

## PENGEMBANGAN MODEL DAN SIMULASI INVERTER SATU FASA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN METODE KONTROL ARUS *RAMP COMPARISON CURRENT CONTROL*

**Hazlif Nazif**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ekasakti Padang

Email: hazlif\_n@yahoo.co.id

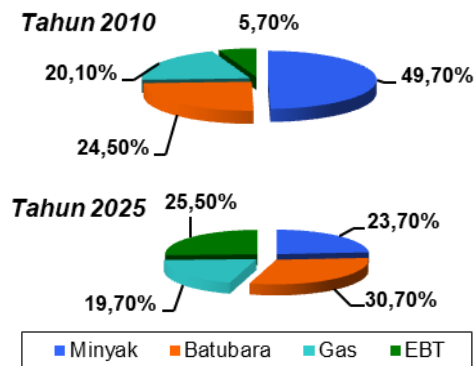
**Abstrak-** Dalam penelitian ini, kontrol arus *ramp comparison current control* dianalisis dan disimulasikan pada sebuah inverter pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off grid. Model simulasi dibangun menggunakan perangkat lunak MATLAB/SIMULINK. Kinerja perangkat keras dievaluasi dan dianalisis dengan melihat dan membandingkan hasil simulasi dan hasil teoritis terhadap parameter input PLTS yaitu temperatur dan irradians. Simulasi menunjukkan kesamaan antar hasil yang diperoleh dan hasil secara teoritis. Performa kontrol arus *ramp comparison current control* dievaluasi dengan memvariasikan frekuensi dan amplitudo gelombang segitiga sebagai sinyal pemodulasi kontrol arus ramp. Untuk setiap frekuensi dan amplitudo tersebut, kualitas arus keluaran dianalisis dengan melihat distorsi arus yang dihasilkan. Simulasi menunjukkan untuk frekuensi gelombang segitiga sebesar 1250 Hz, diperoleh THD arus sebesar 6.39%, sementara untuk frekuensi 4950 Hz, THD yang diperoleh adalah sebesar 3.90%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi gelombang segitiga yang diterapkan, maka kualitas arus yang dihasilkan semakin baik (rendah distorsi). Sementara itu, pengaruh amplitudo gelombang segitiga menunjukkan semakin tinggi amplitudo gelombang segitiga semakin buruk kualitas daya arus output yang diperoleh, untuk amplitudo gelombang sebesar 15 Volt pada frekuensi gelombang 4950 Hz, THD arus yang dihasilkan adalah sebesar 3.90%, sementara untuk amplitudo sebesar 20 Volt, THD arus yang dihasilkan adalah sebesar 4,04%.

**Kata kunci:** *INVERTER PLTS off grid, MATLAB, THD, Kontrol Arus Ramp Comparison Current Control dan Grid*

### I. PENDAHULUAN

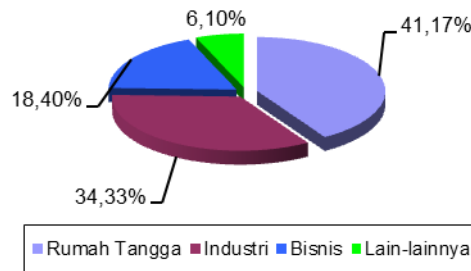
Pemanfaatan sumber energi terbarukan yang dipergunakan semakin meningkat dengan mengurangi ketergantungan pada penggunaan energi fosil makin menipis dalam mendukung program pengembangan energi terbarukan (EBT) [1]. Di Indonesia penggunaan energi fosil, seperti BBM dan batubara masih berada pada rating teratas sebagai sumber energi primer pada pembangkit listrik. Dewan Energi Nasional (DEN) telah menskenariokan, pada tahun 2025 pemanfaatan EBT di Indonesia menjadi berimbang dengan penggunaan energi fosil. Penggunaan energi EBT dari 5.7% diharapkan meningkat hingga 25.9% pada tahun 2025 seperti diperlihatkan oleh gambar 1 [2].

Berdasarkan statistik PLN 2013 [3], pelanggan terbesar dari energi listrik yang dikelola PT.PLN adalah sektor rumah tangga, dengan persentase mencapai 41.17% dari seluruh energi listrik yang disediakan oleh PLN dengan jumlah pelanggan 92.81% dari keseluruhan jumlah pelanggan PLN (gambar 2). Hal ini artinya PLN masih menggunakan energi fosil pada sektor rumah tangga dan ketersediaan bahan bakar untuk pengoperasian sumber listrik dari fosil sudah sangat terbatas.



Gambar 1. Bauran Sumber Energi Kelistrikan Indonesia [4].

Untuk mengatasi permasalahan diatas maka diperlukan pembangkit tenaga listrik alternatif lain berupa sumber energi terbarukan seperti *photovoltaic* (PV). Sumber PV merupakan sumber energi terbarukan yang cukup populer yang bersih dan tersedia secara bebas dapat dijadikan sebagai alternatif yang fleksibel [1].



