

Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Terkoneksi ke Grid dengan Metode Konverter Boost 3 Tingkat Menggunakan MPPT Perturb And Observe.

Fakhrudin¹, Ira Devi Sara², Rakhmad Syafutra Lubis²

¹) Prodi Teknik Elektronika Politeknik Aceh

Jl. Politeknik Aceh, Desa Pango Raya, Banda Aceh, 23119

²) Prodi Magister Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala,

Jl. Tgk. Syech Abdulrauf, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

e-mail: wedi.fakhrudin@gmail.com

Abstrak— Matahari sebagai energi terbarukan (*renewable energy*) yang diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik baik berdiri sendiri maupun dalam sistem pembangkit terpadu (*Distributed Generation System (DGS)*). Energi listrik yang dihasilkan oleh matahari melalui panel surya merupakan sumber listrik arus searah (DC) yang tidak konstan dan perlu dimaksimalkan dayanya dengan pencarian titik daya maksimum (MPPT), listrik dari panel surya ini sebelum dihubungkan dalam sistem tenaga harus dikonversikan sumber DC ke sumber arus bolak balik (AC) dengan inverter. Untuk memaksimalkan daya dari panel surya digunakan *MPPT Perturb and Observe* untuk mengendalikan *boost converter* 3 tingkat yang merupakan DC-DC konverter untuk menghasilkan keluaran tegangan *DC-link* sebagai sumber masukan inverter yang akan menyalurkan daya PV ke *grid*. Simulasi PV 10000 Watt yang terkoneksi ke grid dengan kondisi variasi iradiasi 600W/m² sampai 1000W/m² dan temperatur 25°C menunjukkan akurasi kinerja MPPT P&O rata-rata error 0.818%. Penyaluran daya dari panel surya menggunakan *boost converter* yang terkendali MPPT P&O dalam menyalurkan daya dari panel surya ke inverter ke grid mencapai rata-rata 97,8%, penggunaan konfigurasi konverter boost 3 tingkat dengan kendali MPPT P&O ini dapat memaksimalkan daya keluaran dari panel surya.

Kata kunci: *Panel surya, konverter boost, perturb and Observe, inverter, grid*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan yang terhubung ke sistem tenaga listrik sedang berkembang seiring dengan berkurangnya energi fosil dan meningkatnya pencemaran lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan adalah matahari. Panel surya merupakan peralatan konversi energi matahari menjadi energi listrik yang memegang peranan penting sebagai penghasil listrik alternatif. Energi listrik dari panel surya yang berupa tegangan DC untuk dapat dihubungkan ke grid maka perlu diubah ke tegangan AC dengan sebuah *inverter*. Permasalahan tersebut dalam sistem listrik energi surya konvensional umumnya menggunakan *single-stage* inverter dengan transformator *step-up*. Namun penggunaan transformator akan menambah ukuran dan biaya sistem [1]. Pengembangan sistem listrik dari energi listrik terbarukan tanpa menggunakan transformator yang disebut dengan *two-stage* atau *transformerless*, sistem dengan tanpa transformator ini dapat diterapkan dalam sumber listrik PV.

Sistem *Two-stage* PV terdiri dari 2 bagian yaitu DC-DC *converter* dan DC-AC *converter*. Pada umumnya, DC-DC *converter* yang digunakan dalam sistem *two-stage* PV adalah *boost converter*, konverter ini berguna untuk menaikkan besar tegangan DC PV yang terbatas. Tegangan

keluaran konverter boost ini yang merupakan tegangan DC *link* berupa *High Voltage Direct Current (HVDC)* yang akan di konversi ke tegangan AC sehingga dapat dihubungkan ke *grid* [2].

Penelitian ini PV terkoneksi ke *grid* dengan simulasi dengan daya maksimum 10 kWatt pada implementasi menggunakan *boost converter* tiga tingkat, dengan konverter ini, nilai induktansi dari induktor dapat direduksi secara signifikan dan rating tegangan dari peralatan semikonduktor menjadi setengah dari tegangan keluaran [3]. Dengan demikian *boost converter* tiga tingkat ini akan mengurangi volume dan biaya sistem untuk aplikasi daya besar dan tegangan tinggi.

