

DC-DC CONVERTER 1300 VA DENGAN PENGENDALI ARUS BERBASIS PENGENDALI ARDUINO MEGA UNTUK APLIKASI CHARGER

Masramdhani Saputra¹⁾, Saddani Djulihenanto²⁾, Imron Ridzki³⁾
Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur
¹⁾masramdhani@polinema.ac.id
²⁾saddanidani@gmail.com
³⁾imron.ridzki@polinema.ac.id

Abstrak

DC-DC converter adalah satu jenis konverter daya yang paling banyak digunakan di berbagai subjek ketenagalistrikan. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak aplikasi yang berbasis elektrifikasi teknologi terdahulu seperti mobil listrik dan sepeda listrik. Pada aplikasi tersebut rel tegangan yang banyak digunakan adalah di level 48 V. Pengendali arus sangat dibutuhkan dalam proses pengisian baterai. Untuk merealisasikan kendali arus berbasis PID pada dc-dc converter, cenderung lebih sulit. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kendali arus yang digunakan adalah pengendali hysteresis atau umumnya lebih dikenal sebagai bang-bang comparator. Keunggulan kendali ini adalah memiliki respon yang cepat serta secara alami mengatasi masalah hubung singkat pada terminal keluaran. Pengendali arus diimplementasikan pada board arduino mega. Pada penelitian ini, rangkaian dc-dc converter dengan jenis buck telah berhasil diimplementasikan beserta dengan dengan arus keluaran terkendali. Pengendali arus juga dapat diimplementasikan pada board arduino mega 2560. Berdasarkan hasil eksperimen, efisiensi tertinggi yang mampu dicapai pada konverter ini adalah 88 %. Pengisian pada baterai dengan sistem tegangan 48 V berjalan sesuai dengan mode *constant current*

Kata Kunci: DC-DC converter, pengendali arus, charger.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi, kebutuhan sumber energi listrik terus meningkat. Terutama kebutuhan akan sumber energi listrik DC. Hampir se-luruh komponen elektronik memerlukan catu daya DC, mulai dari tegangan rendah seperti yang digunakan pada microprocessor atau IC, tegangan menengah seperti pada motor - motor listrik dan generator, sampai pada skala tegangan tinggi untuk transmisi listrik tegangan tinggi. Karena penggunaan catu daya DC yang luas, diperlukan suatu sistem yang dapat mengkonversikan tegangan DC dari suatu tingkat tegangan tertentu ke tingkat tegangan lain sesuai kebutuhan pemakaian. Kon-versi tegangan DC ini disebut sebagai DC – DC Converter. Pada saat ini penerapan DC-DC Converter telah memungkinkan suatu perangkat elektronika dapat berfungsi dengan menggunakan sumber energi baterai yang berukuran kecil, dimana tegangan keluarannya dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan pemakaian.

DC-DC Converter merupakan suatu alat penyedia daya tegangan searah (DC) yang dihasilkan melalui konversi tegangan DC masukan menjadi bentuk tegangan DC keluaran yang lebih rendah atau tinggi. Pada perkembangannya penerapan konverter DC-DC memungkinkan suatu perangkat elektronika dapat berfungsi dengan sumber energi yang berukuran kecil, dimana tegangan keluarannya dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan. Converter DC-DC banyak

dikembangkan karena mempunyai berbagai keunggulan, diantaranya adalah, bentuknya yang lebih sederhana dan mempunyai efisiensi tinggi.

DC-DC Converter yang akan digunakan adalah Converter H-Bridge. Dikarenakan converter h-bridge tersebut memiliki beberapa keunggulan antara lain cocok untuk aplikasi berdaya tinggi diatas 500 watt, stress komponen relatif kecil, riak tegangan keluaran lebih kecil, densitas daya cukup besar. Disisi lain kekurangan topologi h-bridge adalah jumlah komponen lebih banyak, sulit mendapatkan teknik soft switching dioperasikan pada frekuensi tinggi sehingga harus memodifikasi kendali PWM menjadi kendali phase-shifted modulation.

Metode kendali yang umum digunakan adalah penggunaan sebuah pengendali tegangan untuk menghasilkan arus referensi dan kemudian sebuah pengendali arus untuk menghasilkan sinyal penyaklaran. Dengan skema seperti ini arus referensi yang dihasilkan oleh pengendali tegangan dapat dibatasi dan juga berarti membatasi arus pada konverter. Oleh karena itu, dengan pengendalian ini maka tegangan keluaran konverter dapat dikendalikan tanpa mengalami kelebihan arus.