Gambar 2. Jumlah Energi Terjual Per Jenis Pelanggan [3]

Sistem PLTS terdiri dari beberapa jenis, diantaranya *Stand alone photovoltaic* dan *Grid connected photovoltaic System*. *Stand alone photovoltaic* (PLTS secara off grid) adalah sistem pembangkit listrik PV terpusat (PLTS terpusat) merupakan sistem pembangkit mandiri. Sistem ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian modul PV untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan, sedangkan *Grid connected photovoltaic System* (Pembangkit listrik tenaga PV tersambung ke grid) merupakan PLTS yang tersambung secara langsung ke grid [4]. Adapun keuntungan sistem PLTS off grid adalah sebagai berikut [4]:

- Mereduksi penggunaan bahan bakar fosil sehingga mengurangi polusi/emisi bahan bakar.
- Bersih, tidak berisik, menggunakan energi gratis dari matahari sepanjang tahun.
- Tidak memerlukan biaya operasional sepeserpun.
- Pengoperasian dan perawatan sistem yang sangat mudah.

Sistem PLTS terdiri dari komponen modul PV dan konverter listrik dan sistem kontrol operasi maupun kontrol optimasi ekstraksi daya (MPPT). Strategi kontrol arus pada inverter dapat berupa kontrol hysteresis, prediktif kontrol dan kontrol arus *ramp comparison current control* dan jenis kontrol arus lainnya. Kontrol hysteresis adalah kontrol yang membandingkan arus output dengan arus referensi setelah diberi batas toleransi yang telah ditentukan, kontrol prediktif adalah menghitung tegangan inverter yang dibutuhkan untuk memaksa arus mengikuti arus referensi pada sampel waktu tertentu, sedangkan kontrol *ramp comparison current control* adalah kontrol yang membandingkan arus error ke dalam gelombang segitiga untuk menghasilkan sinyal penyulutan yang digunakan untuk mengendalikan saklar statis pada inverter dari sistem PLTS [5] [7].

Pada penelitian ini, dikaji penguasaan metode kontrol arus *ramp comparison current control* untuk inverter PLTS off grid. Metode ini mempunyai respon dinamik yang cepat dan frekuensi switching yang konstan dalam mengendalikan arus output dari inverter [8]. Kontrol arus ini mampu merespon perubahan pada sumber energi maupun grid dengan cepat dan harmonisa yang dihasilkan adalah dari jenis predictable harmonisa sehingga mudah diproteksi [7].

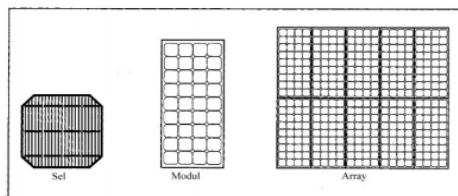
Untuk melakukan kajian penerapan sistem kontrol, diperlukan model yang mewakili sistem PLTS off grid, juga diperlukan simulasi yang dapat menggambarkan mekanisme kerja sistem kontrol arus ini pada PLTS off grid.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Photovoltaic (PV)

Sel surya atau *photovoltaic* (PV) dapat berupa alat semikonduktor penghantar aliran listrik yang dapat mengubah energi surya secara langsung menjadi bentuk tenaga listrik secara efisien. Sel surya disusun membentuk sebuah sel PV dengan kapasitas dan tegangan tertentu. Untuk mendapatkan daya yang besar, maka sejumlah sel dihubungkan secara seri dan paralel sebagai suatu panel atau modul PV. Selanjutnya, gabungan beberapa modul yang terhubungan secara seri, paralel atau kombinasi keduanya disebut *array* (Gambar 3).

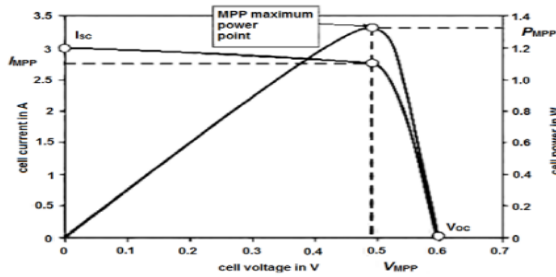
Karakteristik I-V dari sel PV dapat dilihat dari kurva I-V pada gambar 4. Pada kurva tersebut terdiri atas arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan operasi titik daya maksimum atau yang biasa dikenal dengan *maximum power point* atau disingkat menjadi MPP.



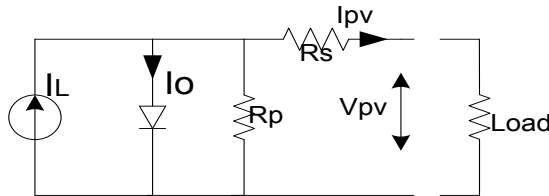
Gambar 3. Beberapa sel PV membentuk modul dan beberapa modul membentuk array

Sesuai model rangkaian ekivalen sel surya sebagaimana Gambar 5, hubungan arus keluaran suatu sel PV ditulis dengan:

$$I_{pv} = I_L - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V + I R_s}{n k T} \right)} - 1 \right] - \left( \frac{V + I R_s}{R_p} \right) \quad (1)$$



Gambar 4. Kurva karakteristik I-V dan P-V pada sel PV.