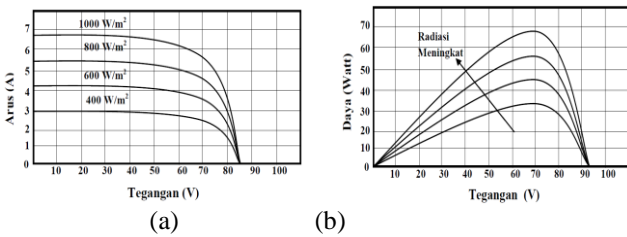
Panel surya dengan daya tertentu yang dihubungkan secara seri atau parallel disebut panel surya array mempunyai kurva kerja yang nonlinier. Ada satu titik operasi PV yang memberikan daya yang maksimum, maka untuk mendapatkan efisiensi maksimum dari panel surya maka diperlukan pengendali untuk mendapatkan puncak daya atau *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* sehingga dapat mengekstrak daya maksimum yang bisa dicapai oleh panel surya array. Metode *Perturb and Observe (P&O)* adalah salah satu metode MPPT yang mempunyai keunggulan yaitu tidak memerlukan karakteristik dari PV. Penelitian ini menggunakan kontrol

MPPT metode P&O [4] yang mempunyai kekurangan yaitu keluaran dayanya agak berisilasi maka untuk mengatasi hal itu metode MPPT P&O ini digabungkan dengan metode MPPT lain [5].

II. STUDI PUSTAKA

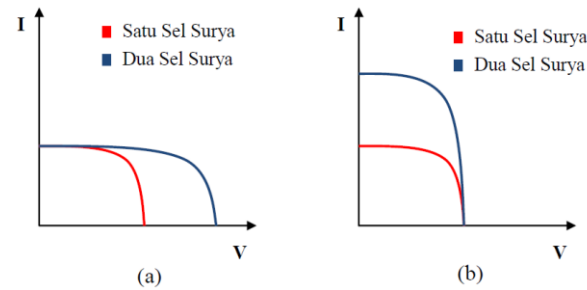
A. Photovoltaic (PV)

Besarnya daya yang dihasilkan oleh PV dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima pada permukaan PV dan juga dipengaruhi oleh suhu pada permukaan panel surya. Gambar 1, Gambar 1 (a) menunjukkan pengaruh besarnya intensitas cahaya matahari terhadap perubahan arus dengan tegangan pada panel surya, sedangkan Gambar 1(b) menunjukkan pengaruh besarnya intensitas cahaya matahari terhadap perubahan daya dengan tegangan pada panel surya [5].



Gambar 1. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap PV: (a) Kurva I-V dan (b) Kurva P-V

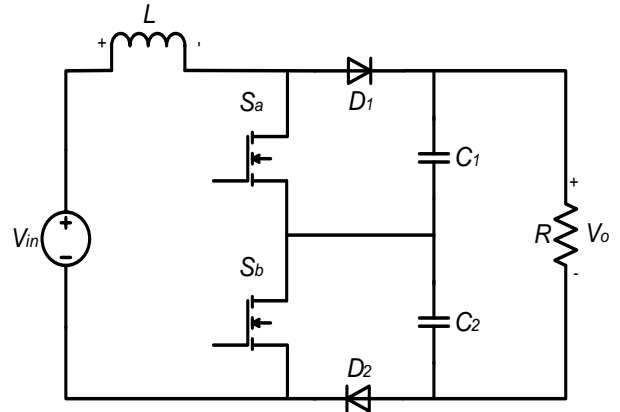
Sebuah panel surya yang telah terpabrikasi mempunyai spesifikasi tertentu dengan tegangan dan arus yang merupakan akumulasi daya keluar panel surya perunit. Untuk mendapatkan daya dan tegangan keluaran yang lebih besar maka panel surya digabungkan dengan cara dihubungkan secara seri atau paralel, jika diinginkan tegangan lebih besar maka dihubungkan secara seri dan sebaliknya jika diinginkan arus yang besar dihubungkan secara paralel [4], hubungan seri dan paralel panel surya ini disebut dengan panel surya array.



Gambar 2 Kurva I-V : (a) Pemasangan Seri dan (b) Pemasangan Paralel

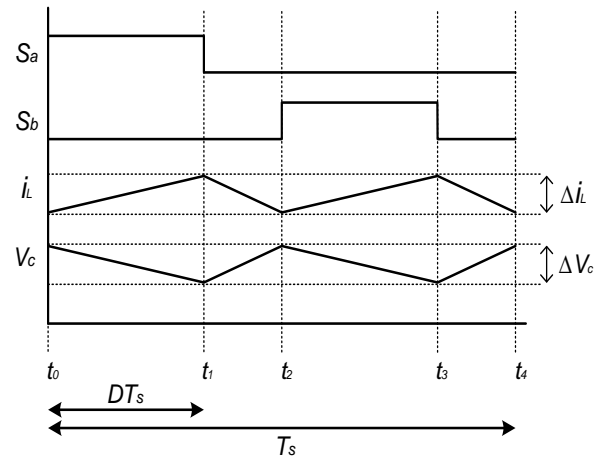
B. Teori Topologi Boost Converter Tiga Tingkat

