

## Metode Penggabungan Daya Secara Adaptif Untuk Power Supply Hibrida

Tri Wahyu Supardi\*<sup>1</sup>, Agus Harjoko<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: \*<sup>1</sup>[twsupardi@ugm.ac.id](mailto:twsupardi@ugm.ac.id), <sup>2</sup>[aharjoko@ugm.ac.id](mailto:aharjoko@ugm.ac.id)

### Abstrak

*Solar cell adalah sumber listrik yang sustainable tetapi daya listrik yang dihasilkan tidak konstan tergantung pada sinar matahari. Sumber listrik lain diperlukan untuk mengantisipasi kekurangan daya ketika daya yang dihasilkan oleh solar cell tidak cukup.*

*Pada makalah ini diusulkan desain power suplai hibrida yang menggabungkan listrik dari solar cell, jaringan penyedia listrik, dan baterai. Makalah ini membahas metode hibrida daya dari ketiga sumber listrik. Hibrida daya biasanya dilakukan dengan PCC (Power Controlled Converter) yang terdiri dari converter daya terkontrol untuk tiap kanal masukan, tapi pada penelitian ini diusulkan metode hibrida daya berupa sinkronisasi spesifikasi masukan kemudian rangkaian PCC digantikan oleh rangkaian dioda.*

*Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi metode hibrida yang diusulkan dapat melakukan pengambilan daya hibrida maupun tunggal, dan dapat melakukan pemindahan pengambilan daya antar sumber tanpa jeda. Implementasi metode hibrida yang diusulkan memiliki rentang tegangan keluaran 21VDC – 43.78VDC dan efisiensi 98.6% - 99.5%.*

**Kata kunci**— PSU, Power Suplai Hibrida, Solar cell, Baterai, Metode hibrida daya

### Abstract

*Solar cell is a sustainable source of electricity but power output is not constant depending on the sunlight. The power source is needed to anticipate the lack of power when the power generated by the solar cell is not enough.*

*In this paper proposed a hybrid design that combines the power supply of electricity from the solar cell, the network provider of electricity, and batteries. This paper discusses methods of hybrid electric power from three sources. Hybrid power is usually done by PCC (Power Controlled Converter), which consists of a controlled power converter for each channel input, but in this study the method proposed hybrid power input specification in the form of a synchronization circuit PCC then replaced by a diode circuit.*

*The test results showed that the implementation of the proposed hybrid method can perform a single capture or hybrid power, and can transfer power between the source retrieval without pause. Implementation of the proposed hybrid method has a 21VDC output voltage range - 43.78VDC and efficiency of 98.6% - 99.5%.*

**Keywords**— PSU, Hybrid Power Supply, Solar cell, Battery, Power Hybrid Method

## 1. PENDAHULUAN

Layanan publik berbasis komputer membutuhkan suplai listrik. Beberapa daerah di Indonesia masih mengalami kendala tentang suplai listrik, ini mengganggu layanan public. Kendala yang terjadi adalah listrik dari jaringan penyedia listrik sering mati [1] atau memang didaerah itu kesulitan pasokan listrik maka listrik hanya dipasok untuk penerangan malam hari, atau sama sekali belum mendapat pasokan listrik[2]. Salah satu upaya untuk menyediakan suplai listrik adalah menggunakan listrik dari genset berbahan bakar minyak (BBM), tapi juga memiliki kendala operasional [3] dan kendala pasokan BBM [4].

Kendala suplai listrik menyebabkan power suplai dari sumber listrik alternative lain menjadi sangat diperlukan. Salah satu sumber listrik alternative adalah solar cell. Solar cell adalah sumber listrik yang sustainable tetapi daya listrik yang dihasilkan tidak konstan tergantung pada sinar matahari. Sumber listrik lain diperlukan untuk mengantisipasi kekurangan daya ketika daya yang dihasilkan oleh solar cell tidak cukup. Keberadaan sumber listrik yang berjumlah dua atau lebih memerlukan alat yang bisa memindahkan saluran daya dari satu sumber ke sumber yang lain, atau alat yang bisa menggabungkan daya listrik dari satu atau lebih sumber listrik yang disebut dengan HPSS(*Hybrid Power Supply System*) [5]. HPSS akan semakin banyak dibutuhkan, diterapkan, dan dikembangkan karena kebutuhan kapasitas perkembangan kapasitas kebutuhan listrik, isu pemanasan global, dan isu teknologi ramah lingkungan, yang mendorong berbagai pihak untuk mencari dan memanfaatkan berbagai sumber energi alternative baru, terbarukan, dan ramah lingkungan [5].

Penelitian tentang HPSS sebelumnya ada yang menggabungkan energi dari fuel cell - solar cell [6], menggabungkan energi solar cell – generator angin – fuel cell – baterai [7], menggabungkan energi dari fuel cell – baterai [8], menggabungkan energi dari generator angin – baterai – solar cell – generator diesel – grid penyedia listrik [5]. Pada penelitian ini HPSS yang diusulkan menggabungkan energi dari solar cell – grid penyedia listrik – baterai. Penggabungan daya atau hibrida daya biasanya dilakukan dengan PCC(*Power Controlled Converter*) yang terdiri dari converter daya terkendali untuk tiap kanal masukan kemudian memerlukan sensing dan piranti programmable untuk mengendalikannya [5][6][7][8][9][10][11][12]. Pada makalah ini diusulkan metode hibrida daya adaptif yang algoritmenya diwujudkan dengan sinkronisasi tegangan alamiah dari solar cell dan baterai, untuk mengurangi penggunaan perangkat konversi agar didapatkan efisiensi yang lebih baik.

