

Simulasi Sinkronisasi *PV* Dengan Jala Jala PLN Berbasis Matlab *Simulink*

¹Agil Sukma Pitulungan, ²Yanu Shalahuddin, ³Fajar Yumono

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Kediri, Kediri

¹pitulungan5@gmail.com, ²yanu@uniska-kediri.ac.id, ³fajaryumono@uniska-kediri.ac.id

Abstract - Solar panels or Photovoltaic (*PV*) technology is a semiconductor-based device that can absorb solar energy to be converted into electrical energy. *PV* can be a solution to the availability of electrical energy under certain conditions and can also be combined with electricity service providers (*PLN*). In order to be combined with *PLN* network, synchronization of *PV* and *PLN* voltage sources is required. This research aims to design a simulation model of synchronization of *PV* Array and *PLN* using Matlab *Simulink* software. The DC voltage output from the *PV* is fed to the boost converter then converted to AC through an inverter which is then summed up with the *PLN* AC source. The results of the simulation model design show a stable output voltage and maximum output power, and can supply the load. In this study, solar panels were given irradiance variations of 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m², at a normal temperature of 25°C. The simulation results of *PLN* voltage are constant without interruption, but there is a decrease in voltage when irradiance decreases. The results of the second simulation of the AC voltage generated when the solar panel receives irradiance of 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m², show that the power generated can reach the maximum value even though it decreases, with power of 15135 Watt, 13632 Watt, 9610 Watt, in irradiation conditions of 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m².

Keywords — *PLN*, *PV* Array, *Simulink*, Synchronization

Abstrak— Panel surya atau teknologi *Photovoltaic* (*PV*) merupakan perangkat berbahan semikonduktor yang dapat menyerap energi matahari untuk di konversi menjadi energi listrik. *PV* dapat menjadi solusi ketersediaan energi listrik pada kondisi tertentu juga dapat dikombinasikan dengan penyedia jasa listrik (*PLN*). Agar dapat dikombinasikan dengan jala-jala *PLN* diperlukan sinkronisasi sumber tegangan *PV* dan *PLN*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang model simulasi sinkronisasi *PV* Array dan *PLN* menggunakan *software* Matlab *Simulink*. Luaran tegangan DC dari *PV* diumpankan pada *boost converter* kemudian dirubah menjadi AC melalui inverter yang selanjutnya di jumlahkan dengan sumber AC *PLN*. Hasil rancangan model simulasi menunjukkan tegangan keluaran yang stabil dan daya keluaran yang maksimal, dan dapat mensuplai beban. Pada penelitian ini, panel surya diberi variasi penyinaran sebesar 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m², pada suhu normal 25°C. Hasil simulasi tegangan *PLN* konstan tanpa gangguan, namun terjadi penurunan tegangan saat irradiance menurun. Hasil simulasi kedua tegangan AC yang dihasilkan pada saat panel surya menerima irradiance sebesar 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m², menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan bisa mencapai nilai maksimal meskipun mengalami penurunan, dengan daya sebesar 15135 Watt, 13632 Watt, 9610 Watt, pada kondisi penyinaran 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m².

Kata Kunci—*PLN*, *PV* Array, *Simulink*, Sinkronisasi

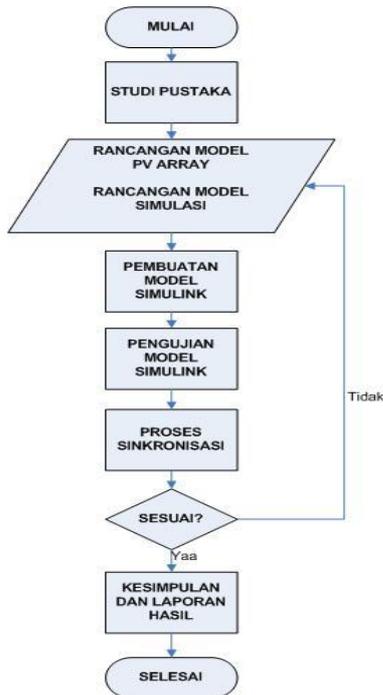
I. Pendahuluan

Photovoltaic Array (*PV* Array) digunakan untuk mengkonversi energi panas matahari menjadi listrik, dan dimanfaatkan di Home Industry, perkantoran, dll menggunakan system listrik 3fasa dengan kapasitas daya 3900 watt, dijadikan panel solar sistem untuk suplai kebutuhan daya listrik ditempat tersebut [1]. Namun sistem tenaga ini memiliki kekurangan yaitu sangat tergantung dengan intensitas cahaya matahari sehingga hasil yang dikeluarkan terbilang cukup rendah. *PV* menimbulkan Listrik Direct Current (DC) yang bisa dirubah menjadi listrik dengan inverter, sehingga meskipun cuaca mendung, selama ada cahaya, energi matahari tetap dapat menghasilkan listrik [2]. Pada dasarnya, listrik tenaga surya membutuhkan pengontrol dan sistem inverter untuk dapat menghasilkan sumber listrik untuk mensuplai beban AC. Sistem pengendali ini diperlukan agar daya bisa mencukupi beban, tegangan jaringan *PV* Array seringkali bervariasi tergantung pada radiasi matahari dan suhu.