Boost converter tiga tingkat merupakan salah satu bentuk pengembangan dari topologi rangkaian boost converter yang berfungsi untuk menaikkan tegangan DC [2]. Rangkaian konverter terdiri dari sumber tegangan DC V_{DC} , induktor L , dua saklar terkontrol S_a dan S_b , dioda D_1 dan D_2 , dua filter kapasitor C_1 dan C_2 , serta beban R . Topologi boost converter tiga tingkat adalah seperti Gambar 3.

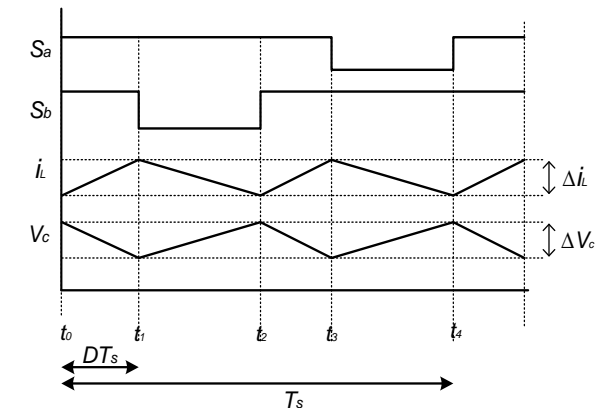


Gambar 3. Topologi Boost Converter Tiga tingkat [2]

Kedua saklar S_a dan S_b mempunyai besar duty cycle yang sama dengan penundaan fasa sebesar 180° pada S_b . Oleh karena itu, analisis steady state rangkaian ini dibagi menjadi dua kondisi yaitu saat duty cycle di bawah 50% dan duty cycle di atas 50%.



Gambar 4. Gelombang Pensaklaran dan Arus Induktor ($D < 50\%$) [2]



Gambar 5. Gelombang Pensaklaran dan Arus Induktor ($D > 50\%$) [2]

Saat duty cycle di bawah 50%, bentuk gelombang yang terjadi pada boost converter tiga tingkat ditunjukkan oleh gambar 4. Saat t_0-t_1 , dimana S_a tertutup dan S_b terbuka, arus akan mengalir melalui L , S_a , C_2 , dan D_2 sehingga arus induktor meningkat atau dalam kondisi charging. Maka tegangan induktor saat t_0-t_1 mengikuti persamaan (1) [8].

$$(V_L) = \left(V_{in} - \frac{V_o}{2} \right) (DT) \quad (1)$$

Saat t_1-t_2 , dimana S_a dan S_b terbuka, arus akan mengalir melalui L, D_1, C_1, C_2 , dan D_2 sehingga arus induktor menurun atau dalam kondisi *discharging*. Maka tegangan saat t_1-t_2 mengikuti persamaan (2).

$$(V_L) = (V_{in} - V_o) (0.5 - D)T \quad (2)$$

Saat t_2-t_3 , dimana S_a terbuka dan S_b tertutup, arus akan mengalir melalui L, D_1, C_2 , dan S_b , maka tegangan induktor saat t_2-t_3 ditunjukkan oleh persamaan (1). Saat t_3-t_4 , dimana S_a dan S_b terbuka, arus akan mengalir melalui L, D_1, C_1, C_2 , dan D_2 . Maka tegangan induktor saat t_3-t_4 mengikuti persamaan (2). Berdasarkan persamaan (1) dan (2), persamaan *input output* tegangan menjadi:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)} \quad (3)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai induktor dan kapasitor dapat menggunakan persamaan (4) dan (5).

$$L = \frac{V_{in}(0.5-D)D}{\Delta i_L(1-D)f} \quad (4)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{2V_{in}D(0.5-D)}{\Delta V_C R(1-D)^2 f} \quad (5)$$

Saat *duty cycle* di atas 50%, bentuk gelombang yang terjadi pada *boost converter* tiga tingkat ditunjukkan oleh gambar 5. Saat t_0-t_1 , dimana S_a dan S_b tertutup, arus mengalir melalui L, S_a dan S_b sehingga arus induktor dalam kondisi *charging*. Tegangan induktor saat t_0-t_1 ditunjukkan oleh persamaan (6).