Pengendali DC-DC Converter yang akan digunakan adalah pengendali arus jenis hysteresis. Pengendali ini dipilih karena sederhana dan mempunyai kecepatan respon yang tinggi. Kendali arus memiliki kelebihan dalam proteksi arus lebih

seperti ketika terjadi hubung singkat pada beban. Selain itu, penggunaan pengendali arus memungkinkan kerja paralel dua atau lebih konverter yang sama sehingga dapat meningkatkan kapasitas daya konverter.

Kesederhanaan penggunaan dan kestabilan dalam kendali hysteresis diaplikasikan dalam teknik kendali konverter yang diusulkan. Kendali arus dengan menggunakan hysteresis ini memanfaatkan lebar sebuah pita hysteresis dimana lebar pita ini merupakan batas atas dan bawah dari besarnya galat yang diperbolehkan. Jika arus induktor naik dari batas bawah pita hysteresis hingga batas atas maka sak-lar akan dimatikan dan jika arus ini turun dari batas atas menuju batas bawah maka saklar akan dinyalakan.

2. DC-DC CONVERTER

A. Modulasi Lebar Pulsa (PWM)

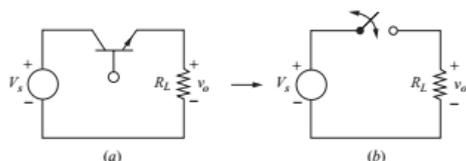
DC – DC Converter merupakan salah satu jenis converter yang mengubah secara langsung dari tegangan DC ke tegangan DC, keluaran dari dc-dc converter tersebut bisa lebih kecil atau lebih besar dari tegangan masukannya. Seperti halnya transformator pada tegangan AC, DC chopper dapat digunakan untuk menaikkan sumber tegangan DC yang dikenal dengan boost converter, menurunkan sumber tegangan DC yang dikenal buck converter dan juga dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan sumber tegangan DC yang dikenal dengan buck boost converter.

PWM merupakan suatu metode pengaturan tegangan dengan mengubah atau mengatur periode ON (T_{on}) pada tegangan berfrekuensi dengan periode frekuensi yang tetap atau sama. Siklus kerja ini didapatkan dari perbandingan antara lamanya tegangan pada nilai maksimum (T_{on}) dengan lamanya tegangan pada nilai minimum atau nol (T_{off}) dan biasa disebut *duty cycle* (D). Untuk menentukan besarnya *duty cycle* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T_s} = T_{ON} \times F \dots \dots \dots (2.1)$$

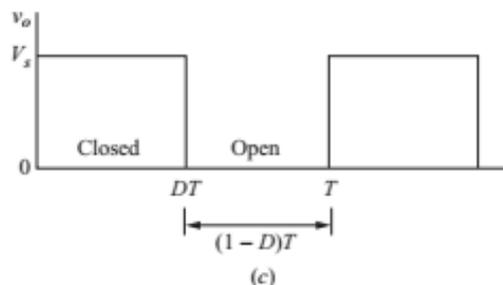
B. Switching Converter

Rangkaian alternatif untuk regulator dengan efisiensi yang lebih baik dapat digunakan rangkaian *switching converter*. Pada rangkaian tersebut fungsi transistor sebagai saklar elektronik yang dapat dibuka (OFF) dan ditutup (ON) Sehingga hanya ada



Gambar 1. Rangkaian dasar dc-dc switching converter

Dengan asumsi bahwa saklar tersebut ideal, ketika saklar tertutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan tegangan masukan. Sedangkan ketika saklar terbuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada gambar berikut :



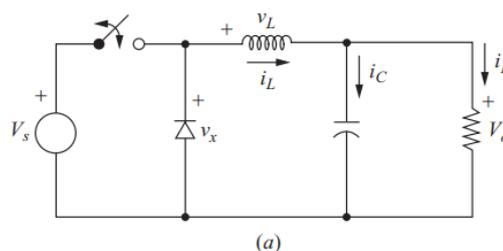
Gambar 2. Tegangan keluaran yang dihasilkan berbentuk pulsa

Besaran rata-rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut :

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_0(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \dots \dots \dots (2.2)$$

C. Buck Converter

Buck konverter adalah konverter daya yang digunakan untuk mengubah suatu tegangan DC menjadi tegangan DC dengan magnitud yang lebih kecil, seperti halnya transformator pada tegangan AC yang sering kita kenal dengan sebutan transformator *step down*. Konverter *buck* bekerja menggunakan *switch* yang bekerja secara terus menerus (*on-off*) yang dikenal dengan istilah PWM (*Pulse Width Modulation*) dan *Duty Cycle* mengendalikan frekuensi kerja *switch*. Rangkaian dasar dari *buck* konverter dapat dilihat pada Gambar 3.



