

Perancangan Dan Implementasi *Half Bridge Dc – Dc Converter* Dengan Kendali Arus *Hysteresis*

Masramdhani Saputra * a), Gian Fikih Yustiawan a), Imron Ridzki a), Sigit Setya Wiwaha a), Binar Surya Gumilang a)

(Artikel diterima: Oktober 2022, direvisi: Oktober 2022)

Abstract: *DC-DC Converter is a direct voltage (DC) power supply device that is produced by converting DC input voltage into a lower or higher DC output voltage. In its development, the application of DC-DC Converter allows an electronic device to function with a small energy source, where the output voltage can be varied as needed. DC-DC Converters have been widely developed because they have various advantages, including: simpler form and has high efficiency. In this thesis, an Arduino Mega 2560-based current controller will be implemented. The type of current controller implemented is hysteresis current control with the well-known, tested and proven considerations. Current control works if the inductor current rises from the lower limit of the hysteresis band to the upper limit then the switch will be turned off (inductor current above the upper reference $I_p.Ref$) and if this current drops from the upper limit to the lower limit the switch will be turned on (current inductor under low frequency $I_v.Ref$). This current control also has advantages in overcurrent protection such as when there is a short circuit in the load.*

Keywords : *DC – DC Converter, Buck Converter, Current Hysteresis, Half Bridge*

1. Pendahuluan

Semakin luasnya penggunaan catu daya DC, diperlukan suatu sistem yang dapat mengkonversikan tegangan DC dari suatu tingkat tegangan tertentu ke tingkat tegangan lain sesuai kebutuhan pemakaian. Konversi tegangan DC ini disebut sebagai *DC – DC Converter*, tegangan keluaran DC dapat lebih rendah atau tinggi dari tegangan masukan. *DC-DC Converter* yang akan digunakan adalah *Converter Half Bridge*. Dikarenakan *converter half bridge* tersebut memiliki beberapa keunggulan antara lain jumlah komponen yang digunakan lebih sedikit, tingkat stress pada komponen *switch* relatif kecil, riak tegangan keluaran lebih kecil, densitas daya cukup besar.

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 histeresis hingga batas atas maka saklar akan dimatikan dan jika arus ini turun dari batas atas menuju batas bawah maka saklar akan dinyalakan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 DC – DC Converter

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*.

Tegangan keluaran pada *dc-dc converter* diatur dengan memberikan sinyal penyaklaran pada saklar daya yang digunakan. Sinyal penyaklaran yang diberikan pada konverter akan menentukan besarnya nilai tegangan keluaran. Sinyal penyaklaran ini merupakan fungsi dari faktor kerja (*duty cycle*) pada saklar, yaitu perbandingan waktu antara kondisi ON pada saklar terhadap satu periode penyaklaran. Dengan pengaturan faktor kerja inilah pengaturan besarnya tegangan keluaran dapat dilakukan.

Dasar dari *switched-mode* terdiri dari tiga topologi yaitu *buck (step-down)*, *boost (step-up)*, dan *buckboost (step-up/down)*. Terdapat beberapa metode dalam pengaturan tegangan keluaran pada *dc-dc converter*. Pengaturan yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan pengaturan frekuensi konstan atau *Pulse Width Modulation*.

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

* Korespondensi: masramdhani@polinema.ac.id

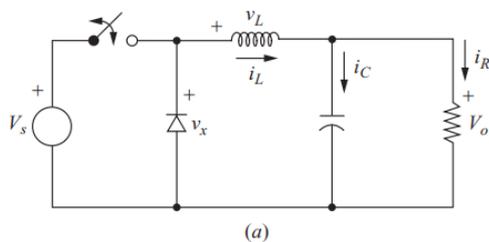
a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

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 :

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

2.2 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 2.1.

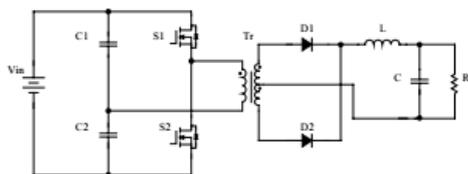


Gambar 2. 1 Rangkaian Dasar *Buck Converter*

Konverter jenis ini merupakan konverter penurun tegangan yang mengkonversi tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah .

2.3 Half Bridge

Topologi setengah jembatan adalah topologi yang menjanjikan untuk konverter daya tingkat rendah dan menengah.



Gambar 2. 2 Topologi *Half Bridge*

Kedua sakelar menghubungkan primer transformator tunggal melintasi dua kapasitor secara bergantian. Tegangan dan arus setengah jembatan utama adalah AC. Arus DC tidak ditarik dari keran tengah suplai input. Berbeda dengan topologi jembatan penuh, tidak diperlukan kapasitor tambahan untuk menghilangkan bias DC pada transformator karena kedua kapasitor secara otomatis memperbaiki ketidaksesuaian sakelar dengan mengubah tegangannya. Karena dua kapasitor berbagi tegangan input secara merata, tegangan untuk MOSFET adalah setengah dari tegangan input dibandingkan dengan kasus di topologi jembatan penuh. Akibatnya, MOSFET pengenal tegangan rendah memenuhi syarat untuk aplikasi topologi setengah jembatan. Dua topologi

setengah jembatan banyak digunakan dalam konverter *DC-DC*, yaitu topologi setengah jembatan simetris dan topologi setengah jembatan asimetris.

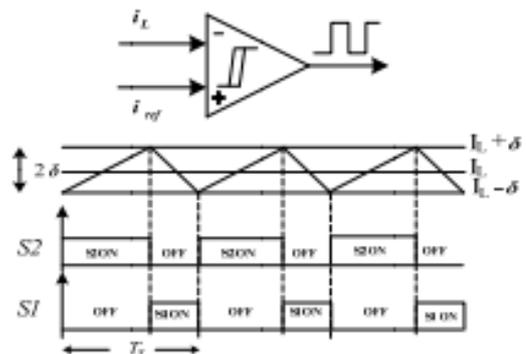
2.4 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah *Hall Effect current sensor*. *Hall effect allegro ACS712* merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Pada umumnya aplikasi sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan proteksi beban berlebih.

Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian *low-offset linear Hall* dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan *hall transducer* secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan *Bi CMOS Hall IC* yang didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik.

2.5 Kendali 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.



Gambar 2.3 Kendali Arus Dengan Pita *Hysteresis*

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*.

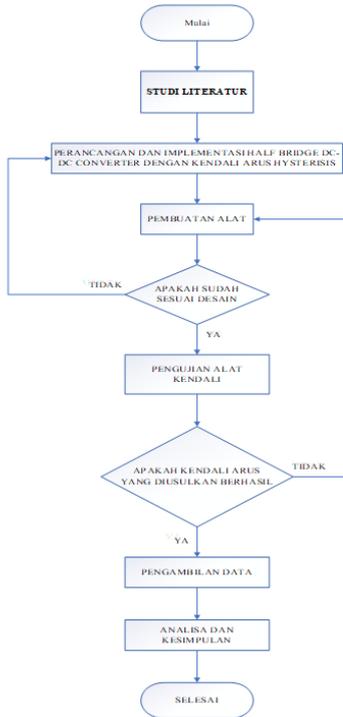
2.6 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin *analog input*, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah *port* USB, *power jack* DC, ICSP header, dan tombol reset.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Tahapan Penelitian

Pada proses perancangan dan implementasi half bridge dc – dc converter dengan kendali arus *hysteresis* terdapat 3 tahapan pengerjaan: studi literatur, perancangan alat, dan pengujian alat. Dengan diagram sebagai berikut:



