

## LAMPIRAN

Laporan Tugas Akhir ini telah dipublikasikan di Universitas Islam Indonesia pada tanggal 10 September 2012, dalam Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2012, halaman 43-50.

### Desain dan Implementasi Maximum Power Point Tracker Melalui Deteksi Arus

**Edoe Arieska Aprilyanto<sup>1)</sup>**

**Leonardus. H. Pratomo<sup>2)</sup>**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang<sup>1,2)</sup>

Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Duwur Semarang

E-mail : [edoeaa@gmail.com](mailto:edoeaa@gmail.com)<sup>1)</sup>

E-mail : [leonardus\\_hp@yahoo.com](mailto:leonardus_hp@yahoo.com)<sup>2)</sup>

#### Abstrak

*Krisis Energi yang melanda Indonesia perlu diperhatikan dan dicarikan solusinya. Energi matahari sebagai salah satu jawabannya. Tetapi energi jenis ini memerlukan penanganan yang baik sesuai dengan karakteristiknya. Pada makalah ini dikaji suatu teknik kendali untuk memaksimalkan daya pada modul surya dengan teknik deteksi arus hubung pendek yang diimplementasi dengan DC-DC konverter tipe step down. Tahap penelitian dilakukan dengan memodelkan konverter sebagai suatu penyesuai impedansi sehingga didapat pembebanan dan konverter akan dilihat sumber sebagai  $R_{MPP}$ . Berdasarkan hasil dari percobaan laboratorium alat dapat bekerja dengan baik dan memiliki efisiensi 84%.*

*Kata Kunci : Modul Surya, Arus hubung singkat, energi, DC DC konverter,  $R_{MPP}$*

#### Pendahuluan

Pemanfaatan energi sinar matahari menjadi energi listrik berkembang sangat pesat dengan menggunakan modul surya, hal ini di dukung oleh adanya penelitian-penelitian modul surya yang memiliki nilai konversi energi yang tinggi. Energi sinar matahari merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, tersedia dalam jumlah yang besar, di dapat dengan cuma-cuma, dan bersih. Pemanfaatan modul surya kebanyakan digunakan secara langsung dengan nilai keluaran listrik arus searah dan membutuhkan baterai untuk menyimpannya. Kenyataannya konversi energi modul surya yang digunakan secara langsung memiliki efisiensi yang rendah.

Metoda untuk mendapatkan nilai konversi energi maksimal suatu modul surya di dapat dilakkan dengan teknik mendeteksi suatu tegangan dan atau arus yang dikenal dengan nama alogaritma tegangan terbuka dan alogaritma arus hubung pendek[4,6]. Sistem kendali tegangan memiliki keuntungan antara lain pemakaian sensor lebih sedikit, tidak menggunakan sistem pengali yang rumit. Kendali daya dan tegangan membutuhkan sensor arus dan tegangan kemudian dikalikan untuk membentuk besaran daya. Sistem ini lebih rumit walaupun menghasilkan nilai konversi yang baik.

Pengendalian untuk mendapatkan daya maksimal modul surya dilakukan dengan beberapa teknik antara *fuzzy logic*, lembah dan bukit, korelasi riak, dan kendali PI (*proportional integral*)

dan lain-lain. Kekurangan dari sistem ini adalah banyaknya sensor, algoritma yang sulit, sehingga rangkaian menjadi rumit, maka dijual dengan harga yang mahal [3,9,10,12].

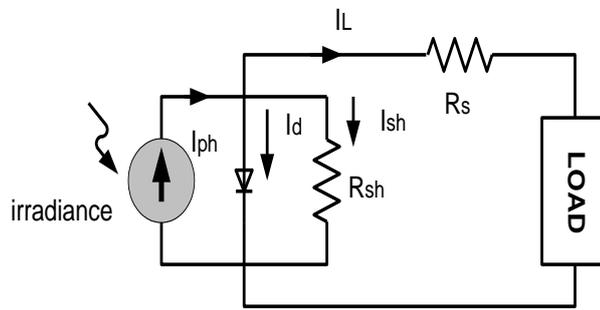
Pada makalah ini akan dibahas suatu teknik memaksimalkan konversi daya sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan deteksi arus yang dikendalikan dan menggunakan sistem pengkonversi besaran DC ke DC tipe *step down*. Dengan teknik yang dikembangkan ini struktur rangkaian kendali konversi daya maksimal menjadi sederhana dan mampu menghasilkan daya maksimal yang baik. Sistem ini diturunkan berdasarkan karakteristik hubungan arus dan tegangan keluaran yang ada.

### Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah dengan studi literatur, analisis, simulasi komputasi dan implementasi skala laboratorium. Berikut ini akan diuraikan tentang analisis modul surya, konverter DC-DC tipe *step down*.

#### A. Modul Surya

Modul surya memiliki karakteristik arus terhadap tegangan, maka untuk mempermudah dibuat suatu model rangkaian ekuivalen. Suatu sel modul surya dapat digantikan dengan *photodiode* dan dengan adanya radiasi cahaya akan mengakibatkan arus yang mengalir  $I_{ph}$  (*photo current*). Arus bercabang menuju dioda, tahanan shunt ( $I_{sh}$ ) dan keluar ke beban ( $I_L$ ), seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen sel modul surya

Besarnya persamaan arus adalah :

$$I_L = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{1}$$

Besarnya arus dioda adalah

$$I_d = I_o \left( \exp \frac{e(V + I R_s)}{m k T_c} - 1 \right) \tag{2}$$

Jika potensial modul surya dihubung singkat akan mengakibatkan tegangan sebesar nol volt, sedangkan arus hubung singkat yang terjadi memenuhi persamaan :

$$I_{sh} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \tag{3}$$

Maka :

$$I_d = I_{ph} - I_o \left( \exp \frac{e(V + I R_s)}{m k T_c} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (4)$$

Maka hubungan arus hubung singkat dan arus photon dapat diturunkan sebagai berikut :

$$I = I_{sh} = \frac{I_{ph}}{(1 + R_s / R_{sh})}$$

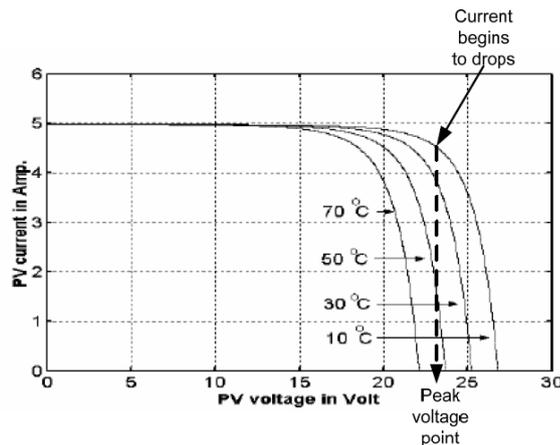
Jika arus keluaran sama dengan arus yang dihasilkan photon, maka

$$I = I_{sh} = I_{ph} \quad (5)$$

Keterangan :

- m = Idealizing fagtor
- k = Konstanta Boltzman ( $1.381 \times 10^{-23}$ )
- $R_s$  = Tahanan seri
- $R_{sh}$  = Tahanan parallel
- $I_{ph}$  = Arus akhibat photon
- e = Muatan elektron ( $1.602 \times 10^{-19}$ )
- $I_D$  = Arus dioda normal
- $I_o$  = Arus saturasi pada saat gelap

Sehingga karakteristik arus tegangan hubung singkat terhadap tegangan oleh karena faktor suhu seperti pada gambar 2.