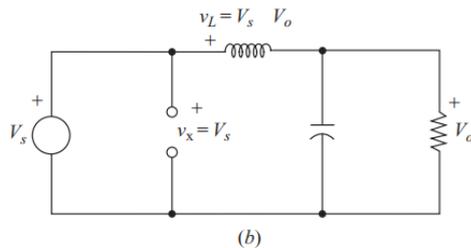
Gambar 3. Rangkaian Dasar Buck Converter

Prinsip kerja dari rangkaian *buck* konverter pada Gambar 3 akan dijelaskan sebagai berikut :

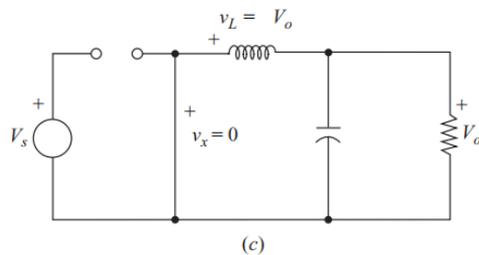
Rangkaian Gambar 4 menjelaskan bahwa pada saat *switch* tertutup maka dioda akan terbuka sehingga induktor mulai menyerap daya pada sumber tegangan. Kemudian rangkaian Gambar 5 menjelaskan bahwa pada saat *switch* terbuka maka dioda akan tertutup walaupun pada posisi ini tidak terhubung dengan sumber, pada posisi ini daya disuplai dari induktor yang telah menyerap daya

selama rangkaian terhubung dengan sumber pada saat posisi switch tertutup.

Konverter jenis ini merupakan konverter penurun tegangan yang mengkonveksiakan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2, rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (diode), kapasitor dan inductor sebagai tapis keluarannya.



Gambar 4. Rangkaian Buck Converter Pada saat Switch Tertutup



Gambar 5. Rangkaian Buck Converter Pada saat Switch Terbuka

- Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif (dioda) sering diganti dengan saklar aktif (MOSFET) sehingga susut daya pada saklar bisa dikurangi. Apabila menggunakan 2 saklar aktif, kedua saklar ini akan berkerja secara bergantian, dan hanya ada satu saklar yang menutup setiap saat.
- Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar (saklar konduksi/ON) terhadap priode penyaklaranya.
- Biasanya nilai faktor daya ini tidak lebih kecil dari 0.2, karena jika dioprasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja di bawah keandalannya dan menyebabkan efisiensi konverter turun.
- Untuk rasio (Vd/Ed) yang sangat tinggi, biasanya digunakan konverter DC-DC yang terisolasi atau topologi yang dilengkapi dengan trafo.

1) Persamaan Tegangan Rata-Rata

$$\widetilde{v}_D = \frac{T_{ON}}{T_s} \times E_d$$

$$V_D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \times E_d = \frac{T_{ON}}{T_s} \times E_d = dE_d \dots (2.3)$$

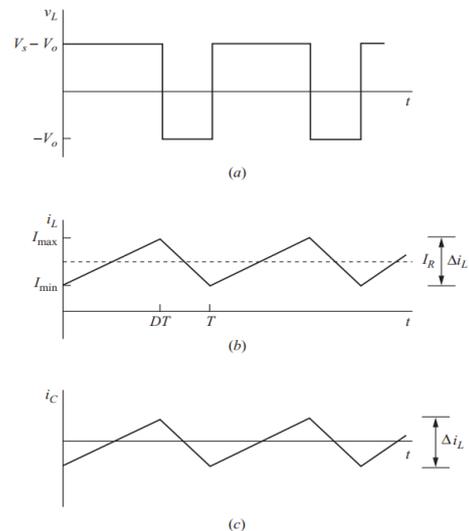
$$V_D = Ri_L + L \frac{di_L}{dt} + V_o$$

$$= 0 \leq t < T_{ON}$$

$$V_D = E_d$$

$$T_{ON} \leq t < T_s$$

$$V_D = 0 \dots \dots \dots (2.4)$$



Gambar 6. Gelombang Keluaran Dari Buck Converter. (a) Tegangan Induktor. (b) Arus Induktor. (c) Arus Kapasitor