$$(V_L) = (V_{in}) \left(DT - \frac{T}{2} \right) \quad (6)$$

Saat t_1-t_2 , dimana S_a tertutup dan S_b terbuka, arus mengalir melalui L, S_b, C_2 , dan D_2 sehingga arus induktor dalam kondisi *discharging*. Maka persamaan tegangan induktor saat t_1-t_2 ditunjukkan oleh persamaan (7).

$$(V_L) = \left(V_{in} - \frac{V_o}{2} \right) (T - DT) \quad (7)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai induktor dan kapasitor dapat menggunakan persamaan (8) dan (9) [3].

$$L = \frac{V_{in}(D-0.5)}{\Delta i_L f} \quad (8)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{2V_{in}(D-0.5)}{\Delta V_C R(1-D)f} \quad (9)$$

C. Current Controlled PWM VSI Tiga Fasa

Inverter disini digunakan sebagai beban dalam menyalurkan daya dari DC-link ke AC dalam simulasi ini menggunakan inverter yang tidak dibahas mendetail yaitu *Voltage source inverter(VSI)* yang merupakan salah satu

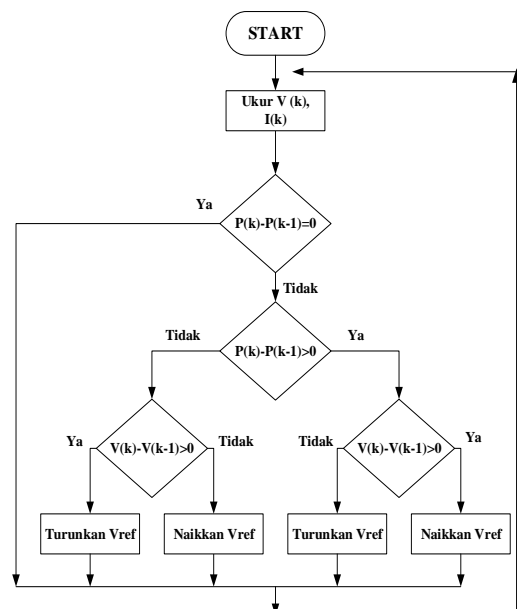
jenis inverter yang dengan sumber DC. Inverter ini dikendalikan dengan *controlled PWM (CCPWM)* [6]. Penggunaan VSI tiga fasa yang dapat digunakan untuk aplikasi daya menengah hingga tinggi. di mana amplitudo, fasa, dan frekuensi serta tegangan selalu dapat dikontrol. Inverter sebagai beban keluaran *boost converter* tiga tingkat merupakan sebuah *inverter linear current control* atau *synchronous PWM PI controller*. Cara kerja sistem ini terkendali sistem control yang menghitung error antara arus yang terukur pada keluaran inverter dan arus referensi dari data tegangan DC-Link sehingga memberikan sinyal yang dimodulasikan dengan sinyal segi tiga untuk pengsaklaran pada inverter.

D. Kontrol MPPT Metode Perturb and Observe

Penelitian ini menggunakan kontrol MPPT metode P&O -untuk mencari titik daya maksimum. Metode P&O adalah salah satu metode MPPT yang mempunyai keunggulan yaitu tidak memerlukan karakteristik dari panel surya *array*. Metode ini juga termasuk metode yang mudah untuk digunakan karena memiliki algoritma yang sederhana dan hanya membutuhkan beberapa parameter pengukuran [5].

Prinsip dari metode P&O dalam penelitian adalah mengindikasi kenaikan ataupun penurunan yang terjadi pada kurva hasil perkalian tegangan dan arus panel surya yang terukur. Kenaikan dan penurunan yang disebabkan oleh perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya tersebut akan digunakan untuk mengatur daya masukan untuk inverter VSI.

Algoritma MPPT P&O Gambar 6 yang digunakan memiliki masukan berupa tegangan dan arus dari keluaran panel surya, untuk memperoleh daya panel surya (P_{pv}). Kemudian P_{pv} akan diturunkan melalui proses perubahan daya keluaran panel surya (dP_{pv}) dibandingkan dengan perubahan tegangan panel surya (dV_{pv}). Apabila hasil yang diperoleh tidak nol, maka berarti daya yang dialirkan dari panel surya belum maksimal.

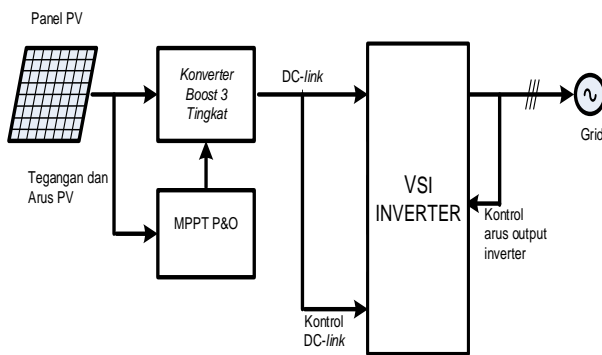


Gambar.6. Flowchart MPPT Perturb and Observe.