Gambar 5. Rangkaian ekivalen sel PV [9]

Dimana:

$I_L$  = Arus sel PV (A)

$V$  = Tegangan sel PV(V)

$I_{pv}$  = Arus yang dihasilkan oleh sel PV (A)

$I_0$  = Arus saturasi reverse (A)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (A)

$n$  = Faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

$q$  = Pengisian elektron ( $1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ )

$k$  = Konstanta boltzman ( $1,3806 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ )

$T$  = Temperatur sel PV (K)

$T_1$  = Temperatur referensi sel PV ( $298^\circ \text{ K}$ )

$R_s$  = Hambatan seri ( $\Omega$ )

$R_p$  = Hambatan paralel ( $\Omega$ )

$K_0$  = Koefisien temperatur arus ( $\%/^\circ \text{K}$ )

### B. Maximum Power Point Tracking

Karakteristik daya keluaran sel PV bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh perubahan radiasi sinar matahari dan temperatur permukaan sel PV, akibatnya, letak titik MPP modul akan selalu berubah. Untuk itu diperlukan sebuah algoritma MPPT. *Maximum Power Point Tracker* adalah sebuah fungsi/algorithm yang ditujukan untuk mencari *maximum power point* (MPP) sesuai dengan MPP dari kurva karakteristik P-V pada panel PV[10]. MPPT menemukan MPP sehingga dapat memaksimalkan daya yang diekstrak dari sumber energi PV. Beberapa algoritma MPPT adalah *Perturb and Observe*, *Incremental Conductance*, *Dynamic Approach*, *Temperature Methods* dan algoritma lainnya.

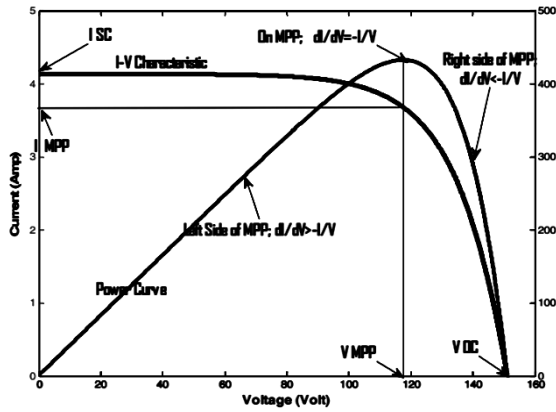
Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Incremental Conductance* (INC). Pencarian MPP dilakukan dengan cara menggunakan persamaan  $\Delta I/\Delta V$  modul.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I \cdot V)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (3)$$

$$I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \quad (5)$$



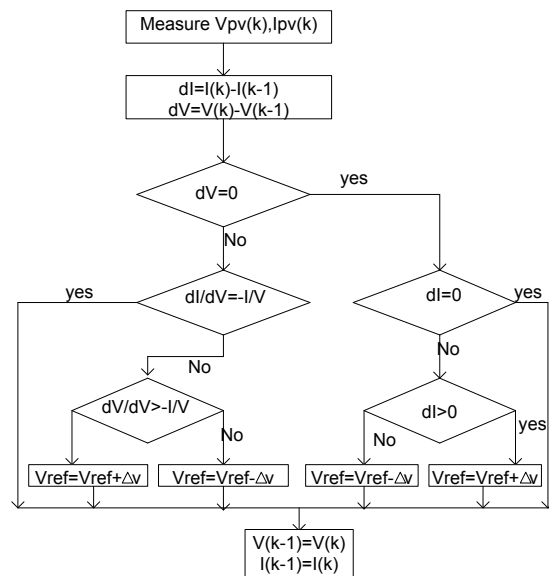
Gambar 6. Posisi  $\Delta I/\Delta V$  yang berbeda pada kurva daya panel PV [7]

Pada titik daya maksimum (MPP), nilai  $\Delta I/\Delta V$  dari *incremental conductance* adalah  $-I/V$ , sementara pada lokasi lainnya nilainya bervariasi, yaitu [6]:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \text{ daya maksimal terdapat pada sisi tengah MPP}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \text{ daya maksimal terdapat pada sisi kiri MPP}$$

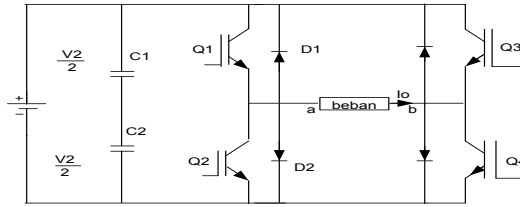
$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \text{ daya maksimal terdapat pada sisi kanan MPP}$$



Gambar 7. Flowchart dari metode INC[6]

