

Sistem Panel Surya Terhubung Grid melalui Single Stage Inverter

Muhammad Syafei Gozali¹⁾, Mochamad Ashari²⁾, Dedet C. Riawan³⁾

1) Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam 29461, syafei@polibatam.ac.id

2) Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, ashari@ee.its.ac.id

3) Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, dedet.irawan@ee.its.ac.id

Abstrak – Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berkembang pesat seiring berkurangnya cadangan bahan bakar fosil yang digunakan untuk pembangkit listrik. Untuk memenuhi kebutuhan listrik maka sistem PLTS menggunakan panel surya dapat dihubungkan ke jala-jala (grid). Dari panel surya yang dihubungkan ke grid dibutuhkan dua tingkat konverter. Penggunaan dua tingkat konverter tersebut dapat menurunkan efisiensi sistem. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan topologi single stage inverter (SSI) pada sistem panel surya terhubung grid, yang berfungsi sebagai DC-AC konverter dengan kemampuan menaikkan atau menurunkan tegangan output. Konverter yang digunakan sebagai SSI adalah single stage single phase inverter (SSSP inverter) dengan teknik kontrol switching menggunakan hysteresis current control, agar arus yang mengalir pada komponen SSSP inverter tidak memiliki puncak yang tinggi, sehingga stress pada komponen dapat dikurangi. Pelacakan titik daya maksimum (MPPT) dari panel surya maka digunakan metode P&O. Dari hasil simulasi dengan menggunakan software simulink/MATLAB, besarnya tegangan stress 528 Volt dan puncak arus 24 A dengan daya maksimum panel surya 1440 Wp. Arus digunakan sebagai referensi pada metode P&O mampu melacak titik daya maksimum dari panel surya sebesar 1440 Wp.

Kata Kunci: Panel Surya, Single Stage Inverter, SSSP Inverter, MPPT .

Abstract – Solar power generation systems (PLTS) growing rapidly as the depletion of fossil fuels for power generation. To meet the electricity needs, the solar power generating system using solar panels can be connected to the grid. From solar panels connected to the grid requires two levels of the converter. The use of two levels of the converter can reduce the efficiency of the system. Therefore, in this study used single stage inverter (SSI) topology on grid connected solar panel system, which serves as a DC-AC converter with the ability to raise or lower the output voltage. Converters are used as SSI is single stage single phase inverter (SSSP inverter) with switching control technique using hysteresis current control, so that the current flowing in the SSSP inverter component does not have a high peak, so the stress on the components can be reduced. P & O method is used for Maximum power point tracking (MPPT) of the solar panels. simulink/MATLAB software is used for simulation result. The result for voltage stress and peak current is 528 V and 24 A respectively, for the maximum power of solar panels is 1440 Wp. Current is used as a reference in the P & O method is able to track the maximum power point of the solar panels by 1440 Wp