Pemanfaatan sistem *PV* Array diharapkan bisa membantu *PLN* dalam mencukupi beban yang dibutuhkan dan bisa mengurangi jumlah pembayaran listrik. Maka dari itu, dalam penelitian ini dibutuhkan suatu pemodelan simulasi *PV* Array dapat digabungkan dan digunakan secara bersamaan dengan listrik yang terhubung oleh jala - jala dari *PLN* supaya bisa terjadi proses sinkronisasi [3]. Dalam penelitian ini juga akan dirancang sebuah inverter, sinkronisasi dengan suplai energi listrik dari *PLN*. Penelitian ini menggunakan metode Simulasi yang berbasis *Simulink*, sinkronisasi yang dilakukan adalah mengatur kondisi *PV* Array pada saat cahaya matahari yang menyinari sangat tinggi, cukup, dan rendah, suplai daya listrik diisi oleh *PV*. Pada saat penyinaran cahaya matahari berkurang jadi suplai daya dibantu oleh jasa listrik *PLN*, dan jika saat sudah malam *PV* tidak bisa bekerja karena tidak adanya intensitas cahaya matahari jadi daya akan di suplai sepenuhnya oleh jasa listrik *PLN* [4].

II. Metode Penelitian

A. Langkah Penelitian



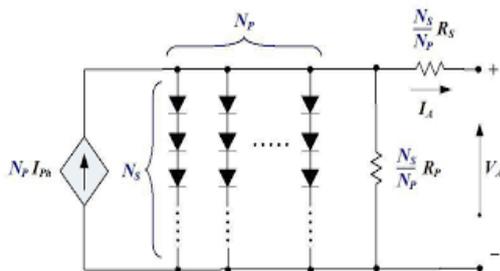
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Pemodelan Simulasi PV Array On Grid

Dilakukan perancangan model rangkaian agar lebih mudah dalam proses simulasi. Pembuatan pemodelan simulasi meliputi : rangkaian PV, jala jala listrik 3fasa, proses – proses sinkronisasi. Semua diagram block yang dibutuhkan didapatkan dari simulink *library*.

1. PV Array

PV array merupakan gabungan atau susunan modul PV yang dirangkai dalam kombinasi seri sejumlah N_s dan parallel sejumlah N_p untuk mendapat besaran arus dan tegangan tertentu [5]. Didalam rangkaian PV array setiap modul PV akan mengikuti karakteristiknya masing masing dari tiap cell ketika mendapat sinaran matahari. Rangkaian ekuivalen PV array seperti terlihat pada gambar 2[6].



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen PV Array

Tegangan keluaran dari PV ini nantinya akan digunakan sebagai sumber tegangan pada rangkaian listrik PV Array. Spesifikasi

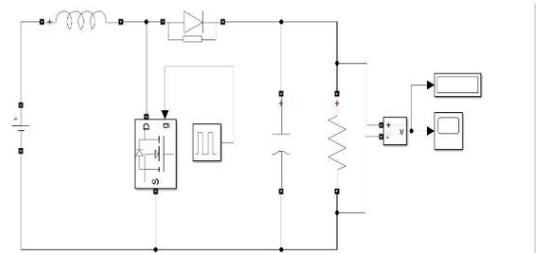
atau data sheet PV Array yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada gambar 3.

Array data	
Parallel strings	1
Series-connected modules per string	54
Module data	
Module:	User-defined
Maximum Power (W)	200.112
Cells per module (Ncell)	100
Open circuit voltage Voc (V)	32.9
Short-circuit current Isc (A)	8.21
Voltage at maximum power point Vmp (V)	26.4
Current at maximum power point Imp (A)	7.58
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.346
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.046

Gambar 3. Data Sheet PV Array

2. Boost Converter

Diagram blok *Boost Converter* atau yang biasa di sebut Converter penaik tegangan, pada dasarnya rangkaian ini memiliki berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran [7][8][1]. Dalam hal ini mosfet sebagai saklar yang diaktifkan menggunakan diagram blok sine wave dalam kondisi tertutup maka arus mengalir ke induktor sampai menyebabkan energi yang disimpan di induktor berubah [8]. Saat saklar ini dibuka, arus induktor akan masuk menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun [1][5]. Perancangan model rangkaian Boost Converter ini dilakukan menggunakan Matlab *Simulink*, blok *Simulink* yang dibutuhkan diantaranya adalah blok sumber DC sebagai sumber tegangan utama, sine wave untuk mengatur besarnya frekuensi dan berapa nominal yang dibutuhkan oleh *duty cycle*, mosfet, diode, capacitor, inductor, resistor, voltmeter, scope, dan display.