2) Analisis Riak Arus Buck Converter

Analisis riak arus keluaran diperlukan untuk bisa mendesain tapis atau filter keluaran konverter DC-DC. Dari persamaan di bawah ini, terlihat bahwa untuk mendapatkan riak arus keluaran konverter buck yang kecil, diper-lukan tapis konduktor (L) yang nilainya akan semakin kecil dengan meningkatkan frekuensi penyaklaran. Riak arus keluaran konverter DC-DC akan bernilai maksimum apabila kon-verter bekerja pada duty cycle (d) = 0,5.

Analisis riak arus:

$$i_L = \widetilde{i}_L + \widetilde{i}_L \quad v_D = \widetilde{v}_D + \widetilde{v}_D \quad v_o = v_o$$

Maka :

$$\widetilde{v}_D = R\widetilde{i}_L + v_o \quad \widetilde{v}_D = R\widetilde{i}_L + L \frac{d\widetilde{i}_L}{dt}$$

Jika nilai $R\widetilde{i}_L$ dianggap kecil maka :

$$\widetilde{i}_L = \frac{1}{L} \int \widetilde{v}_D dt = \frac{1}{L} \int (v_D - \widetilde{v}_D) dt$$

$$\widetilde{i}_{L,PP} = \frac{E_d - \widetilde{v}_D}{L} \times T_{ON} = \frac{\widetilde{v}_D}{L} \times T_{OFF}$$

$$= \frac{E_d - dE_d}{L} \times dT_s = \frac{E_d}{L f_s} \times (1 - d)d$$

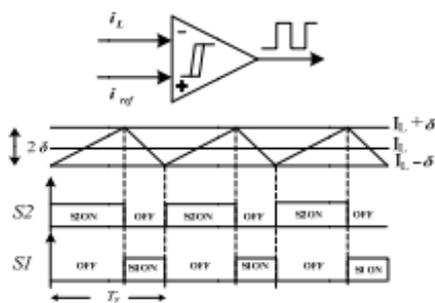
$$f_s = \frac{1}{T_s}, \text{ adalah frekuensi penyaklaran...}(25)$$

3. PENGENDALI ARUS

A. Pengendali Arus Hysteresis

Pengendali arus telah digunakan dalam berbagai macam aplikasi konverter. Kendali arus memiliki kelebihan dalam proteksi arus lebih seperti ketika terjadi hubung singkat pada beban. Selain itu, penggunaan pengendali arus memungkinkan kerja paralel dua atau lebih konverter yang sama sehingga dapat meningkatkan kapasitas daya konverter. Keuntungan menggunakan kontrol pita hysteresis adalah kinerja dinamis yang sangat baik dan kemampuan untuk mengontrol nilai puncak ke puncak dari riak arus dalam batas pita hysteresis yang diinginkan. Teknik reduksi harmonik arus yang menarik salah satunya adalah penyearah PWM (aktif). Dua jenis konverter PWM, dengan keluaran sumber tegangan dan keluaran sumber arus dapat digunakan. Pertama disebut penyearah boost (menaikkan tegangan) bekerja dengan polaritas tegangan DC tetap, dan yang kedua disebut penyearah buck (menurunkan tegangan) beroperasi dengan aliran arus DC tetap. Di antara fitur utama PWM adalah : Aliran daya dua arah, Arus input hampir sinusoidal, Regulasi faktor daya input mendekati satu, Distorsi harmonik rendah dari arus saluran (THD dibawah 5%), Penyesuaian dan stabilisasi tegangan/ arus DC-link, Pengurangan ukuran kapasitor/induktor karena arus yang berlanjut. Mirip dengan filter aktif PWM, penyearah PWM memiliki struktur kontrol yang kompleks, efisiensinya lebih rendah daripada penyearah dioda karena kerugian switching tambahan. Filter pasif low-pass yang dirancang dengan benar diperlukan di depan penyearah PWM karena masalah EMI. Teknik kontrol ini memerlukan penentuan batas atas pita hysteresis dan batas pita hysteresis bawah.