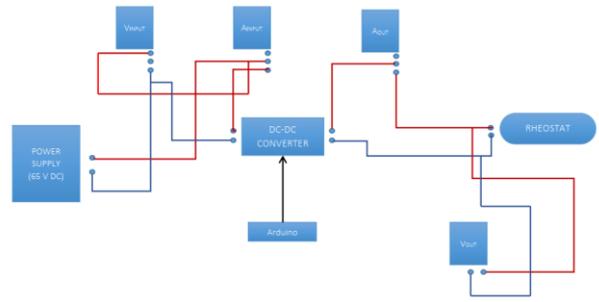
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Alat

a. Studi literatur

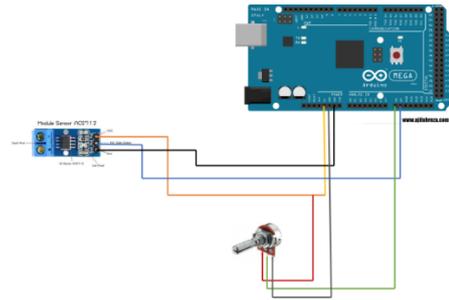
Metode ini dilakukan dengan cara mencari referensi yang relevan dengan permasalahan untuk dijadikan sebagai landasan dari penelitian.

b. Perancangan Alat

Perancangan alat ini unuk menentukan spesifikasi komponen yang akan diimplementasikan pada half bridge dc – dc converter dengan kendali arus *hysteresis* menggunakan Arduino Mega 2560.



Gambar 3.2 Blok Diagram Penelitian

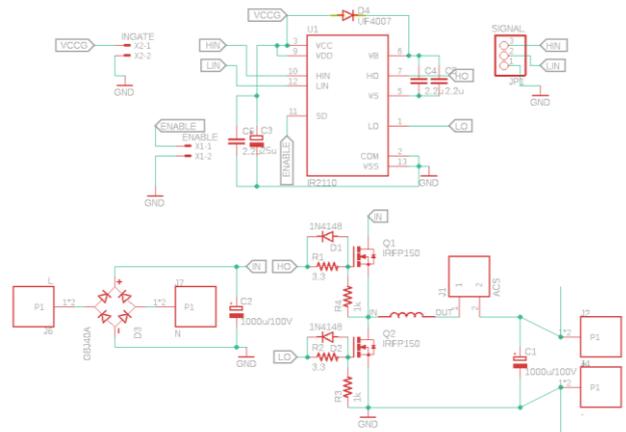


Gambar 3.3 Rangkaian Kendali Dengan Arduino Mega 2560

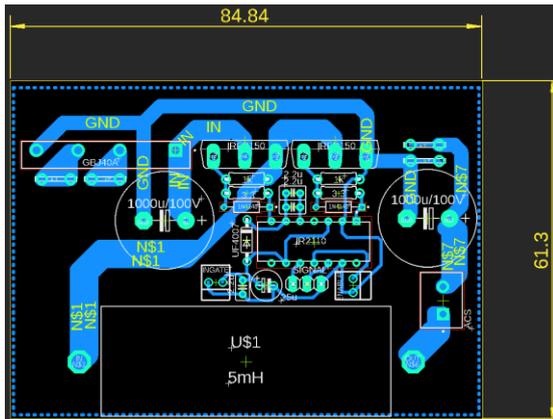
Rangkaian *DC - DC Converter* akan bekerja dengan gelombang PWM. Pada rancangan alat kontrol ini penghasil PWM yang digunakan yaitu Arduino Mega 2560. Pengaturan *duty cycle* diatur melalui potensiometer. Arduino Mega 2560 membutuhkan suatu rangkaian penguat sinyal yaitu gate driver, karena sinyal dari Arduino Mega 2560 belum mampu membias gate pada Mosfet yang ada di rangkaian *DC – DC Converter* karena amplitudo dari sinyal PWM Arduino Mega 2560. Pada rancangan alat kontrol terdapat catu daya untuk Arduino Mega 2560 dan power supply dc 12V. Dari hasil perancangan ini didapatkan schematic alat yang nantinya dapat dijadikan acuan untuk pembuatan alat. Perancangan perangkat keras ini dilengkapi dengan sensor arus.

c. Realisasi Perancangan Alat

Sebelum membuat alat, terlebih dahulu membuat schematic rangkaian. Schematic ini dijadikan acuan untuk pembuatan PCB Layout rangkaian serta untuk menentukan komponen yang akan digunakan.