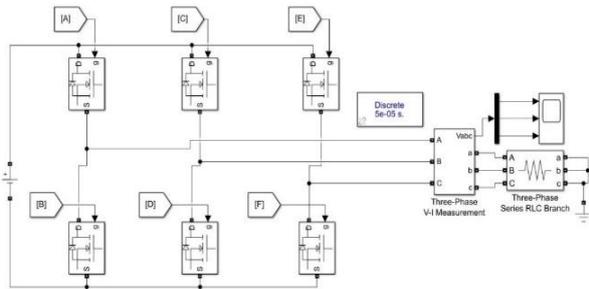


Gambar 4. Rangkaian Boost Converter

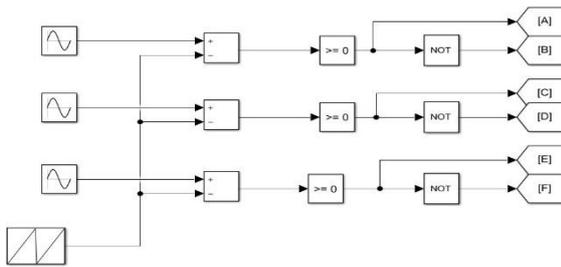
3. SPWM Inverter 3Phasa

Inverter merupakan alat untuk merubah arus searah menjadi arus bolak-balik yang seimbang dengan besaran dan frekuensi yang diperlukan [9]. Variasi penguatan inverter biasanya diperoleh dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) dalam inverter [10]. Percobaan simulasi SPWM Inverter 3phasa ini menggunakan *software Simulink*. Inverter 3phasa ini memiliki type H-Bridge yang dimana terdapat enam buah mosfet, setiap mosfet akan mendapat implus pulsa yang dibangkitkan dari rangkaian PWM [4]. PWM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan sudut pemunculan dengan cara membandingkan gelombang segitiga dengan 3 gelombang sinus yang masing-masing berbeda fasa 120°. Sedangkan SPWM inverter 3phasa merupakan dua rangkaian kombinasi yang saling melengkapi dalam menunjukkan sinyal output [1][11]. Blok *Simulink* yang digunakan *sine wave*, *sawtooth*,

add, compare to zero, NOT, scope, blok sumber DC, 6 buah Mosfet, beban 3phasa, dan voltmeter.

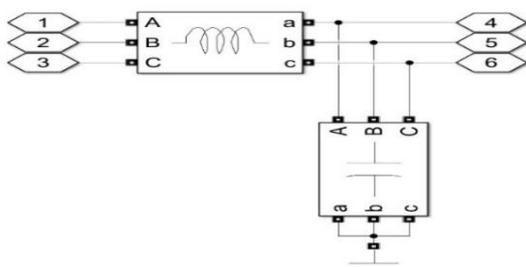


Gambar 5. Inverter 3Phasa



4. Filter Pasif LC

Perancangan simulasi menggunakan software Matlab *Simulink*. Dengan memasukan variabel variabel kedalam blok diagram filter LC dan dilakukan pengujian menggunakan Matlab *Simulink* ini akan membentuk sebuah desain filter untuk mengkompensasi atau mereduksi harmonisa dari sinyal keluaran inverter 3phasa apabila presentase tidak sesuai dengan standard yang ditentukan.



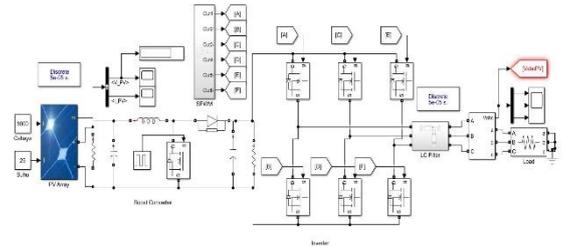
Gambar 7. LC Filter 3fasa

Mengurangi daya reaktif merupakan salah satu cara yang diperlukan untuk menentukan nilai komponen L dan C. filter passive 3fasa ini terdiri atas inductor dan kapasitor [10].

