

Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya

M. Rif'an, Sholeh HP, Mahfudz Shidiq; Rudy Yuwono; Hadi Suyono dan Fitriana S.

Abstrak—Sel surya jenis monokristal (*mono-crystalline*) merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

Photovoltaic cell selalu dilapisi oleh penutup yang berasal dari gelas. Seperti barang dari gelas lainnya, maka *optical input* dari *photovoltaic cell* juga sangat dipengaruhi oleh orientasinya terhadap matahari karena variasi sudut dari pantulan gelas.

Berdasarkan hasil percobaan, didapatkan *trendline* hubungan antara sudut datang sinar matahari dengan tegangan yang dihasilkan. Dari analisa data didapat fungsi $y = -0.0001x^2 + 0.0071x + 19.714$ dengan $R^2 = 0.9672$. Energi yang dihasilkan jika menggunakan *solar tracker* dengan sudut deviasi 5° menghasilkan energi yang paling besar).

Kata Kunci—Sel surya, optimasi, *solar tracker*.

I. PENDAHULUAN

PEMBANGKIT Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia, paling populer digunakan untuk listrik pedesaan (terpencil), system seperti ini populer dengan sebutan SHS (*Solar Home System*). SHS umumnya berupa system berskala kecil, dengan menggunakan modul surya 50-100 Wp (Watt Peak) dan menghasilkan listrik harian sebesar 150-300 Wh. Karena skalanya yang kecil, system DC (direct current) lebih disukai, untuk menghindari *losses* dan *self consumption* akibat digunakannya inverter. Karena systemnya yang kecil dan dipasang secara desentralisasi (satu rumah satu pembangkit, sehingga tidak memerlukan jaringan distribusi) SHS ideal digunakan untuk listrik di pedesaan dimana jarak rumah satu dengan lainnya

Muhammad Rif'an adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (korespondensi penulis, telepon 0341-665144; email mrifan@ub.ac.id)

Sholeh Hadi Pramono dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

Mahfudz Shidiq dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

Rudy Yuwono dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

Hadi Suyono dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

Fitriana Suhartati dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

berjauhan, dan keperluan listriknya relatif kecil, yakni hanya untuk memenuhi kebutuhan dasar (lampu). Meskipun secara pengertian SHS dapat saja berupa system yang besar (sejauh masih digunakan untuk listrik rumah), namun kebanyakan orang cenderung tidak menggunakan istilah SHS untuk system yang menggunakan modul lebih besar dari 100Wp (atau produksi energi harian >400Wh).

Kecilnya listrik yang dapat disediakan oleh SHS (kecil menurut definisi orang kota yang sering menggunakan listrik jauh diatas produksi SHS, padahal bagi orang desa listrik sejumlah itu sangat bermanfaat, karena dibandingkan lampu minyak tanah, yakni lampu teplok/petromak), ditambah lagi dengan relatif sulitnya mencari peralatan elektronik rumah tangga (TV, Radio/Tape dll) yang menggunakan system DC, membuat SHS tidak menarik untuk penggunaan di desa-desa dekat kota atau di perkotaan, dimana kebutuhan listrik sudah tidak melulu hanya untuk lampu penerangan. Meskipun belum ada batasan yang jelas, PLTS yang menggunakan modul surya lebih dari 100Wp (Output energi >400Wh), dan oleh karenanya lebih memungkinkan digunakan system AC (*Alternating Current*; karena listrik yang dapat digunakan setelah dikurangi *losses* dan *self consumption inverter* masih cukup memadai), dalam tulisan ini, termasuk dalam kategori PLTS skala menengah-besar. PLTS pada skala ini umumnya tidak lagi menggunakan system desentralisasi, tetapi menggunakan system sentralisasi dan dikombinasikan dengan system pembangkit lainnya (sistem hibrid).

