

DESAIN SISTEM *PHOTOVOLTAIC* INVERTER TERKONEKSI KE GRID MENGGUNAKAN MPPT BERBASIS METODE *MODIFIED REGULA FALSI*

Muhammad Agil Haikal¹, Soedibyo², Mohammad Ashari³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut teknologi Sepuluh Nopember

¹ agil_haikal@yahoo.com, ² dibyo_55@yahoo.com, ³ asharimd@yahoo.com

Abstrak

Photovoltaic (PV) adalah salah satu sumber energi yang potensial di masa mendatang. PV termasuk energi terbarukan (renewable energy) banyak diaplikasikan sebagai sumber dari *Distributed Generation System* (DGS). PV pada paper ini akan dihubungkan ke grid, sehingga dibutuhkan inverter yang mengubah keluaran PV yang berupa tegangan DC menjadi tegangan AC pada grid. DC-DC Converter berupa *boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan PV, karena inverter memerlukan tegangan DC input yang lebih besar daripada tegangan yang diinginkan di grid. Kontrol Maximum Power Point Tracking (MPPT) digunakan untuk mencari daya maksimum dari PV. Pada sistem PV ini menggunakan metode *modified regula falsi* (MRF) sebagai kontrol MPPT yang mengatur *duty cycle boost converter*. Metode *modified regula falsi* membagi daerah pencarian daya puncak menjadi dua buah *section*, dan terus akan dibagi sampai iterasi yang ditentukan atau ketika nilai perubahan daya terhadap perubahan tegangan sama dengan nol. Kontrol pada inverter menggunakan *current control VSI*. Dari analisis simulasi dapat disimpulkan bahwa metode *modified regula falsi* dapat diaplikasikan untuk mencari daya puncak pada PV. Disamping itu saat terkoneksi ke grid efisiensi daya inverter dengan daya dari PV mendekati angka 99,6%.

Kata kunci : Boost Converter, Modified Regula Falsi, *current control VSI*

1. Pendahuluan

Jumlah energi terbarukan yang terhubung ke sistem tenaga listrik meningkat secara signifikan, salah satunya adalah *photovoltaic* (PV). Pemanfaatan *solar photovoltaic* yang maksimal dan dikombinasikan dengan sistem *existing* distribusi (*grid*) akan menciptakan suatu *mix system* baru. Energi PV adalah salah satu sumber energi terbarukan yang sangat diminati karena keunggulannya yaitu PV memiliki ketersediaan tidak terbatas dan ramah lingkungan.

Jika sistem PV akan dihubungkan ke grid, maka tegangan DC yang dihasilkan oleh PV perlu disesuaikan dengan tegangan grid. Huang, Y. (2006) menjelaskan sistem PV konvensional pada umumnya menggunakan *single-stage inverter* dengan transformator *step-up*. Namun penggunaan transformator akan menambah ukuran dan biaya sistem.

Penelitian tentang sistem PV yang terhubung ke grid mengarah ke sistem *two-stage* yaitu melalui tahap *DC-DC converter* dan *DC-AC converter*. Tipe *DC-DC converter* berupa *buck* atau *boost* berdasarkan tegangan tegangan array PV. Biasanya, tipe *boost converter* banyak dipilih karena

kemampuannya yang dapat menaikkan tegangan sampai melebihi tegangan puncak pada grid (Hsieh, Y.P.(2012)).

Salah satu masalah dari PV yaitu memiliki efisiensi daya yang rendah jika dibandingkan dengan sumber energi alternatif yang lain, sehingga mempengaruhi proses interaksi antara PV dan grid. PV memiliki sumber yang non-linear dimana tergantung pada irradiation dan temperature pada PV tersebut. Permasalahan ini perlu diselesaikan dengan teknik penjejukan daya maksimum atau sering disebut *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

MPPT adalah suatu strategi untuk mencari titik maksimum dari daya dengan melihat tegangan, arus, intensitas dan temperatur pada PV. Penelitian Sera, D. Mathe, L. Kerekes, T. (2013) menggunakan metode konvensional *incremental conductance* dan *perturb and observe* (P&O) sangat populer digunakan secara luas karena algoritmanya yang sederhana. Disamping metode konvensional, banyak pula dikembangkan metode *Artificial Intelligent* seperti fuzzy (Chian-Song Chiu. (2010)), *particle swarm optimization* (Phimmasone, V., Kondo, Y. (2010)), dan lain sebagainya.