Gambar 3.4 Rangkaian Schematic Alat



Gambar 3.5 Jalur Lay Out DC – DC Converter

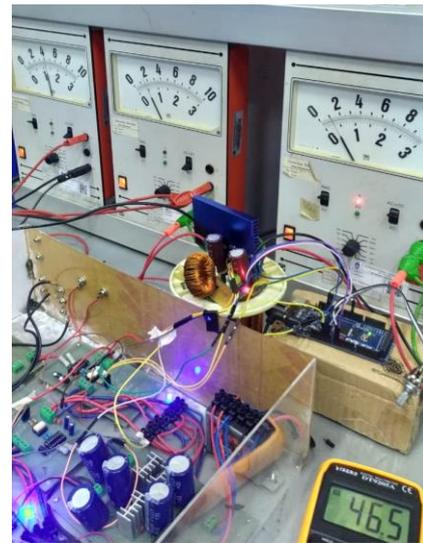
Pada rangkaian *DC-DC Converter* yang telah dibuat menggunakan tipe Mosfet IRFP150N. Mosfet ini memberikan perancang perangkat yang sangat efisien dan andal untuk digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Selain itu juga memiliki tipe peralihan cepat (*fast switching*). Mosfet ini dipilih karena memiliki spesifikasi Tegangan maksimal = 100V dan Arus maksimal = 42A, sesuai dengan kebutuhan *converter* yang bermain pada tegangan input 65V (dc). IC yang dipilih untuk rangkaian *Driver circuit* pada *DC-DC Converter* ini adalah IR2110. Tipe ini dipilih karena sesuai dengan kebutuhan driver untuk *DC-DC Converter* tipe *Buck* yang memiliki fungsi sebagai pengaruh kendali IGBT dan Mosfet tegangan tinggi yang memiliki kanal keluaran terferensi terpisah untuk sisi tinggi (*high side*) dan sisi rendah (*low side*). Pada rangkaian *DC – DC Converter* dipilih Kapasitor tipe Elco 100V 1000µF (2 buah), dan Elco 100V 25µF (1 buah). Dioda dipilih tipe 1N4148 karena memiliki tipe pengalihan kecepatan tinggi 500Mw dan dioda tipe UF4007 karena sangat cocok untuk digunakan dalam catu daya *switching*, frekuensi sangat tinggi, waktu pemulihan sangat cepat untuk efisiensi tinggi. UF4007 memiliki spesifikasi VRRM = 1000V, VRMS = 700V, VDC = 1000V. Dipilih juga dioda bridge dengan kapasitas arus maksimum 60A. Resistor dipilih dengan ukuran 1/4W bernilai 1KΩ dan 3,3Ω. Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor arus ACS712 dengan kapasitas arus maksimum 20A, hal ini sesuai dengan batasan arus yang sudah ditentukan untuk kebutuhan *DC-DC Converter* yang telah dibuat. Pemilihan board digital Arduino Mega 2560 berdasarkan tingkat kinerja yang tinggi dan tipe arduino Mega 2560 memiliki keunggulan port digital I/O maupun analog input lebih banyak dari pada arduino uno.

4. Implementasi dan Pengambilan Data

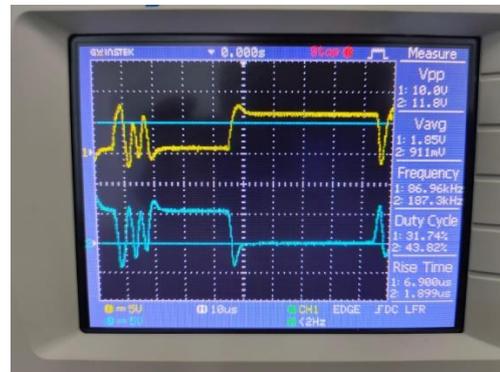
Pada bab ini dilakukan pengujian rangkaian *dc – dc converter* yang telah dibangun. Pengujian ini dilakukan dengan putaran potensiometer dan beban rheostat yang bervariasi.