System Hybrid dapat melibatkan 2 atau lebih system pembangkit listrik, umumnya system pembangkit yang banyak digunakan untuk hibrid adalah genset, PLTS, mikrohydro, Tenaga Angin. Sehingga system hibrid bisa berarti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohydro, PLTS-Tenaga Angin dst. Di Indonesia system hibrid telah banyak digunakan, baik PLTS-Genset, PLTS-Mikrohydro, maupun PLTS-Tenaga Angin-Mikro Hydro. Namun demikian hibrid PLTS-Genset yang paling banyak dipakai. Umumnya digunakan pada captive genset/isolated grid (*stand alone genset*, yakni genset yang tidak di interkoneksi). Tujuan dari Hybrid PV-Genset adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit (dalam hal ini genset & PLTS) sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga

secara keseluruhan system dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Photovoltaic Cell

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic (PV). Photo merujuk kepada cahaya dan voltaic merujuk kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radian matahari seperti ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini. Photovoltaic cell dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka elektron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan seperti yang dinyatakan oleh Chenni et. al. (2007).

Unjuk kerja dari photovoltaic cell sangat tergantung kepada sinar matahari yang diterimanya. Kondisi iklim (misal awan dan kabut) mempunyai efek yang signifikan terhadap jumlah energi matahari yang diterima sel sehingga akan mempengaruhi pula unjuk kerjanya seperti dibuktikan dalam penelitian Youness et. al (2005) dan Pucar dan Despic (2002).

B. Jenis panel sel surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi batere.

Panel sel surya terdiri dari photovoltaic, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang.

Dengan menambah panel sel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Contohnya ukuran $a \text{ cm} \times b \text{ cm}$ menghasilkan listrik DC (Direct Current) sebesar $x \text{ Watt per hour/jam}$.

C. Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Type Polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

D. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan

turun drastis dalam cuaca berawan.

E. Teknik Pemasangan Panel Surya

Umumnya panel surya dipasang secara tetap (fixed) padaudukannya. Untuk negara-negara 4 musim teknik yang diadopsi umumnya adalah dengan menghadapkan panel tersebut kearah selatan (bagi negara-negara di belahan bumi utara) atau ke arah utara (bagi negara-negara di belahan bumi selatan) seperti dalam penelitian Tackle and Shaw (2007). Panel surya diposisikan tegak lurus terhadap arah datangnya matahari tepat di siang hari seperti yang bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Teknik Pemasangan Panel Surya secara di Negara-negara Belahan Utara.

(Sumber : Luque dan Hegedus : 2003)

Keadaan sedikit berbeda untuk negara-negara tropis (letak geografisnya berada dekat garis khatulistiwa). Untuk negara-negara ini, cara pemasangan yang dilakukan cenderung lebih datar seperti yang terlihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Teknik Pemasangan Panel Surya pada Negara-negara Tropis

(sumber : <http://Solar Electricity in Indonesia Solar Electric Light Fund.htm>)

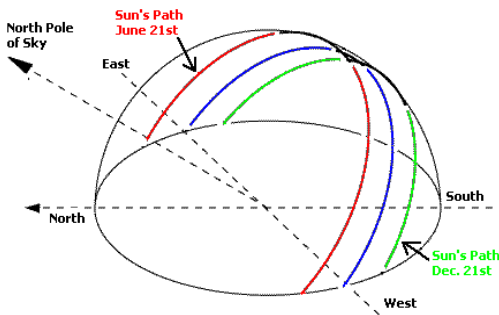
Teknik-teknik pemasangan seperti ini akan menyebabkan cahaya matahari pagi hari dan sore hari tidak berada pada posisi yang tepat terhadap arah datangnya sinar matahari. Akibatnya jumlah energi listrik yang bisa dibangkitkan menjadi lebih sedikit daripada seharusnya seperti diklaim oleh Cheng et. al. (2007).

F. Gerakan Harian Matahari

Jika dilihat dari bumi, matahari bergerak dari arah timur ke barat setiap hari. Lintasan matahari bergeser dari 23,50 LU (pada tanggal 21 Desember) ke 23,50 (pada tanggal 21 Juni) membentuk siklus yang berkelanjutan sepanjang tahun seperti yang terlihat pada gambar 3.

G. Pengaruh Gerakan Matahari terhadap Energi Surya

Photovoltaic cell selalu dilapisi oleh penutup yang berasal dari gelas. Seperti barang dari gelas lainnya, maka optical input dari photovoltaic cell juga sangat dipengaruhi oleh orientasinya terhadap matahari karena variasi sudut dari pantulan gelas.