Sebuah makalah yang ditulis oleh Seunghyun Chun (2011), memaparkan hipotesis untuk membuat

kontrol MPPT *photovoltaic* menggunakan pendekatan algoritma metode pencarian akar sebuah fungsi matematika untuk mencari nilai daya puncak. Penerapan metode *root finding* terbukti mampu mencari daya puncak PV. Haikal, A dan Wieried, C (2014) berhasil mengimplementasikan Metode biseksi yang termasuk *root finding* sebagai metode MPPT. Pada makalah tersebut, analisis MPPT dibuktikan dengan bantuan rangkaian boost converter, sehingga penulis pada makalah ini akan mendesain inverter yang terkoneksi ke grid dengan metode MPPT *modified regula falsi*.

Inverter pada makalah ini menggunakan VSI (*voltage current inverter*) dengan metode *switching* SPWM. VSI adalah jenis inverter yang menggunakan kapasitor sebagai penyimpan sementara untuk kemudian dihubungkan dengan rangkaian *switching*. Pertimbangan penggunaan SPWM adalah karena keluaran inverter akan diintegrasikan dengan tegangan jala-jala distribusi (*grid*) berupa sinusoidal.

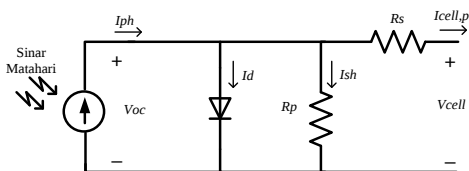
2. Modul PV dan Desain Konverter

2.1 Modul PV

Gambar 1 menunjukkan model konvensional dari PV yang digunakan untuk mempermudah analisa. Model PV tersebut dalam kondisi tidak terhalang bayangan atau tidak pada kondisi *partial shading*. Persamaan matematis dari model PV tersebut adalah sebagai berikut :

$$I_{cell,p} = I_{ph} - I_s (e^{qV_{cell}/nkT} - 1) - \frac{V_{cell} + R_s I_{cell,p}}{R_p} \quad (1)$$

Dimana $I_{cell,p}$ adalah arus output cell PV, I_{ph} adalah photocurrent, I_s adalah arus dioda saturasi, R_p adalah resistansi paralel, R_s adalah resistansi seri, q adalah muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C), k adalah konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T adalah temperatur cell dalam kelvin, V_{cell} adalah tegangan output dari cell PV dan n adalah konstanta *scaling diode*.



Gambar 1. Rangkaian ekivalen PV

2.2 Konverter Boost

Boost converter merupakan salah satu dari *DC-DC converter* yang mempunyai fungsi untuk menaikkan tegangan masuk dari *photovoltaic* yang digunakan oleh sistem. Penggunaan konverter *boost converter* ini karena tegangan keluaran dari

photovoltaic bersifat fluktuatif (selalu berubah) berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaan *photovoltaic*.

Untuk perhitungan manual nilai parameter-parameter yang berkaitan, yaitu:

a. Duty Cycle

$$Duty = 1 - \frac{V_{in_min}}{V_{out}} \quad (2)$$

b. Arus Output

$$I_{in} = I_{out} \times \left[\frac{V_{out} + V_F}{V_{in}} \right] \quad (3)$$

$$I_{out} = I_{in} : \left[\frac{V_{out} + V_F}{V_{in}} \right] \quad (4)$$

V_F adalah tegangan diode (0.7 Volt)

c. Ripple Current (10%)

$$\Delta I_L = 0,1 \times I_{out} \times \left[\frac{V_{out} + V_F}{V_{in_min}} \right] \quad (5)$$

d. Nilai Induktor

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_{out} + V_F - V_{in_min}] \times \left(\frac{V_{in_min}}{V_{out} + V_F} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (6)$$

Metode MPPT *modified regula falsi* akan digunakan untuk menentukan nilai *duty cycle* pada proses *switching* konverter boost. Metode tersebut akan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya.

