



Desain dan Simulasi Konverter Tiga Fasa AC – DC pada Pico Hydro

Yun Tonce Kusuma Priyanto✉, Andre Amba Matarru, Muhammad Ridho Dewanto, Rizky Wahyudhi

Institut Teknologi Kalimantan

yuntonce@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Picohidro merupakan pembangkit yang bergerak dalam bidang *renewable energy*, pada umumnya pada sistem pembangkit menggunakan generator sinkron 3 fasa dengan tegangan AC, dalam pengembangannya dapat digunakan sebagai converter, dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Salah satu pemanfaatan tegangan DC yaitu sebagai sehingga dapat digunakan sebagai *Charger* Baterai maupun *Discharger* baterai. Konverter AC-DC ataupun biasa disebut penyearah (*rectifier*) adalah alat untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC). Pada umumnya banyak teknologi dalam dunia industri yang memanfaatkan konverter. Dalam paper ini akan dibuat desain simulasi sistem konverter AC-DC dengan input 230 Volt AC dengan output tegangan DC. Dalam pembuatan *converter* tersebut dilakukan dengan perbedaan nilai gate pada *thyristor* yang disimulasikan dengan menggunakan simulink pada *MATLAB*. Hasil pada penelitian ini berupa analisis dan perhitungan secara matematis keluaran pada konverter AC-DC dimana dari hasil simulasi bahwa tegangan AC dapat dikonversi menjadi tegangan DC dengan prinsip kerja *thyristor*, dengan demikian maka hasil output konverter dapat digunakan dalam *charger* baterai dan *discharger* baterai

Kata kunci: PLTPH, Konverter, *Thyristor*, AC-DC, *rectifier*.

JSISFOTEK is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Energi merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia di era modern ini. Dapat kita ketahui bahwa energi yang sangat dibutuhkan manusia adalah energi listrik. Alam rangka diversifikasi penggunaan energi primer dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan. Pemanfaatan energi baru terbarukan didasari dengan menitisnya sumber bahan bakar seperti batu bara, fosil, dll. Dengan demikian, kini banyak berkembangnya pembangkit listrik sederhana yang memiliki biaya dan lahan yang minim sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat serta menjadi energi cadangan untuk kebutuhan.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air baik dalam skala besar ataupun kecil dapat membantu penyediaan tenaga listrik yang diamanatkan dalam pasal 4 ayat 3 UU No. 20 Tahun 2002. Mengenai Ketenagalistrikan disebutkan “guna menjamin ketersediaan energi primer untuk pembangkit tenaga listrik, diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan” [1].

Dalam beberapa penelitian telah banyak disinggung mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPH) [1]. Picohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu, tegangan yang dihasilkan generator juga bervariasi tergantung pada kecepatan aliran air [2].

Pada pembangkit pada umumnya menggunakan generator AC. Generator sinkron terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak) dengan sumber tegangan AC. Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator sinkron memiliki celah udara ruang antara stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke stator [3]. Pada penelitian mengenai konversi energi generato dengan sumber AC dapat dikonversi menjadi tegangan DC dengan converter.

Konverter AC-DC digunakan untuk mengkonversi tegangan bolak balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). DC yang baik adalah converter yang dapat mengambil arus inputan tanpa adanya distorsi biasa berbentuk sinusoidal murni dan mempunyai factor daya [4].

Konverter AC-DC dapat dilakukan dalam bentuk setengah gelombang (*halfwave*) dan gelombang penuh (*fullwave*). Jenis sumber tegangan masukan untuk mencatu rangkaian konverter ac-dc dapat digunakan tegangan bolak-balik satu fasa maupun tiga fasa. Namun sebagian besar konsumen masih menggunakan sumber tegangan masukan satu fasa. Output dari Konverter AC-DC dipengaruhi oleh *input*, metode yang digunakan [5]. Pada penelitian ini tegangan DC digunakan sebagai pengisian daya pada baterai.