4.1 Pengujian

Pada pengujian ini menggunakan *power supply* 0-250V/6A yang dapat diatur menjadi 65V (konstan) sebagai tegangan sumbernya. Dilakukan pengaturan putaran pada potensiometer dari putaran minimum sampai putaran maksimum dan dilakukan pergeseran beban Rheostat dari hambatan besar (Arus kecil) sampai hambatan kecil (Arus besar). Pengujian ini terdiri dari pengukuran *V input*, *I input*, *V output*, *I output*.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian



Gambar 4.2 Gelombang Penyaklaran Saat Nilai Duty Cycle 1: 31,74% ; 2: 43,82%

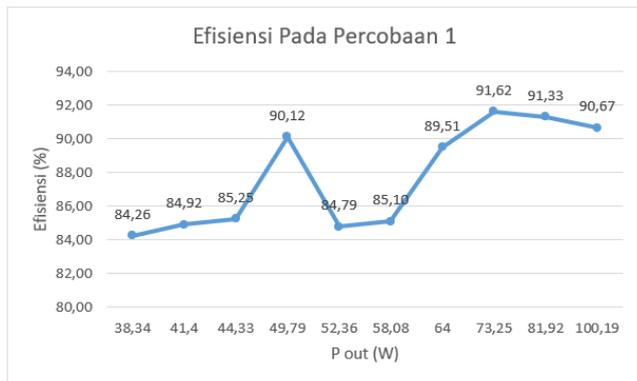
Tabel 4.1 Data Pengujian Posisi Potensiometer Minimum

Percobaan 1								
Posisi Potensio Minimum								
NO	V input (V)	I input (A)	P input (W)	V out (V)	I out (A)	P out (W)	D (Duty Cycle)	η (%)
1	65	0,7	45,5	42,6	0,9	38,34	46,81	84,26
2	65	0,75	48,75	41,4	1	41,4	45,49	84,92
3	65	0,8	52	40,3	1,1	44,33	44,29	85,25
4	65	0,85	55,25	38,3	1,3	49,79	42,09	90,12
5	65	0,95	61,75	37,4	1,4	52,36	41,10	84,79
6	65	1,05	68,25	36,3	1,6	58,08	39,89	85,10
7	65	1,1	71,5	32	2	64	35,16	89,51
8	65	1,23	79,95	29,3	2,5	73,25	32,20	91,62
9	65	1,38	89,7	25,6	3,2	81,92	28,13	91,33
10	65	1,7	110,5	23,3	4,3	100,19	25,60	90,67

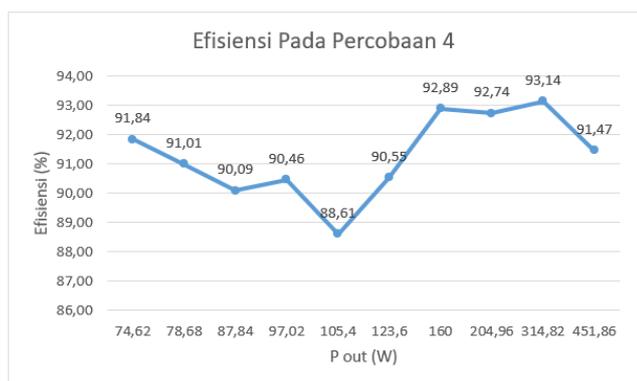
Tabel 4.2 Data Pengujian Posisi Potensiometer Maksimum

Percobaan 4								
Posisi Potensio Maksimum								
NO	V input (V)	I input (A)	P input (W)	V out (V)	I out (A)	P out (W)	D (Duty Cycle)	η (%)
1	65	1,25	81,25	57,4	1,3	74,62	63,08	91,84
2	65	1,33	86,45	56,2	1,4	78,68	61,76	91,01
3	65	1,5	97,5	54,9	1,6	87,84	60,33	90,09
4	65	1,65	107,25	53,9	1,8	97,02	59,23	90,46
5	65	1,83	118,95	52,7	2	105,4	57,91	88,61
6	65	2,1	136,5	51,5	2,4	123,6	56,59	90,55
7	65	2,65	172,25	50	3,2	160	54,95	92,89
8	65	3,4	221	48,8	4,2	204,96	53,63	92,74
9	65	5,2	338	47,7	6,6	314,82	52,42	93,14
10	65	7,6	494	44,3	10,2	451,86	48,68	91,47

Pada percobaan 1 dan 4, potensiometer berada pada posisi putaran minimum dan maksimum dengan tetap menjaga tegangan sumber agar berada pada posisi konstan 65V dan pemberian beban rheostat pada step 1 hingga step 10 (dimulai dari hambatan kecil hingga hambatan besar). Pada beban percobaan ini, tegangan keluaran terus mengalami penurunan pada saat pemberian beban rheostat dari step 1 hingga step 10 (dari hambatan kecil hingga hambatan besar), sedangkan arus keluaran mengalami kenaikan berbanding terbalik dengan tegangan keluaran. Terlihat pula perubahan *duty cycle* terhadap daya keluaran adalah berbanding terbalik, semakin kecil *duty cycle* maka daya keluaran semakin besar.