Kesederhanaan penggunaan dan kestabilan dalam kendali hysteresis diaplikasikan dalam teknik kendali konverter yang diusulkan. Pada prinsipnya, kendali arus hysteresis merupakan pengendali dengan menggunakan lebar pita hysteresis sebagai batasan sinyal galat yang diperbolehkan. Ketika arus induktor melebihi batas atas hysteresis, maka saklar akan padam sehingga arus induktor berkurang. Jika arus induktor telah melewati batas bawah hysteresis, maka saklar akan menyala sehingga arus induktor akan naik dan demikian seterusnya sehingga arus induktor akan dapat mengikuti arus acuan dalam rentang pita hysteresis.



Gambar 7. Kendali Arus Hysteresis

Cara kerja pengendali arus hysteresis ini dapat dilihat pada Gambar 7. Dengan I_L adalah arus induktor, yang tidak lain adalah arus sumber, δ adalah lebar pita hysteresis, dan I_{ref} adalah arus referensi yang dihasilkan oleh pengendali PI. Pada aplikasi hysteresis ini, arus induktor diperoleh dari persamaan hubungan antara riak (ripple) arus induktor dengan lebar pita hysteresis. Berikut ini adalah persamaan yang berlaku :

$$\bar{i}_L \pm \tilde{i}_L = i_{ref} \pm \delta \dots\dots\dots(2.6)$$

Nilai lebar setengah pita hysteresis ini sama dengan besarnya setengah riak arus induktor. Oleh karena itu dalam menentukan lebar pita hysteresis perlu ditentukan besarnya riak arus induktor yang diizinkan. Hubungan antara lebar pita hysteresis dan frekuensi penyaklaran dapat diturunkan dari hubungan arus induktor dengan penyalakan saklar seperti persamaan di bawah ini :

$$i_L = \frac{1}{L} \int_0^{T_{ON}} (v_S - v_o) + i_{LO} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan I_{LO} merupakan arus induktor pada keadaan mula. Saat saklar S1 menyala, berlaku :

$$i_L = \frac{v_S - v_o}{L} x t + (\bar{i}_L - \delta); 0 < t < T_{ON}$$

$$T_{ON} = \frac{2\delta L}{v_S - v_o} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan T_{ON} adalah lama waktu saklar menyala. Pada saat kondisi saklar S1 padam. Arus induktornya memenuhi persamaan :

$$i_L = \frac{v_S}{L} x t + (\bar{i}_L + \delta); T_{ON} < t < T_{OFF}$$

$$T_{OFF} = \frac{2\delta L}{v_S} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan T_{OFF} adalah lama waktu saklar padam. Dari dua persamaan diatas yaitu persamaan ketiga dan keempat, dapat memperoleh periode penyaklaran T_s , sebesar :

$$T_s = T_{ON} + T_{OFF} = \frac{2v_o \delta L}{v_S(v_o - v_S)}$$

$$f_s = \frac{v_S(v_o - v_S)}{2v_o \delta L} \dots\dots\dots(2.10)$$

Persamaan diatas memperlihatkan bahwa frekuensi penyaklaran f_s pada konverter dengan menggunakan kendali arus hysteresis ditentukan oleh besarnya nilai induktor dan lebar pita hysteresis yang digunakan. Semakin besar nilai induktor dan semakin lebar pita hysteresis yang digunakan, maka frekuensi penyaklaran akan semakin kecil.

Nilai penyaklaran ini memegang peranan penting pada riak arus dan tegangan konverter. Nilai ini juga

berpengaruh pada besarnya rugi-rugi saklar akibat penyaklaran. Respon pengendali arus ini harus lebih cepat dari respon pengendali tegangan untuk memperoleh hasil pengendali yang tepat.

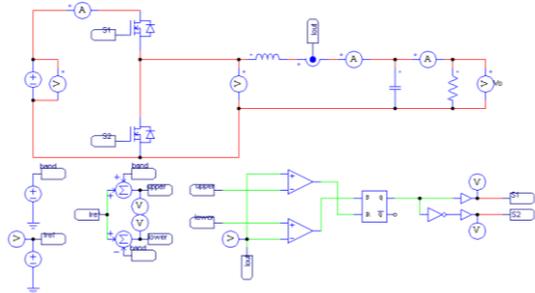
4. EKSPERIMEN DAN ANALISIS

A. Simulasi Desain Hardware

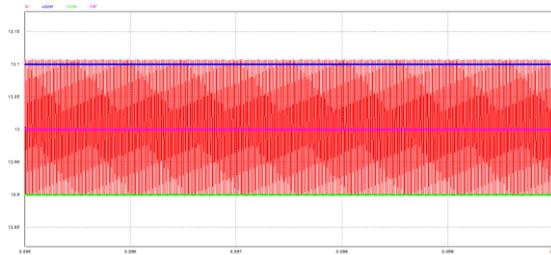
Untuk mendesain hardware buck converter, dilakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan software PSIM. Adapaun spesifikasi hardware menyesuaikan desain rangkaian pada Tabel 1.