Keywords: Solar Panels, Single Stage Inverter, SSSP Inverter, MPPT

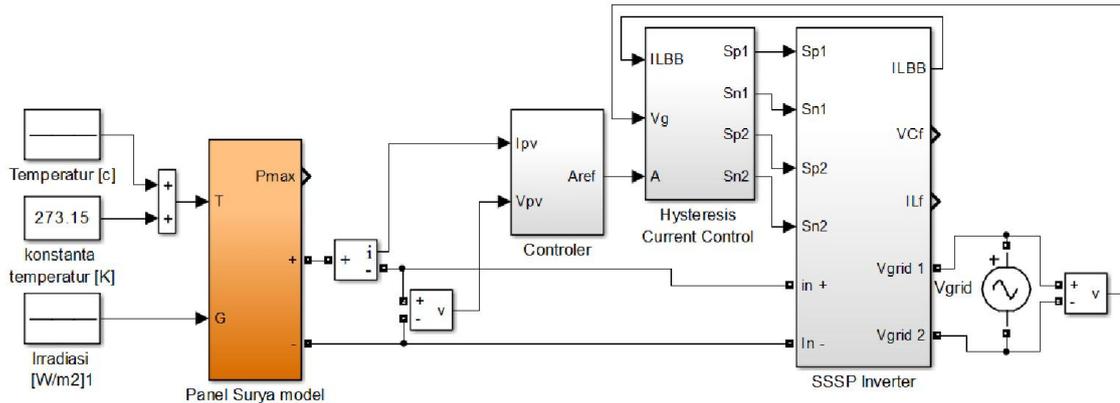
1. PENDAHULUAN

Untuk memenuhi target kebijakan energi nasional tentang penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) untuk pembangkit listrik pada tahun sebesar 17% [1], maka sistem PLTS dapat dihubungkan ke jala-jala (*grid*). Untuk mengkonversi energi surya langsung menjadi listrik dapat digunakan panel surya yang dikonversi menjadi listrik DC. Tetapi, sistem panel surya ini memiliki efisiensi yang rendah, dimana daya yang dihasilkan tergantung dari iradiasi dan suhu pada panel surya. Untuk mengatasi ini, diperlukan tahap untuk mengoptimalkan daya PV dengan teknik *maximum power point tracking* (MPPT).

Jika sistem PV dihubungkan ke *grid*, maka dibutuhkan dua tingkat konversi energi listrik, yaitu konversi DC-

DC (DC-DC *Converter*) untuk *boosting* tegangan dari PV serta berfungsi untuk MPPT dan DC-AC (*inverter*) untuk mengkonversi tegangan DC menjadi AC. Dengan penggunaan dua tingkat konverter maka efisiensi sistem PV berkurang akibat tegangan stress pada komponen konverter [2].

Untuk meningkatkan efisiensi sistem PV maka dapat digunakan topologi *single stage inverter*, yaitu topologi *inverter* pada sistem PV dengan dua fungsi untuk *boosting* tegangan dari panel PV sekaligus konversi tegangan DC-AC. Efisiensi juga dapat dioptimalkan dengan mengoperasikan *switching inverter* dengan mode operasi *continuous conducting mode* (CCM), sehingga tegangan stress dan puncak arus pada komponen *inverter* [3].



Gambar 1: Model sistem panel surya terhubung grid

2. PEMODELAN SISTEM

Model sistem panel Surya terhubung grid pada penelitian yang dilakukan, ditunjukkan pada gambar 1. SSSP inverter digunakan sebagai konverter yang menghubungkan Panel Surya dan grid. SSSP inverter dikontrol dengan menggunakan metoda hysteresis current control agar beroperasi dalam mode CCM. Metoda P&O digunakan sebagai metode kontrol untuk MPPT.

2.1. Pemodelan Panel Surya

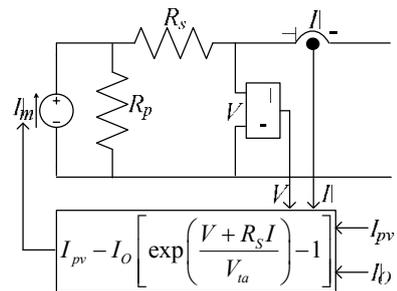
Pemodelan panel surya yang digunakan adalah model PV yang dikembangkan oleh M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F [4]. blok diagram model PV array dapat dibentuk seperti pada gambar 2. Rangkain dari model PV menggunakan satu sumber arus I_m dan dua resistor R_s dan R_p yang terhubung secara seri dan paralel, dengan I_m dihitung menggunakan blok komputasi yang memiliki input V, I, I_O dan I_{pv} . Untuk PV array yang terbentuk dari beberapa PV cell, maka

$$V_w = N_s kT / q, \quad I_{pv} = I_{pv,cell} N_p, \quad I_O = I_{O,cell} N_p, \\ R_s = R_s N_s / N_p \text{ dan } R_p = R_p N_s / N_p, \text{ dengan } N_s \text{ dan } N_p \text{ adalah jumlah PV cell yang terhubung seri dan paralel.}$$

Daya maksimum yang digunakan dari PV array adalah sebesar 1440 W_P, dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi PV modul BP MSX-60 pada iradiasi 1000W/m2 dan temperatur 25°C