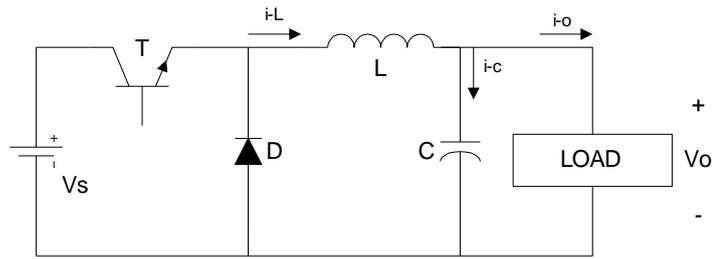


Gambar 2. Kurva karakteristik modul surya arus hubung singkat dan tegangan karena faktor suhu

## B. Konverter DC-DC

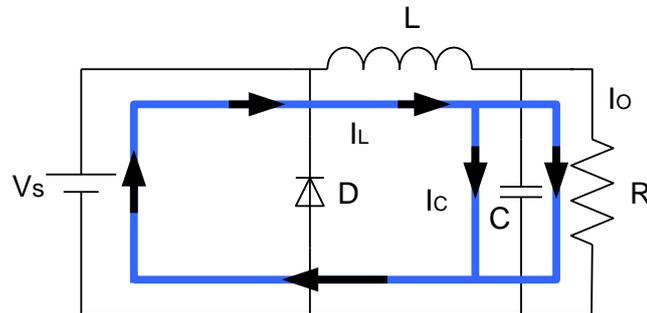
Konverter DC-DC digunakan untuk membentuk nilai variable tegangan keluaran sehingga beban yang terpasang dan konverter ini akan dilihat oleh modul surya sebagai Rmpp,

sehingga dayanya menjadi maksimal. Pada Gambar 3 ditunjukkan suatu konverter jenis *step down* dengan mengimplementasikan BJT.



Gambar 3. Konverter jenis step down

Pada saat saklar pada kondisi, maka arus dari sumber tegangan DC masukan  $V_s$  akan mengalir melalui induktor  $L$  lalu bercabang pada kapasitor  $C$  (arus riak) dan beban (arus dc). Karena pada durasi ini energi dari sumber diserap induktor  $L$ , maka arus pada induktor  $L$  akan naik (bertambah), gambar , Pada kondisi ini persamaan yang dapat diturunkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Mode 1, saklar konduksi

$$V_s = V_L + V_o$$

$$V_L = V_s - V_o$$

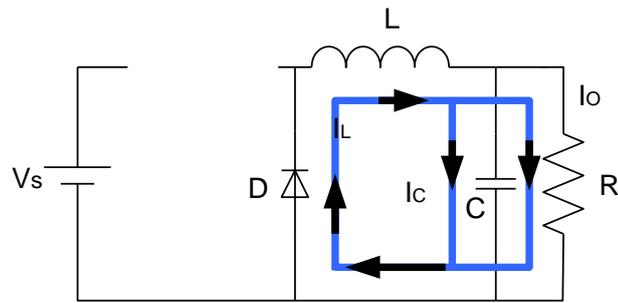
$$L \frac{di}{dt} = V_s - V_o$$

$$L di = (V_s - V_o) dt$$

Karena durasi waktu  $dt$  adalah selama saklar pada kondisi konduksi, maka :

$$L di = (V_s - V_o) t_{on} \quad (6)$$

Sedangkan pada saat saklar dalam kondisi tidak konduksi, maka sumber tidak akan terhubung ke beban, tetapi karena arus yang mengalir pada induktor  $L$  tidak dapat berubah secara mendadak, arus akan mengalir melalui induktor  $L$ , beban dan kapasitor  $C$  serta dioda freewheeling  $D$ . Pada kondisi ini energi yang tersimpan pada induktor  $L$  akan dilepas sehingga arus induktor  $L$  akan turun (berkurang), gambar 5. Persamaan pada saat saklar membuka adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Mode 2, saklar tidak konduksi

$$V_L = V_o$$

$$L \frac{di}{dt} = V_o$$

$$L di = V_o dt$$

karena durasi waktu pada kondisi ini sama dengan waktu saklar membuka (*off*), maka

$$L di = V_o t_{off} \quad (7)$$

jika persamaan (6) dan (7) dieliminasi, maka diperoleh

$$(V_s - V_o) t_{on} = V_o t_{off}$$

$$(V_s) t_{on} = V_o (t_{on} + t_{off})$$

$$(V_s) t_{on} = V_o T$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{t_{on}}{T}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = d$$