TABEL 1. DESAIN SIMULASI DC-DC CONVERTER

No	Parameter	Nilai
1.	Tegangan Input	60-100 V
2.	Arus Input	13-22 A
3.	Tegangan Output	48-60 V
4.	Arus Output	15-40 A
5.	Pengendali	Arduino Mega
6.	Sensor Arus	ACS712
7.	Daya Maksimum	1300 W
8.	Topologi Rangkaian	<i>Synchronous Buck Converter</i>



Gambar 8. Simulasi rangkaian DC-DC Converter beserta kendalinya



Gambar 9. Hasil simulasi kendali hysteresis dengan pita atas (ungu), pita bawah (hijau) dan nilai arus referensi sebesar 13 A (pink)

Berdasarkan Gambar 8 dan 9, dapat dilihat rangkaian daya dan kendali yang diusulkan dapat terverifikasi pada simulasi. Nilai riak arus pada rangkaian ini dapat dikendalikan dengan baik. Dapat dilihat bahwa nilai riak arus peak-to-peak dari pengendali adalah bernilai 0,2 A. Bila dibandingkan dengan nilai rata-rata arus keluarannya yakni 13 A, maka didapatkan nilai persentase riak arus sebesar

1,53 %. Nilai tersebut masih dalam rentang standar riak arus untuk pengisian baterai. Berdasarkan analisa diatas, maka dihasilkan spesifikasi hardware untuk implementasi sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

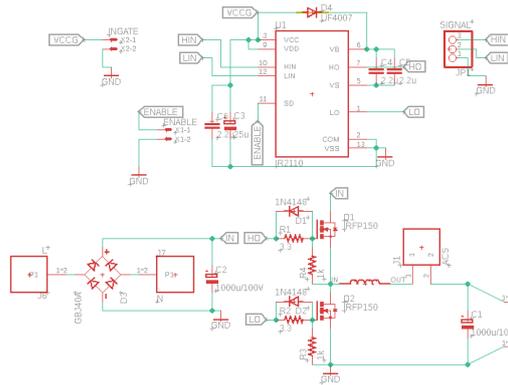
TABEL 2. SPESIFIKASI KOMPONEN DC-DC CONVERTER

No	Komponen	Nilai
1.	Kapasitor Input	100 V / 1000 uF
2.	Saklar Semikonduktor	IRF150
3.	<i>Inductor Core</i>	T52-52 <i>low core losses</i>
4.	<i>Inductor Winding</i>	20 x θ -0,2 mm tembaga
5.	Nilai Induktasni	1 mH
6.	Kapasitor Output	100 V/ 1000uF
7.	Gate Driver	IR2110
8.	Pengendali	Arduino Mega 2560
9.	Sensor Arus	Hall Sensor Allegro ACS 712
10.	Baterai	VRLA 4 x 12 V @ 20 Ah
11.	Persentase Riak Arus	Max 5 %

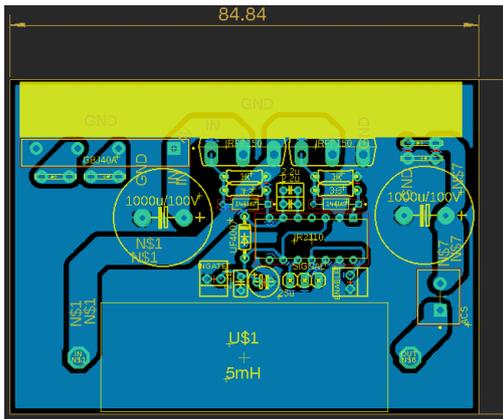
B. Implementasi Hardware dan Uji Performa

Berdasarkan Tabel 2, hardware untuk dc-dc converter didesain melalui tahap pembuatan PCB, pemrograman arduino, serta dilanjutkan dengan uji performa. Komponen yang memiliki peran krusial dalam implementasi kendali pada rangkaian daya adalah gate driver. Pada rangkaian ini, digunakan *high-low* side driver dari IR 2110 karena cukup ekonomis dan mudah ditemukan di pasaran. IC ini sangat mempermudah pengendalian MOSFET pada rangkaian yang diusulkan karena menggunakan topologi *synchronous buck converter*. Desain skematik dan PCB secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

