

Ketergantungan Resistensi Internal Rancang Bangun Rangkaian Power Supply Sel Surya pada Pengisian Baterai Hand Phone

(Dependence of Internal Resistance The Design Results Power Supply Circuit Solar Cell on The Battery Charging Hand Phone)

Parlindungan P. Marpaung^{1*}, Abduh Falah²

^{1,2}Institut Teknologi Indonesia, Serpong-Tangerang Selatan 15320

(Diterima: 28 Agustus 2012; Disetujui: 13 Februari 2013)

Abstrak

Tegangan DC yang dihasilkan sel surya (model 6 volt, 15 mili-ampere) pada kondisi matahari berawan sekitar 3,0 volt, maka tidak mungkin mengalirkan arus pengisian baterai hand phone (HP) yang mencapai tegangan nominal sebesar 3,7 volt. Untuk itu dibuat sebuah rancang bangun perangkat elektronika power suplai sel surya (PSSS) yang menghasilkan tegangan keluaran $V(psss) = 4,22$ volt. Kenaikan tegangan ini menyebabkan penurunan arus pengisi sel surya yang berhubungan dengan nilai resistansi internal PSSS, sel surya dan baterai HP yang menjadi beban bagi arus pengisian. Hasil penelitian ini menunjukkan ketergantungan nilai resistansi internal sel surya $R_{(int.selsurya)} = 440$ Ohm, $R_{(int.psss)} = 970$ Ohm dan $R_{(int.bat)} = 10,59$ Ohm. PSSS masih mengalirkan arus saat cahaya matahari berawan dengan arus pengisian ke baterai sebesar 0,43 mili-ampere atau 0,09% dari kapasitas baterai HP 450 mAh.

Kata kunci: resistansi internal, open circuit, arus pengisian

Abstract

DC voltage produced by solar cell (model 6 volts, 15 milli-amperes) of cloudy conditions is around 3.0 volts. If it is used for handphone (HP) charger may not drain the charging current reaching its nominal voltage of 3.7 volts. The design of electronic equipment is therefore needed to raise a larger voltage 3.7 volt using solar-cell-based power supply (PSSS). The obtained gains of the PSSS's output voltage is $V(psss) = 4.22$ volts which is greater than 3.7 volts in cloudy conditions, so that the charging current to the battery of PSSS to the HP battery can take place. This increase in voltage causes a decrease in the flow of the charger from the power source that is called $I(psss)$ of HP charger. The decrease is related to the current internal resistance value of PSSS, solar cells and HP battery that are burden to the charging current. This study showed that the dependence of internal resistance value of solar cell $R_{(int.selsurya)} = 440$ Ohm, $R_{(int.psss)} = 970$ Ohm and $R_{(int.bat)} = 10.59$ Ohm. The PSSS was still charging current to the HP battery which had a capacity of 450 [mAh] at nominal voltage of 3.7 volts. In cloudy condition, the charging current to the battery was 0.43 milli-amperes, or 0.09% of capacity of 450 mAH battery.

Keywords: internal resistance, open circuit, charging current

*Penulis Korespondensi. Telp:+62 21 7561093; fax: +62 21 7560542

Alamat E-mail : par_marm@yahoo.com

1. Pendahuluan

Power suplai mutlak dibutuhkan sebagai sumber listrik untuk mengalirkan arus listrik, jika beban listrik terhubung ke bagian keluarannya. Baterai HP seluler termasuk beban listrik saat arus pengisian diperlukan. Power suplai tegangan pengisi baterai HP yang umum digunakan saat ini adalah sumber listrik dari jaringan PLN yang disebut dengan power suplai PLN (PSPLN). Alternatif lain sumber listrik pengisi baterai HP adalah sumber listrik DC yang dihasilkan dari sel

surya. Sumber listrik ini menguntungkan untuk digunakan saat sumber listrik dari PLN jauh dari jangkauan. Namun saat cuaca mendung tegangan sel surya hanya 3,0 volt di mana lebih rendah dari tegangan nominal baterai HP sebesar 3,7 volt, sehingga arus listrik pengisian tidak akan terjadi.