Gambar 4.3 Efisiensi Pada Percobaan 1



Gambar 4.4 Efisiensi Pada Percobaan 4

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada setiap pergeseran beban terjadi peningkatan daya yang semakin besar. Nilai efisiensi pada setiap pergeseran beban berbeda- beda. Selain itu nilai tegangan keluaran berubah- ubah meskipun tegangan masukan tetap konstan 65V.

4.2 Pengujian Kendali Arus Hysteresis

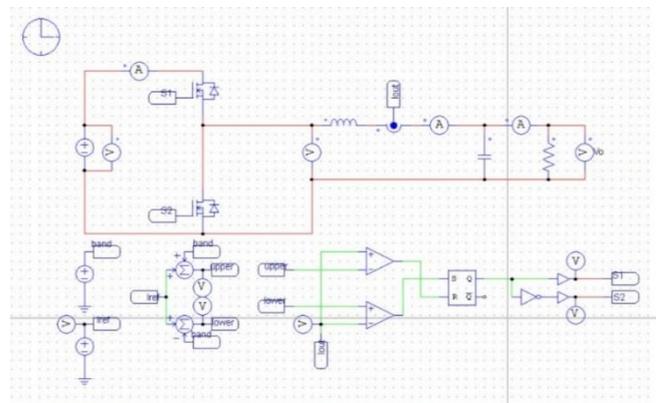
Untuk uji kendali arus *hysteresis* tegangan *input* yang digunakan sebesar 100V. karena MOSFET IRFP150N yang digunakan pada rangkaian memiliki rating tegangan maksimum 100V. Berikut akan disajikan tabel pengujian kendali arus *hysteresis*.

Tabel 4.3 Pengujian Kendali Arus Hysteresis

No.	Vin (V)	Iin (A)	Referensi arus (A)	Arus Aktual (A)	Daya Output W	Efisiensi (%)
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%

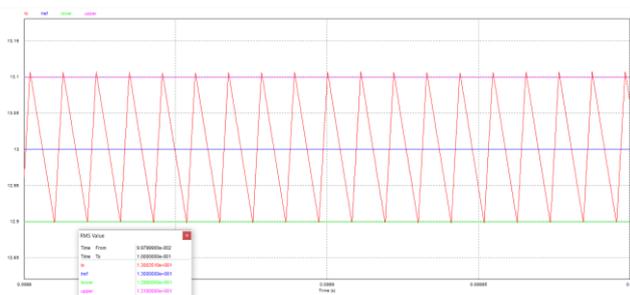
Untuk rating arus maksimum pada MOSFET IRFP150N sebesar 42A. Sehingga dilakukan pengujian kendali arus dengan diberikan tegangan sumber 100V dengan arus *input* tidak mencapai 42A dikarenakan sensor arus ACS712 yang digunakan memiliki rating arus maksimum 20A dan batas arus maksimum yang diuji pada penelitian ini adalah 20A. Pada tabel 4.5. didapatkan nilai arus referensi dan nilai arus aktual yang hampir mirip, sehingga dapat dilihat bahwa aktual dapat mengikuti referensi yang diberikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kendali arus *hysteresis* pada *Buck Converter* dapat melakukan proses pensaklaran dengan baik.

4.3 Simulasi Arus Hysteresis



Gambar 4.5 Simulasi Kendali Arus Hysteresis Buck Converter Pada PSIM

Pada gambar 4.5 menunjukkan rangkaian *DC – DC Converter half bridge* dengan kendali arus *hysteresis*. Pada simulasi tersebut digunakan arus perintah (*Iref*) 13A, dan dapat diubah sesuai dengan kebutuhan untuk simulasi. Pada simulasi tersebut menggunakan arus batas atas (*Upper*) +0,1A dan arus batas bawah (*Lower*) -0,1A.