Maximum Power (Pmax)	60 W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.1 V
Current at Pmax (Imp)	3.5 A
Short-Circuit Current (ISC)	3.8 A
Open-Circuit Voltage (VOC)	21.1 V
Temperature Coefficient of ISC	(0.065±0.015)%/°C
Temperature Coefficient of VOC	-(80±10)mV/°C
Temperature Coefficient of Power	-(0.5±0.05)%/°C
NOCT2	47±2°C



Gambar 2 : Blok diagram model panel surya

Gambar 3: Model SSSP inverter

2.2. Pemodelan SSSP Inverter

Untuk sistem PV terhubung grid, komponen SSSP inverter terdiri dari, induktor, switch dan dioda, juga dilengkapi filter tegangan dan arus pada sisi grid, serta kapasitor buffer pada sisi PV array, seperti yang ditunjukkan gambar 3.

Nilai komponen yang digunakan pada SSSP inverter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [5]:

1. Persamaan untuk menghitung nilai induktor pada SSSP inverter (L_{BB})

$$L_{BB} = \frac{1}{f_{s(max)} \times 2 \times \Delta I} \times \left(\frac{1}{V_{pv}} + \frac{1}{V_{gm}} \right)^{-1} \quad (1)$$

Dimana:

L_{BB} : Induktor pada SSSP inverter (H)

$f_{s(max)}$: frekuensi maksimum switching (Hz)

ΔI : Limit arus referensi (A)

V_{pv} : Tegangan Panel Surya (V)

V_{gm} : tegangan puncak grid (V)

2. Persamaan untuk menghitung nilai filter kapasitor

$$C_f = \frac{L_{BB} \times A \times \Delta I}{V_{gm} \times \Delta V} \quad (2)$$

Dimana:

C_f : Filter kapasitor (F)

A : Amplitudo maksimum arus referensi (A)

ΔV : Tegangan ripple panel surya maksimum (V)

3. Persamaan untuk menghitung nilai filter induktor

$$L_f = \frac{1}{(2 \times \pi \times f_c)^2 \times C_f} \quad (3)$$

Dimana:

L_f : Filter induktor (H)

f_c : Frekuensi Cutoff (Hz)

4. Persamaan untuk menghitung nilai buffer kapasitor

$$C_p = \frac{2 \times P_{pv}}{4 \times V_{pv} \times 2 \times \pi \times f_g \times \Delta V} \quad (4)$$

Dimana:

C_p : kapasitor buffer (F)

P_{pv} : Daya maksimum panel surya (Wp)

f_g : frekuensi grid (Hz)

dengan menggunakan persamaan 1 s/d 4 maka didapat nilai komponen yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komponen SSSP inverter

L_{BB}	60 W
C_f	17.1 V
L_f	3.5 A
C_p	3.8 A

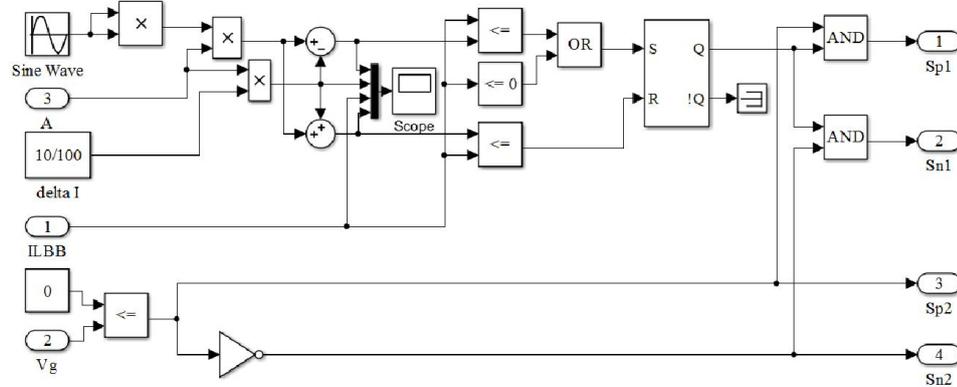
2.3. Pemodelan Hysteresis Current Control

Output kontrol berupa pulsa switching maka model hysteresis current control dapat dibangun dengan menggunakan rangkaian RS FLIP-FLOP, seperti yang ditunjukkan gambar 4.

