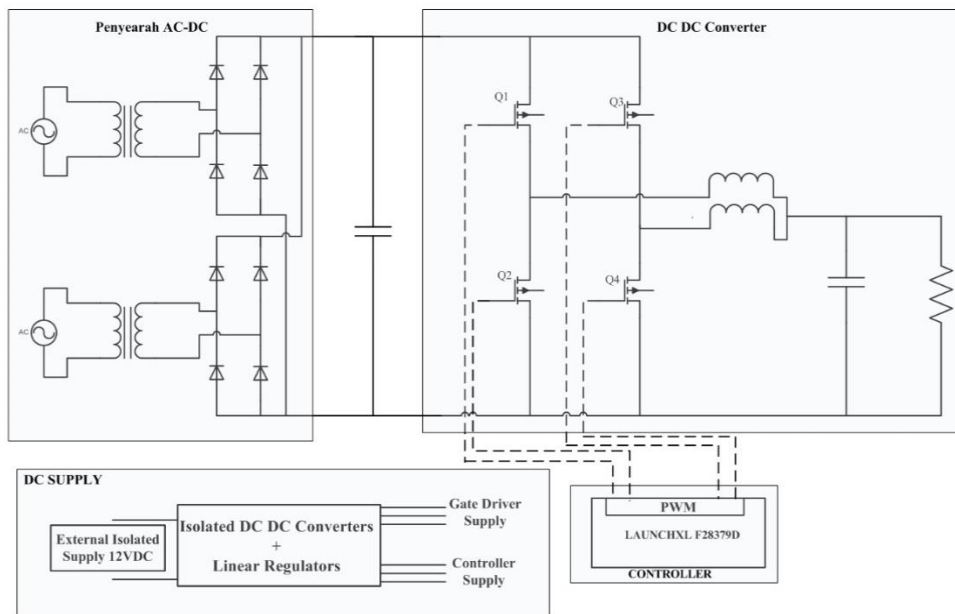
Jenis	<i>Air Inductor</i>
Jumlah Lilitan (n)	120
Panjang lilitan (L)	35cm
Diameter (d)	11cm



Gambar 24. *Air inductor*

Dengan jumlah lilitan, diameter dan panjang induktor yang dibuat, maka dapat diukur hasil induktor sebesar 0.470 mH. Terdapat perbedaan nilai antara perhitungan dengan realisasinya, hal ini dikarenakan pada pengaruh kekuatan dalam melilit kabel pada paralon, kelenturan kabel serta adanya perbedaan renggang antara lilitan kabel.

Dari komponen yang telah dibuat, maka dilakukan penggabungan pada setiap perangkat keras. Gambar 25 merupakan wiring diagram untuk realisasi perangkat keras yang mengacu pada digaram blok di Gambar 15. Sumber DC DC Konverter diperoleh dari penyearah tegangan AC-DC yang melewati transformer 1:1 yang dirangkai secara paralel. Penyearah AC-DC ini menggunakan sistem open loop sehingga tegangan keluarannya tidak dapat dikontrol. Terdapat juga DC *supply* eksternal yang memiliki *ground* berbeda (*isolated*) serta linear regulator yang masing-masing berfungsi untuk memberi tegangan pada *gate driver* dan juga IC lainnya serta pada mikrokontroler. Pada bagian kontroler terdapat *conditioning board* sebagai pengolah sinyal PWM untuk memicu *gate driver*.



Gambar 25. Realisasi wiring diagram



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan dan saran dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi, analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah terealisasi pemodelan dan diimplementasi dengan desain MIBC yang telah bekerja dengan variasi *duty cycle* 30% sampai 70%.
2. MIBC dapat mengurangi *ripple* arus keluaran dengan rata-rata sebesar 54.055% dan *ripple* tegangan keluaran dengan rata-rata-rata 52.932% terhadap SPBC, sedangkan pada *hardware* terjadi pengurangan *ripple* arus sebesar 33.275% dan *ripple* tegangan keluaran sebesar 53.53%.
3. MIBC berkapasitas 10 Kw memiliki efisiensi terendah pada nilai 82.96% pada pengujian tegangan maksimal 900V dengan tegangan keluaran sebesar 225V serta memiliki efisiensi tertinggi sebesar 99.46% pada pengujian tegangan minimal 700V dengan keluaran sebesar 525V.