2.3 Inverter

Inverter adalah unit pengkondisi daya yang mengubah tegangan DC menjadi AC. Rashid, Muhammad H., (2007) menerangkan teknik *switching* menggunakan SPWM. Pada skema pensakelaran inverter satu fasa dengan penyulut SPWM, sinyal SPWM didapat dari perbandingan antara sinyal pembawa (*carrier*) gelombang segitiga V_{trg} dengan tegangan referensi V_{ref} . Perbandingan amplitudo adalah sebagai berikut :

$$m = \frac{V_{ref}}{V_{trg}} \quad (7)$$

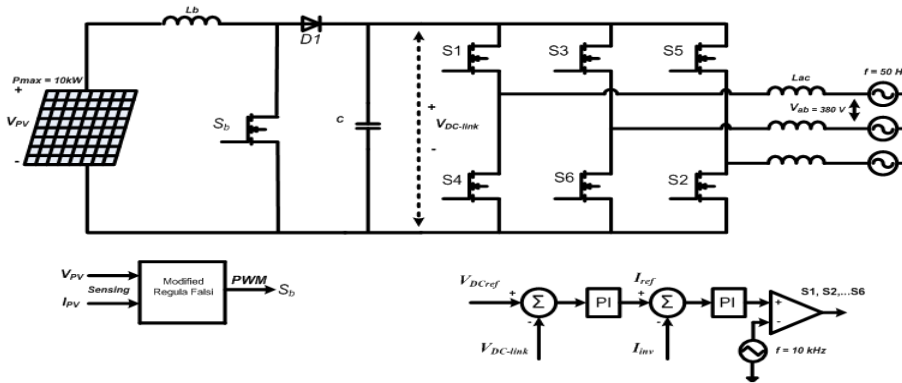
Kazmierkowski, M., Krishnan, R. and Blaabjerg, F., (2002) selisih sudut fasa antara V_{refa} , V_{refb} , dan V_{refc} masing-masing sebesar 120° . Beda fasa pada V_{ref} membentuk beda fasa pada tegangan output inverter.

$$V_{Ref} = V_{Ref} \sin \omega_1 t \quad (8)$$

Dengan $V_{ref} \leq V_{tri}$

Penelitian ini menggunakan VSI dimana topologi *voltage source inverter* menggunakan kapasitor yang diparalel dengan sumber sebagai

regula falsi mirip dengan *regula falsi* namun mempunyai kemampuan memperpendek step, sehingga proses iterasi akan lebih sedikit daripada regulasi falsi. perbedaan kedua metode ini sesuai gambar 3 dan 4. Proses algoritma *modified regula falsi* adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Rangkaian sistem photovoltaic inverter terkoneksi ke grid

media penyimpanan sementara sebelum dihubungkan dengan rangkaian pensaklaran.

Untuk mengatur kondisi pensaklaran pada VSI tiga fasa dapat digunakan metode *curent controlled PWM*. Tegangan masukan DC yang digunakan bernilai konstan sedangkan frekuensi dan besar arus keluaran dapat diatur.

Perubahan nilai tegangan PV array yang juga merupakan tegangan masukan *boost converter* tiga tingkat dapat terjadi karena pengaruh perubahan intensitas radiasi cahaya matahari yang diterima PV. Sedangkan tegangan DC-link harus dijaga konstan karena tegangan ini juga merupakan tegangan masukan inverter.

2.4 MPPT Modified Regula Falsi

Makalah yang dibuat oleh Seunghyun Chun(2012) menjelaskan pada pembahasan *close method* terdapat istilah yang disebut metode *Bracketing*. metode *Bracketing* adalah suatu metode yang didasarkan pada suatu interval yang dipengaruhi oleh dua titik. Metode biseksi dan regula falsi termasuk metode bracketing. Khusus untuk metode biseksi telah berhasil diimplementasikan oleh Haikal, A. Dan Weried, C (2014).

Pada metode regula falsi pada persamaan (9) diberikan fungsi $f(x)$ maka akan dipilih *lower value* (x_l) dan *upper value* (x_u). Nilai x_l dan x_u ini yang disebut dua titik acuan mulai dimana perhitungan secara matematis dilakukan sehingga akan mendekati nilai target (nilai akar-akarnya).

$$c_i = \frac{x_l \cdot f(x_u) - x_u \cdot f(x_l)}{f(x_u) - f(x_l)} \quad i = 0,1,2,\dots \quad (9)$$

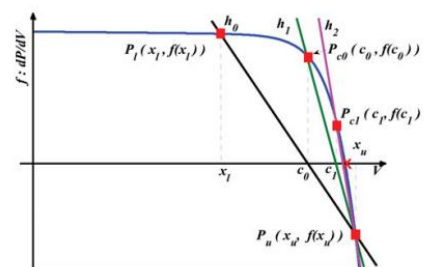
Metode pencarian daya maksimum pada PV di makalah ini menggunakan metode regula falsi yang dimodifikasi (*modified regula falsi*). *Modified*