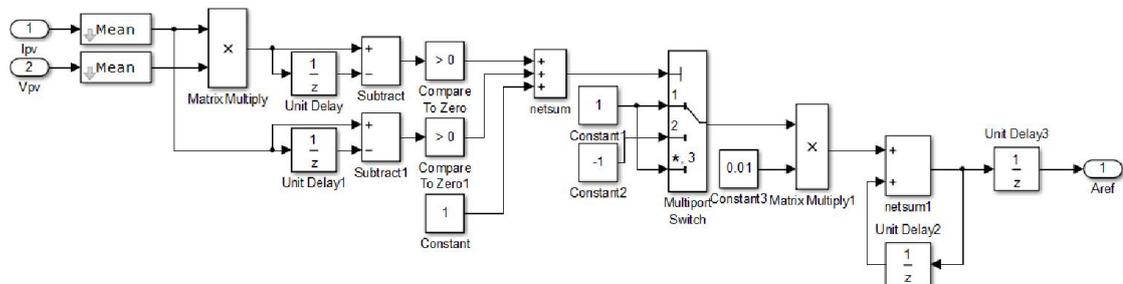
Input $|I^*L|$ dirubah ke bentuk sinusoidal ganda dengan mengalikan $|I^*L|$ dengan \sin^2 . Limit arus referensi ΔI sebesar 10% dari $|I^*L|$, switch Sp1 & Sn1 ON pada kondisi $ILBB \leq 0$ atau $ILBB \leq |I^*L| - \Delta I$, dan switch Sp1 & Sn1 OFF pada kondisi $ILBB \geq |I^*L| + \Delta I$.

Switch Sp2 ON selama siklus positif dan Sn2 ON selama siklus negatif dari tegangan grid V_g , sehingga untuk menghasilkan pulsa switching untuk Sp2 = $V_{grid} > 0$, dan Sn2 = $V_{grid} \leq 0$.

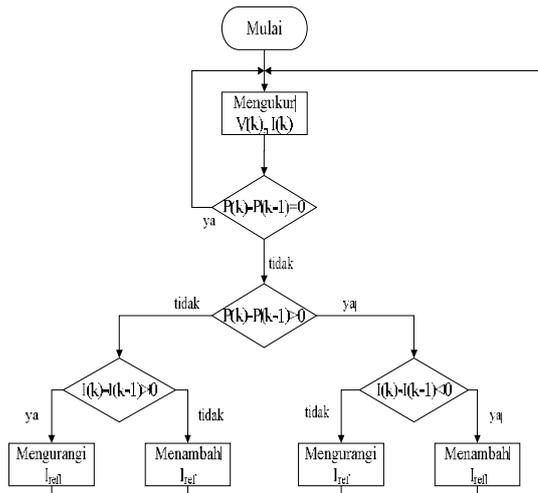
Switch Sp1 akan berfungsi ketika siklus positif dari V_g dan sebaliknya Sn1 berfungsi pada saat siklus negatif, sehingga switch Sp1 di-AND-kan dengan Sp2 dan Sn1 di-AND-kan dengan Sn2.



Gambar 4: Model hysteresis current control



Gambar 5: Model MPPT P&O



Gambar 6: Diagram alir P&O

2.3. Pemodelan MPPT P&O

Metode P&O beroperasi dengan menambahkan atau mengurangi tegangan referensi (V_{ref}) secara periodik. Pada penelitian ini arus yang digunakan sebagai referensi perubahan daya dari panel surya [5]. Model dari MPPT P&O dapat dilihat pada gambar 5 dan Proses P&O ditunjukkan diagram alir pada gambar 6.