## 2. METODE PENELITIAN

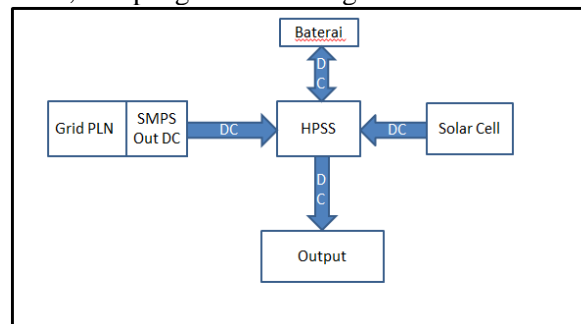
### 2.1 Rancangan Fungsional Power Suplai Hibrida

Catu daya yang dikembangkan adalah catu daya HPSS yang menggabungkan sumber listrik dari *solar cell*, PLN, dan baterai. Pada daerah lokasi kantor layanan public di Indonesia dapat diasumsikan terdapat sinar matahari pada waktu operasional, maka dipilih sumber dari *solar cell* sebagai sumber listrik prioritas pertama. Pada lokasi layanan publik di Indonesia bisa jadi sudah ada listrik PLN (perusahaan penyedia listrik) tapi sebagian tidak kontinu pada waktu operasional, maka listrik PLN tetap dapat dimanfaatkan.

Kombinasi listrik PLN dan solar cell masih memungkinkan terjadinya daya listrik turun secara bersamaan, yaitu listrik PLN off ketika terjadi mendung atau hujan, maka perlu back-up energi cadangan yang pada sistem ini dipilih dari energi yang disimpan pada baterai. Urutan prioritas penggunaan energi adalah :

1. *Solar cell*
2. Listrik Jaringan PLN
3. Baterai

Gambar 1 adalah gambaran umum sistem yang dikembangkan. Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa HPSS yang dikembangkan disuplai energi listrik dari solar cell, dari grid PLN yang sudah dikonversikan ke tegangan DC, dan dari baterai. Pada baterai terjadi pengisian energi baterai melalui HPSS, dan pengambilan energi dari baterai ke HPSS.



Gambar 1 Gambaran umum power suplai yang dikembangkan

Tabel 1 Rancangan fungsional HPSS

Kondisi	Solar cell	Baterai	PLN	Fungsi HPSS
1	$P > \text{Load}$	$E_{\text{batt}} < E_{\text{full}}$	Tersedia maupun tidak tersedia	Ambil energi dari <i>solar cell</i> untuk suplai beban, isi energi baterai
2	$P < \text{Load}$	$E_{\text{batt}} < E_{\text{full}}$	Tersedia	Ambil energi maksimal <i>solar cell</i> , ambil energi dari PLN, isi baterai
3	$P < \text{Load}$	$E_{\text{batt}} \leq E_{\text{full}}$	Tidak tersedia	Ambil energi maksimal solar cell, ambil energi dari baterai
4 (darurat)	$P = 0$	$E_{\text{batt}} \leq E_{\text{full}}$	Tidak tersedia	Ambil energi dari baterai

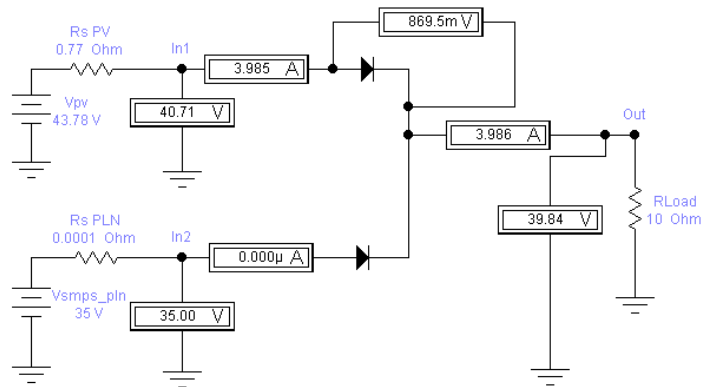
Rancangan fungsional HPSS yang dikembangkan mengacu pada empat kondisi utama seperti Tabel 1. Kondisi 1 adalah ketika daya yang tersedia dari *solar cell* lebih besar daripada daya yang dipakai oleh beban PC. Kondisi 2 adalah ketika daya yang tersedia pada *solar cell* lebih kecil daripada daya yang dipakai beban PC dan listrik PLN tersedia. Kondisi 3 adalah ketika daya yang tersedia di *solar cell* lebih kecil daripada PC dan listrik PLN tidak tersedia. Kondisi 4 adalah yaitu ketika listrik *solar cell* dan PLN tidak tersedia. Kondisi 4 adalah kondisi darurat HPSS hanya berfungsi seperti UPS untuk memberikan waktu kepada operator untuk menyimpan data dan *shutdown* sistem.

## 2. 2 Metode Hibrida Daya

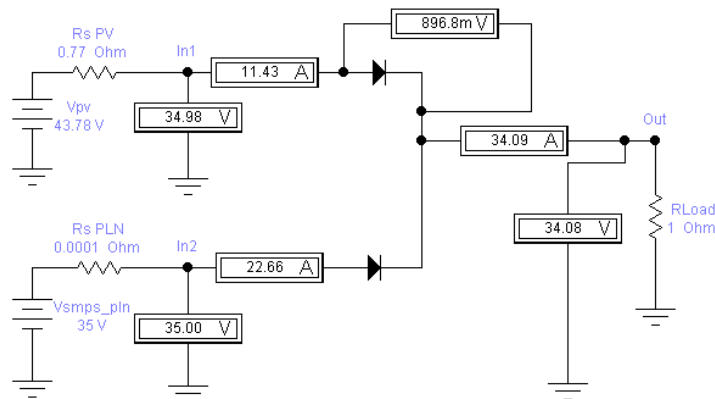
PCC pada penelitian-penelitian sebelumnya umumnya memakai *DC to DC converter* untuk setiap sumber listrik. Pengaturan pengambilan daya dilakukan dengan mengatur tegangan keluaran konversi tiap sumber. Pengaturan tegangan keluaran dilakukan melalui pengaturan lebar pulsa converter.