Oleh karena itu perlu pembuatan rancang bangun rangkaian elektronika untuk menaikkan tegangan keluaran sel surya itu menjadi lebih

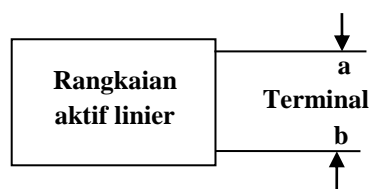
besar dari 3,7 volt, yakni suatu alat rancang bangun power suplai sel surya (PSSS).

Pembuatan rancang bangun dan percobaan alat PSSS untuk menaikkan tegangan sel surya saat kondisi cahaya matahari berawan dilakukan di ITI. Menaikkan tegangan keluaran dari sel surya menyebabkan penurunan sumber arus pengisian yang terhubung ke baterai HP. Hal ini berhubungan dengan resistansi internal atau $R_{(int.)}$, di mana terdapat nilai resistansi internal sel surya, PSSS dan baterai HP yang menjadi bagian beban terminal keluaran rancang bangun PSSS.

Untuk itu perlu diteliti nilai resistansi internal yang menjadi bagian dari keberhasilan berlangsungnya arus pengisian muatan listrik ke baterai HP yang memiliki tegangan nominal 3,7 volt.

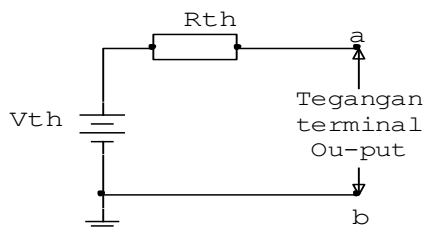
2. Teori Dasar

Pada power suplai sumber tegangan listrik rangkaian aktif linier yang memiliki terminal tegangan keluaran/out-put, yaitu terminal a-b terlihat pada Gambar 1. Yang dimaksud dengan rangkaian aktif linier adalah peralatan rangkaian komponen elektronik aktif yang menghasilkan sumber listrik pada terminal keluarannya, di mana tegangan keluaran terminal a-b dapat digantikan dengan rangkaian listrik pengganti model teorema Thevenin yang terdiri dari hanya satu sumber tegangan, disebut dengan tegangan Thevenin (V_{th}) yang terhubung seri dengan resistansi Thevenin (R_{th}) [1,2].



Gambar 1. Skema Rangkaian Sumber Listrik dengan Tegangan Terminal a-b

Rangkaian listrik pengganti model Thevenin dari rangkaian aktif linier ini terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Pengganti Model Thevenin dari Rangkaian Aktif Linier

Keterangan Gambar:

$V_{th} = V_{a-b}$ = Tegangan terminal a-b, volt.

R_{th} = Resistansi thevenin, ohm.

Nilai Tegangan Thevenin

Nilai dari tegangan Thevenin (V_{th}) ini dapat diperoleh dengan cara mengukur atau menghitung tegangan pada terminal a-b, di mana tegangan V_{th} sama dengan tegangan keluaran pada terminal a-b.

Nilai Resistansi Thevenin

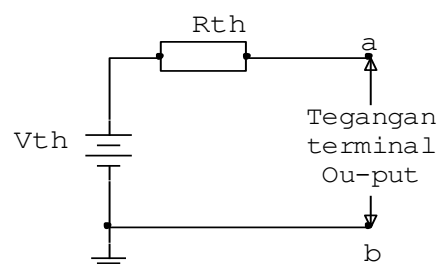
Resistansi Thevenin (R_{th}) diperoleh dengan cara menghubungkan singkat sumber tegangan serta sumber arus di-open yang terdapat dalam rangkaian aktif linier tersebut. Kemudian nilai resistansi total rangkaiannya sama dengan resistansi R_{th} yang terhubung seri dengan tegangan V_{th} .