Dalam penelitian ini akan dirancang simulasi suatu konverter AC - DC tiga fasa menggunakan komponen *Thyristor* serta *Battery Charger Controller* menggunakan *simulink pada MATLAB*

2. Metode Penelitian

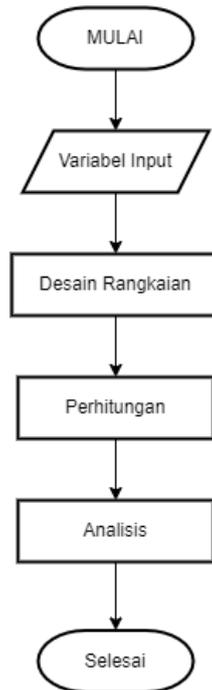
Adapun metode yang digunakan pada desain dan simulasi AC to DC konverter penuh tiga fasa menggunakan prinsip dasar *thyristor* serta *Battery Charge Controller*

Metode simulasi ini dibagi kedalam dua kegiatan :

- Desain konverter penuh AC to DC dengan *Thyristor*
- Melakukan perhitungan daya keluaran penuh AC to DC
- Melakukan perhitungan *Battery Charge* dengan arus keluaran converter.

2.1 Flowchart

Adapun flowchart dalam proses desain dan rancang bangun konverter AC to DC adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro adalah pembangkit yang diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil dengan menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW. Pembangkitan tenaga air memiliki prinsip yaitu suatu bentuk dari perubahan tenaga, dalam hal ini tenaga air dengan debit dan ketinggian tertentu menjadi tenaga listrik, dengan memanfaatkan turbin dan generator untuk menghasilkan listrik. Prinsipnya pada PLTA skala pikohidro, adalah dengan memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran sungai, kemudian aliran air nantinya akan menggerakkan sudut-sudut turbin, kemudian turbin menghasilkan putaran terhadap generator sehingga menghasilkan listrik [2].

2.3 Generator

Generator sinkron dapat dikatakan sebagai alternator, dan umumnya merupakan mesin listrik 3 fasa. Generator sinkron dibagi menjadi dua yaitu sinkron 3 fasa atau generator sinkron 1 fasa berdasarkan kadar kebutuhannya. Pada umumnya konstruksi generator sinkron memiliki kesamaan dengan konstruksi motor sinkron yaitu terdiri dari stator dan rotor[6].

Pada dasarnya, generator sinkron terdiri dari Stator bagian yang diam sedangkan rotor bagian yang berputar. Celah udara ruang antara stator dan rotor [7].

2.8. DC (Direct Current)

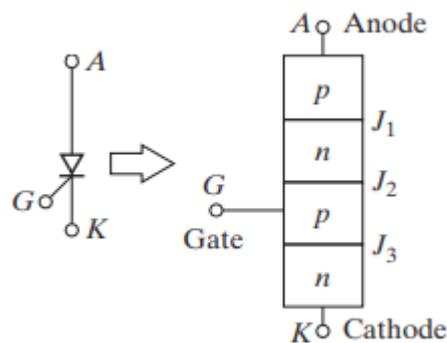
Direct Current adalah arus listrik searah. Arus DC dikembangkan Thomas Alva Edison melalui perusahaannya yaitu General Electric dan digunakan secara komersil pada akhir abad ke-19. Pada umumnya sumber DC berasal dari proses kimiawi yang merupakan hasil induksi elektromagnetik yang berasal dari sumber energi alam yang terbarukan. Sumber arus DC berasal dari kimiawi yaitu baterai (elemen Volta) dan akumulator (aki). Adapun hasil induksi elektromagnetik yaitu dinamo (generator/motor DC). Kemudian dari sumber energi alam adalah sel/panel surya. Pada umumnya arus DC yang paling sering digunakan adalah aki mobil bagi perangkat elektronik di dalam mobil seperti lampu mobil, tape, pemantik rokok dan lain sebagainya. Secara teori, arus DC merupakan aliran elektron dari suatu titik dengan energi potensial listrik yang lebih tinggi ke titik lain dengan energi potensial lebih rendah. Karakteristik arus DC antara lain:

- Arus listriknya selalu tetap (konstan) terhadap perubahan waktu;
- Polaritasnya tetap pada masing-masing terminalnya
- Bentuk gelombang baik I (arus) vs t (waktu) maupun V (tegangan) vs t (waktu) mendatar, di mana nilai V maupun I selalu tetap terhadap perubahan waktu. [11].