Gambar 3 Lintasan Tahunan Matahari
(Sumber : [http:// Solar Tracker - Solar.htm](http://Solar Tracker - Solar.htm))

Sebuah rumus (1) yang populer digunakan untuk menjelaskan fenomena ini adalah rumusan dari ASHRAE yaitu :

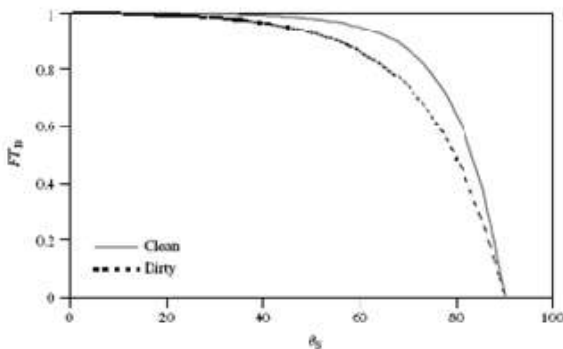
$$FT_B(\theta_s) = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta_s} - 1 \right) \tag{1}$$

dengan :

$FT_B(\theta_s)$ = relative transmittance.

b_0 = parameter empiris

sehingga dapat diplot grafik yang menghubungkan sudut datang dan nilai relative transmittance seperti Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Grafik Hubungan sudut datang (θ_s) dan nilai relative Transmittance (FT_B)
(Sumber : Luque dan Hegedus : 2003)

Dari Gambar 4 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut datang semakin kecil pula nilai relative transmittance-nya. Juga dari plotting tersebut dapat disimpulkan bahwa perbedaan sudut sampai 200 tidak banyak berpengaruh terhadap nilai relative transmittance-nya.

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini berupa kaji tindak, yang diawali dengan identifikasi dan karakterisasi sel surya, yang dilanjutkan dengan serangkaian analisis untuk mencari besar sudut pergeseran yang optimal. Analisis dilakukan pada data hasil pengukuran tegangan output sel surya untuk beberapa sudut kemiringan. Hasil-hasil penelitian akan diaplikasikan sebagai upaya untuk mengoptimalkan pemanfaatan PLTS dalam rangka memenuhi captive power di Jurusan teknik Elektro UB.

Tahapan implementasi metode yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Mengidentifikasi tegangan output sel surya untuk beberapa sudut kemiringan seperti gambar 5.
- Menghitung kerugian energi untuk menggerakkan solar tracker.
- Menghitung besar sudut pergerakan optimal untuk sel surya di jurusan Teknik elektro U.B.
- Sistem PLTS

Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya terbagi menjadi beberapa bagian. Sel surya akan merubah energi dari matahari menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya akan disimpan dalam accumulator melalui sebuah charger controller. Charger controller inilah yang mengatur tegangan dan arus yang masuk ke accumulator. Beban adalah perangkat elektronik yang memerlukan supply AC, sehingga diperlukan inverter untuk mengubah tegangan DC dari accumulator menjadi sebuah tegangan AC. Pengubah tegangan ini disebut Inverter,



Gambar 5. Pengukuran Tegangan Output panel surya

Sel Surya Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang ditambahkan ke batere dan diambil dari batere ke beban. Sel surya charge controller juga overcharging (kelebihan pengisian - karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya, dimana akan mengurangi umur batere. Sel surya charge controller menerapkan teknologi Pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian batere dan pembebasan arus dari batere ke beban. Beberapa fungsi detail dari sel surya charge controller adalah sebagai berikut:

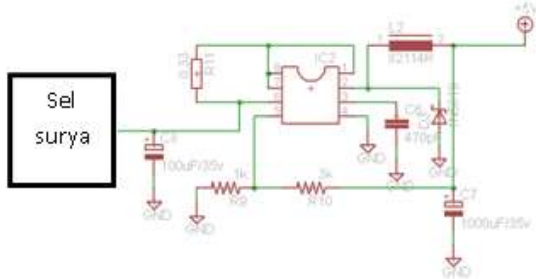
- Mengatur arus untuk pengisian ke batere, overcharging, overvoltage.
- Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari batere agar batere tidak 'full discharge', overloading.
- Monitoring temperatur batere

Untuk membuat charge controller perlu diperhatikan karakteristik sel surya dan accumulator. Dalam penelitian ini digunakan 2 modul sel surya, dengan masing-masing modul memiliki tegangan keluaran maksimal 21,5 volt dan arus maksimal 4,7 A. accumulator yang digunakan memiliki tegangan maksimal 13,5 volt. Sehingga dirancang charger dengan karakteristik sebagai berikut:

- Tegangan input maksimal 21,5 volt

- Tegangan output maksimal 13,5 volt
- Arus maksimal 5 A.