Rancangan PCC yang dikembangkan pada penelitian ini tidak menggunakan converter untuk mengendalikan pengambilan daya. Ketiga sumber listrik diparalel menggunakan diode. Rancangan PCC yang dikembangkan adalah memanfaatkan sifat alamiah hubungan tegangan dan arus *solar cell*. Jika solar sel dibebani dengan arus tertentu maka tegangan solar sel akan turun. Pengambilan daya maksimal dari *solar cell* terjadi ketika *solar cell* dibebani sampai tegangan outputnya adalah  $V_{mp}$  (tegangan *Maksimum Power*) [13]. Masing-masing sumber dapat direpresentasikan berdasar konsep thevenin sebagai sumber tegangan yang dirangkai seri dengan  $R_s$  (resistansi seri) atau  $R_{th}$  (Resistansi thevenin).

Pada simulasi Gambar 2 ditunjukkan jika sumber tegangan dirangkai parallel melalui diode kemudian dihubungkan ke beban, maka beban akan mengambil arus dari sumber yang tegangannya yang lebih tinggi.



Gambar 2 Simulasi dua sumber beda nilai tegangan yang dirangkai parallel dengan diode, arus beban dari sumber yang tegangannya lebih besar



Gambar 3 Simulasi dua sumber beda nilai tegangan yang dirangkai parallel dengan diode, arus beban dari kedua sumber

Pada Gambar 3 ditunjukkan simulasi jika pengambilan arus dari salah satu sumber menyebabkan penurunan tegangan hingga sama dengan sumber yang lain, maka arusnya akan diambil dari kedua sumber. Berdasar KVL (*Kirchoff Voltage Law*):

$$V_{pv} - I_{pv} \cdot R_{s\_pv} - V_d - V_{load} = 0 \quad (1)$$

$$V_{smpls\_pln} - I_{smpls\_pln} \cdot R_{s\_smpls\_pln} - V_d - V_{load} = 0 \quad (2)$$

Pada desain HPSS ini smps PLN dibuat menggunakan regulator tegangan, maka selama bekerja dalam rentang spesifikasi daya smps dapat diasumsikan bahwa  $R_{s\_smpls\_pln} \rightarrow$  mendekati 0. Substitusi persamaan (1) dan (2) menjadi persamaan (3).

$$V_{pv} - I_{pv} \cdot R_{s\_pv} - V_d - (V_{smpls\_pln} - I_{smpls\_pln} \cdot 0 - V_d) = 0 \quad (3)$$

$$V_{pv} - I_{pv} \cdot R_{s\_pv} - V_{smpls\_pln} = 0 \quad (4)$$

$$I_{pv} = (V_{pv} - V_{smpls\_pln}) / R_{s\_pv} \quad (5)$$

Jika tegangan *solar cell* saat daya maksimal adalah dari  $V_p$  menjadi  $V_{mp}$ , maka:

$$V_{pv} - I_{pv} \cdot R_{s\_pv} = V_{mp} \quad (6)$$

Berdasar persamaan (4) jika disubstitusikan dengan persamaan (6) menjadi:

$$V_{mp} = V_{smpls\_pln} \quad (7)$$

Berdasar persamaan (7) agar sistem mengambil arus dari smps pln tepat setelah  $V_{mp}$  tercapai maka nilai  $V_{smpls\_pln}$  harus disetting sama dengan nilai  $V_{mp}$

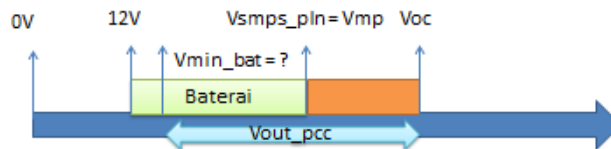
Jika  $V_{smpls\_pln}$  disetting pada tegangan  $V_{mp}$ , maka  $I_{pv}$  pada persamaan (5) adalah arus solar cell ketika daya solar cell maksimal atau  $I_{mp}$  (arus *maximum power*). Proporsi arus yang diambil dari masing-masing sumber berdasar KCL (*Kirchoff Current Law*) adalah:

$$I_{load} = I_{pv} + I_{smpls\_pln} \quad (8)$$

Pada rancangan ini pada saat daya *solar cell* maksimal  $I_{pv} = I_{mp}$ .

### 2.3 Penentuan Spesifikasi Sumber Tegangan

Berdasar rancangan fungsional Tabel 1, dimana pengambilan energi dari baterai adalah prioritas terakhir maka tegangan baterai harus kurang dari tegangan smps pln. Jika tegangan keluaran hasil hibrida akan diturunkan ke tegangan 12 V menggunakan *buck converter* misalnya untuk menghidupkan power supply ATX yang memiliki tegangan keluaran maksimal 12 V [14][15], maka  $V_{pcc}$  harus lebih tinggi dari tegangan kebutuhan 12V.



Gambar 4 Rancangan ketentuan tegangan PCC

Jika solar cell harus menjadi sumber prioritas pertama, maka tegangan daya maksimal dari solar cell harus diatas tegangan maksimal baterai. Jika listrik PLN menjadi prioritas kedua maka listrik PLN harus dikonversikan ke tegangan daya maksimal solar cell, sehingga ketika solar cell sudah turun mencapai tegangan daya maksimal, pengambilan daya dari PLN mulai dilakukan. Susunan sinkronisasi tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.

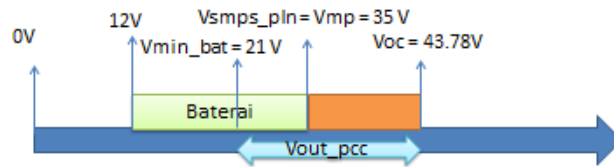
Dari rancangan ketentuan tegangan PCC Gambar 4 dapat ditentukan tegangan baterai harus lebih dari 12 V maka dapat digunakan 2 buah baterai 12 V yang dirangkai seri. Pada penelitian ini menggunakan baterai dari UPS Prolink PRO1200SV, dua buah baterai 12V 8.2 Ah. Menurut spesifikasi baterai UPS ini dapat melakukan back up 8-40 menit tergantung pada beban. Tegangan minimal yang diperbolehkan tiap baterai saat dibebani adalah 10.5 V.