2.9 Thyristor

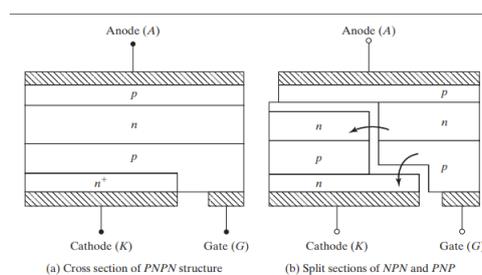
Thyristor adalah komponen elektronik yang terdiri dari empat lapisan semikonduktor PNPN yang merupakan gabungan dari PNP dan NPN. Thyristor terdiri dari yaitu anoda, katoda, dan gate (gerbang). Thyristor disebut penyearah terkendali, karena gate (gerbang) yang berfungsi untuk mengendalikan arus. Teknik penyalakan menggunakan arus gerbang. Jika dibias maju, pemberian arus pada gerbang memakai tegangan positif antara gerbang dengan terminal katoda akan menyalakan thyristor. Penundaan pemberian arus pada gerbang thyristor tergantung pada operasi zero crossing [12]

Thyristor adalah perangkat semikonduktor empat lapis dari struktur PNPN dengan tiga sambungan pn dengan tiga terminal yaitu anoda, katoda, dan gerbang. Gambar 4 menunjukkan simbol thyristor dan tampilan penampang tiga pn-junction. Thyristor diproduksi dengan difusi [13]



Gambar 4. Thyristor [13]

Penampang thyristor ditunjukkan pada Gambar 2a, yang dapat dibagi menjadi dua bagian NPN dan PNP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Ketika tegangan anoda dibuat positif sehubungan dengan katoda, persimpangan J1 dan J3 bias maju. Persimpangan J2 adalah reverse bias, dan hanya arus bocor kecil yang mengalir dari anoda ke katoda. Thyristor kemudian dikatakan berada dalam kondisi forward blocking, atau off-state, dan the arus bocor dikenal sebagai ID arus off-state. Jika tegangan anoda-ke-katoda VAK dinaikkan ke nilai yang cukup besar, persimpangan J2 dengan bias mundur putus.[13]



Gambar 5. a) PNPN b) NPN dan PNP [13]

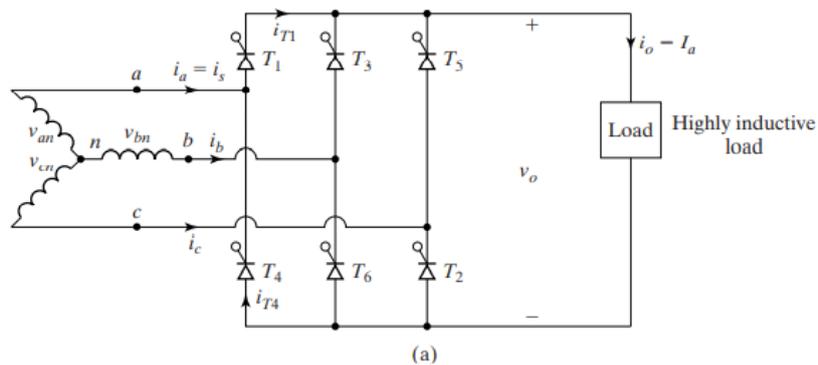
2.10 Konverter

Konverter ac-dc atau penyearah (rectifier) adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (Alternating Current) menjadi sinyal sumber arus searah (Direct Current)[13].