### 5.2 Saran

Pada Tugas Akhir ini dapat diberi saran untuk Tugas Akhir selanjutnya antara lain:

3. Pengembangan topologi *Interleaved Buck Converter* dengan memparalelkan MIBC.
4. Pengembangan *hardware* dengan sistem *close loop* agar didapatkan konverter yang memiliki kinerja lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. I. P. de León Puig, D. Bozalakov, L. Acho, L. Vandeveld, and J. Rodellar, “An Adaptive–Predictive control scheme with dynamic Hysteresis Modulation applied to a DC–DC buck converter,” *ISA Trans*, vol. 105, pp. 240–255, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2020.05.015.
- [2] C. Aguilar-Ibanez, J. Moreno-Valenzuela, O. Garcia-Alarcon, M. Martinez-Lopez, J. A. Acosta, and M. S. Suarez-Castanon, “PI-Type Controllers and  $\Sigma$ - $\Delta$  Modulation for Saturated DC-DC Buck Power Converters,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 20346–20357, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3054600.
- [3] T. K. Nizami, A. Chakravarty, and C. Mahanta, “Design and implementation of a neuro-adaptive backstepping controller for buck converter fed PMDC-motor,” *Control Eng Pract*, vol. 58, pp. 78–87, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.conengprac.2016.10.002.
- [4] R. Silva-Ortigoza, F. Carrizosa-Corral, J. J. Gálvez-Gamboa, M. Marcelino-Aranda, D. Muñoz-Carrillo, and H. Taud, “Assessment of an average controller for a DC/DC converter via either a PWM or a sigma-delta-modulator,” *Abstract and Applied Analysis*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/196010.
- [5] D. Manickam, M. Dinesh, and K. Sathish, “Design and Control of Buck Converter using PI control and Reference Regulator Technique International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE) Design and Control of Buck Converter using PI control and Reference Regulator Technique,” 2015, [Online]. Available: <http://www.ijrmee.org>
- [6] P. Pickering, “Supply Meets Demand: Use Multiphase Converters to Solve Tough Power Design Challenges.” Accessed: Feb. 20, 2023. [Online].

Available:

<https://www.electronicdesign.com/technologies/power/article/21805882/supply-meets-demand-use-multiphase-converters-to-solve-tough-power-design-challenges>

- [7] C. Parisi, “Multiphase Buck Design From Start to Finish,” 2021. [Online]. Available: [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [8] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, F. A. Hamid, R. Ali, and M. I. Misrun, “Performance Analysis of DC-DC Buck Converter for Renewable Energy Application,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1019/1/012020.
- [9] S. Cuoghi, R. Mandrioli, L. Ntogramatzidis, and G. Gabriele, “Multileg interleaved buck converter for EV charging: Discrete-time model and direct control design,” *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 2, 2020, doi: 10.3390/en13020466.
- [10] X. Deng *et al.*, “The Preliminary design of DC Magnet Power Supply System for ITER Static Magnetic Field Test facility,” Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.13669>.
- [11] F. M. Saleemi, “ANALYSIS AND DESIGN OF MULTIPHASE MULTI INTERLEAVE DC-DC CONVERTER WITH *INPUT-OUTPUT* BYPASS CAPACITOR,” 2008.
- [12] S. N. Manias, “DC–DC Converters,” in *Power Electronics and Motor Drive Systems*, Elsevier, 2017, pp. 501–611. doi: 10.1016/B978-0-12-811798-9.00007-X.
- [13] S. N. Manias, “DC–DC Converters,” in *Power Electronics and Motor Drive Systems*, Elsevier, 2017, pp. 501–611. doi: 10.1016/B978-0-12-811798-9.00007-X.
- [14] “LAUNCHXL-F28379D Overview User’s Guide LAUNCHXL-F28379D Overview,” 2016. [Online]. Available: [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [15] “Infineon-1ED020I12-F2-Data sheet-v02\_01-EN,” 2017.