III.PANEL SURYA SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TERKONEKSI KE GRID.

A. Konfigurasi Sistem

Sistem pembangkit pada penelitian ini menggunakan sumber DC berupa panel surya array. Tegangan keluaran panel surya kemudian dinaikkan oleh rangkaian *boost converter* tiga tingkat sebagai tegangan DC-Link. *Switching* dari *boost converter* tiga tingkat dikontrol dengan sistem pencari titik maksimum daya dari panel surya metode MPPT P&O. Tegangan DC-link ini kemudian dikonversi menjadi tegangan AC oleh inverter VSI tiga fasa untuk selanjutnya dihubungkan ke jaringan listrik. Kontrol *switching* pada VSI dapat digunakan untuk mengatur arus output inverter dengan mengatur besar arus referensi. Sedangkan besar arus referensi akan ditentukan oleh besar tegangan DC-link dengan mengindikasikan perubahan tegangan. Secara umum konfigurasi sistem secara keseluruhan adalah seperti yang terlihat pada Gambar 7.



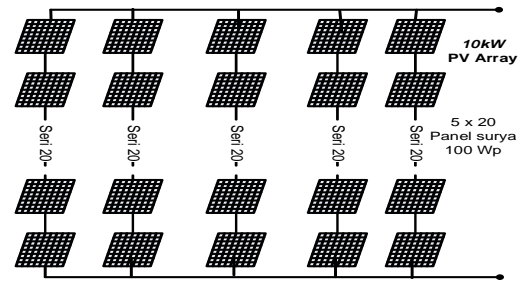
Gambar. 7. Konfigurasi Sistem

B. Rangkaian Panel Surya

Parameter Panel surya yang digunakan pada simulasi sistem ini seperti pada *datasheet* PV Solarland Photovoltaic Module Multicrystalline Silicon 100 Watts (SLP-100 12U) [9]. *Datasheet* Panel surya SLP-100 12U ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Datasheet* PVSolarland-100Wp pada kondisi STC

Parameter	Nilai
Number of Cells	36
Maximum power	100 W
Maximum power voltage	17,2 V
Maximum power current	5,81 A
Short-circuit current	6,46 A
Open-circuit Voltage	21,6 V



Gambar 8. Panel surya array 10 kW

Pada penelitian ini panel surya array dengan daya keluaran sebesar 10.000 Watt didapatkan dari panel PV 100 Wp per panel dengan cara menghubungkan secara seri dan paralel seperti Gambar 8. Daya 10.000 Watt disusun dari 100 panel PV. Panel-panel tersebut disusun seri-paralel sebanyak 20 seri dan 5 paralel dengan tegangan keluaran sebesar 344 Vdc dan arus keluaran maksimum 29,05 A

C. Parameter Rangkaian Boost Converter Tiga Tingkat

Tegangan masukan konverter ini bernilai sama dengan tegangan output panel PV array. Sedangkan tegangan keluaran ditentukan berdasarkan persamaan (3). Riak arus n tegangan ditentukan sehingga nilai induktor dan kapasitor dapat dihitung berdasarkan persamaan (4) dan (5).

Tabel 2. Parameter Rangkaian Boost Converter Tiga Tingkat

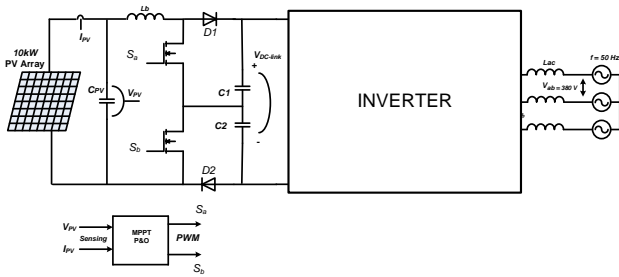
Parameter	Nilai
Tegangan Input	344 V
Induktor	1,2 mH
Kapasitor	108 uF
Daya Output	10.000 W
Frekuensi switching	10.000 Hz

Dalam simulasi ini semua komponen dianggap ideal sehingga daya keluaran konverter sama dengan daya keluaran panel surya. Dengan demikian parameter rangkaian *boost converter* tiga tingkat adalah seperti yang tertera pada Tabel 2.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rangkaian Simulasi.