Selanjutnya adalah mendesain dari induktor yang akan digunakan pada rangkaian daya ini. Mode konduksi yang diharapkan adalah kontinu. Maka harus dirancang suatu induktor untuk memastikan konverter dalam mode kerja kontinu pada semua nilai pembebanan pada Tabel 1. Pada rangkaian ini, material inti yang dipilih sebagai induktor adalah material-52 yang memiliki permeabilitas cukup tinggi namun dengan core losses yang lebih rendah. Hal ini diperlukan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang muncul pada belitan induktor. Selain pertimbangan mode kerja dan rugi-rugi.



Gambar 10. Skematik PCB untuk rangkaian Daya



Gambar 11. Desain PCB untuk rangkaian daya

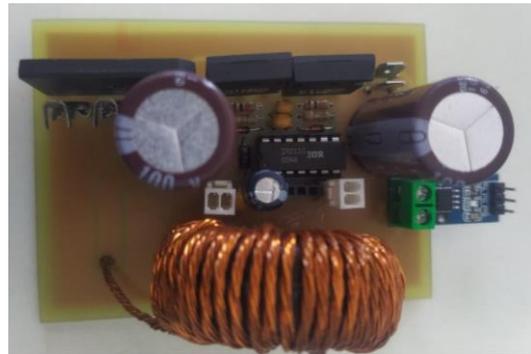
Nilai induktor juga menyesuaikan nilai kapasitor keluaran untuk menghindari resonansi pada frekuensi tinggi. Pada penelitian ini, dihasilkan nilai induktor sebesar 1 mH. Induktor yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 12.



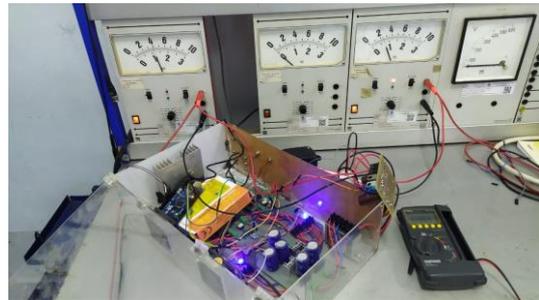
Gambar 12. Induktor 1mH yang digunakan

Setelah rangkaian daya dirangkai, tahap selanjutnya adalah melakukan uji performa pada rangkaian dengan kendali yang telah diusulkan. Untuk menguji kinerja gate driver, register PWM pada Arduino Mega2560 perlu diatur agar mendapatkan nilai frekuensi pada pin PWM sehingga dapat menghasilkan lebar pulsa yang diinginkan. Percobaan dilakukan dengan menghubungkan rangkain daaya dengan baterai 48 V untuk menguji kinerja pengisian. Rangkain daya,

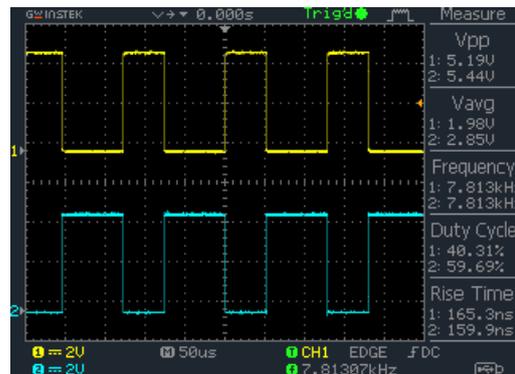
setting eksperimen dan gelombang penyklaran dari pengendali arus dapat dimati pada Gambar 13-15.



Gambar 13. Rangkaian daya yang telah disusun



Gambar 14. Eksperimen Laboratorium



Gambar 15. Gelombang PWM dari pengendali arus

Berdasarkan gambar diatas, dapat disimpulkan bahwa rangkaian daya beserta dengan pengendali yang diusulkan dapat bekerja dengan baik. Gambar 15 menunjukkan salah satu sampling gelombang PWM pada kondisi arus tertentu. dapat dimati bahwa frekuensi penyaklaran bernilai 7,813 kHz dan seimbang baik pada saklar HIGH maupun saklar LOW. Untuk hasil percobaan pengisian pada berbagai nilai arus dapat diamati pada Tabel 3.