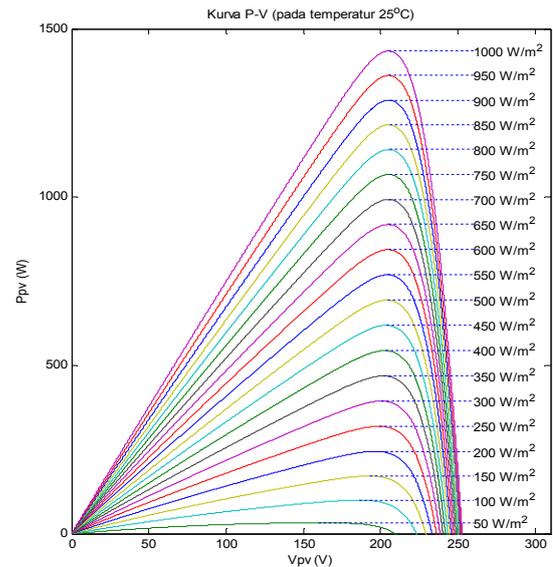
Daya dari panel surya dibandingkan dengan daya sistem. Setelah daya dibandingkan kemudian diamati tegangan dari panel surya dan dibandingkan dengan tegangan dari sistem. Jika daya meningkat maka gangguan (perturb) akan meningkat kearah yang sama untuk siklus berikutnya, jika tidak maka gangguan akan bergerak sebaliknya. Dengan adanya perubahan daya yang terganggu secara tidak langsung juga mengganggu tegangan pada terminal panel surya untuk seluruh siklus pelacakan titik daya maksimum. Dengan menjaga tegangan luaran dari terminal panel surya maka titik daya maksimum juga akan tercapai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

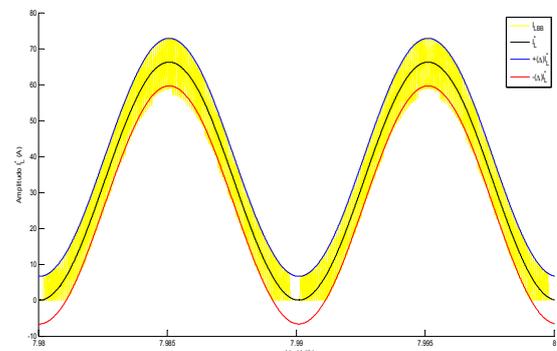
Untuk melihat kinerja dari sistem yang dibuat, maka sistem disimulasikan dengan menggunakan software matlab/simulink.

3.1. Simulasi Model Panel Surya

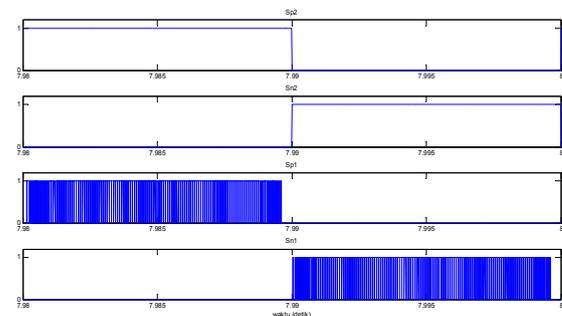
Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk kurva P-V dengan perubahan iradiasi dan temperatur. Gambar 7, menunjukkan kurva P-V dari hasil simulasi untuk perubahan iradiasi pada temperatur 25°C. Dapat dilihat bahwa perubahan iradiasi mengakibatkan berubahnya P_{pv} . Selain itu, V_{pv} juga berubah, tetapi tidak terlalu besar, kecuali pada saat iradiasi yang sangat kecil



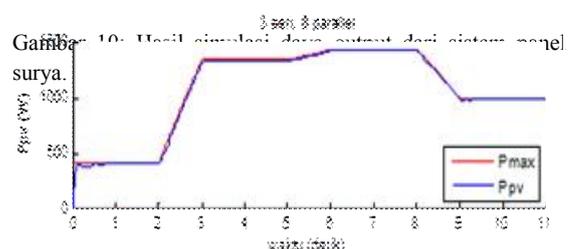
Gambar 7: Hasil simulasi model panel surya



Gambar 8: Hasil simulasi bentuk gelombang I_{LBB}



Gambar 9: Hasil simulasi pola switching inverter



Gambar 10: Hasil simulasi daya output dari sistem panel surya.