Power Suplai Tegangan Listrik

Power suplai (PS) sumber tegangan listrik model rangkaian listrik pengganti teorema Thevenin pada bagian tegangan keluarannya dapat dikondisikan menjadi 2 bagian, yaitu terminal keluaran tanpa beban (*no-load*) dan terhubung ke beban (*load*).

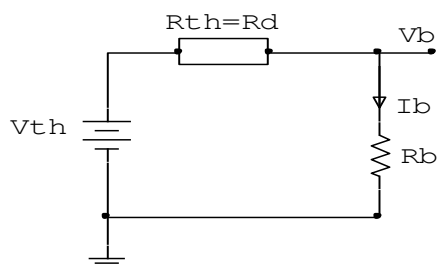
Pada Gambar 3 terlihat tegangan keluaran pada terminal a-b tanpa beban (*no-load*), di mana sumber listrik rangkaian aktif tersebut dapat digambarkan dengan rangkaian listrik pengganti model Thevenin yang terdiri dari tegangan thevenin V_{th} terhubung seri dengan resistansi thevenin R_{th} . Tegangan keluaran pada terminal a-b tanpa beban dapat dirumuskan pada persamaan (1) di bawah ini.

$$V_{a-b} = V(\text{no-load}) \quad (1)$$



Gambar 3. Rangkaian Listrik Pengganti Tanpa Beban Model Thevenin

Sedangkan untuk tegangan keluaran pada terminal a-b yang terhubung ke beban (*load*) dapat digambarkan dengan menggunakan rangkaian listrik pengganti model Thevenin seperti Gambar 4, di mana pada terminal a-b terhubung dengan beban resistansi R_b .



Gambar 4. Rangkaian Listrik Pengganti Terhubung ke Beban Model Thevenin

Keterangan Gambar:

R_d = Resistansi dalam/internal, ohm.

R_b = Resistansi beban, ohm.

Tegangan pada beban resistansi R_b dihitung dengan menggunakan persamaan pembagi tegangan seperti persamaan (2)[2],

$$V_{R_b} = V_b = \frac{R_b}{(R_{th} + R_b)} \times V_{th} \quad (2).$$

Tegangan V_{R_b} disebut dengan tegangan load atau $V_{(Load)}$ dapat dirumuskan menjadi persamaan (3),

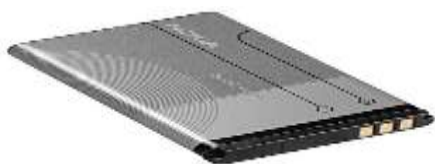
$$V_{(Load)} = \frac{R_b}{(R_{int.} + R_b)} \times V(a-b) \quad (3).$$

Resistansi internal dihitung dengan persamaan (4) seperti di bawah ini [2,3],

$$R_{int.(ps)} = \frac{[V_{(No Load)} - V_{(Load)}]}{I_{(Load)}} \quad (4).$$

Baterai *hand-phone* (HP)

Bentuk fisik dari baterai HP terlihat seperti pada Gambar 5. Pada kondisi terisi muatan, baterai dapat difungsikan sebagai sumber tegangan listrik. Sedangkan kondisi muatan listrik kosong atau berkurang, maka pada saat dilakukan pengisian muatan listriknya dinyatakan baterai HP bersifat sebagai beban listrik. Sumber arus pengisian ke baterai HP akan dibutuhkan untuk mencapai kapasitas muatan listrik yang dimiliki oleh baterai HP.