TABEL 3. HASIL EKSPERIMEN CHARGING BATERAI 48 V

No.	Vin	Iin	Referensi arus	Arus Aktual	Daya Output	Efisiar
	(V)	(A)	(A)	(A)	W	(%)
1	100	0,62	1	1,1	52,8	85%
2	100	1,6	3	3,05	146,4	92%
3	100	2,8	5	5,1	244,8	87%
4	100	3,9	7	6,9	331,2	85%
5	100	5,4	10	10,2	489,6	91%
6	100	6,22	12	12,1	580,8	93%
7	100	6,7	13	13,1	628,8	94%
8	100	8,1	16	16	768	95%
9	100	9,8	18	18	864	88%
10	100	11,2	20	20,1	964,8	86%

Berdasarkan dari Tabel 3, semakin tinggi nilai arus referensi yang diberikan, maka akan semakin tinggi nilai frekuensi penyaklaran. tentunya hal ini memiliki implikasi pada nilai efisiensi yang semakin menurun. Pada frekuensi diatas 20 kHz, rugi-rugi pada saklar semikonduktor didominasi oleh rugi-rugi penyaklaran. Namun secara umum, rangkaian charger yang diusulkan memiliki performa yang cukup baik dimana nilai arus aktual dapat mengikuti nilai arus referensi dan efisiensi yang melebihi nilai 85 %.

5. KESIMPULAN

Dari hasil desain dan implementasi trafo serta pembahasan diatas yang telah dilakukan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengendali arus hysteresis dapat dengan mudah diimplementasikan pada board arduino mega 2560
2. Rangkaian daya yang diusulkan telah terverifikasi dengan baik melalui tahapan simulasi software dan implementasi hardware
3. Berdasarkan hasil implementasi rangkaian charger yang diusulkan, perlu adanya perbaikan pada proses hard-switching karena menghasilkan rugi-rugi penyaklaran yang cukup tinggi. Namun implementasi metode hard-switching sangatlah sederhana sebagaimana yang telah dilakukan pada penelitian ini

Terima kasih atas dukungan baik material maupun moril dari UPT P2M polinema untuk dapat mewujudkan penelitian ini sebagai salah satu bentuk pengabdian penelitian pada bidang keilmuan terkait.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Todorovic, Maja H., (2017). Wide Input Range DC-DC Converter With Digital Control Scheme
- [2] Masramdhani Saputra, et al. (2021). Implementasi Kendali Tegangan Lup Tertutup Buck Converter dengan Arduino Mega
- [3] W Benjamim., et al. (2022). A Computationally Efficient Model Predictive Current Control of Synchronous Reluctance Motors Based on Hysteresis Comparators
- [4] Masramdhani, et al, 2017, A variable switching frequency approach to reduce the output current ripple of single-phase PWM inverters
- [5] Priandana E.R., et al., 2014, Analysis and design of variable double-band hysteresis current controller for single-phase full-bridge bidirectional converters
- [6] Pranata. A. Joni. 2019. Analisis Efisiensi Trafo Toroid 5A Untuk Sistem Pengisi Baterai Pada Diameter Kawat Email Yang Berbeda
- [7] Hiroo Sekiya, et al., 2017, *Core Geometry Coefficient For Resonant Inductors*
- [8] Ekekwe N., Et al., 2013, Practical Process In High Frequency Distribution Transformer Design
- [9] M Frivaldsky, et al, 2016, Design Methodology of a High-Frequency Transformers in Order to Increase Qualitative Indexes of Converters
- [10] A Plotkowski, et al., 2020, *Design and performance of an additively manufactured high-Si transformer core*
- [11] R. Pechánek1, L. Bouzek2. (2012). Analyzing of Two Types Water Cooling Electric Motors Using Computational Fluid Dynamics
- [12] Energy Efficiency in Electrical Utilities. (2004). Chapter 7, pg 135 - 151. 2004, from Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India
- [13] Installation, operation and maintenance manual. Squirrel cage motor WGM20. (2018). Brazil
- [14] Zuhail. (1991). Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 68
- [15] Sumardjati, Prih. (2008). Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hal : 408
- [16] Sumanto, Drs. (1993). Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Yogyakarta.
- [17] Hanselman, Duane C. (2003). Brushless permanent magnet motor design 2nd ed : United States of America
- [18] Holdwell Generator Radiator. (2008). 120-669 120-672 for FG Wilson. United States of America
- [19] Remling John. (1981). Basics. John Willey & Son, Inc. New York.
- [20] Malcolm Barnes. (2003). Practical variable speed drives. Oxford, United Kingdom