1. jika $f(x_l) \cdot f(x_u) < 0$ dan $f(x_l) > 0$ maka $f(x_u)$ pada persamaan (3.1) akan diganti dengan $f_p(x_u) = f(x_u)/2$ dan $f_p(x_l) = f(x_l)$. Sehingga persamaanya sebagai berikut

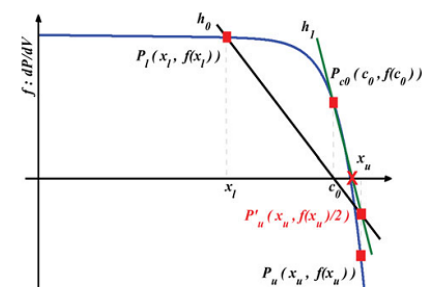
$$c_i = \frac{x_l \cdot f_p(x_u) - x_u \cdot f_p(x_l)}{f_p(x_u) - f_p(x_l)} = \frac{x_l \cdot f(x_u) \cdot 0,5 - x_u \cdot f(x_l)}{0,5 \cdot f(x_u) - f(x_l)} \quad i = 0,1,2,\dots \quad (10)$$

2. jika $f(x_l) \cdot f(x_u) < 0$ dan $f(x_l) < 0$ maka $f(x_l)$ pada persamaan (3.1) akan diganti dengan $f_p(x_l) = f(x_l)/2$ dan $f_p(x_u) = f(x_u)$. Sehingga persamaanya sebagai berikut

$$c_i = \frac{x_l \cdot f_p(x_u) - x_u \cdot f_p(x_l)}{f_p(x_u) - f_p(x_l)} = \frac{x_l \cdot f(x_u) - x_u \cdot f(x_l) \cdot 0,5}{f(x_u) - 0,5 \cdot f(x_l)} \quad i = 0,1,2,\dots \quad (11)$$



Gambar 3. Metode regulasi falsi



Gambar 4. Metode modified regulasi falsi

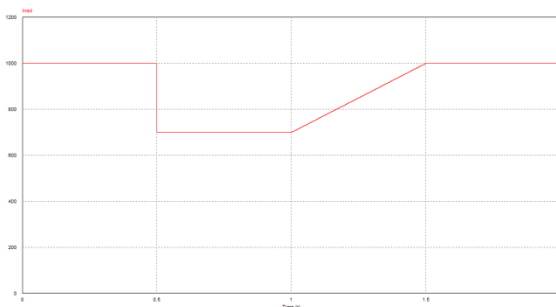
3 Analisa Simulasi

Parameter-parameter sistem PV adalah seperti yang tertera pada tabel 2. Sedangkan Gambar 5 menunjukkan sistem PV yang akan disimulasikan. perencanaan simulator menggunakan software PSIM 9.03.400. Blok simplified C memiliki dua input dari sensor arus dan sensor tegangan serta output berupa PWM sebagai *trigerring* komponen *switching* rangkaian konverter boost.

Tabel 1 Parameter Sistem PV Tiga Fasa

Parameter	Nilai
Tegangan Input (V_{in})	372 – 496 V
Tegangan DC-link (V_{DClink})	620 V
Riak Arus Induktor	2 A (peak to peak)
Riak Tegangan Output DC-link	2 V (peak to peak)
Induktor <i>boost converter</i> (L_b)	114,57 μ H
Kapasitor (C)	349,68 μ F
Duty Cycle (D)	0,4
Frekuensi Switching (f_s)	35.000 Hz
Filter Inverter (L_{ac})	3 mH
Tegangan Jaringan (V_{ab})	380 V (line to line)

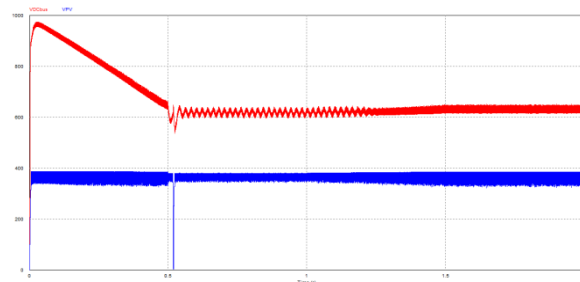
Pengujian dilakukan dengan cara merubah intensitas cahaya pada PV. PV akan menerima daya maksimum (10.000Watt) saat intensitas cahaya 1000W/m². Intensitas cahaya berubah menjadi 700W/m² pada step kedua, selanjutnya perubahan perlahan dari 700W/m² menuju 1000W/m². Simulasi perubahan tersebut dapat dilihat pada gambar 5