Tabel 2 Rangkuman spesifikasi sumber tegangan

No	Jenis	Spesifikasi
1	Solar cell	Merk : Rayden RDP100P Daya maksimal : 100 W Vmp : 17.5V Imp : 5.71A Voc : 21.89 V Jumlah : 4 buah, 2 - 2 rangkai seri lalu diparalel
2	SMPS	Merk : Eltek Flatpack2 48 Vout 48 V dimodifikasi menjadi 35 V Daya Maksimal 1500W Jumlah : 1 buah
3	Baterai	Merk : PROLINK FIDA1270 Vout : 12V Kapasitas : 8.2 Ah Standby Use : 13.4 – 13.8 V Charging current : maks 2.1 A Jumlah 2 buah, rangkai seri Waktu back up : spesifikasi 8 – 40 menit

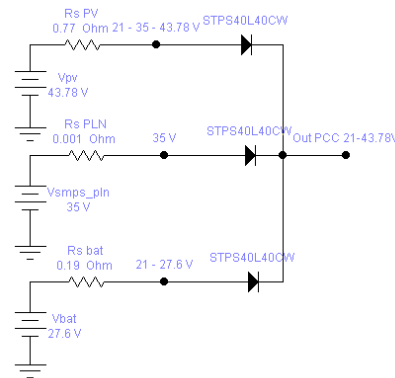
Tegangan  $V_{mp}$  solar sel harus lebih besar dari tegangan baterai, dan spesifikasinya lebih dari 350 W maka dipilih 4 solar cell yang masing-masing dayanya 100 W, tegangan  $V_{mp}$  17.5 dirangkai dua seri kemudian diparalel. Pada penelitian ini menggunakan Rayden RD100P-18 Voc 21.89 V,  $V_{mp}$  17.5 V.  $V_{mp}$  2 *solar cell* yang dirangkai seri adalah 35 V maka output SMPS disetting 35 V.

Pada penelitian ini menggunakan SMPS Eltek Flatpack2 48 yang dimodifikasi tegangannya menjadi 35 V. Rangkuman spesifikasi masing-masing sumber ditunjukkan pada Tabel 2. Dari spesifikasi pada Tabel 2 diagram rancangan tegangan PCC dapat ditentukan nilainya menjadi seperti pada Gambar 5



Gambar 5 Diagram rancangan tegangan PCC

Masukan tegangan PCC adalah 21V sampai 43.78V dan keluarannya adalah samadengan masukan dikurangi tegangan maju diode. Berdasar datasheet beberapa dioda, untuk meningkatkan efisiensi dipilih dioda yang tegangan majunya paling rendah yaitu STPS60L45CW. Skema rancangan PCC dan spesifikasi sumber listrik pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.

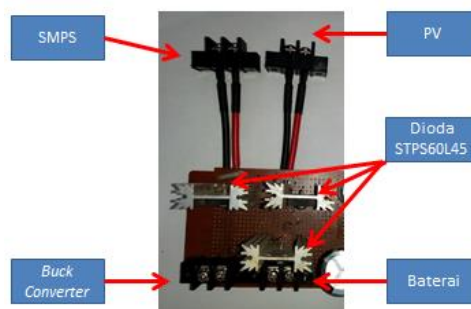


Gambar 6 Skema rancangan PCC dan konfigurasi sumber listrik

PCC pada penelitian ini didesain hanya 3 buah dioda STPS60L45CW yang outputnya digabungkan menjadi satu sebagai output PCC. Input PCC harus memenuhi kriteria tegangan sesuai diagram rancangan tegangan PCC, pada Gambar 6 masing-masing sumber direpresentasikan sebagai sumber tegangan dengan sebuah hambatan seri  $R_s$ .  $V_{pv}$  adalah sumber tegangan solar cell,  $V_{smpls\_pln}$  adalah sumber tegangan PLN yang sudah dikonversikan ke tegangan DC, dan  $V_{bat}$  adalah sumber tegangan dari baterai.

#### 2.4 Implementasi

Gambar 7 menunjukkan implementasi rancangan PCC dengan komponen dioda STPS60L45. Dalam satu kemasan dioda STPS60L45CW terdapat dua buah dioda yang mengarah ke kaki tengah. Pada masing-masing dioda dipasang *heatsink* aluminium untuk membuang panas dioda yang ditimbulkan oleh daya yang terdisipasi di dioda.



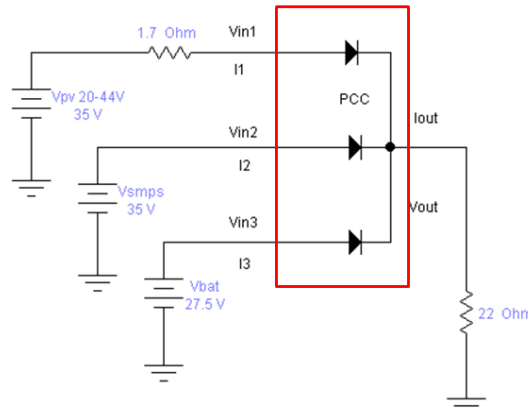
Gambar 7 Implementasi PCC

PCC dibuat memiliki 4 terminal, terdiri dari 3 terminal masukan dan 1 terminal keluaran. Pada Gambar 7 terminal masukan dari *solar cell* ditunjukkan oleh keterangan “PV”. Terminal masukan dari SMPS PLN ditunjukkan oleh keterangan “SMPS”. Terminal masukan dari baterai ditunjukkan oleh keterangan “Baterai”.