### C. Inverter

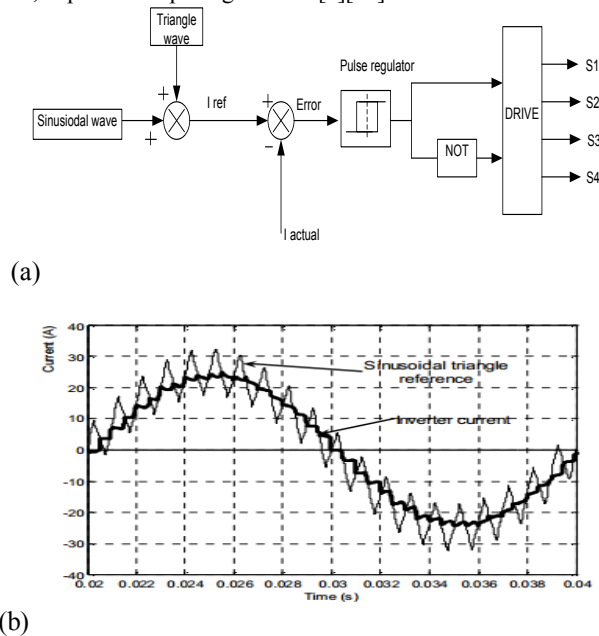
Inverter adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengubah tegangan masukan arus searah (DC) menjadi tegangan keluaran arus bolak balik (AC). Tegangan dan frekuensinya dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Pengaturan tegangan inverter yang umum digunakan adalah dengan metode Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse Width Modulation*, PWM). Inverter yang diatur dengan metode ini selanjutnya disebut inverter PWM.



Gambar 8. Rangkaian inverter 1 fasa jembatan penuh

#### D. Kontrol Arus Ramp Comparison Current Control

Kontrol arus *ramp comparison current control* diwujudkan dengan menambahkan sinyal gelombang sinusoidal ke sebuah sinyal segitiga (*triangular wave*) untuk membuat sebuah sinyal referensi segitiga yang mengikuti pola sinusoidal. Sinyal ini kemudian dibandingkan dengan arus aktual dari inverter. Titik dimana gelombang sinusoidal segitiga dan arus aktual bersilangan menjadi waktu komponen switch inverter diaktifkan (ON). Jika arus aktual lebih besar daripada sinusoidal-segitiga, komponen switch inverter dimatikan (OFF) dan sebaliknya jika arus aktual kurang dari sinusoidal-segitiga maka komponen switch inverter diaktifkan lagi (ON). Bentuk gelombang arus keluaran pada inverter dengan metode kontrol arus *ramp comparison current control*, dapat dilihat pada gambar 9 [7][11].



Gambar 9. (a) Model kontrol arus *ramp comparison current control* dan (b) Bentuk gelombang keluaran berupa sinusoidal segitiga referensi yang dihasilkan oleh kontrol arus *ramp comparison current control* [7][11].

#### E. Distorsi Harmonisa

Pada kondisi ideal, gelombang arus maupun tegangan seharusnya hanya memiliki satu frekuensi dasar. Gelombangnya dikatakan memiliki harmonisa jika pada gelombang tersebut terdapat sinyal dengan frekuensi berbeda dengan frekuensi fundamentalnya. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kandungan harmonisa dikenal dengan istilah *Total Harmonic Distortion* (THD). Terdapat dua jenis parameter THD,  $THD_V$  untuk tegangan dan  $THD_i$  untuk arus. Kedua parameter tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

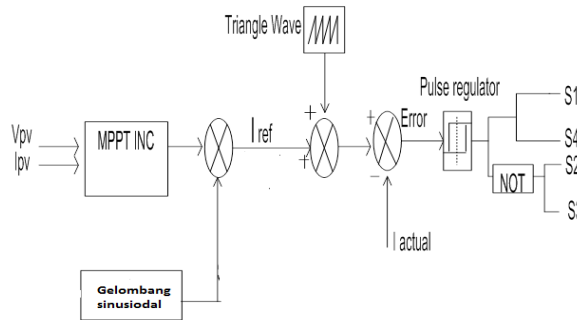
$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (6)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N i_n^2}}{i_1} \times 100\% \quad (7)$$

Nilai THD biasanya dinyatakan dalam persen. Ketika nilainya cukup besar, risiko peralatan mengalami kerusakan semakin besar pula. Terdapat batasan nilai THD untuk tegangan maupun arus yang diizinkan. Untuk sistem dengan tegangan

di bawah 69 kV, IEEE 519 memberi batasan sebesar 3 % untuk individual harmonik dan 5 % untuk *total harmonic distortion*-nya. Semakin besar tegangan suatu sistem, batasan distorsi harmonik yang diperbolehkan pun semakin kecil [13].

#### F. Strategi Kontrol Arus pada Inverter PLTS off Grid



Gambar 11. Sistem kontrol arus *ramp* pada inverter PLTS off grid

Gambar 11 menunjukkan kontrol arus *ramp comparison current control* pada Inverter PLTS off grid yang dilengkapi dengan mekanisme MPPT. Nilai  $V_{pv}$  dan  $I_{pv}$  merupakan input bagi blok fungsi MPPT. MPPT selanjutnya menghasilkan arus referensi awal  $I_m$ . Perkalian besarnya  $I_m$  dengan fasa ( $\sin \omega t$ ) menghasilkan sinyal gelombang referensi ( $I_{ref}$ ). Nilai arus sesaat, arus referensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$I_{ref} = I_m \cdot \sin \omega t \quad (10)$$

Arus gelombang referensi ( $I_{ref}$ ) selanjutnya dibandingkan dengan arus aktual dari inverter sehingga menghasilkan arus error. Sinyal arus error dimasukkan ke dalam pengatur pulsa untuk membuat pola penyulutan komponen switch inverter.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### > Pemodelan PV array