Seperti yang telah disebutkan di atas solar charge controller yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel sel surya berhenti. Accumulator charger digunakan rangkaian seperti gambar 6.



Gambar 6. rangkaian charger

Solar Charge Controller terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel sel surya, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai / aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena ada 'diode protection' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel sel surya ke baterai, bukan sebaliknya.

IV. PENGUJIAN TEGANGAN OUTPUT SEL SURYA

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai tegangan yang berbeda-beda berdasarkan sudut datang sinar matahari.

Peralatan yang digunakan :

- Sel surya
- Voltmeter
- penggaris

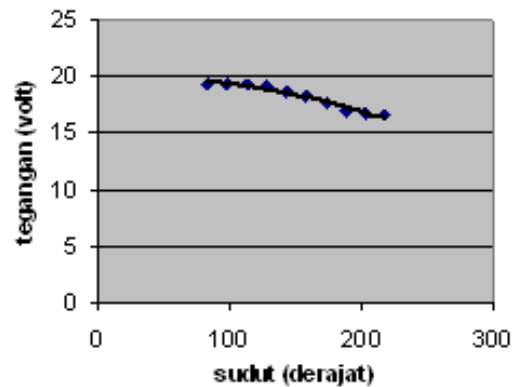
Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan data pengukuran hubungan antara sudut datang sinar matahari dengan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya seperti Tabel 1. pengukuran dilakukan pada pagi hari jam 09.00.

TABEL I
HUBUNGAN ANTARA SUDUT DATANG SINAR MATAHARI DENGAN TEGANGAN OUTPUT SEL SURYA

No	Sudut (derajat)	Tegangan (volt) ^a
1	84	19,4
2	99	19,4
3	114	19,3
4	129	19,1
5	144	18,7
6	159	18,3
7	174	17,6
8	189	17
9	204	16,7
10	219	16,6

Data yang didapat dipergunakan untuk mencari trendline hubungan antara sudut datang sinar matahari dengan tegangan yang dihasilkan. Dari analisa data

didapat fungsi $y = -0.0001x^2 + 0.0071x + 19.714$ dengan $R^2 = 0.9672$. secara grafik terlihat seperti Gambar 7.



Gambar 7. grafik hubungan sudut datang sinar matahari dengan tegangan output sel solar.

Dalam penelitian sebelumnya, didapat hasil pengukuran untuk solar tracker seperti Tabel 2.

TABEL 2
HASIL PENGUKURAN ENERGI YANG DIPERLUKAN UNTUK MENGGERAKKAN SOLAR TRACKER

Sudut (derajat).	v (volt)	I (A)	Daya (watt)	Waktu (s)	Energi (Wh) ^a
20	12	1.25	15	86.50	0.260
140	12	1.25	15	605.49	2.523
Sehari	12	1.25	15	1210.98	5.046

Sehari diasumsikan sel surya mendapatkan energi selama 12 jam, dari timur ke barat (180°). Jika sel surya digerakkan untuk menjaga sudut datang selalu dibawah atau sama dengan 10°, maka sel surya perlu digerakkan setiap 1 jam 20 menit. Jika sel surya digerakkan untuk menjaga sudut datang selalu dibawah atau sama dengan 20°, maka sel surya perlu digerakkan setiap 2 jam 40 menit. Analisis selengkapnya seperti tabel 3.

TABEL 3
PERHITUNGAN ENERGI YANG DIHASILKAN DAN ENERGI YANG DIPERLUKAN UNTUK SOLAR TRACKER DALAM SEHARI

sudut defleksi max	Vout min (volt)	Energi Masuk (Wh)	Energi Keluar (Wh)	Sisa Energi (Wh)
		1169.1		
5	19.486	6	6.127	1163.033
		1165.4		
10	19.424	4	5.767	1159.673
		1161.4		
15	19.357	2	5.406	1156.014
		1157.1		
20	19.285	0	5.586	1151.514
		1147.5		
30	19.126	6	4.325	1143.235
		1136.8		
40	18.947	2	2.883	1133.937
		1131.0		
45	18.85	0	3.244	1127.756

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian dan analisisnya, dapat disimpulkan bahwa, energi yang dihasilkan jika menggunakan solar tracker dengan sudut deviasi 5° menghasilkan energi

yang paling besar.