(8)

Dengan memperhatikan hukum kesetaraan daya maka dapat diperoleh suatu persamaan :

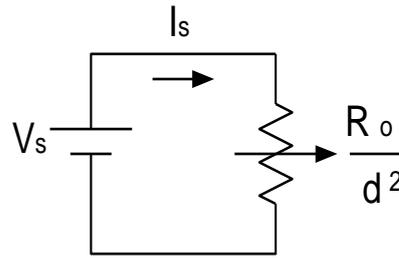
$$P_o = P_i$$

$$V_o I_o = V_i I_i$$

$$\frac{R_o}{d^2} = R_s$$

(9)

Sehingga rangkaian ekivalen konverter diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 6. Rangkaian ekivalen konverter

### Hasil dan Perancangan

Tegangan keluaran modul surya memiliki persamaan :

$$V_o = \frac{AKT_c}{q} \left( \frac{I_{ph} + I_d - I_L}{I_L} \right) - R_s I_C \quad (10)$$

Keterangan :

- Q : Muatan elektron ( $1.602 \times 10^{-19}$  C).
- K : Konstanta Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/0K).
- I<sub>L</sub> : Arus keluaran, A.
- I<sub>ph</sub> : Arus photon(5 A).
- I<sub>d</sub> : arus dioda (0.0002 A).
- R<sub>s</sub> : resistansi seri (0.001  $\Omega$ ).
- T<sub>c</sub> : temperatur operasi (25 °C).
- V<sub>o</sub> : Tagangan Keluaran, V.

Jika dimodelkan dalam bentuk koefisien temperatur

$$\begin{aligned} C_{TV} &= 1 + \beta_T [T_A - T_x] \\ C_{TI} &= 1 + \frac{\gamma_I}{SC} [T_x - T_A] \end{aligned} \quad (11)$$

Keterangan :

- C<sub>TV</sub> : Koefisien temperatur tegangan
- C<sub>TI</sub> : Koefisien temperatur arus
- B : 0.004
- $\gamma$  : 0.06
- T : Temperatur

Sehingga sistem memiliki faktor koreksi sebesar :

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \alpha_S [S_x - S_C]$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_C} [S_x - S_C]$$
(12)

Keterangan :

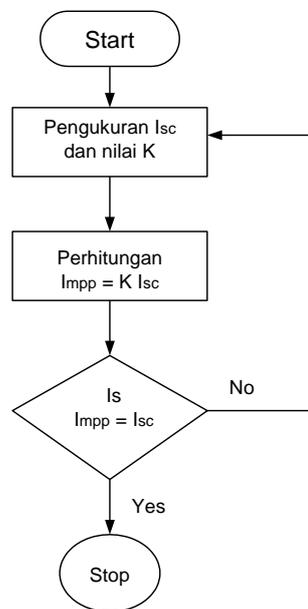
- $\alpha_S$  : Slope
- $S_C$  : Referensi benchmark
- $S_x$  : Kenaikan panas akibat *irradiation*

Sehingga :

$$I_{ph} = V_{CI} V_{SI} I_{ph}$$

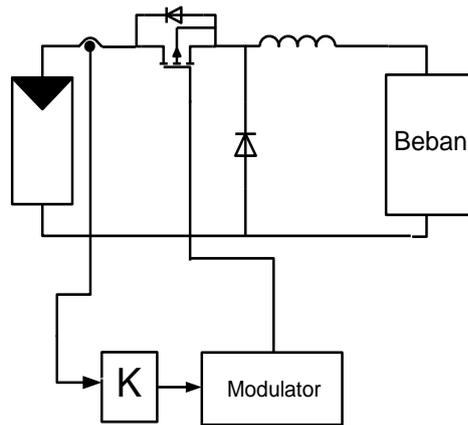
$$I_{MPP} = K I_{SC}$$
(13)

Dimana nilai K lebih kecil dari pada satu, atau nilai k bervariasi antara nilai 0.78 sampai 0.92. Sehingga algoritma kendali adalah sebagai berikut, gambar 7 dan diagram blok sistem seperti Gambar 8:



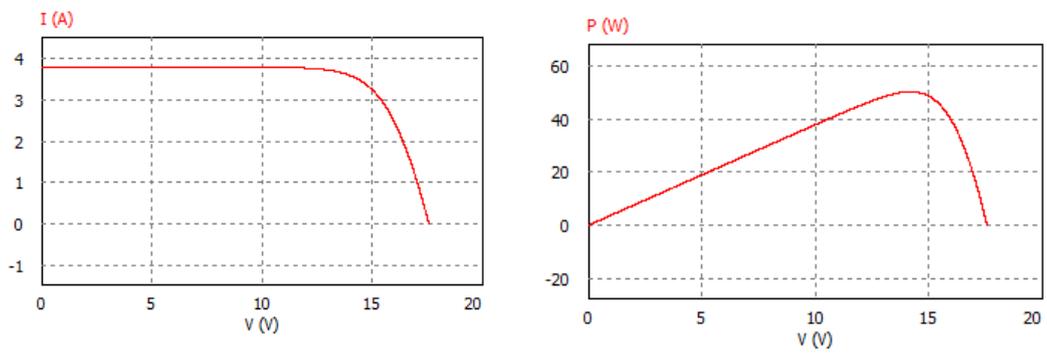
Gambar 7. Algoritma kendali arus

Berikut ini adalah struktur kendali yang dibuat dan diimplementasi, Gambar 9.

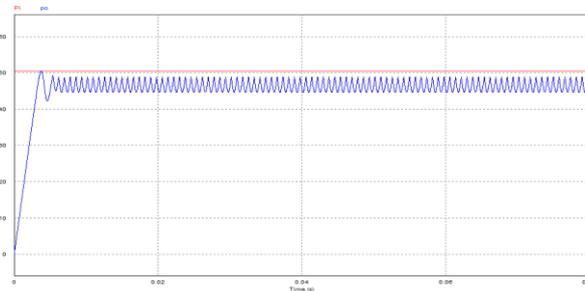


Gambar 8. Blok kendali kendali arus

Berikut ini akan disajikan beberapa pengujian antara lain kurva karakteristik modul surya, pengujian kendali secara simulasi dengan menggunakan *software Psim*.



Gambar 9. Pengujian parameter modul surya 50 WP



Gambar 12. Pengujian sistem kendali dengan modul surya 50 WP

Berikut adalah pengujian yang dilakukan pada saat matahari bersinar terang, tabel 1.

Tabel 1. Pengujian sistem kendali

Load	$V_{pv}$	$I_{pv}$	$P_{pv}$	$V_{out}$	$I_{out}$	$P_{out}$	%
1,5	12,8	2,6	33,28	12,65	2,25	28,4625	85,5
2	12,8	2,6	33,28	12,65	2,25	28,4625	85,5
2,5	12,9	2,6	33,54	12,7	2,2	27,94	83,3
3	12,9	2,6	33,54	12,75	2,2	28,05	83,6
3,5	12,9	2,6	33,54	12,75	2,2	28,05	83,6
4	13	2,6	33,8	12,8	2,2	28,16	83,3
4,5	13	2,6	33,8	12,8	2,2	28,16	83,3

Dari pengujian yang telah dilakukan sistem memiliki efisiensi konversi energi sebesar 84%

### Ucapan terima kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, karena telah membiayai penelitian dalam skema penelitian hibah bersaing 2011/2012