Gambar 4.6 Hasil bentuk gelombang I_o , I_{ref} , Upper, dan Lower

Pada Gambar 4.6 menunjukkan gelombang dari arus *output* (I_o). Untuk arus perintah (I_{ref}) adalah 13A dan pita *hysteresis* pada *lower* bernilai 12,9A, sedangkan pada *upper* bernilai 13,1A. Gambar 4.6. diatas membuktikan bahwa algoritma kendali arus *hysteresis* pada *Buck Converter* berjalan dengan baik dan membuktikan bahwa pada penelitian ini dapat mendesain arus kendali dengan baik.

5. Kesimpulan

1. Semakin meningkat putaran potensiometer mendekati titik maksimum maka nilai *duty cycle* semakin besar dan tegangan keluaran yang terukur akan besar. Semakin menurun putaran potensiometer mendekati titik minimum maka nilai *duty cycle* semakin kecil dan tegangan keluaran yang terukur akan kecil.
2. Nilai hambatan pada beban rheostat akan mempengaruhi arus yang terukur. Semakin besar hambatan yang diberikan, maka nilai arus yang terukur semakin kecil. Dan semakin kecil hambatan yang diberikan, maka nilai arus yang terukur semakin besar.
3. Daya *output* yang dihasilkan selalu lebih kecil dari daya *input*. Semakin besar perbedaan daya *input* dan *output*, nilai efisiensi akan menurun.
4. Nilai *duty cycle* terhadap beban berbanding terbalik. Semakin kecil beban maka semakin besar nilai *duty cycle* yang dihasilkan. Semakin besar beban maka semakin kecil nilai *duty cycle* yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Alamsyah, Robbi. (2018). Perancangan Power Factor Correction Boost Converter Pada Penyearah Satu Fasa. Skripsi. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- [2] Buntulayuk, Herman.,Arya, Faizal S.,Yusran. (2017). Rancangan *DC-DC Converter* Untuk Penguat Tegangan. Makassar: Universitas Hassanuddin.
- [3] Deng Songquan. (2005). Control And Topology Improvements In Half-Bridge DC-DC Converters, Electronic Theses and Dissertations. University Of Central Florida.
- [4] Fadlika I., et al. (2021). Implementasi Kendali Tegangan Lup Tertutup *Buck Converter* dengan ArduinoMega, Jurnal Sistem Kelistrikan. Politeknik Negeri Malang.
- [5] Mohan N., et al. (2003). Power Electronics Third Edition – Converters, Applications, and Design, 3rd Edition Chapter 7&10. John Wiley & Sons, Inc. United States.

- [6] Patel, Nelson A.,Baria, Jadeep C. (2016). *A Hysteresis Current Control Technique for Electronics Converter*. India. BVM Engineering College.
- [7] Rashid, M. (1999). *Power Electronics : Circuits, Devices And Applications*. Jakarta: Prenhallindo.
- [8] Rashid, Muhammad H. (2004). *Power Electronics – Circuits, Devices, and Applications*, 3rd Edition Chapter 5&14. Perason Prentice Hall. United States.
- [9] Todorovic, Maja H., (2004). *Wide Input Range DC-DC Converter With Digital Control Scheme*. Texas: Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- [10] W.Hart, Daniel. (1997). *Introduction to Power Electronics*. Valparaiso University, Indiana : Prentice-Hall International, Inc.
- [11]A. V. Fadilla, M. A. H. Prakoso, Nurhayati, M. N. Hidayat, and A. Hermawan, "Rancang Bangun Passive Photovoltaic 50 Wp Di Laboratorium Energi Terbarukan Politeknik Negeri Malang," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 21–26, 2020,
- [12] M. Saputra, A. H. Santoso, S. Nurhadi, I. Ridzki, and S. W. Dali, "Desain Closed-Loop Boost Converter Berbasis Voltage Lift Cell Untuk Implementasi Penguat Tegangan," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 70–75, 2022,