Gambar 5. Baterai HP Merek Nokia (Model Nokia BL-5C)

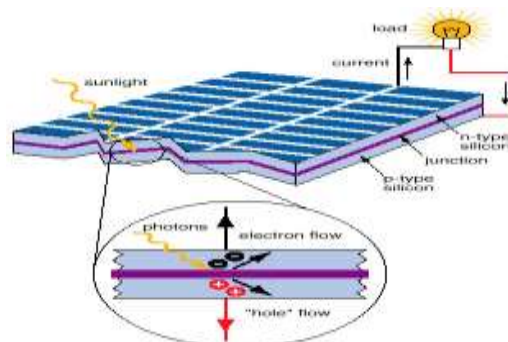
Karakteristik operasional dari pada baterai HP jenis Nokia BL-5C adalah seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Baterai HP Nokia BL-5C

Kondisi Operasional	Parameter	Nilai
Tegangan nominal	$V_{(nom.bat.)}$	3,7 volt
Kapasitas	$Q_c = i \cdot t$	450 mAh

Sumber Listrik Sel Surya

Panel surya atau sel surya adalah komponen yang dapat merubah energi cahaya matahari/surya menjadi tegangan listrik, atau disebut juga dengan *sel photovoltaic*. Prinsip terjadinya tegangan listrik yang dihasilkan adalah hasil dari proses rekombinasi elektron dan *hole* pada pita energi *konduksi* (E_c) dan pita energi *valensi* (E_v) yang ditimbulkan dari energi matahari yang diserap oleh sel surya. Rekombinasi elektron dengan *hole* ini menghasilkan beda potensial atau tegangan antara polaritas *hole* (+) dengan polaritas elektron (-) pada keluarannya. Pada Gambar 6 diperlihatkan rekombinasi elektron dan *hole* dari pita valensi yang memiliki resistansi material yang menghasilkan tegangan keluaran. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sel surya dapat diindikasikan pada tegangan keluaran terhubung beban lampu listrik kondisi menyala. Untuk tegangan *open circuit* (oc) dan arus *short circuit* (sc) yang dihasilkan dari sel surya berhubungan dengan karakteristik resistansi yang dinyatakan dengan parameter R_{ch} . Tegangan keluaran V_{oc} disebut juga sebagai tegangan tanpa beban (*no-load*).



Gambar 6. Skema dan Proses Catu Daya Photovoltaic

Hubungan tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* terhadap nilai resistansi R_{ch} di rumuskan seperti persamaan (5) di bawah ini [4],

$$R_{ch} = \frac{V_{op}}{I_{sc}} \quad (5).$$

3. Metoda Percobaan

Pada penelitian ini, sel surya yang digunakan (model 6,0 volt, 13,6 mili-ampere) mempunyai dimensi 60 mm x 60 mm dengan karakteristik V_{op} (*open circuit*) = 6,0 volt dan arus I_{sc} (*short circuit*) = 13,0 mA. Tegangan listrik yang dihasilkan dari sel surya bergantung pada kondisi cahaya matahari. Pada saat kondisi cahaya matahari berawan, $V_{(min.s.surya)}$ sekitar 3 volt. Karakteristik model tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* sel surya seperti data pada Tabel 2. Pengambilan data lapangan dilakukan di Kampus Institut Teknologi Indonesia, Serpong-Tangerang Selatan. Bentuk fisik sel surya itu seperti terlihat pada Gambar 7.

Tabel 2. Tegangan Voc dan Arus Isc Sel Surya

Keterangan	Nilai Parameter
Tegangan <i>open circuit</i>	Voc = 6,0 volt
Arus <i>Short circuit</i>	Isc = 13,6 [mA]

Resistansi Internal Sel Surya

Uji coba nilai resistansi internal sel surya diperoleh dengan pengukuran tegangan terminal keluarannya yang terhubung ke beban (*load*) dan tanpa beban (*no-load*). Tegangan keluaran tanpa beban dinyatakan dengan $V_{(no-load)}$ dan terhubung ke beban adalah $V_{(load)}$. Beban (*load*) yang digunakan adalah beban resistor dinyatakan dengan parameter $R_{(load)}$ satuan ohm. Pengukuran tegangan $V_{(no-load)}$ dan $V_{(load)}$ dari sumber listrik



Gambar 7. Ukuran Dimensi Fisik Sel Surya 60 mm x 60 mm

sel surya diperlihatkan pada Tabel 3. Kemudian nilai $R_{(int.sel.surya)}$ diperoleh dengan menggunakan persamaan (4).