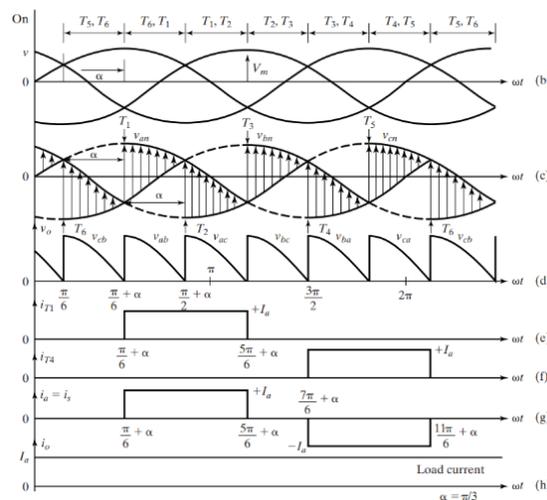
Pada umumnya, konverter AC-DC berfungsi sebagai pengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dan pada konverter AC-DC satu fasa topologi Jembatan digunakan seperti catu daya tak terputus, perbaikan faktor daya, penggerak kecepatan motor, dan filter daya aktif dalam memperoleh tegangan DC yang konstan konverter AC-DC dengan teknik Modulasi Lebar Pulsa (MLP). Kinerja Konverter AC-DC bergantung kondisi arus masukan dan tegangan keluaran. Konverter AC-DC yang baik adalah konverter yang dapat menarik arus masukan tanpa distorsi (berbentuk sinusoidal murni) dan mempunyai factor daya satu, sementara tegangan keluaran selalu konstan pada nilai yang telah ditentukan [4].

2.11. Konverter Penuh Tiga Fasa

Konverter tiga fasa banyak digunakan dalam aplikasi industri hingga Tingkat 120-kW, di mana operasi dua kuadran diperlukan. Gambar 6 menunjukkan rangkaian konverter penuh dengan beban yang sangat induktif. Sirkuit ini dikenal sebagai tiga fasa menjembatani. Thyristor dihidupkan pada interval $\pi/3$. Frekuensi keluaran tegangan riak adalah 6fs dan persyaratan penyearangan kurang dari konverter setengah gelombang. Pada $\omega t = \pi/6 + \alpha$, thyristor T6 sudah berjalan dan thyristor T1 dihidupkan pada. Selama interval $1\pi/6 + \alpha 2 \dots \omega t \dots 1\pi/2 + \alpha 2$, thyristor T1 dan T6 melakukan dan tegangan line-to-line $v_{ab} = v_{an} - v_{bn}$ muncul melintasi beban. Pada $\omega t = \pi/2 + \alpha$, thyristor T2 dihidupkan dan thyristor T6 segera bias balik. T6 dimatikan karena respon natural *thyristor*. Selama interval $1\pi/2 + \alpha 2 \dots \omega t \dots 5\pi/6 + \alpha 2$, thyristors T1 dan T2 melakukan dan voltase line-to-line v_{ac} muncul melintasi beban. Jika thyristor diberi nomor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, urutan penembakan adalah 12, 23, 34, 45, 56, dan 61. Gambar 7 menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan masukan, tegangan keluaran, masukan arus, dan arus melalui thyristor.



Gambar 6. Rangkaian Converter AC to DC [13]



Gambar 7. Gelombang Output Converter

Tegangan rata-rata diperoleh dari

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} V_{ab} d(\omega t) \\
 &= \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) (\omega t) \\
 V_{dc} &= \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos \alpha \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

Tegangan output rata-rata maksimum untuk sudut tunda, $\alpha = 0$, adalah

$$V_{dm} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \dots\dots\dots (2)$$

Tegangan Output rata-rata dinormalisasi adalah

$$V_n = \frac{V_{dc}}{V_{dm}} = \cos \alpha \dots\dots\dots (3)$$

Nilai RMS dari tegangan output adalah

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \left[\frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} 3V_m^2 \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\
 V_{rms} &= \sqrt{3} V_m \left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

Efisiensi (atau rasio rektifikasi) dari penyearah, yang merupakan angka prestasi dan memungkinkan kita untuk membandingkan efektivitas, didefinisikan sebagai

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \dots\dots\dots (5)$$

Power faktor sebagai berikut,

$$PF = \frac{P_{ac}}{V_s I_s} \dots\dots\dots (6)$$

Gambar 7 menunjukkan bentuk gelombang untuk $\alpha = \pi/3$. Untuk $\alpha > \pi/3$, seketika tegangan output v_o memiliki bagian negatif. Karena arus melalui thyristor tidak bisa negatif, arus beban selalu positif. Jadi, dengan beban resistif, seketika tegangan beban tidak boleh negatif, dan konverter penuh berperilaku sebagai semikonverter [13].

2.12 Charger

Mengisi baterai disebut Charger. Pada saat proses pengisian batrai dengan meggunakan alat Charger Arus dialirkan berlawanan dengan waktu pengeluaran isi, pengisian berarti bahwa beban aktif dan elektrolit dirubah supaya energy kimia baterai mencapai maksimum[14].