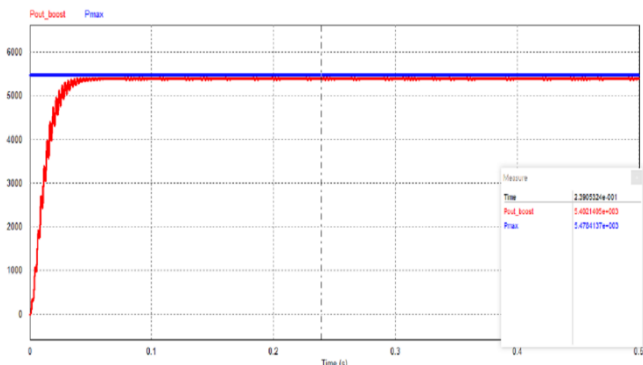
Dalam simulasi ini digunakan parameter-parameter seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 maka diperoleh sebuah rangkaian panel surya dengan konverter boost yang terkendali pencarian titik maksimum daya metode Pertube and Observe sebagai ditunjukkan pada Gambar 9:



Gambar 9. Rangkaian Sistem PV Tiga Fasa Terhubung ke Grid

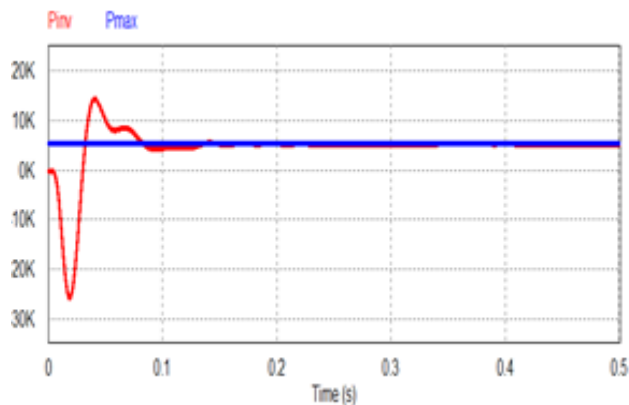
B. Simulasi Sistem dengan Perubahan Irradiance

Dalam proses simulasi dan pengujian dilakukan dengan kondisi intensitas cahaya matahari yang bervariasi mulai dari 500W/m² sampai 1000W/m² dan perubahan temperatur 25°C dan 50°C. Sistem yang diuji sesuai dengan Gambar 9. Hasil simulasi perbandingan antara daya keluaran panel PV dan daya MPPT ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. PV terkoneksi ke grid : daya panel panel surya saat irradiasi 600 W/m² tempetatur 40°C

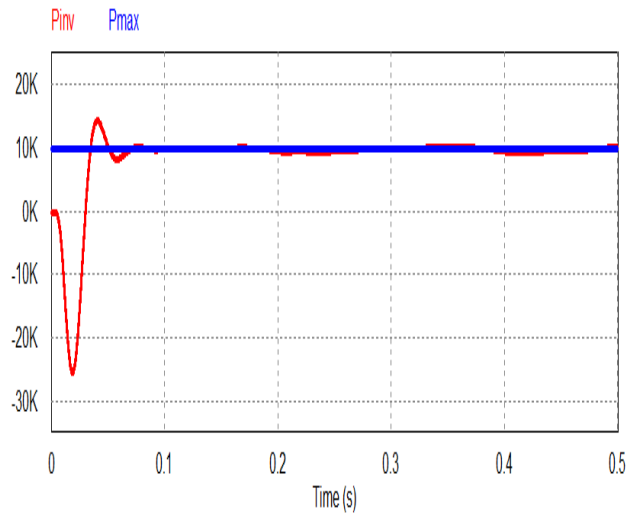
Gambar 10. sebuah sampel test point daya panel surya pada irradiasi 600W/m²dengan temperatur 40°C daya keluaran maksimum sebesar 5478,4 Watt, sedangkan daya real setelah MPPT sebesar5402,14Watt. Error MPPT P&O merupakan perbandingan daya maksimum panel surya saat irradiasi dengan daya keluaran dari MPPT konverter boost dimana besar error pada irradiasi 600W/m² temperatur 40°C adalah 1,39%



Gambar 11. Penyaluran daya ke grid saat panel PV irradiasi statis 600W/m² suhu 25°C,

Dari beberapa tes point simulasi diperoleh data daya MPPT yang mengikuti besarnya nilai potensi daya maksimum Panel surya. Saatitik irradiasi600 W/m², 700 W/m², 800 W/m², 900 W/m² dan 1000 W/m² diperoleh rata-rata error MPPT saat temperatur 25 °C dengan adalah 0,818% dan saat temperatur 40 °C adalah 0,96%.