Tabel 3. Data Pengukuran dan Hasil Perhitungan Nilai $R_{(int.sel.surya)}$

$V_{(no-load)}$ [Volt]	$I_{(load)}$ [mA]	$V_{(load)}$ [Volt]	$R_{(int.sel.surya)}$ [Ohm]
5,40	8,18	1,80	440

Resistansi Internal Baterai HP

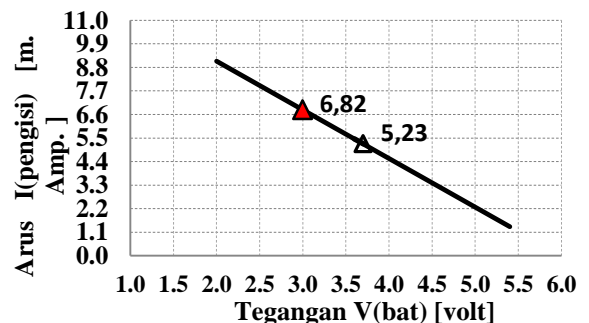
Resistansi internal baterai HP dinyatakan dengan parameter $R_{(int.bat.)}$. Baterai HP yang digunakan merek Nokia yang memiliki tegangan nominal $V_{(bat)} = 3,7$ volt. Nilai resistansi internalnya dihitung dengan menggunakan persamaan (3). Dari hasil pengukuran tegangan baterai HP tanpa beban dan terhubung ke beban diperoleh $R_{(int.bat.)}$ seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan $R_{(int.bat.)}$

$V_{(no-load)}$ [Volt]	$I_{(load)}$ [mA]	$V_{(load)}$ [Volt]	$R_{(int.bat.)}$ [Ohm]
3,7	16,05	3,53	10,59

Ketergantungan Resistansi Internal

Pada Gambar 8 terlihat tegangan baterai $V_{(bat)}$ sebagai fungsi sumber arus pengisi $I_{(pengisi)}$ yang terbebani dengan resistansi internalnya. Untuk sumber arus pengisi 6,82 (mA) pada tegangan 3,0 (volt) tidak mungkin mengalirkan arus pengisian pada kondisi tegangan baterai 3,7 (volt), walaupun hanya membutuhkan arus pengisi 5,23 (mA).



Gambar 8. Tegangan $V_{(bat.)}$ terhadap $I_{(pengisi)}$

Untuk menghasilkan arus pengisian ke baterai diperlukan sumber tegangan lebih besar dari 3,7 volt. Uji coba saat kondisi cahaya matahari berawan tegangan DC dari sel surya hanya sekitar 3,0 volt. Untuk menaikkan

tegangan DC dari sel surya ini saat kondisi cahaya matahari berawan agar lebih besar dari tegangan yang dimiliki baterai 3,7 volt, maka dibuatlah rancang bangun sumber tegangan PSSS atau $V_{(psss)}$.

Rancang Bangun Peralatan PSSS

Untuk memanfaatkan sel surya saat kondisi cahaya matahari berawan, di mana $V_{oc(surja)} = 3,0$ volt menjadi lebih besar dari tegangan baterai nominal 3,7 volt, maka perlu dibuat peralatan PSSS. Peralatan PSSS ini terdiri dari rangkaian elektronik inverter DC ke sinyal AC, modulasi AC + DC, penyearah filter sinyal AC dan regulator pencegah tegangan lebih [5]. Rancang bangun peralatan PSSS pengisi baterai HP secara fisik terlihat pada Gambar 9. Pada pengujian tegangan keluaran rangkaian modulasi PSSS dihasilkan sinyal modulasi (DC + AC), seperti diperlihatkan pada Gambar 10. Pada Gambar 10(a), sinyal AC dibangkitkan dari rangkaian inverter DC ke AC, kemudian dimodulasikan sinyal AC + DC yang hasilnya pada Gambar 10(b). Terjadi kenaikan level tegangan AC + level tegangan DC yang diindikasikan dengan sinyal berada di atas sumbu horizontal waktu t [5,6],