Pada proses pengisian Kapasitas rectifier harus disesuaikan terlebih dahulu dengan kapasitas baterai yang telah terpasang, pada umumnya, kapasitas arusnya mencukupi untuk pengisian baterai sesuai jenisnya yaitu untuk baterai alkali adalah 0.2 C (0.2 x kapasitas) ditambah beban statis (tetap) pada unit pembangkit.[14].

2.13 Discharger

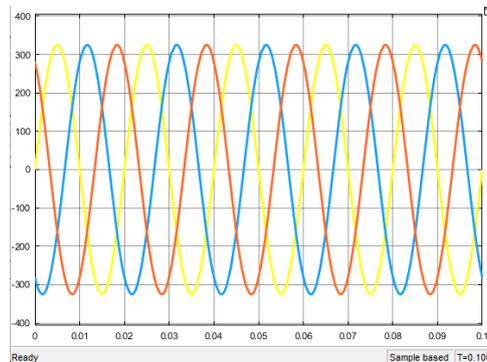
Proses pengosongan ini terjadi ketika baterai digunakan untuk mensuplai beban. Pada saat baterai sedang digunakan untuk mengaliri beban maka akan ada dua aliran yang terjadi yaitu aliran di dalam baterai atau disebut juga internal circuit dan aliran yang terjadi di beban yaitu external circuit. Pada internal circuit terjadi perpindahan energi potensial oleh electron dari kutub negative ke positif, sedangkan *external circuit* merupakan proses pelepasan energi potensial [15]

Spesifikasi pada baterai seperti kapasitas (Ah), voltase baterai (V), dan hours rating (Hr) dari kapasitas baterai dibuat sebagai standar kondisi baterai dalam keadaan ideal dan sehat. Untuk mengetahui kondisi sel baterai atau

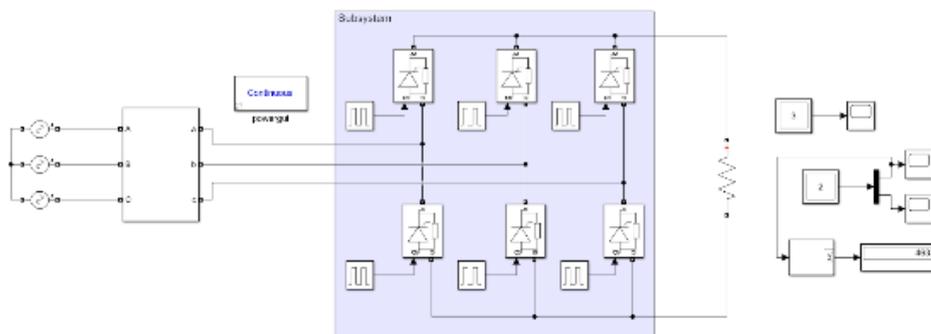
sumber energi listrik lain masih dalam keadaan sehat atau tidak, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah pemakaian/pembebanan (discharging) [16].

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini penulis mencoba dengan mendesain rangkaian konverter penuh tiga fasa seperti yang bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 8. Input



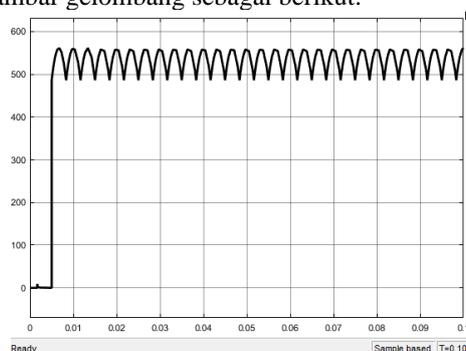
Gambar 9. Rangkaian Simulasi

Pada penelitian menggunakan tegangan 3 fasa dengan input sebesar 220 volt AC yang dihubungkan dengan *thyristor* yang disusun dengan menggunakan 6 buah *thyristor* dengan menggunakan *gate* pada angle 0° dalam simulasi dengan durasi 500 ms. kita dapat mengamati sinyal berikut:

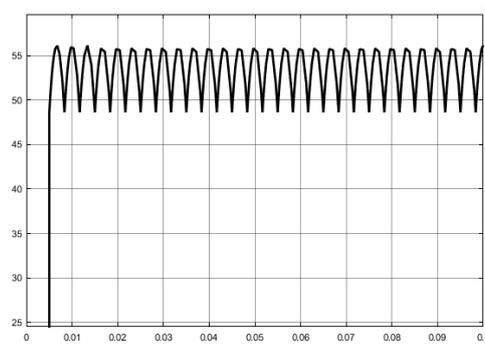
- Tegangan Ac
- Bentuk Gelombang output
- Tegangan DC

3.1. Output Konverter

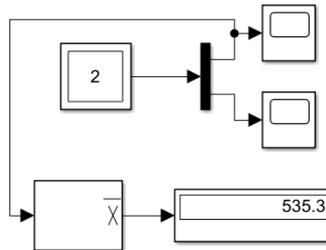
Pada pengujian konverter penuh tiga fasa dan perhitungan tegangan dan arus. dari pengujian tegangan dengan penggunaan MATLAB diperoleh gambar gelombang sebagai berikut:



Gambar 10. Tegangan Output DC, $\alpha = 0^\circ$



Gambar 11. Arus Output DC, $\alpha = 0^\circ$



Gambar 12. Output DC, $\alpha = 0^\circ$

Pada percobaan converter AC to DC dengan $\alpha = 0^\circ$ dengan sudut masing-masing *thyristor* $30^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 270^\circ, 330^\circ$ diperoleh gelombang output tegangan pada gambar 7, dengan arus tegangan pada gambar 8, dengan nilai output tegangan DC pada gambar 9 dengan nilai 535, 3 Volt DC, yang dapat dibuktikan dengan perhitungan dengan persamaan (3) sebagai berikut:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3} * 230\sqrt{2} * \cos 0^\circ}{\pi}$$

$$V_{dc} = 538,263 \text{ Volt}$$

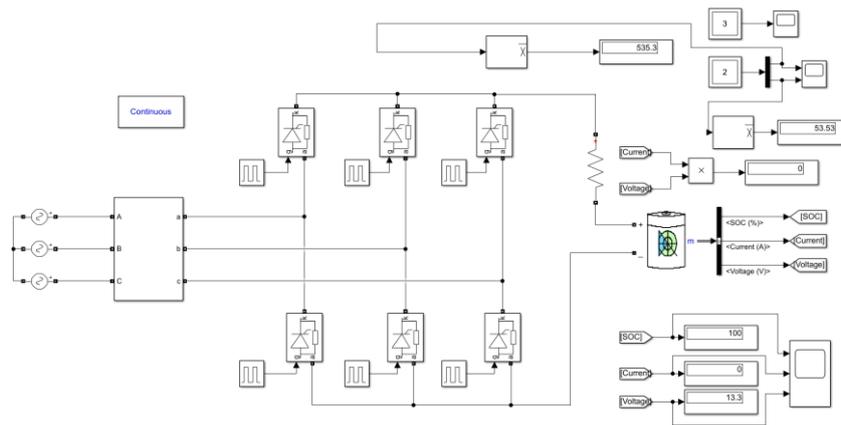
Pada rangkaian simulasi diasumsikan bahwa tegangan sebesar 10 Ohm dengan hal tersebut maka dapat diperoleh nilai arus sebesar:

$$I_{dc} = \frac{538,26}{10}$$

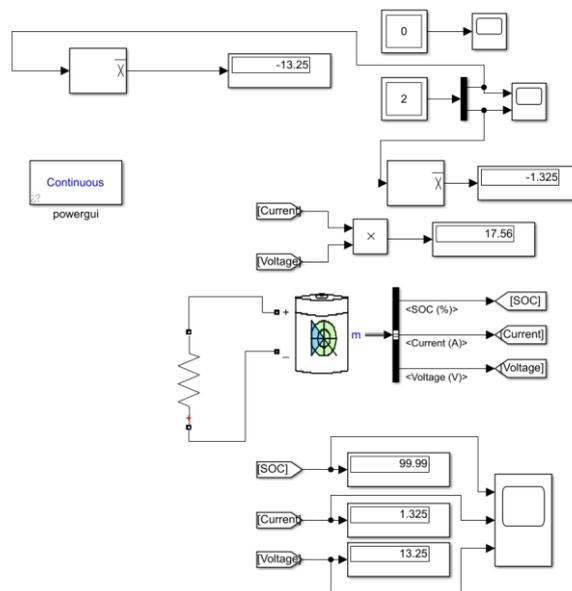
$$I_{dc} = 53,826 \text{ Ampere}$$

3.2. Charger dan Discharger

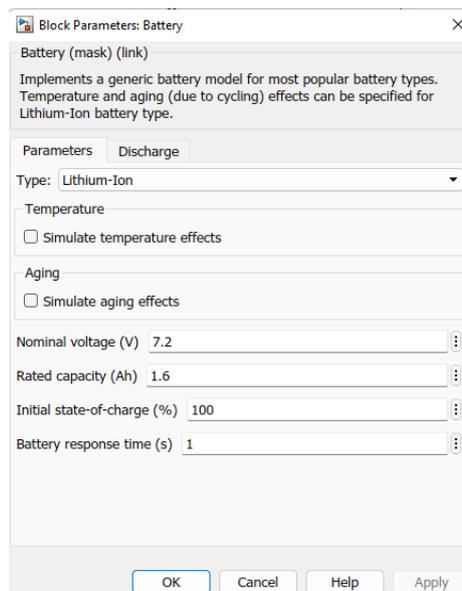
Pada sistem charge dan discharge dengan converter yang telah didesain sebelumnya, sehingga dapat dilakukan desain *charger* dengan rangkaian pada gambar 11 *discharger* pada gambar 12. Dengan mengasumsikan kapasitas baterai dengan MATLAB pada gambar 13



Gambar 13. Charger Baterai

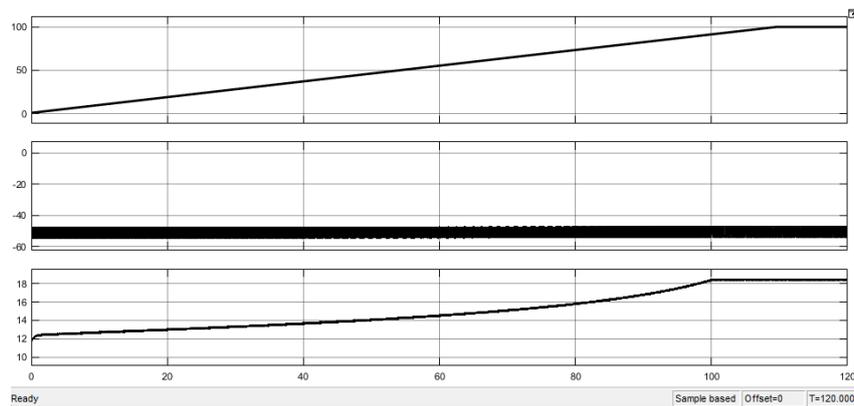


Gambar 14. Discharger baterai

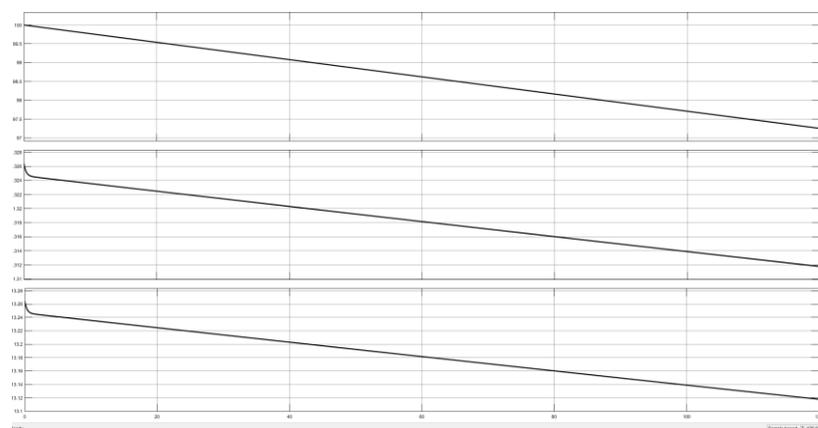


Gambar 15. Kapasitas baterai

Pada simulasi *charger* dan *discharger* memperoleh hasil simulasi berupa gambar grafik dari keluaran hasil rangkaian pada gambar 13 dan gambar 14 adalah sebagai berikut:



Gambar 16. Grafik Charger



Gambar 17. Grafik Discharger

Dalam pemanfaatan penyearah 3 fasa dengan battery charge controller kali ini menggunakan Battery dengan kapasitas 1,6 Ah, Adapun pengujian pengian waktu charge dan discharge dengan menggunakan arus input 1,326 A, maka diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Charge} = \frac{\text{Kapasitas (Ah)}}{I (\text{input})} = \frac{1,6\text{Ah}}{53,8\text{ A}} = 0,03 \text{ jam}$$

$$\text{Discharge} = \frac{\text{Kapasitas (Ah)}}{I (\text{beban})} 80\%$$

$$= \frac{1,6\text{ Ah}}{13\text{ A}} 80\% = 0,984 \text{ jam}$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Rangkaian converter tiga fasa dapat bekerja dengan baik yaitu mengubah tegangan AC menjadi DC
2. Hasil simulasi diperoleh bahwa tegangan keluaran AC-DC dengan menggunakan *thyristor*
3. Nilai tegangan output DC memiliki variasi nilai keluaran berdasarkan nilai angle pada gate thyristor dengan hasil simulasi dan juga perhitungan

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Kalimantan telah mewadahi akademisi mentransformasikan, mengembangkan, dan menyebarkan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni melalui pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat.

Daftar Rujukan

- [1] Bandri, S., Premadi, A., & Andari, R. (2021). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPh) Rumah Tangga. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 21(1).
- [2] Ibrahim, M., Dirja, I., & Naubnome, V. (2020). Rancang bangun prototipe PLTPh sebagai listrik penerangan kapasitas 9 Watt. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(2), 63-69.
- [3] Supena, Deden., Yunus, Riza M., Dewi J, Eidelweis., dan Budiman, Haris(2016). Analisis Sistem Kerja Generator AC (Sinkron).*Jurnal Universitas Majalengka*.
- [4] Khalid, I. Penerapan Kendali Satu Siklus Untuk Memperbaiki Kinerja Konverter AC–DC Satu Fasa Topologi Jembatan Pada Kondisi Baban Berubah-ubah. *SMARTek*, 4(1).
- [5] Pasaribu, A. (2018). Analisa Tegangan keluaran Konverter AC-DC Satu Fasa dengan Beban Lampu Halogen (Doctoral Dissertation)
- [6] Kusuma, A. (2016). Analisa Generator 3 Fasa Tipe Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk PLTB. *Eksergi*, 11(1).
- [7] Perawati, P. (2020). Karakteristik Generator Sinkron yang Berbeban Berat dan Tidak Konstan. *Jurnal Ampere*, 2(2), 115-120.
- [8] Rivani, R., & Hiendro, A. (2019). Studi Perancangan Dan Analisis Sistem Pengisian Cerdas (Smart Charge) Baterai. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- [9] Nasution, M. (2021). Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 6(1), 35-40.
- [10] Satriady, A., Alamsyah, W., Saad, A. H., & Hidayat, S. (2016). Pengujian Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO4. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 6(02), 43-48.
- [11] Gideon, S., & Saragih, K. P. (2019). Analisis karakteristik listrik arus searah dan arus bolak-balik. *Ready Star*, 2(1), 262-266.
- [12] Tarmizi, T. (2010). Desain Sistem Kontrol Sudut Penyalan ThyristorKomutasi Jaringan Berbasis Mikrokontroler PIC 16F877. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 9(1), 16-23.
- [13] Rashid, M. H., Kumar, N., & Kulkarni, A. (2014). Power Electronics Devices. *Circuits and Applications (4th Edition)*, England.
- [14] Hamid, R. M., Rizky, R., Amin, M., & Dharmawan, I. B. (2016). Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(2), 130-136.
- [15] King, B. F., Panjaitan, S. D., & Hartoyo, A(2020). Sistem Kontrol Charging dan Discharging Serta Monitoring Kesehatan Baterai. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1).
- [16] Firdausyah, A. B., Andromeda, T., & Sudjadi, S. (2020). Perancangan Sistem Discharging Baterai Menggunakan Metode Constant Current Dummy Load (CCDL).