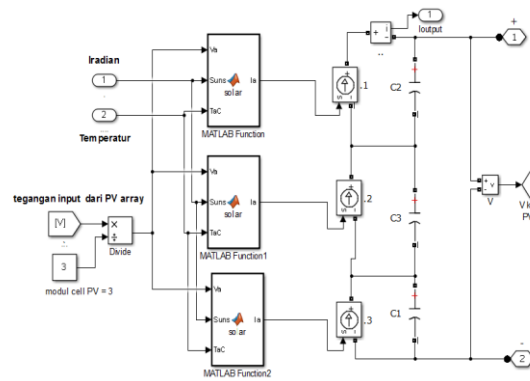
Model PV array yang terdiri dari tiga modul tersusun seri terlihat pada gambar 13. Dalam pemodelan ini, datasheet dari modul NE80E2E digunakan sebagai acuan. Karakteristik modul tersebut, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi SHARP NE80E2E

Cell	Polycrystalline silicon solar cells
No. of cell and connections	36 in series
Application	DC 12 V system
Maximum system voltage	DC 540 V
Series fuse rating	10A
Dimensions	1.200x530x35mm
Nominal power	80 W
Weight	8.5 kg
Type of output terminal	Lead wire with connector

Tabel 2. Karakteristik optikal elektro SHARP NE80E2E

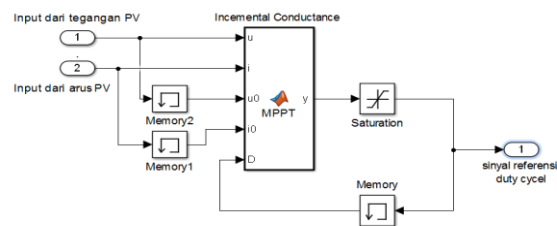
Parameters	Symbol	Minimal	Type	Unit
Open circuit voltage	$V_{oc}$	-	21.3	V
Maximum power voltage	$V_{pm}$	-	17.1	V
Short circuit current	$I_{sc}$	-	5.31	A
Maximum power	$I_{pm}$	76.0	80.0	W
Temperature coefficients of P		-0.485%		$^{\circ}C$
Temperature coefficients of $I_{sc}$		+0.053%		$^{\circ}C$
Temperature coefficients of $V_{oc}$		-78,1mV		$^{\circ}C$



Gambar 13. Model PV array

➤ **Model MPPT**

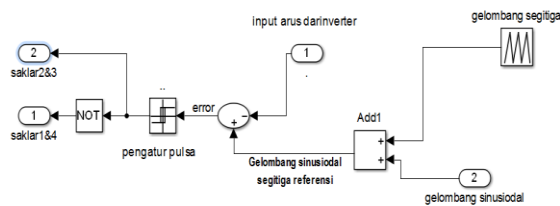
Algoritma MPPT yang digunakan adalah metode *Incremental Conductance*, dibuat dengan menggunakan kode program MATLAB [15]. Model MPPT ini mempunyai input berupa V dan I dari PV array;  $V_{pv}$  dan  $I_{pv}$ . Blok memori ditambahkan pada blok MPPT sehingga nilai  $\Delta I/\Delta V$  dapat dihitung. Output dari MPPT berupa sinyal referensi selanjutnya diumpankan ke blok kontrol arus.



Gambar 14. Model algoritma MPPT dengan metode *incremental conductance*

➤ **Model Kontrol Arus Ramp Comparison Current Control**

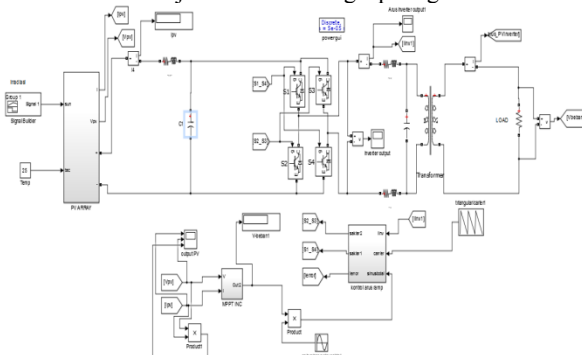
Gambar 15 menunjukkan model simulasi kontrol arus *ramp comparison current control*. Input dari blok ini adalah sinyal referensi dari Blok MPPT dan gelombang segi tiga dengan frekuensi tertentu. Sedangkan outputnya merupakan sinyal gate bagi komponen switch inverter.



Gambar 15. Model kontrol arus *ramp comparison current control*

➤ **Model PLTS off Grid**

Gambar 16 menunjukkan model lengkap rangkaian simulasi yang digunakan dalam penelitian ini.