Gambar 9. Rancang Bangun Peralatan PSSS Pengisi Baterai HP

Dengan bantuan penyearah tegangan dan filter gelombang riak AC, diperoleh hasil kenaikan tegangan keluaran searah/DC yang dinyatakan dengan parameter $V_{(psss)}$ saat kondisi cahaya matahari berawan. Pengukuran tegangan dan arus sel surya serta kenaikan tegangan DC keluaran PSSS terlihat pada Tabel 5. Kenaikan tegangan V_{oc} sel surya pada tegangan keluaran PSSS 4,22 volt saat kondisi cahaya matahari berawan.



10(a). Hasil Konverter Level DC ke sinyal AC dari IC-555



10(b). Modulasi Langsung AC + DC

Gambar 10. Hasil Pengamatan Tegangan Modulasi Langsung AC + DC

Tabel 5. Hasil Kenaikan Tegangan $DCV_{(psss)}$ Sumber Listrik Sel Surya

Kondisi cahaya	Sel surya	PSSS
	$V_{(oc)}$ [volt]	$V_{(psss)}$ [volt]
Matahari terang	5,4	8,20
Matahari berawan	3,0	4,22

Resistansi Internal Power Suplai PSSS

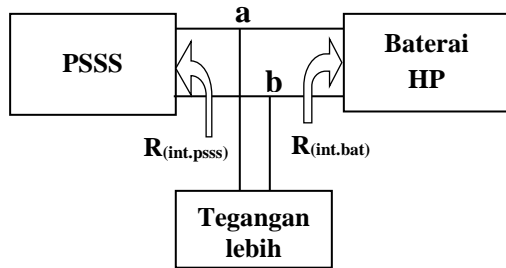
Hasil rancang bangun PSSS pengisi baterai HP diuji nilai resistansi internalnya yang dinyatakan dengan parameter $R_{(int.psss)}$. Hasil pengukuran tegangan PSSS tanpa beban dan terhubung ke beban diperoleh resistansi internal dinyatakan dengan parameter $R_{(int.)psss}$ diperoleh dengan menggunakan persamaan (4). Pada Tabel 6 hasil pengukuran tegangan $V_{(no-load)}$ dan $V_{(load)}$, kemudian diperoleh hasil perhitungan nilai $R_{(int.psss)}$.

Tabel 6. Data Pengukuran dan Hasil Perhitungan $R_{(int.psss)}$

$V_{(no-load)}$ [Volt]	$I_{(load)}$ [mA]	$V_{(load)}$ [Volt]	$R_{(int.psss)}$ [Ohm]
8,2	6,89	1,516	970,0

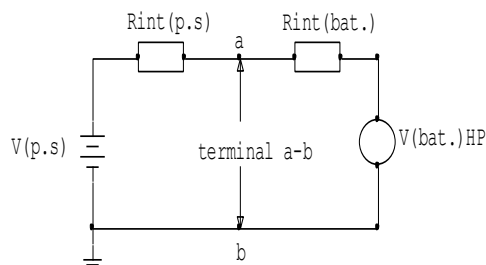
4. Hasil dan Pembahasan

Menaikkan tegangan menyebabkan penurunan arus keluaran PSSS ke baterai HP serta berhubungan dengan nilai resistansi internal $R_{(int.)}$ dari peralatan rancang bangun PSSS. Pada Gambar 11 di bawah ini adalah skema blok diagram rangkaian keseluruhan PSSS.