Dari penelitian yang dilakukan dapat diberikan saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya agar dalam memperhitungkan jumlah energi lebih teliti, perlu dibuat data logger yang dapat membaca besar tegangan, dan arus setiap saat secara real time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Battles, F. J., Rubio, M. A., Tovar, J., Olmoc, F. J., and Alados-Arboledas, L., (2000). *Empirical Modeling of Hourly Direct Irradiance by Means of Hourly Global Irradiance*. Amsterdam, Journal of Energi, Volume 25, Issue 7, pp. 675-688.
- [2] Bradford, T., (2007) *Solar Revolution: The Economic Transformation of the Global Energy Industry*, Amsterdam, Journal of Energi, Volume 32, Issue 9, pp. 1789.
- [3] Celik, A., N., (2003). Long-Term Energy Output Estimation for Photovoltaic Energy Systems using Synthetic Solar Irradiation Data, Amsterdam, Journal of Energi, Volume 28, Issue 5, pp. 479-493.
- [4] Cheng, C. L., Chan, C.Y., and Chen, C.L., (2007) *An empirical approach to estimating monthly radiation on south-facing tilted planes for building application*, Amsterdam, Journal of Energi, Volume 31, Issue 14, pp. 2940-2957.
- [5] Chenni, R. , Makhlouf, M., Kerbache, T., and Bouzid, A., (2007). *A Detailed Modeling Method for Photovoltaic Cells*. Amsterdam. Journal of Energy, Volume 32, Issue 9, pp. 1724-1730.
- [6] <http://INDENI> Indonesia Energy Information Center - Solar Energy.htm
- [7] <http://Renewable Energy - Solar Energy, radiant-light energy, heat-thermal energy.htm>
- [8] <http://Solar Electricity in Indonesia Solar Electric Light Fund.htm>
- [9] <http://Solar Tracker - Solar.htm>
- [10] <http://www.solazone.com/SOLAR TRACKER.htm>
- [11] Kalema, T., (2007) *The Energy Saving Obtainable with Solar Heating and Heat Pumps in a Northern Climate*. New York. International Journal of Energy Research, Volume 9, Issues 4, pp. 403-415.
- [12] Lee, W. Y., and Kim, S. S. (2007) *Maximum Power-Conversion Efficiency for The Utilization of Solar Energy*. New York. International Journal of Energy Research, Volume 15, Issues 4, pp. 257-267.
- [13] Luque, A., and Hegedus, S., (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. New York, John Willey & Sons, Ltd.
- [14] Nahar, N. M., Thanvi, K. P., and Ramana Rao, B. V., (2007) *Design, Development and Testing of an Improved Multipurpose Solar Energy Device*. New York. International Journal of Energy Research, Volume 10, Issues 1, pp. 91-96.
- [15] Pucar, M. D., Despic, A. R., (2002). The Enhancement of Energy Gain of Solar Collectors and Photovoltaic Panels by The Reflection of Solar Beams. Amsterdam, Journal of Energi, Volume 27, Issue 3, pp. 205-223.
- [16] Rafi, A. dan Rif'an, M., (2007). Perancangan Sistem Penjejak Matahari Berbasis Mikrokontroler dan Sensor Cahaya. Skripsi. Tidak dipublikasikan.
- [17] Takle, E. S., and Shaw, R. H. (2007) *Complimentary Nature of Wind and Solar Energy at a Continental Mid-Latitude Station*. New York. International Journal of Energy Research, Volume 3, Issues 2, pp. 103-112.
- [18] White, J. R., (2007) *Comparing Solar Energy Alternatives*. New York. International Journal of Energy Research, Volume 8, Issues 1, pp. 39-52.
- [19] Youness, S., Claywell, R., and Muneer, T., (2005). *Quality Control of Solar Radiation Data: Present Status and Proposed New Approaches*, Amsterdam, Journal of Energi, Volume 30, Issue 9, pp. 1533-1549.