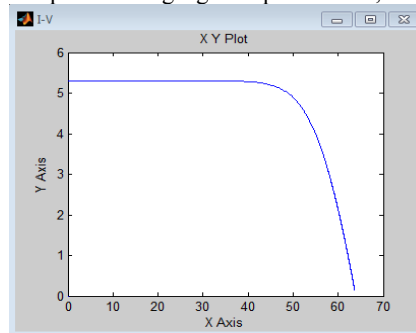


Gambar 16. Simulasi Model kontrol arus *ramp comparison current control* yang diterapkan pada inverter PLTS off grid

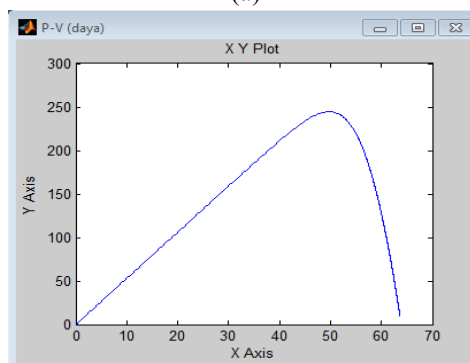
#### IV. Hasil dan Pembahasan

##### ➤ PV array

Pengujian dilakukan pada model dalam kondisi iradiansi  $1000\text{W/m}^2$  dengan temperatur panel PV  $25^{\circ}\text{C}$ , dengan menghubungkan PV dengan beban yang bervariasi antara  $0\text{-}1000\Omega$ . Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 17. Daya maksimum Pmp sekitar  $243,7\text{ Watt}$  diperoleh pada saat tegangan Imp sekitar  $50,83\text{ Volt}$  dengan arus Imp  $4,795\text{ A}$ .



(a)

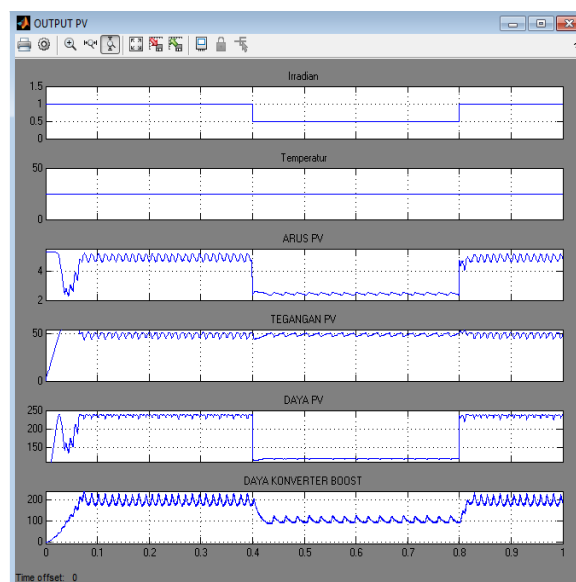


(b)

Gambar 17. Pada PV array, (a)Kurva karakteristik I-V, (b)Kurva karakteristik P-V

##### ➤ Rangkaian Algoritma MPPT dengan metode *Incremental Conductance (INC)*

Pengujian dilakukan untuk melihat bagaimana kemampuan algoritma MPPT mencapai MPP sesuai dengan karakteristik PV array yang diinginkan. Dari hasil pengujian model terlihat bahwa perubahan tingkat besaran iradiansi dan temperatur menyebabkan perubahan pada keluaran MPPT, Hal ini menunjukkan berfungsinya algorithma MPPT yang diterapkan.

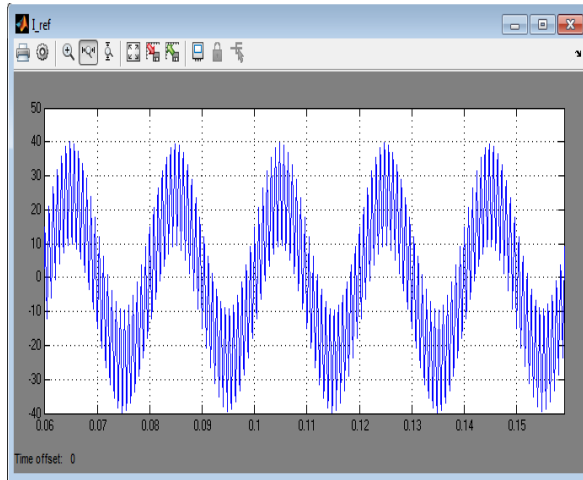


Gambar 18. Bentuk gelombang keluaran dari PV array dengan algoritma MPPT metode *Incremental Conductance*.