Tabel 3. Perbandingan topologi TSC dan SSI

Topologi	Jumlah Switch	Tegangan Stress		Puncak Arus		MPPT	
		DC-DC Converter	Inverter	DC-DC Converter	Inverter	$V_{pv} < V_g$	$V_{pv} > V_g$
TSC	5	≈ 982 V	≈ 981 V	≈ 7 A	≈ 12 A	√	-
SSI	2	-	≈ 528 V	-	≈ 24 A	√	√

3.2. Simulasi Model Hysteresis Current Control

Bentuk gelombang ILBB ditunjukkan gambar 8, pada gambar ini terlihat arus ILBB mengikuti arus referensi I^*L dan masih didalam pita hysteresis ΔI^*L .

Pola switching dari inverter ditunjukkan gambar 13. Seperti yang diharapkan, switch Sp_2 dan Sn_2 bekerja pada frekuensi dari tegangan grid 50 Hz, sedangkan Sp_1 dan Sn_1 bekerja dengan frekuensi tinggi. Pada satu siklus gelombang, jika diambil sampel untuk satu periode switching didapat total waktu ON dan OFF tercepat yaitu $69\mu s$, maka didapat frekuensi switching sebesar 14 kHz.

3.3. Simulasi Sistem Keseluruhan

Simulasi dilakukan pada setiap kombinasi hubungan PV, dengan beberapa tahap perubahan temperatur dan iradiasi. Tahap perubahan temperatur dan iradiasi, yaitu: $21^\circ C$ dan 300 W/m²; $40^\circ C$ dan 1000 W/m²; $25^\circ C$ dan 1000 W/m²; $25^\circ C$ dan 700 W/m². Pada gambar 10 terlihat, besarnya daya output dari panel surya mampu mencapai titik daya maksimum dengan menggunakan metoda P&O ketika terjadi perubahan dari iradiasi dan suhu.

3.4. Perbandingan Topologi Konverter

Untuk melihat efisiensi dari topologi single stage inverter (SSI), maka dibandingkan dengan Topologi two stage converter (TSC) dari sistem panel surya terhubung grid. Pada tabel 3 ditunjukkan hasil pengujian untuk kedua topologi yang mana topologi TSC menggunakan DC-DC Converter yang dihubungkan ke DC-AC Inverter. Pada tabel 3 ini terlihat topologi TSC tidak mampu mencapai daya maksimum ketika tegangan V_{pv} lebih besar dari tegangan V_g , karena MPPT tidak berfungsi. Sedangkan topologi SSI mampu mencapai daya maksimum karena MPPT berfungsi, baik kondisi V_{pv} lebih besar dari V_g ataupun sebaliknya. losses switching yang dihasilkan dari TSC lebih besar karena jumlah switch yang digunakan lebih banyak.

surya lebih kecil dari grid atau sebaliknya. Tetapi pada topologi SSI komponen switching harus memiliki kemampuan menghantar arus yang besar yaitu sebesar 24 A.

DAFTAR REFERENSI

- [1] "Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025", Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2006.
- [2] Billy M. T. Ho, Henry S. H. Chung, and S. Y. R. Hui. "An Integrated Inverter with Maximum Power Tracking for Grid-Connected PV Systems", IEEE, 2004
- [3] S. Jain, V. Agarwal, "A Single-Stage Grid Connected Inverter Topology for Solar PV Systems With Maximum Power Point Tracking," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 5, pp. 1928-1940, Sep. 2007.
- [4] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F. "Modeling and Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays", Brazilian Journal of Power Electronics, Vol. 14, no. 1, pp. 35-45, Februari 2009.
- [5] M. Syafei. G. "Maximum Power Point Tracking Menggunakan Artificial Neural Network untuk Sistem PV Terhubung Grid Melalui Wide Range Input Inverter". Tesis. Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi menggunakan simulink/MATLAB. Topologi single stage inverter dapat meningkatkan efisiensi dari sistem PLTS yang terhubung ke grid, dengan tegangan stress dari komponen switching pada konverter yang lebih rendah, dibandingkan jika menggunakan topologi two stage converter. Besarnya tegangan stress pada SSI dan TSC sebesar 528 V dan 982 V.

Kemampuan mencapai titik daya maksimum dari sistem juga tercapai baik pada saat tegangan panel