5. Rangkaian Listrik Panel Surya

Setelah semua rangkaian penyusun jaringan listrik sumber tegangan panel surya selesai dirancang. Langkah selanjutnya menghubungkan semua komponen penyusun jaringan listrik menjadi satu seperti pada gambar 8 [12]. Rangkaian ini dengan

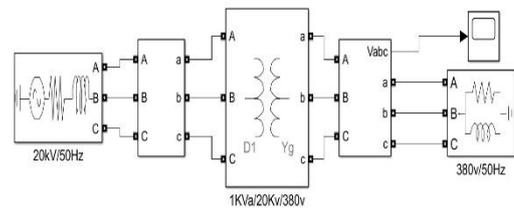
sumber tegangan panel surya akan diberi variasi masukan irradiance agar diketahui bagaimana perubahan daya yang dihasilkan.



Gambar 8. AC 3Phasa PV

6. Jaringan Listrik 3phasa

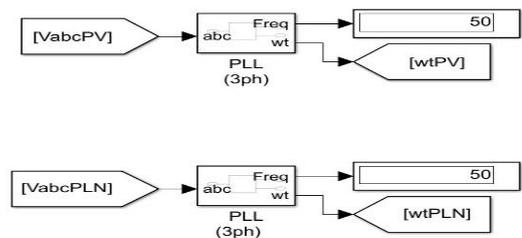
Jaringan listrik tiga fasa adalah jaringan listrik yang menggunakan kabel tiga fasa (R,S,T) dan satu kabel netral (N), atau sering disebut kabel ground. Sesuai dengan konsep Listrik 3 fasa terdiri dari 3 kabel bertegangan dan 1 kabel netral. Umumnya listrik 3 fasa bertegangan 380 volt yang banyak digunakan di industri, perkantoran dan bengkel. Listrik 3 fasa adalah listrik arus bolak-balik yang menggunakan tiga kabel yang memiliki tegangan yang sama di setiap fasanya tetapi berbeda sudut kemiringannya sebesar 120 derajat. Diagram block yang dibutuhkan untuk membuat rangkaian ini, sumber tegangan AC 3fasa 20Kv, transformator linear penurunan tegangan, beban 3fasa 380V/50Hz, pengukur tegangan, dan scope.



Gambar 9. Jaringan Listrik 3fasa *Simulink*

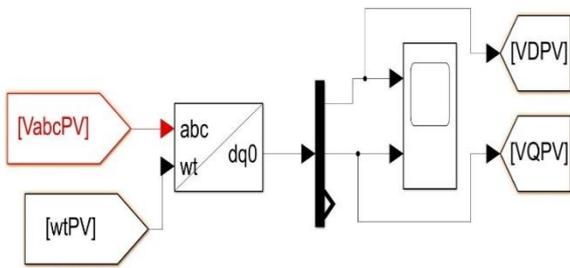
7. Proses Sinkronisasi

Proses sinkronisasi tegangan listrik dilakukan dengan cara yang pertama, mengambil sinyal sudut yang didapat dari diagram block *Phase Locked Loop (PLL)* 3Phasa dengan input tegangan akhir dari tiap rangkaian, dan output PLL 3phasa besarnya wt dijadikan input kedalam diagram block abc to dq0 bersamaan dengan sinyal output dari inverter 3fasa dan jaringan listrik 3fasa [13] [14][15]. Setelah mendapat keluaran sinyal maka menjumlahkan sinyal keluaran d yang berbentuk sinyal DC dan nantinya akan dikembalikan lagi menjadi tegangan AC [12].

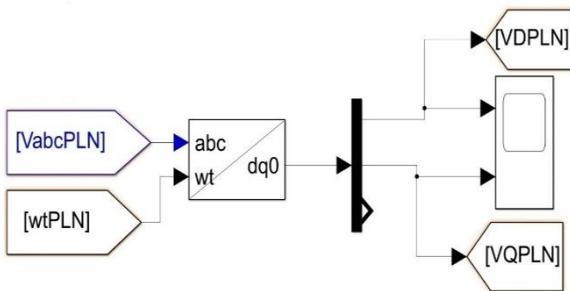


Gambar 10. PLL 3phasa

Sinyal referensi dari masing masing rangkaian menjadi input kedalam blok abc to dq0, dengan sinyal sudut yang didapat dari PLL 3ph [15]. Seperti ditunjukkan gambar 11 ada perubahan fasa dari 3fasa dirubah menjadi 2fasa



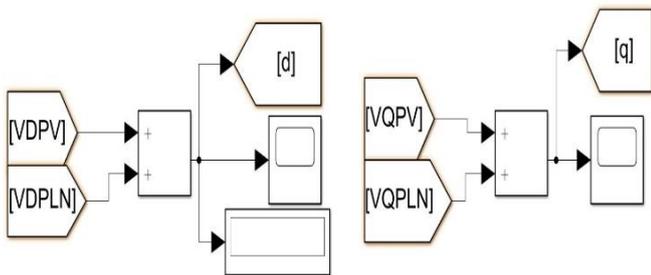
(a)



(b)