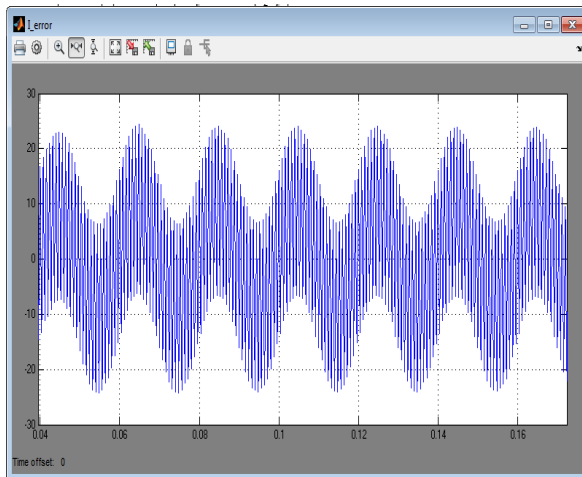


➤ **Kontrol arus ramp comparison current control**

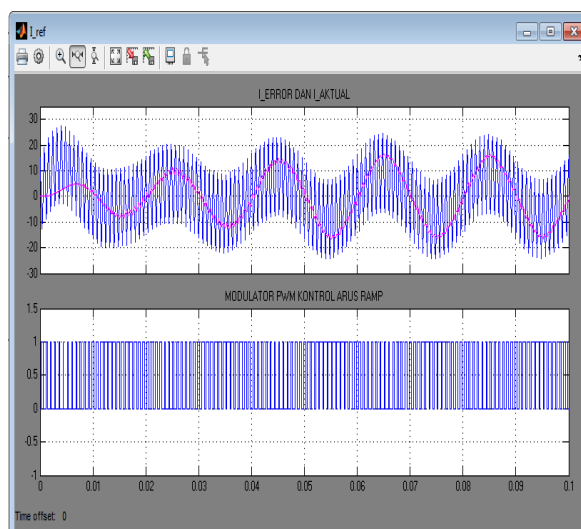
Untuk melihat gelombang keluaran dari kontrol arus *ramp comparison current control* pada PLTS off grid terhubung dengan beban, nilai frekuensi gelombang segitiga diset 1250 Hertz dan nilai amplitudo sebesar 15 volt. Nilai Induktor 1mH dan kapasitor 900 uF pada DC link. Nilai inductor 4 mH dan 4mH, impedansi 0.05  $\Omega$  dan 0.05  $\Omega$  dan kapasitor 900 uF pada inverter dengan beban 250  $\Omega$ . Gambar 19-22 menunjukkan hasil pengujian kontrol arus ini.



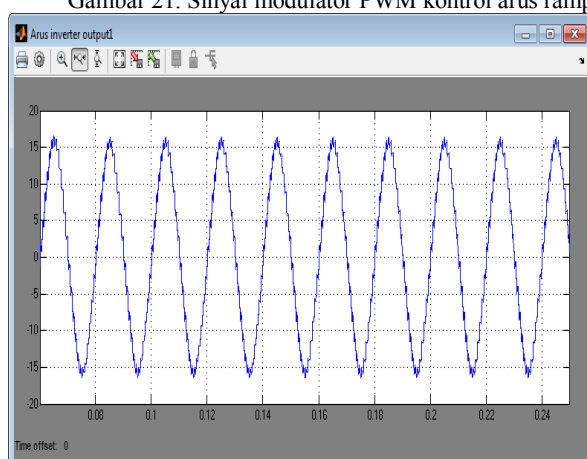
Gambar 19. Bentuk gelombang arus referensi ( $I_{ref}$ ) yang dibentuk dari hasil penambahan sinyal gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga.



Gambar 20. Bentuk gelombang sinyal arus error ( $I_{error}$ ) yang dibentuk dari hasil penambahan nilai arus referensi dan nilai arus actual



Gambar 21. Sinyal modulator PWM kontrol arus ramp dibentuk dari hasil perbandingan lerror dengan lactual



Gambar 22. Bentuk gelombang keluaran arus inverter berupa sinusoidal-segitiga.

➤ **THD Arus Output Inverter pada PLTS off grid**

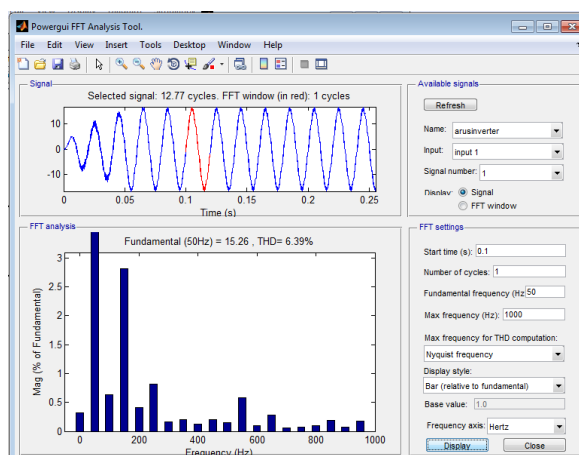
Untuk melihat THD arus output inverter pada PLTS off grid, dilakukan dengan memvariasikan frekuensi dan amplitudo gelombang segitiga. Hasil pengujian diperlihatkan pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. THD arus output dengan frekuensi divariasikan dan amplitude tetap 15 volt.

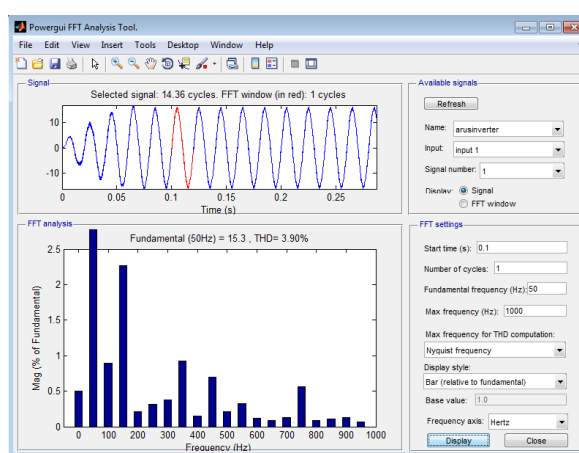
No	Frekuensi switching	THD
1	1250Hz	6.39%
2	2500Hz	8.55%
3	3700Hz	4,71%
4	4950Hz	3,90%

Tabel 4. THD arus output dengan amplitudo divariasikan pada frekuensi gelombang segitiga.