Daya dari SMPS dan PV dihubungkan ke output PCC oleh satu kemasan dioda STPS60L45CW yang berada di sebelah kiri atas pada Gambar 7. Daya dari SMPS dan PV dihubungkan ke MPPT *charging controller* oleh satu kemasan dioda STPS60L45CW yang berada di kanan atas. Daya dari baterai dihubungkan ke output PCC oleh satu kemasan dioda STPS60L45CW yang input kedua diodanya dirangkai paralel.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

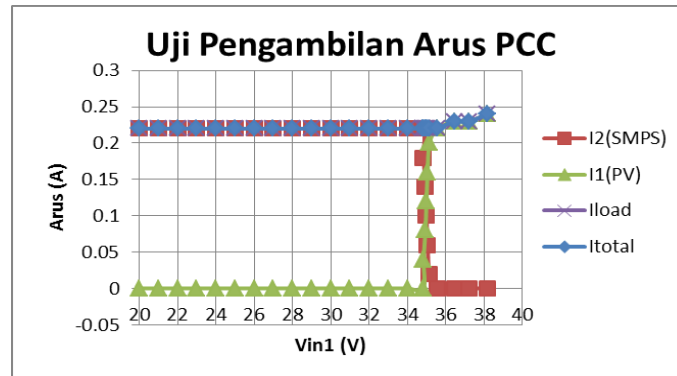
PCC diuji untuk mengetahui apakah pada PCC dapat dilakukan peralihan pengambilan daya dari satu sumber ke sumber yang lain, dan apakah pada PCC dapat dilakukan pengambilan daya dari lebih dari satu sumber secara bersamaan, sehingga sistem yang dikembangkan dapat bersifat hibrida. Pengujian PCC dilakukan dengan skema seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Masukan PCC adalah Vin1, Vin2, Vin3. Vin1 adalah representasi tegangan dari *solar cell*, digantikan *variable power supply* yang dirangkai seri dengan sebuah resistor.



Gambar 8 Skema pengujian PCC

Pada pengujian PCC Vbat diberikan nilai 0V untuk melihat peralihan arus dari dua masukan PCC, pada pengujian ini diwakili oleh Vin1 dan Vin2. Tegangan dari SMPS yang terhubung ke listrik PLN adalah  $Vin2 = Vsmpls\_pln = 35.1V$ . Tegangan *solar cell* adalah tegangan Vin1, yaitu tegangan hasil rangkaian seri resistor dengan sumber tegangan Vpv yang divariasikan dari 20 – 44 V. Pada pengujian ini parameter yang diukur adalah Vin1, Vout, I1, I2, dan I3.

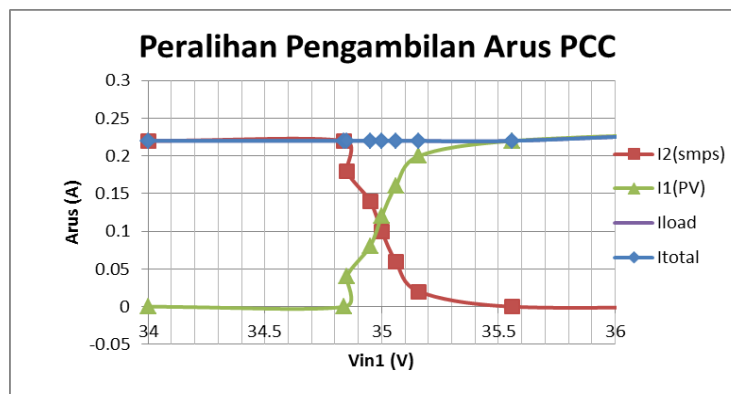
Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian fungsi pengaturan pengambilan arus pada PCC. Pada pengujian ini diamati peralihan pengambilan arus dari dua sumber masukan PCC Vin1 dan Vin2 agar karakter peralihannya dapat mudah dilihat. Grafik pada Gambar 9 menunjukkan ada daerah peralihan pengambilan arus yaitu ketika Vin1 bernilai sekitar 35V. Ketika nilai Vin1 kurang dari daerah peralihan, arus hanya diambil dari sumber I2 (SMPS), sementara I1 bernilai 0A. Setelah Vin1 lebih besar dari daerah peralihan, arus hanya diambil dari sumber I1 sedangkan I2 bernilai 0A, berarti proses peralihan pengambilan arus telah dapat dilakukan oleh PCC dari satu sumber ke sumber lainnya yang tegangannya lebih besar.



Gambar 9 Grafik pengujian fungsi pengaturan pengambilan arus PCC

Berdasar hukum arus Kirchoff, jumlah arus yang keluar sama dengan jumlah arus yang masuk. Jumlah arus yang keluar adalah  $I_{load}$ , sedangkan arus yang masuk adalah  $I_1$  dan  $I_2$ , hasil penjumlahan  $I_1$  dan  $I_2$  adalah  $I_{total}$ , maka berdasar teori  $I_{load}$  nilainya sama dengan  $I_{total}$ . Pada grafik Gambar 9 ditunjukkan bahwa grafik  $I_{load}$  berhimpit dengan  $I_{total}$ , berarti nilai  $I_{load}$  dan  $I_{total}$  relative sama besar sesuai hukum arus Kirchoff.

Data pada Tabel 3 dicuplik pada  $V_{in}$  34V hingga 36V untuk melihat karakter daerah peralihan karena arus  $> 0A$  pada kedua sumber saat  $V_{in1}$  bernilai 34.85V hingga 35.16V. Analisis daerah peralihan untuk mengetahui apakah pada PCC dapat dilakukan pengambilan arus secara bersamaan dari dua sumber, dan untuk menganalisa karakter daerah peralihan. Grafik karakter PCC pada daerah peralihan ditunjukkan pada Gambar 10.