### Kesimpulan

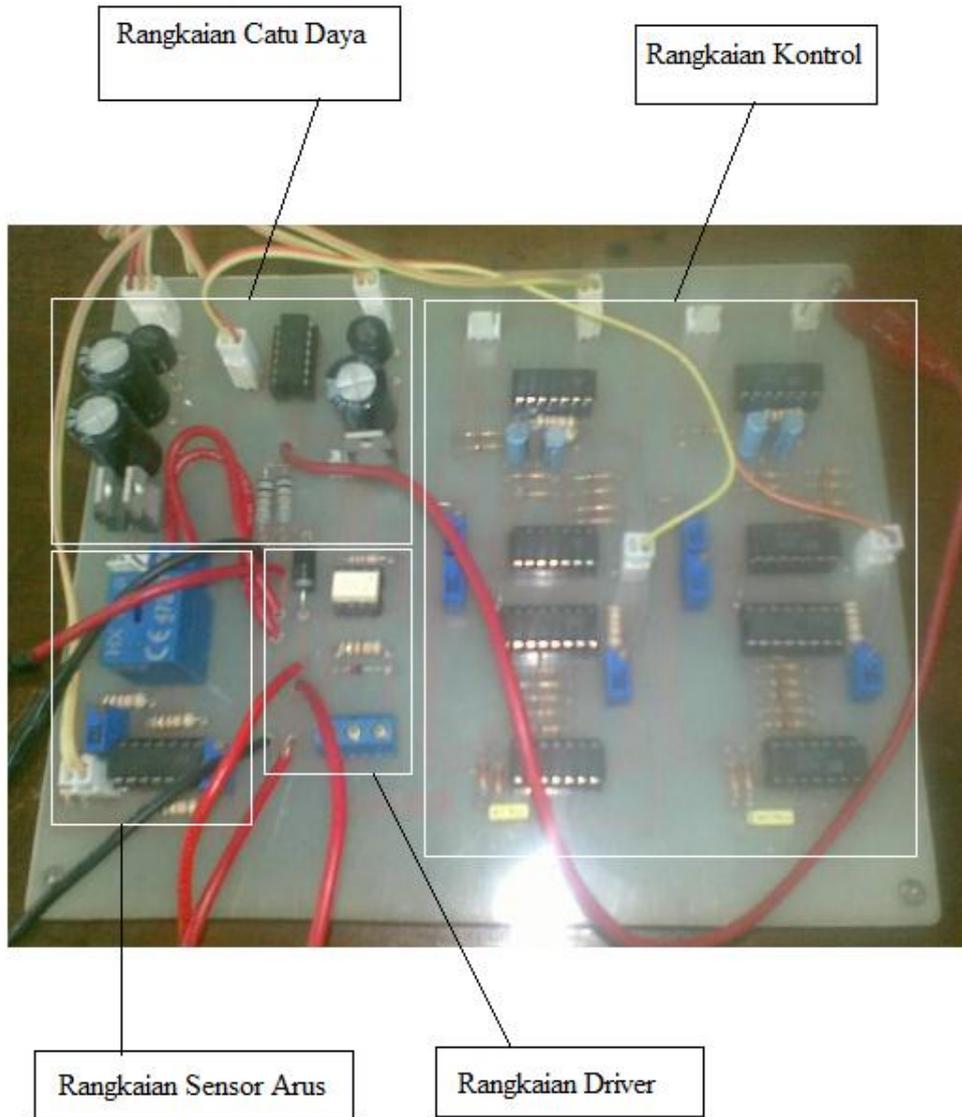
Dari hasil ujicoba yang dilakukan dengan simulasi komputasi menggunakan software Psim dan implementasi skala laboratorium sistem kendali dengan teknik arus hubung singkat yang dirancang dapat berjalan dengan baik dan memiliki efisiensi sebesar 84%.