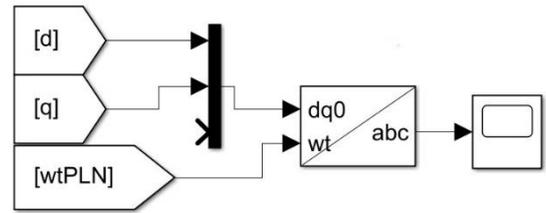
Gambar 11. Transformasi abc to dq0 (a) (b)

Dari kedua sinyal yang dihasilkan d dan q dijumlahkan membentuk grafik tegangan DC. Dari penjumlahan sinyal ini akan keluar menjadi tegangan DC dan beban yang digunakan merupakan beban AC, maka sinyal DC ini harus dirubah menjadi AC menggunakan diagram block dq0 to abc [15].



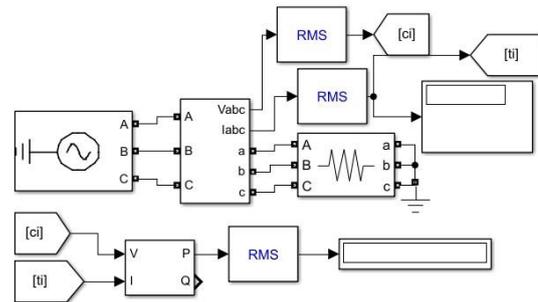
Gambar 12. Sinyal hasil penjumlahan

Setelah dilakukan penjumlahan antar sinyal d dan q hasil penjumlahan di transformasikan ulang ke bentuk AC 3fasa seperti gambar 13. Bentuk grafik hasil transformasi ke 3fasa dapat dilihat di scope.



Gambar 13. Transformasi dq0 to abc

Terlihat diagram block sumber tegangan AC 3fasa, pengukur tegangan arus 3fasa, beban 3fasa, scope, dan pengukur daya. Semua block dirangkaian seperti gambar 14, berguna untuk melihat berapa besar arus akhir yang dihasilkan dan daya yang dihasilkan dari proses akhir sinkronisasi. Selain itu Terlihat ada dua input from yang diberi label ci dan ti sebagai penamaan diagram tersebut masuk kedalam diagram block power dan diukur berapa daya yang dihasilkan.



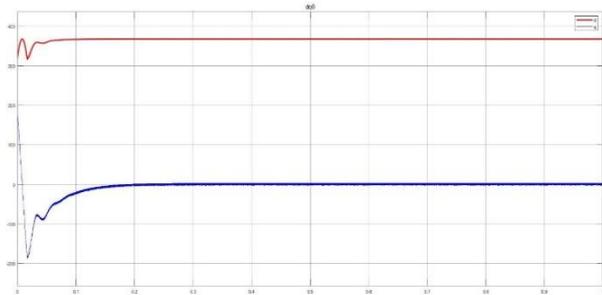
Gambar 14. Sinyal hasil sinkronisasi

III. Hasil dan Pembahasan

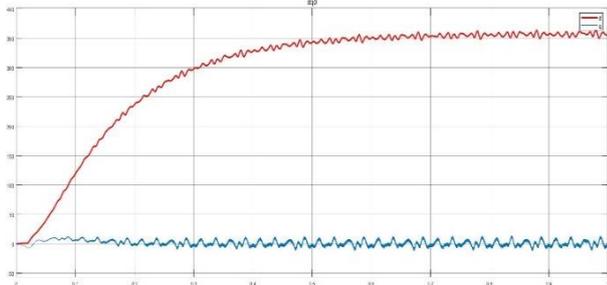
Pengujian dilakukan dengan eberapa variasi, dimana masing – masing variasi yang diterapkan merupakan perbedaaan dari masukan irradiance yang diterima oleh panel surya. Terdapat 3 variasi irradiance saat sinkronisasi yaitu Ketika, panel surya menerima irradiance 1000 W/m² panel surya menerima irradiance 750 W/m² panel surya menerima irradiance 500 W/m².

1. Panel Surya Bekerja 1000 W/m²

Dengan penyinaran yang diterima oleh panel surya sebesar 1000 W/m² dan suhu mencapai titik normal 25° C output tegangan yang dihasilkan panelsurya sebesar 28.7 tegangan jala – jala PLN 3fasa normal tanpa gangguan.