Gambar 11. Skema Blok Diagram Keseluruhan Sistem Pengisi Baterai HP

Rangkaian pengganti model teorema Thevenin Gambar 11 untuk beban terminal a-b adalah baterai HP seperti terlihat pada Gambar 12. Pada tegangan keluaran terminal a-b terbebani $R_{int.psss}$ dan $R_{(int.-bat.)}$. Tegangan beban keluaran, yaitu terminal a-b dinyatakan dengan parameter $V_{(load)} = V_{(ab)}$. Pada Tabel 7 diperoleh hasil pengukuran arus pengisian ke baterai HP. Arus pengisian berlangsung dari PSSS ke baterai HP yang diindikasikan dengan tegangan $V_{(psss)} > V_{(bat.)}$.



Gambar 12. Rangkaian Listrik PSSS Terhubung Beban Baterai HP

Tegangan dan arus pengisi dari PSSS secara rangkaian listrik dipengaruhi $R_{(int.psss)}$ dan $R_{(beban)}$ pada terminal a-b dari Gambar 14. Dengan bantuan persamaan (2), maka diperoleh

persamaan tegangan pada beban terminal a-b dinyatakan $V_{(load)}$ seperti persamaan (6),

$$V_{(load)} = \frac{R_{(load)}}{R_{(load)} + R_{(int.psss)}} \times V_{(psss)} \quad (6)$$

Di mana :

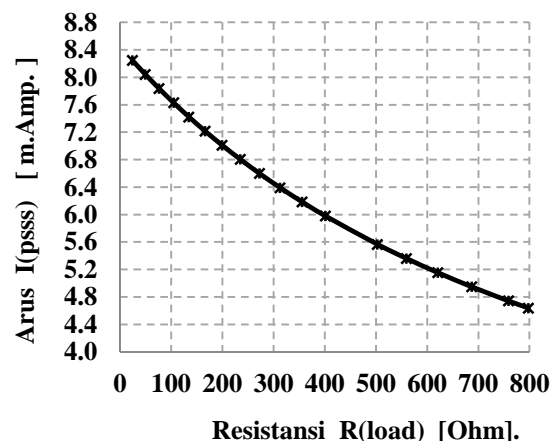
$R_{(load)}$ = Resistansi beban terminal a-b, ohm.

$V_{(load)}$ = Tegangan beban terminal a-b, volt.

Tabel 7. Pengukuran Arus Pengisian PSSS ke Baterai HP untuk $R_{(int.psss)} = 970$ ohm

Kondisi Cahaya	$V_{(bat.)}$ [volt]	$I_{(pengisian)}$ [mA]	$V_{(psss)}$ [volt]
Matahari terang	3,20	4,95	8,0
	3,40	3,92	7,20
Matahari berawan	3,20	1,34	4,50
	3,40	0,82	4,20

Ketergantungan resistansi internal untuk nilai $R_{(int.psss)} = 970$ Ohm diperoleh $R_{(load)} = V_{(load)} / I_{(load)}$ yang diperlihatkan pada Gambar 13, di mana $I_{(load)} = I_{(pengisian)}$. Kenaikan resistansi internal ini diindikasikan dengan terjadinya penurunan arus pengisian ke baterai HP.

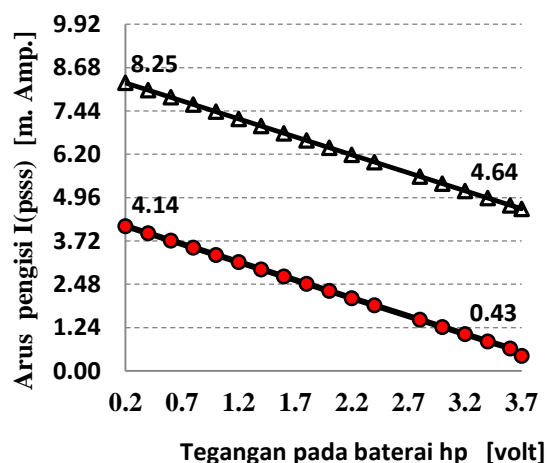


Gambar 13. Hubungan $V_{(psss)}$ Terhadap $I_{(psss)}$ pada Pengisian Baterai HP

Ketergantungan resistansi internal untuk nilai $R_{(int.psss)} = 970$ ohm arus pengisian tegangan keluaran terminal a-b PSSS atau $V_{(bat.)}$ dengan arus pengisian diperlihatkan pada Gambar 14, di mana grafik garis yang bertanda/notasi segi tiga adalah identifikasi arus pengisian PSSS saat

kondisi cahaya matahari bersinar terang. Kemudian garis grafik yang bertanda/notasi titik bulat adalah arus pengisian dari sumber tegangan $V_{(psss)}$ saat kondisi matahari berawan. Terjadi arus pengisian yang semakin kecil pada tegangan baterai terisi semakin besar dan sebaliknya.