Penyaluran daya ke grid melalui daya inverter akan dibandingkan dengan daya maksimum Panel surya pada kondisi irradiasi dan temperatur yang berbeda-beda.

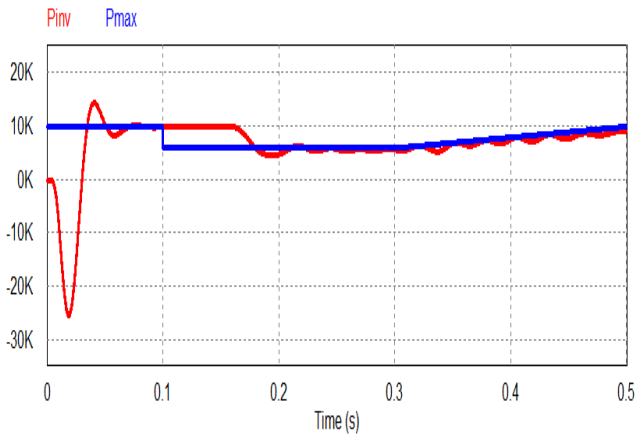


Gambar 12. Penyaluran daya ke grid saat panel PV irradiasi statis 1000W/m² suhu 25°C,

Gambar 11 sebagai salah satu titik grafik dapat dilihat penyaluran daya ke grid melalui inverter pada iirradiasi statis 600W/m² dengan suhu 25°C diperoleh daya maksimum dari panel surya dimana hampir 100% yaitu sebesar 5970 Watt dan daya yang disalurkan ke grid sebesar 5862 Watt. Dari hasil daya ini diperoleh persentasi error saatdaya dari panel surya disalurkan ke grid dibandingkan dengan besar daya maksimum irradiasi 600W/m² sebesar 1,81% Sedangkan Gambar 12 Kondisi penyaluran daya ke grid saat panel PV menerima irradiasi matahari 1000 W/m² temperatur 25°C.

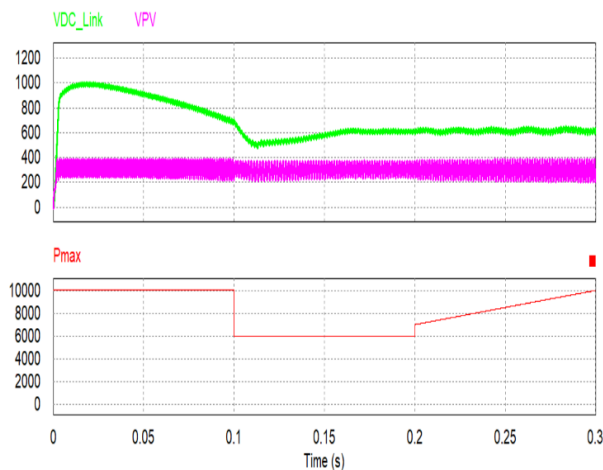
Penyaluran daya dari panel surya ke grid melalui konverte boost yang berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran panel surya dan MPPT ke tegangan DC-link. Hasil dari tegangan DC-link seperti pada Gambar 13,tegangan masukan inverter dipertahankan konstan oleh inverter. Dari respon simulasi dapat dilihat keluaran konverter boost dipertahankan pada tegangan referensi lebih kurang 620 Volt.

Selanjutnya respon sistem dalam penyaluran daya dari panel surya ke grid terhadap perubahan intesitas cahaya matahari pada panel surya yang berubah secara dinamis, dimana kondisi cahaya matahari dipengaruhi oleh situasi alam atau lingkungan.



Gambar 13. Penyaluran daya dari panel surya ke gridsaat PV irradiansi dinamis dengan temperatur 25°C

Gambar 13 menampilkan daya keluaran inverter P_{inv} yang mengikuti perubahan daya maksimal panel surya $P_{max,PV}$ karena perubahan intensitas cahaya. Pada detik ke 0 hingga 0,1 intensitas cahaya sebesar $1000W/m^2$ menghasilkan daya inverter rata-rata senilai 9799 Watt dengan error 2,01%. Intensitas cahaya turun menjadi $600W/m^2$ pada detik ke 0,1 hingga 0,2 sehingga daya inverter turun menjadi 5972 W dengan error 1,1%. Dan selanjut perubahan intensitas cahaya kembali naik menuju $1000W/m^2$ daya inverter yang disalurkan ke Grid juga mengikuti daya dari panel surya.