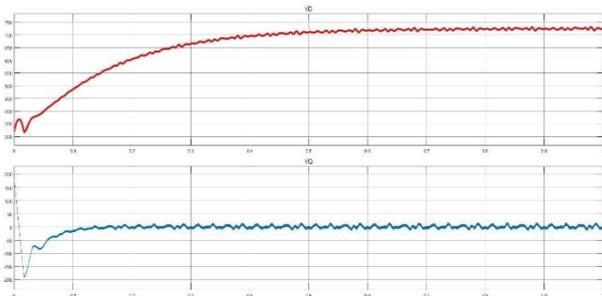
(a)



(b)

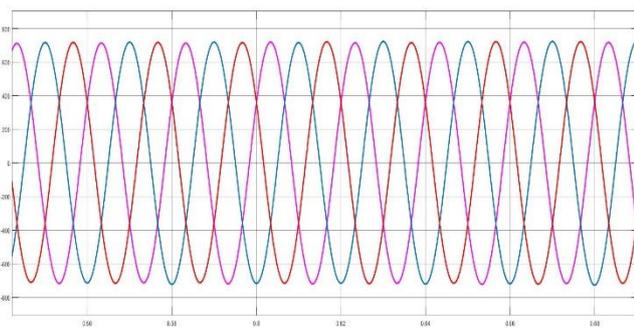
Gambar 15. Grafik tegangan DC dq0 (a) PLN (b)PV

Kedua tegangan VD dan VQ dijumlahkan agar menghasilkan tegangan yang dihasilkan Ketika panel surya bekerja maksimal.



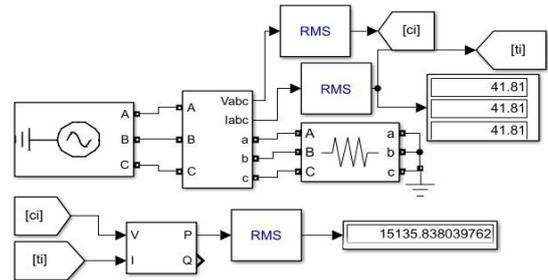
Gambar 16. Hasil Penjumlahan VD VQ

Setelah dilakukan penjumlahan tegangan DC dan yang ditunjukkan oleh grafik warna merah merupakan hasil penjumlahan sinyal d dan tegangan sebesar 724V dan di transformasikan Kembali menjadi tegangan AC 3fase.



Gambar 17. Output sinkronisasi 3phasa

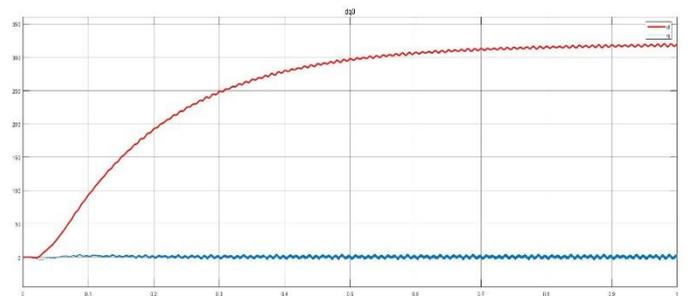
Pada gambar 15 dapat diketahui Arus yang dihasilkan oleh panel surya dengan penyinaran 1000 W/m², dan daya yang dihasilkan mencapai 15135 bekerja secara maksimal.



Gambar 18. Arus dan daya hasil sinkronisasi

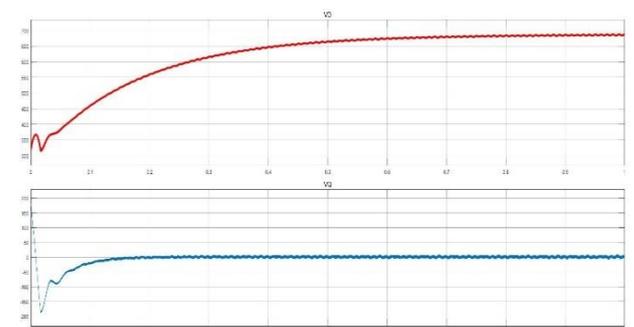
2. Panel Surya Bekerja 750 W/m²

Panel Surya dengan penyinaran matahari sebesar 750 W/m² dan suhu mencapai titik normal 25° C output tegangan panel surya sebesar 21.56. Penurunan nilai irradiance yang diterima oleh PV membuat hasil dari proses sinkronisasi berubah dan mengalami penurunan. Berpengaruh juga terhadap tegangan, arus dan daya yang dihasilkan diakhir proses sinkronisasi.



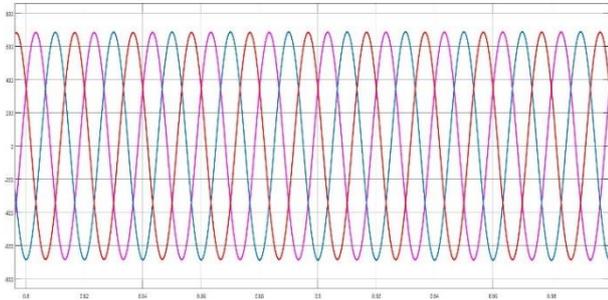
Gambar 19. Grafik tegangan DC dq0 PV

Dq0 jala jala PLN konstan tanpa ada perubahan tegangan maupun ganggua. Kedua tegangan VD dan VQ dijumlahkan agar menghasilkan tegangan yang diinginkan pada saat panel surya menerima irradiance sebesar 750 W/m².