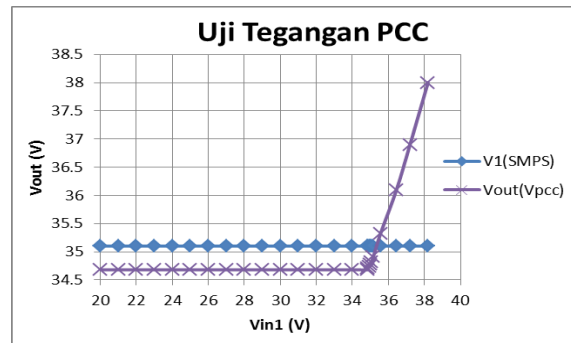
Gambar 10 Grafik daerah peralihan pengambilan arus PCC

Grafik Gambar 10 menunjukkan bahwa ketika tegangan  $V_{in1}$  bernilai 34.8V, arus yang diambil dari sumber  $I_2$  mulai berkurang, arus yang diambil dari sumber  $I_1$  mulai bertambah. Ketika nilai  $V_{in1}$  semakin besar dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa proporsi arus yang diambil dari sumber  $I_1$  semakin besar, dan proporsi arus yang diambil dari sumber  $I_2$  semakin kecil. Jika tegangan  $V_{in1}$  bernilai 35V besar maka arus dari sumber  $I_1$  dan  $I_2$  adalah sama besar. Jika  $V_{in1}$  lebih besar dari 35V, maka arus yang diambil dari sumber  $I_1$  lebih besar daripada arus yang diambil dari sumber  $I_2$ . Hasil penjumlahan arus yang diambil dari kedua sumber nilainya sama dengan nilai  $I_{load}$ . Dari analisis daerah peralihan ini dapat disimpulkan bahwa pada PCC dapat dilakukan pengambilan arus secara bersamaan dari lebih dari satu sumber, pada pengujian  $V_{in1}$  dan  $V_{in2}$  ini terjadi ketika tegangan  $V_{in1}$  bernilai antara 34.8V hingga 35.6V.

Rancangan PCC yang dikembangkan memiliki nilai  $V_{pcc}$  (tegangan output PCC) yang tidak konstan, tetapi memiliki rentang tegangan terendah dan tertinggi. Gambar 11 grafik hasil pengujian  $V_{pcc}$  dengan masukan dua sumber tegangan yaitu  $V_{in1}$  representasi dari *solar cell*



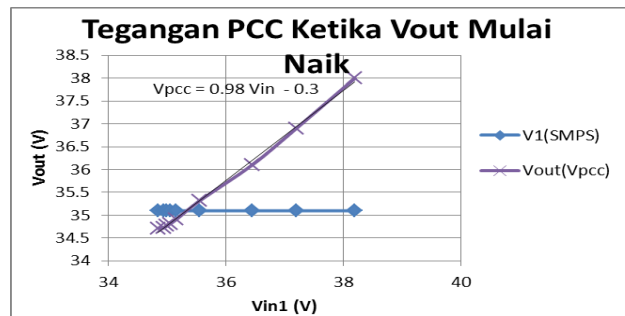
dan  $V_{in2}$  representasi dari SMPS. Grafik Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai  $V_{pcc}$  ketika  $V_{in1} \leq 34.8V$  dan  $V_{in2} = 35.1V$  adalah konstan bernilai  $34.68V$ .



Gambar 11 Grafik pengujian tegangan PCC

Jika grafik tegangan Gambar 11 pada daerah nilai  $V_{pcc}$  konstan dikombinasikan dengan grafik arus pada Gambar 9 pada variabel  $V_{in1}$  yang sama, maka kinerja PCC akan sesuai dengan Gambar 2 dimana PCC hanya mengambil arus dari salah satu sumber yang tegangannya lebih besar daripada sumber yang lain, dan tegangan keluaran PCC adalah sama dengan  $V_{in}$  (tegangan sumber tersebut) dikurangi  $V_d$  (penurunan tegangan pada dioda).

$$V_{pcc} = V_{in} - V_d \quad (10)$$



Gambar 12 Grafik tegangan PCC ketika mulai naik

Besar penurunan tegangan dioda adalah  $35.1V$  dikurangi  $34.8V$  yaitu  $0.3V$ . Penurunan tegangan maju dioda sebesar  $0.3V$  sesuai dengan referensi datasheet dioda STP60L45CW [16]. Pada datasheet dioda STPS60L45CW digambarkan bahwa penurunan tegangan maju dioda STP60L45CW adalah antara  $0.3V$  pada suhu dioda  $75^\circ C$  hingga  $0.33V$  pada suhu dioda  $25^\circ C$  [16], maka jika variabel  $V_d$  persamaan 1 diberi nilai  $0.3V$  menjadi :

$$V_{pcc} = V_{in} - 0.3 \text{ pada } V_{in} \leq 34.8V \quad (11)$$

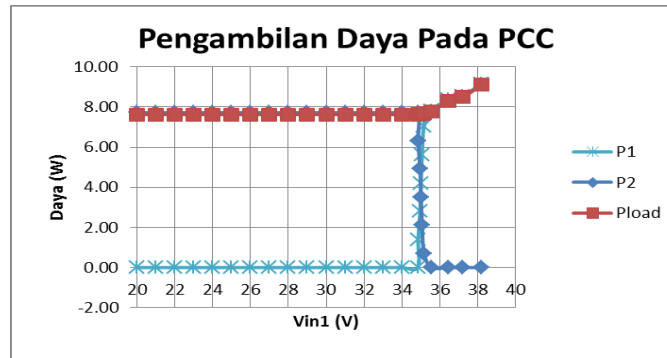
Gambar 12 menunjukkan bahwa ketika  $V_{pcc}$  mulai naik,  $V_{pcc}$  bergerak naik secara linear dengan fungsi pendekatan seperti persamaan (12)

$$V_{pcc} = 0.98.V_{in} - 0.3 \text{ pada } V_{in} > 34.8V \quad (12)$$

Bentuk fungsi persamaan (11) dan persamaan (12) sama-sama linear dan memiliki nilai konstanta yang sangat berdekatan, hal ini membuktikan bahwa persamaan 10 berlaku pada PCC yang dibuat. Proses pengambilan daya dari dua sumber pada PCC dapat diperhitungkan dari pengambilan arus dan nilai tegangan masing-masing sumber.