Gambar 14. Tegangan Panel surya dan Tegangan keluaran konverter boost saat perubahan irradiansi dinamis

Gambar 14 merupakan besaran tegangan DClink dan Tegangan panel surya yang terukur saat perubahan intensitas cahaya pada panel surya berubah secara dinamis. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan DC-link mengalami perubahan yang signifikan pada kondisi awal setelah direspon oleh kontrol tegangan DC-link kondisi selanjutnya tegangan DC-link menuju konstan sesuai dengan tegangan referensi. Tegangan yang terukur pada kondisi ini sebesar 622,5 Volt tegangan keluaran pada DC-link. Metode kontrol perturb and observe yang mempunyai

proses perbandingan daya dengan daya sebelumnya setelah itu melakukan perbaikan, maka efek yang dihasilkan oleh keluaran pada titik DC link tegangan dan daya berhasil.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis data dapat disimpulkan bahwa konverter boost tiga tingkat dengan kendali MPPT P&O dapat mengubah tegangan input DC 344 Volt menjadi tegangan output DC 620 Volt, pada kondisi panel surya terkoneksi ke grid, variasi intensitas cahaya dan variasi temperatur serta kondisi dinamis. Kondisi variasi iradiasi $600W/m^2$ sampai $1000W/m^2$ dengan temperatur 25°C menunjukkan akurasi kinerja MPPT rata-rata error 0,818% saat dibandingkan dengan daya maksimum dari panel surya, sedangkan pada temperatur 40°C mempunyai rata-rata error rata-rata 0,96%. Kondisi dinamis irradiansi sistem kontrol tegangan DC-link mempertahankan kestabilan tegangan pada nilai 620 Volt, kontrol MPPT P&O dapat memaksimalkan daya dari panel surya. Effisiensi penyaluran daya listrik dari panel surya ke grid dengan konverter boost 3 tingkat terkendali MPPT P&O mencapai rata-rata 97,8%.

REFERENSI

- [1] Y. Huang, J. Wang, F. Z. Peng, and D. Yoo :” Survey of the power conditioning system for PV power generation”, *Proc. IEEE PESC*, pp. 1–6. 2006.
- [2] X. Ruan, B. Li, Qianhong Chen, Siew-Chong Tan, Chi K. Tse “Fundamental considerations of three-level DC-DC converters: topologies, analyses, and control”, *IEEE transactions on circuits and systems*, vol. 11, no. 55, dec. 2008Jung-Min Kwon, Bong-Hwan Kwon, Kwang-HeeNam, “Three-phase photovoltaic system with three-level boosting MPPT control”, *IEEE transactions on power electronics*, vol. 23, no. 5, sept. 2008.
- [3] Jung-Min Kwon, Bong-Hwan Kwon, Kwang-HeeNam, “Three-phase photovoltaic system with three-level boosting MPPT control”, *IEEE transactions on power electronics*, vol. 23, no. 5, sept. 2008.
- [4] Attou A., Massoum A. and M.Saidi. “Photovoltaic Power Control Using MPPT and Boost Converter”. *Balkam Journal of Electrical & Computer Engineering*, Vol.2,NO.1 2014.
- [5] Ammirul Atiqi Muhammad M. Z, Mohd Amran M. R., Aruza Che Soh :”Development of adaptive perturb and observe-fuzzy control maximum power point tracking for photovoltaic boost dc-dc converter”, *Journal IET Renewable Power Generation*, 2013
- [6] Ochieng, Reccab M. :” Solar Collectors and Panels, Theory and Application”, *Intech: Rijeka Croatia*, 2010.
- [7] Refaat Ahmed, Kalas A., Ahmed Daoud :”A Control Methodology of Three Phase Grid Connected PV System”, *Conference : Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2010.
- [8] Rashid, Muhammad, H., : “Power Electronic Handbook – Second Edition”, *Academic Press*, 2007
- [9] Solarland.”SLP-100 12U Photovoltaic Module 100 Watts, 12 Volts Multicrystalline”, USA, 2016.
- [10] Jinsoo Kim, Oh Yang. “Three-Level Boost Converter Design for High Efficiency Photovoltaic Power Conditioning System”. *Advanced Science and Technology Letters*, Vol.51.CES-CUBE , pp.68-72, 2014.
- [11] Agil Haikal, Muhammad :”Desain sistem photovoltaic inverter terkoneksi ke Grid menggunakan mppt berbasis metode modified Regula falsi”, *Sentia* 2015 – issn: 2085-2347