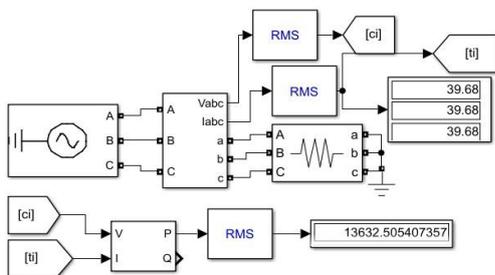
Gambar 20. Hasilpenjumlahan VD VQ

Penjumlahan tegangan disini menghasilkan penurunan tegangan dari sebelumnya yang disebabkan oleh menurunnya irradiance yang diterima oleh PV. Hasil penjumlahan sinyal d menghasilkan tegangan sebesar 687V dan mengalami perubahan tegangan dibandingkan dengan irradiance sebelumnya.



Gambar 21. Output sinkronisasi AC 3phasa

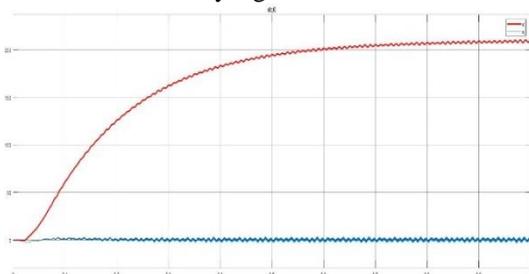
Selanjutnya akan dihitung berapa besar daya yang dihasilkan Ketika panel surya menerima penyinaran 750 W/m² agar bisa digunakan untuk mensupply beban konsumen. dapat diketahui Arus yang dihasilkan oleh proses sinkronisasi, dan daya yang dihasilkan mencapai 13632 watt.



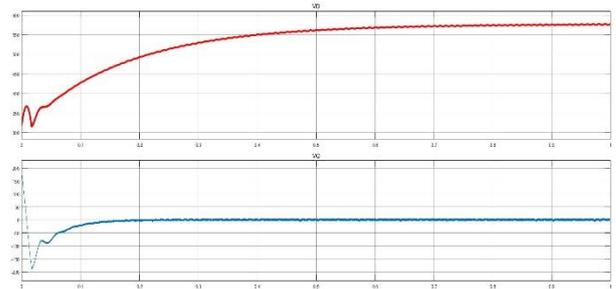
Gambar 22. Arus dan daya hasil sinkronisasi

3. Panel Surya Bekerja 500 W/m²

Pada kondisi penyinaran 500 W/m² panel surya kurang maksimal dalam membantu mensupply tegangan dengan penyinaran matahari sebesar 500 W/m² dan suhu mencapai titik normal 25° C tegangan yang dihasilkan panel surya sebesar 14.4V Terjadinya pengurangan tegangan dari panel surya bisa disebabkan karena factor irradiance atau bisa disebabkan oleh factor yang lain.

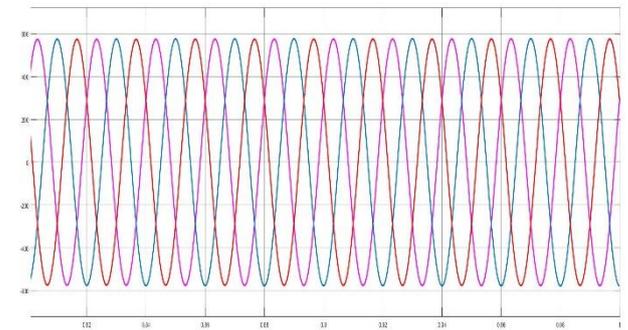


Grafik dq0 panel surya mengalami perubahan hal ini disebabkan oleh proses irradiance yang diterima dan tegangan hasilkan tidak konstan, berbeda dengan grafik yang dihasilkan oleh jaringan listrik PLN terlihat sangat konstan dikarenakan sumber tegangan sudah diatur sebesar 20Kv.



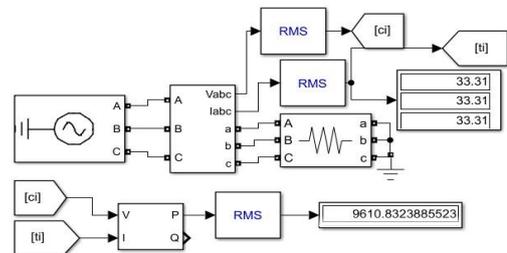
Gambar 24. Penjumlahan VD VQ

Sama seperti sebelumnya penjumlahan dilakukan oleh sinyal d agar terjadi kenaikan tegangan terlihat sinyal d berwarna merah menghasilkan tegangan sebesar 577V, jika dibandingkan dengan irradiance yang sebelumnya terlihat penurunan jumlah tegangan yang disebabkan oleh jaringan listrik dari PV.