Arus pengisian ke baterai HP pada Gambar 14 ini sangatlah kecil untuk digunakan pada pengisian baterai yang memiliki nilai kapasitas 450 m.Ah pada tegangan nominal 3,7 volt tersebut. Meskipun demikian, saat kondisi sinar matahari berawan arus pengisian yang berlangsung terus menerus senilai 0,43 mA atau 0,09% dari kapasitas baterai. Sedangkan kondisi cahaya matahari bersinar terang di mana arus pengisian bernilai 4,64 mA atau 1,03 % dari kapasitas yang dimiliki baterai tersebut.



Gambar 14. Arus Pengisian PSSS pada Baterai yang Memiliki Tegangan $V_{(bat)}$

Proses Pengisian Baterai HP dengan PSPLN

Sebagai referensi untuk analisis data PSSS pengisi baterai dilakukan pengamatan pada pengisi/charger baterai HP yang telah ada di pasaran yang disebut dengan PSPLN. Diperoleh hasil nilai pengukuran $V_{(load)}$ dan $V_{(no-load)}$, kemudian dengan menggunakan persamaan (3) diperoleh $R_{(int,pspln)} = 12,76$ ohm. Di mana $I_{(pengisi)}$ dari sumber PSPLN ke baterai HP untuk nilai $R_{(int,pspln)}$ tersebut adalah 195,9 mA atau 43,53 % dari kapasitas yang dimiliki baterai HP.

5. Kesimpulan

Sumber listrik DC berasal dari sel surya bergantung pada kondisi cahaya matahari. Pada kondisi berawan penurunan tegangannya menjadi sekitar 3,0 volt yang tidak cukup untuk mengalirkan arus pengisian ke baterai dengan $V_{(bat.)} = 3,7$ volt. Dengan pembuatan rancang bangun peralatan PSSS dihasilkan tegangan keluaran $V_{(psss)} > 3,7$ volt saat kondisi cahaya matahari berawan dan arus pengisian dapat

berlangsung dari PSSS ke baterai HP. Pemanfaatan kenaikan tegangan PSSS tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan arus sumber listrik dari sel surya. Penurunan arus ini berhubungan dengan resistansi internal hasil rancang bangun PSSS, yaitu nilai resistansi internal power suplai, sel surya dan baterai HP yang menjadi beban listrik pada terminal keluaran PSSS. Perolehan nilai resistansi internal ini masih menghasilkan tegangan keluaran PSSS, di mana $V_{O(psss)} > V_{(bat)}$ saat kondisi cahaya matahari berawan. Dengan demikian arus pengisian dapat berlangsung dari PSSS ke baterai HP saat kondisi cahaya matahari berawan.

Daftar Pustaka

- [1] Charles K. Aleander, Matthew Sadiku. *Fundamentals of Electric Circuits*. Mc.Graw– Hill, 2004.
- [2] J. David Irwin. *Basic Engineering Circuit Analysis*. Prentice – Hall, Inc., 2005.
- [3] Education.ORG.2012. (Online),(<http://P.V ORG>, diakses 12 Maret 2012).
- [4] Cell Surya. 2012.(Online),(<http://energy surya.com>, diakses 15 April 2012).
- [5] Elektuur. *303 Circuits by Elektuur*. B.V. Netherlands, 1988.
- [6] Thomas L. Floyd. *Electronics Devices*. Prentice–Hall, Inc., 2000.