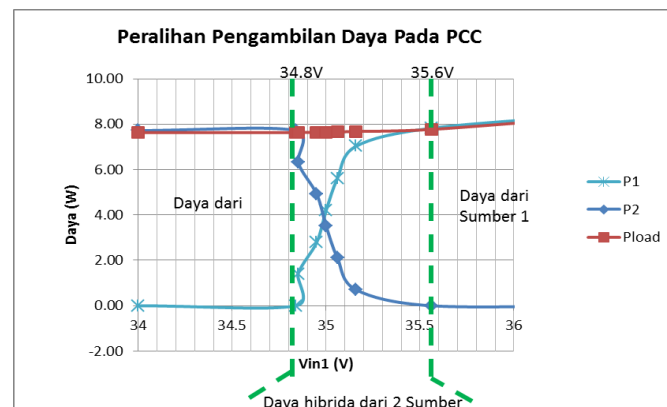
$$P \text{ (daya dalam watt)} = V \text{ (tegangan)} \times I \text{ (arus)} \quad (13)$$

Data tegangan dan arus dari Tabel 3 dapat dibuat tabel pengambilan daya pada PCC seperti ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 13 Grafik pengambilan daya pada PCC

Gambar 13 menunjukkan bahwa pada PCC dapat terjadi peralihan pengambilan daya dari satu sumber ke sumber yang lain. Ketika  $V_{in1}$  bernilai lebih kecil daripada nilai tegangan daerah peralihan, daya untuk beban diambilkan dari sumber  $V_{in2}$  semua, daya dari  $V_{in1} = 0W$ . Jika  $V_{in}$  lebih besar daripada nilai tegangan daerah peralihan, maka daya untuk beban diambilkan dari sumber  $V_{in1}$  semua, daya dari sumber  $V_{in2} = 0W$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada PCC dapat dilakukan peralihan pengambilan daya dari satu sumber ( $V_{in2}$ ) ke sumber lainnya ( $V_{in1}$ ).



Gambar 14 Grafik peralihan pengambilan daya pada PCC

Grafik Gambar 14 menunjukkan karakter pengambilan daya pada area peralihan sumber daya. Pada daerah tegangan  $V_{in}$  bernilai 34.8V hingga 35.6V terjadi pengambilan daya dari dua buah sumber atau terjadi proses hibrida daya. Ketika tegangan  $V_{in1} > 34.8V$ , semakin besar nilai  $V_{in}$  maka pengambilan daya dari sumber  $V_{in1}$  semakin besar juga. Pengambilan daya dari kedua sumber sama besar ketika  $V_{in1} = 35V$ .

$$\text{Efisiensi} = P_{out}/P_{in} \times 100\% \quad (14)$$

Grafik efisiensi PCC pada pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 15. Dari Gambar 15 dapat diketahui bahwa efisiensi PCC rata-rata lebih tinggi jika  $V_{in} > 35V$ . Dari data tabel, nilai efisiensi rata-rata PCC pada pengujian ini adalah 99%. Secara matematis nilai efisiensi dapat diperoleh dari penjabaran persamaan 14.

$$\text{Efisiensi} = (V_{out} \cdot I_{out}) / (V_{in} \cdot I_{in}) \times 100\% \quad (15)$$

Analisis efisiensi pengambilan jika daya hanya diambil dari satu sumber :

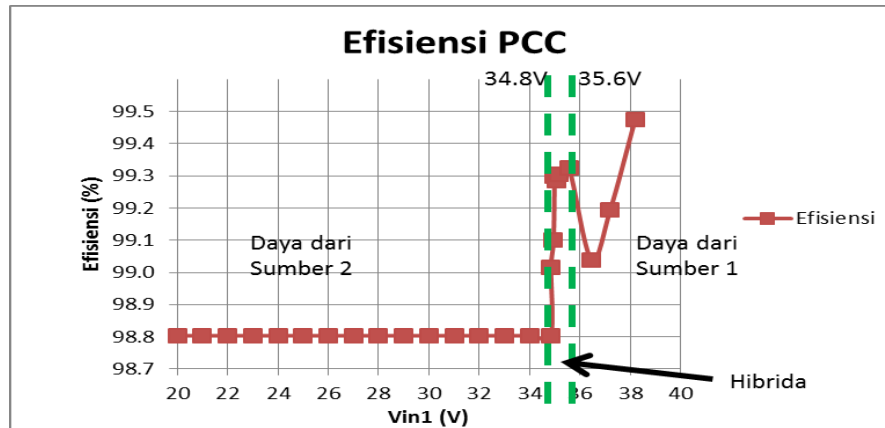
$$\text{Efisiensi} = (V_{out} \cdot I_{out}) / ((V_{out} + V_d) \cdot I_{in}) \times 100\% \quad (16)$$

Pada persamaan (16),  $I_{out} = I_{in}$  karena ketika diambilkan dari satu sumber, maka:

$$\text{Efisiensi} = V_{out} / (V_{out} + V_d) \times 100\% \quad (17)$$

Atau sama dengan

$$\text{Efisiensi} = (V_{in} - V_d) / V_{in} \times 100\% \quad (18)$$



Gambar 15 Efisiensi PCC

Dari persamaan 18 dapat diketahui ketika daya diambil hanya dari salah satu sumber, jika  $V_{in}$  semakin besar maka efisiensi akan semakin besar. Jika pengambilan daya dilakukan dari dua sumber pada daerah peralihan maka:

$$\text{Efisiensi} = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in1} \cdot I_{1} + V_{in2} \cdot I_{2}} \times 100\% \quad (19)$$

Ketika pengambilan daya pada kedua sumber besarnya adalah sama dan rangkaian menggunakan dioda yang karakteristiknya sama, maka  $I_1 = I_2$ ,  $V_{in1} = V_{in2}$ ,  $V_d1 = V_d2$ .

$$\text{Efisiensi} = \frac{(V_{in} - V_d) \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in} + V_{in} \cdot I_{in}} \times 100\% \quad (20)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{2 \cdot V_{in} \cdot I_{in}}{V_{in} \cdot I_{in}} \times 100\% \quad (21)$$