Gambar 25. Output sinkronisasi AC 3phasa

Arus yang dihasilkan turun dibandingkan arus sebelumnya, dan daya yang dihasilkan mencapai 9610Watt meskipun mengalami penurunan daya yang cukup signifikan dan supply listrik sebagian diisi seluruhnya oleh PLN masih bisa bekerja secara maksimal dapat digunakan untuk mensupply beban secara normal.



Gambar 26. Arus dan daya hasil sinkronisasi

IV. Kesimpulan

Simpulan yang dapat diambil dari hasil simulasi sinkronisasi PV dengan jala-jala PLN sebagai berikut:

1. Model simulasi hasil rancangan dapat mensinkronkan output PV dan sumber PLN.
2. Irradiance matahari yang berbeda akan menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang berbeda. Terdapat titik maksimum daya (*maksimum power point*) yaitu pada saat panel surya bekerja di 1000 W/m² yang dapat menghasilkan daya hingga 15135 watt dengan output tegangan DC dari pnel surya sebesar 28.7 Vdc dengan suhu normal 25°C.
3. Dalam penelitian ini daya yang dihasilkan disetiap variasi irradiance berada diatas daya yang terinstall.

V. Daftar Pustaka

- [1] Armadilla Sukma Pratiwi, Syechu Dwitya Nugraha, and Epyk Sunarno, "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 3, pp. 305–310, 2020, doi: 10.22146/.v9i3.377.
- [2] P. S. Nasional *et al.*, "Analisis Mode Operasi Off-Grid Photovoltaic Solar Power System," pp. 1–9, 2021.
- [3] R. Hariyati, M. N. Qosim, and A. W. Hasanah, "Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah," *Energi dan Kelistrikan J. Ilm.*, vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [4] S. Meliala, J. T. Elektro, U. M. Lhokseumawe, and P. Surya, "Implementasi on Grid Inverter Pada Instalasi," vol. 17, no. 2, pp. 47–56, 2020.
- [5] H. Harmini and T. Nurhayati, "Desain Solar Power Inverter pada Sistem Photovoltaic," *Elektrika*, vol. 12, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i1.1863.
- [6] F. Midiatmoko, Y. Shalahuddin, and M. Yahya, "Pv Solar Tracker Berbasis Matlab / Simulink Untuk Optimasi Daya," *JTECS J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. xxxx–xxxx, 2021.
- [7] R. Febrianto, N. Soedjarwanto, and O. Zebua, "Rancang Bangun Boost Converter Untuk Proses Discharging Baterai Pada Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pjuts)," *Pros. Semin. Nas. Teknol. Elektro Terap.*, vol. 02, no. 01, pp. 159–163, 2018.
- [8] A. Alfariis and M. Yuhendri, "Sistem Kendali dan Monitoring Boost Converter Berbasis GUI (graphical user interface) Matlab Menggunakan Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 266–272, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.83.
- [9] S. SAODAH and S. UTAMI, "Perancangan Sistem Grid Tie Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 2, p. 339, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i2.339.
- [10] I. A. Akhinov and Devi Handaya, "Rancangan EMI Filter untuk Inverter 3 Fasa Berdasarkan Metode SPWM," *Pros. SENIATI*, vol. 6, no. 2, pp. 273–279, 2022, doi: 10.36040/seniati.v6i2.5031.
- [11] R. Muhammad, D. Septiyanto, and N. Mulyono, "Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Berbasis Bipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation," pp. 13–14, 2022.
- [12] W. Winasis and M. S. Aliim, "Analisis Sistem Photovoltaic Beban Arus Searah Terhubung Jala PLN dengan Penyearah Terkendali," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 16, no. 2, pp. 65–72, 2020, doi: 10.17529/jre.v16i2.15698.
- [13] C. Kalaivani and K. Rajambal, "Grid Integration of Three-phase Inverter using Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL," *8th Int. Conf. Comput. Power, Energy, Inf. Commun. ICCPEIC 2019*, pp. 221–226, 2019, doi: 10.1109/ICCPEIC45300.2019.9082386.
- [14] A. Musengimana, X. Zheng, and H. Li, "Improved auto-synchronisation of gridconnected PV inverter based on the DC capacitor voltage control," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 14, no. 5, pp. 684–694, 2020, doi: 10.1049/iet-rpg.2019.0516.
- [15] H. Zarory and H. T. Setiawan, "Kendali PLL pada Sistem Jaringan Listrik yang Terdistorsi," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2020.