No	Frekuensi switching	THD	THD
		amplitudo 15 volt	amplitudo 20 volt
1	1250Hz	6.39%	6.44%
2	2500Hz	8.55%	8.92%
3	3700Hz	4,71%	4,49%
4	4950Hz	3,90%	4,04%



Gambar 23. Frekuensi switching 1250Hz dan Amplitudo 15 Volt maka THD 6.39%.



Gambar 24. Frekuensi switching 4950Hz dan Amplitudo 15 volt maka THD 3.90%.

Dari hasil pengujian tabel 3, terlihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang segitiga, kualitas THD semakin baik. Sementara itu dari tabel 4, diketahui bahwa semakin tinggi amplitudo gelombang segitiga, maka kualitas THD semakin buruk.

## V. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa penerapan kontrol arus *ramp comparison current control* pada inverter PLTS off grid, khususnya menyangkut frekuensi dan amplitudo gelombang segitiga sebagai pembentuk modulasi sistem kontrol, dapat disimpulkan bahwa frekuensi gelombang segitiga tinggi yang diterapkan, maka kualitas arus yang dihasilkan baik (rendah distorsi). Demikian pula, amplitudo gelombang segitiga tinggi kualitas daya arus output yang diperoleh buruk.

## REFERENSI:

- [1] Aryunto Soetedjo, Abraham Lomi, Yusuf Ismail Nakhoda, "Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Angin dan Surya," Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.
- [2] Tumiran, "Skenario Kebijakan Energi Nasional Menuju Tahun 2050," Dewan Energi Nasional 2012.
- [3] PT. PLN (Persero). 2014. Statistik PLN 2013. ISSN 0852-8179 No: 02601-140722.
- [4] Alief Rakhman (2013), "Jenis Sistem PLTS," <http://rakhman.net/2013/04/jenis-sistem-plts.html>
- [5] Mochammad Salman, Mochamad Ashari, Heri Suryoatmojo, "Perancangan Inverter Satu Fasa Yang Terhubung Dengan Jaring Distribusi Menggunakan Metode Hysteresis Current Control," Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus ITS, Sukolilo Surabaya 6011.
- [6] Muh.Imran Hamid dan Makbul Anwari, "Single-Phase Photovoltaic-Inverter operation characteristic in Distributed Generation System", <http://www.intechopen.com/download/pdf/10142>
- [7] Muh.Imran Hamid, Makbul Anwari, Taufik, "Comparison of current control methods on carrier based VSI-PWM inverter drives from line power quality aspect," TELKOMNIKA Vol 6 No.2, Agustus 2008: 93-100, ISSN:1693-6930.
- [8] B.Chitti Babu, B.Vasanth Reddy, K.B.Mohanty, "A Novel Delta Modulator and Modified Ramp Type Current Controller-Two Viable Scheme for Current Controlled Voltage Source Inverter," ©2010 International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 1, No. 3

- [9] Firmansyah Putra Pratama, Mochamad Ashari, Heri Suryoatmojo, "Sistem Pembangkit Listrik Hibrida PV-Diesel Microgrid Untuk Daerah Terisolasi Tanpa Menggunakan Media Penyimpan Energi," Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [10] Dwiky Alif Satria, Anizar Rizky, Novie Ayub Windarko, Suryono, "Maximum Power Point Tracker (MPPT) untuk Panel Surya Statis Dengan Metode Hill Climbing," Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- [11] M.Imran Hamid, Makbul Anwari, Z.Salam and Taufik, "Load Sharing Characteristic of Single Phase PV Inverter Connected to Grid," 2<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1 – 3, Johor Bahru, Malaysia.
- [12] Atul Gupta, Anurag Porippireddi, Venu Uppuluri Srinivasa, Akash Sharma, Mangesh Kadam, "Comparative Study of Single Phase PLL Algorithms for Grid Synchronization Applications," Santerno India Design Center, India. IJECT Vo 1, 3, Issue 4, Oct- Dec 2012.
- [13] Zamratul Fuadi, Mochamad Ashari, dan Feby Agung P, "Perancangan dan Simulasi Full Bridge Inverter Lima Tingkat dengan Dual Buck Converter Terhubung Jaringan Satu Fasa," Jurnal Teknik POMITS Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539.
- [14] M.Archana, Y.C.V.Kondaiah, M.Tech. Scholar, Assistant Professor, "Grid Interfacing Inverter of Renewable Energy Sources to Improve the Power Quality in Distribution System International," Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol.1, Issue 5, November 2012, ISSN: 2278 – 8875.
- [15] Pierre Giroux (2012), "Grid-Connected PV Array," <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34752-grid-connected-pv-array>
- [16] Francisco M. González-Longatt, "Model of Photovoltaic Module in Matlab<sup>TM</sup>," 2do Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación (Ii Cibelec 2005).