Karena  $I_{out} = I_1 + I_2$  dan  $I_1 = I_2$  maka  $I_{in} = I_{out}/2$

$$\text{Efisiensi} = \frac{V_{in} - V_d}{V_{in}} \times 100\% \quad (22)$$

Arus pada masing-masing dioda adalah setengah dari arus ketika pengambilan satu sumber, berdasar datasheet dioda [16]  $V_d$  akan lebih kecil daripada ketika pengambilan arus dari satu sumber, maka pada kondisi ini kenaikan nilai Efisiensi PCC yang disebabkan oleh penurunan  $V_d$  akan bernilai maksimal seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 15 sebagai puncak pertama. Kemudian efisiensi akan turun lagi karena pergeseran nilai  $V_d$  pada masing-masing dioda lalu naik lagi ketika nilai perubahan efisiensi perubahan  $V_d$  lebih kecil daripada nilai perubahan efisiensi karena rasio  $V_d$  dengan  $V_{in}$ .

Berdasar persamaan 22, efisiensi terendah akan dialami pada nilai  $V_{in}$  terendah. Sesuai rancangan tegangan input PCC pada Gambar 5, nilai  $V_{in}$  terendah adalah 21V maka:

$$\text{Efisiensi}_{\text{terendah}} = \frac{21 - 0.3}{21} \times 100\% = 98.6\% \quad (23)$$

#### 4. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode penggabungan yang diusulkan dapat melakukan pengambilan daya hibrida maupun tunggal secara adaptif, dan dapat melakukan pemindahan pengambilan daya antar sumber tanpa jeda. Metode sinkronisasi tegangan alamiah solar cell dan baterai dapat menggantikan fungsi perangkat terprogram dengan dioda. Rentang tegangan keluaran hasil penggabungan daya pada penelitian ini adalah 21VDC – 43.78VDC. Efisiensi sistem penggabungan daya pada penelitian ini sangat ditentukan oleh kualitas terutama *voltage drop* dioda yang digunakan. Metode ini memiliki efisiensi yang tinggi yaitu sebesar 98.6% - 99.5%.

## 5. SARAN

Perlu dikembangkan MPPT dan pengisian baterai yang sesuai untuk mewujudkan rancangan fungsional HPSS sesuai Tabel 1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arsyad, M.Y., “Pelayanan Sempat Terhambat Akibat Listrik Padam”, Website Kabupaten Sinjai. 2015, Available: [www.dukcapil.sinjaikab.go.id](http://www.dukcapil.sinjaikab.go.id) [Accessed: Maret 2016]
- [2] SETJEN DPR-RI, “Efisiensi Operasional Pembangkit Listrik Demi Peningkatan Rasio Elektrifikasi Daerah”, Biro Analisa Anggaran dan Pelaksanaan APBN SETJEN DPR-RI. 2014.
- [3] Nugraha, A., “Listrik Padam 3 Jam, Warga Keluhkan Pelayanan Disdukcapil”. 2016. Available: [www.klikbontang.com](http://www.klikbontang.com) [Accessed: Maret 2016]
- [4] Said, S., 2015, “Menteri ESDM : Banyak Kepentingan, Distribusi BBM Harusnya Mudah Jadi Sulit”, Available : [www.detik.com](http://www.detik.com) [Accessed: Maret 2016]
- [5] IKIC, M., Lubura, S., Soja, M., Lale, S., dan Vaskovic, S., “Hybrid Power Supply System”. 2015. ACTA TEHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering Tome VIII [2015] Fascicule 3 [July - September] ISSN : 2067 - 3809
- [6] Jain, S., dan Agarwal, V., “An Integrated Hybrid power Supply for Distributed Generation Applications Fed by Nonconventional Energy Sources”, IEEE Transactions On Energy Conversion Vol 23 No. 2. 2018
- [7] Saravanan, S., dan Thangavel, S., “Instantaneous reference current scheme based power management system for a solar, wind, fuel cell fed hybrid power supply”. 2015. International Journal of Electrical Power and Energy System 55 155-170
- [8] Song, N., Qi, W., Fang, J., Liu, W., dan Xiao, D., 2015, “Hybrid mobile power supply using PEMFC and Lithium Battery”. 2015. Applied Mechanics and Material vol 721 (2015) pp 7-11
- [9] Madaci, B., Chenni, R., Kurt, E., Hemsas., K. E., “Design and control of a stand-alone hybrid power”. 2016. International Journal of Hydrogen Energy 41 (2016) 12485 – 12496)
- [10] Malla, S. G., Bhende, C.N., “Voltage control of stand-alone wind and solar energy system”. 2014. Elsevier Electrical Power and Energy Systems 56 (2014) 361–373
- [11] Mezzai, N., Rekioua, D., Rekioua, T., Mohammedi, A., Idjdarane, K., Bacha, S., “Modeling of hybrid photovoltaic/wind/fuel cells power system”. 2014. International Journal of Hydrogen Energy 39 (2014) 15158 – 15168
- [12] Uzunoglu, M., Onar, O.C., Alam, M.S., “Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications”, 2009. Elsevier Renewable Energy 34 (2009) 509–520
- [13] Luque, Antonio and Hegedus, Steven, “[Handbook of Photovoltaic Science and Engineering](#)”. 2003. John Wiley and Sons. ISBN 0-471-49196-9.
- [14] Intel, “Power Supply Design Guide for Desktop Platform Form Factors, v1.31”, 2013. Available : [www.formfactors.org](http://www.formfactors.org) [Accessed: 19 April 2016]
- [15] Supardi, T.W., “Power Supply Hibrida Untuk Sistem Komputer Layanan Publik”. 2016. Thesis S2 Ilmu Komputer Universitas Gadjah Mada.
- [16] STMicroelectronics, 2016, “STPS60L45CT/CW Low Drop Power Schottky Rectifier”. 2016. Available : [www.st.com/resource/en/datasheet/stps60l45c.pdf](http://www.st.com/resource/en/datasheet/stps60l45c.pdf) [Accessed: 10 Mei 2016]