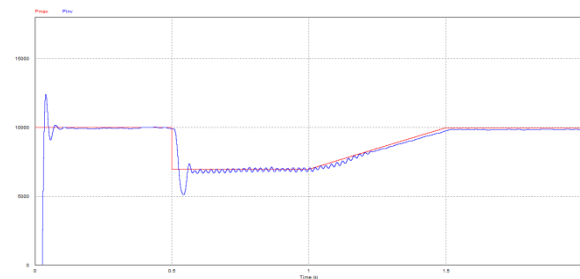
Gambar 5. Intensitas Cahaya (I_{rrad})

Gambar 6 menunjukkan nilai tegangan DC-link (V_{DClink}) dan tegangan PV (V_{PV}). Tegangan referensi DC-link pada kontrol ditentukan bernilai 620 Volt sedangkan tegangan rata-rata yang terukur pada hasil pengujian adalah 670,8 V. Pengujian dan Analisis Kinerja Sistem PV dengan Perubahan Intensitas Cahaya (gambar 7) saat 1000w/m² Pmax PV sebesar 10000Watt dan Pout inverter sebesar 9962Watt sehingga efisiensi sebesar 97,62%. Saat

intensitas cahaya sebesar 700W/m² daya inverter turun menjadi 6.963 Watt dengan efisiensi 97,65%



Gambar 6. Tegangan DC-link (V_{DClink}) dan Tegangan PV (V_{PV})



Gambar 7. Daya Output PV (P_{max}) dan Daya Output Inverter (P_{inv})

4 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian simulasi dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa rangkaian *boost converter* dapat mengubah tegangan input DC 372 Volt menjadi tegangan output DC 620 Volt dengan duty cycle 0,4 sesuai dengan persamaan input output yang didapat dari analisis *steady state* rangkaian.

Pengujian secara keseluruhan menunjukkan bahwa kontrol tegangan DC-link dapat menjaga kestabilan tegangan DC-link pada nilai 620 Volt, *current-controlled* VSI dapat mengatur nilai arus output inverter, serta kontrol MPPT dapat mencari titik daya output maksimum dari PV dengan efisiensi rata-rata 97,6%.

Konverter boost pada makalah ini hanya membahas satu tingkat. Padahal penelitian yang terbaru Konverter boost menggunakan tiga tingkat. Ke depan MPPT dengan metode modified regula falsi dengan konverter boost tiga tingkat bisa menjadi riset yang menarik untuk dibahas.

Daftar Pustaka:

Y. Huang, J. Wang, F. Z. Peng, and D. Yoo (2006) : *Survey of the power conditioning system for PV power generation*, Proc. IEEE PESC, pp. 1–6.

- Hsieh, Y.P., Chen, J.F., Liang, T.J., Yang, L.S. (2012): *Analysis and implementation of a novel single-switch high step-up dc-dc converter*, IET Power Electron., 2012, 5, (1), pp. 11–21
- Sera, D., Mathe, L., Kerekes, T. (2013): *On the Perturb and Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems*, IEEE Journal of photovoltaics, pp. 1070-1078
- Chun, Seunghyun, Alexis Kwasinski. (2011): *Analysis of Classical Root-Finding Methods Applied to Digital Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Energy Generation*. IEEE transactions on power electronics, vol. 26, no. 12.
- Chian-Song Chiu. (2010): *T-S Fuzzy Maximum Power Point Tracking Control of Solar Power Generation Systems*, IEEE Trans. Energy Conversion, pp. 1123 – 1132
- Haikal Agil, Ciptian Weried. (2014) : *Design And Implementation Of Maximum Power Point Tracking Photovoltaic Using Bisection Algorithm Based On Microcontroller Atmega 8535*, IJSS, Jogjakarta.
- Phimmasone, V., Kondo, Y., Kamejima, T. (2010) : *Evaluation of extracted energy from PV with PSO-based MPPT against various types of solar irradiation changes*, IEEE Conference Publications.
- Chun, Seunghyun P., Alexis Kwasinski. (2011): *Modified Regula Falsi Optimization Method Approach to Digital Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Application*. IEEE transactions on power electronics, vol. 26, no. 12.
- Rashid, Muhammad H., (2007) : *Power Electronics Handbook – Second Edition*. Academic press
- Kazmierkowski, M., Krishnan, R. and Blaabjerg, F., (2002) : *Control in Power Electronics – Selected Problems*, Academic Press,