### Daftar Pustaka

- [1] A.K. Mukerjee, Nivedita Dasgupta, "DC power supply used as photovoltaic simulator for testing mppt algorithms.", *Renewable Energy*, vol. 32, no. 4, pp. 587-592, 2007.
- [2] Dedy. P, Pratomo H.L dan Tejo. Y, 2010 "Pemanfaatan Mikrokontroler Tipe AT89S52 Sebagai Pengendalian Daya Maksimum Pada" CITEE, UGM Yogyakarta.
- [3] Eridanus dan Pratomo H.L, 2010, "Metode Pengendalian Daya Panel Surya dengan Kendali Adaptif", CITEE, UGM Yogyakarta.
- [4] Felix. Y dan Pratomo, H. L, 2009 "Memaksimalkan Daya Photovoltaic dengan Korelasi Riak", IES-ITS Surabaya.
- [5] Jonathan W. Kimball and Philip T. Krein, *Digital Ripple Correlation Control for Photovoltaic Applications*. IEEE Power Elec. Conf., pp. 1690-1694, 2007.
- [6] M.A.S. Masoum, H. Dehbonei, "Theoretical and experimental analysis of photovoltaic systems with voltage and current based maximum power point trackers", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 17, NO. 4, pp. 514-522, Dec 2002.
- [7] N. Femia, et. Al. "Optimization of Perturb and observe Maximum Power Point tracking Method," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 20, pp. 963-973, July 2005.
- [8] Pratomo, H. L, 2005, "Buck DC-DC Konverter Dengan Kendali One Cycle", *MILLENIUM*, Vol 1. No 3.
- [9] Rinovi. A. D, Pratomo H.L dan Tejo. Y, 2010 "Maximum Power Point Tracker pada Photovoltaic Module dengan Menggunakan Fuzzy Logic Controller", CITEE, UGM Yogyakarta.

- [10] TrishanEsrasm, Jonathan W. Kimball, Philip T. Krein, Patrick L. Chapman, and PallabMidya, *Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control*. IEEE Trans. on Power Elec., vol. 21, no. 5, pp.1282-1291, Sept. 2006.
- [11] V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, “*Review of maximum power point tracking algorithms for stand alone photovoltaic systems*” Solar Matter, Solar Cells, vol. 90, no. 11, pp. 1555-1578, July 2006.

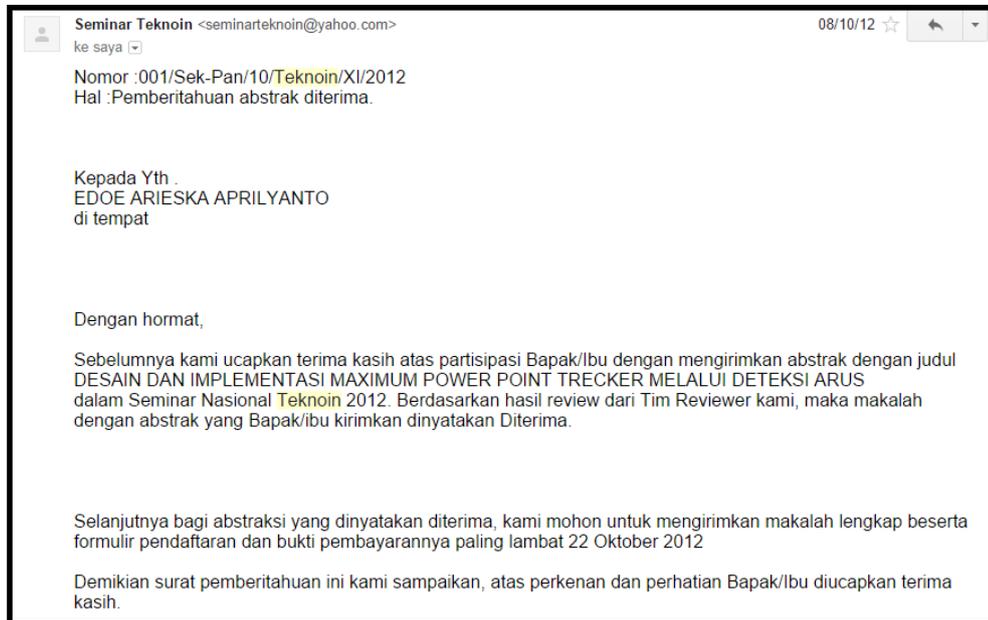
## LAMPIRAN



Gambar 1. Realisasi alat

1. Lampiran Diterimanya Seminar TEKNOIN di Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta.

Email dari panitia TEKNOIN bahwa PAPER yang diajukan DITERIMA di  
Seminar Nasional TEKNOIN 2012.



2. Lampiran Sertifikat Mengikuti Seminar TEKNOIN 2012 di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.



Gambar 2. Sertifikat Telah Mengikuti Seminar TEKNOIN 2012