

**KESAN SUHU TERHADAP PRESTASI SEL FOTOVILTIK
SILIKON KRISTAL TUNGGAL (KAJIAN DI
KOTA KINABALU SABAH)**

ARAVINTHERSENA SIRISENA

**SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

**DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI
IJAZAH SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN**

**PROGRAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

MAY 2008



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: KESAN SUHU TERHADAP PRESTASI SELFOTOVOLTIK SILIKON KRISTAL TUNGGALIJAZAH: SARJANA MUDA DENGAN KEPUSIAAN FIZIK
DENGAN ELEKTRONIKSAYA ARAVIN THERSENA SIRISENA
(HURUF BESAR)SESI PENGAJIAN: 04/05

mengaku membenarkan tesis (LPSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institutis pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/)

 SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

 TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

 IDAK TERHAD

Disahkan Oleh

NURULAIN BINTI ISMAIL
LIBRARIAN

[Signature]
(TANDATANGAN PENULIS)

[Signature]
(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: Pet. Surat 40,
89007 TENOM, SABAH

EN. ALVIE LO SIN VOI
Nama Penyelia

Tarikh: 12/5/08

Tarikh: 12/5/08

CATATAN:- *Potong yang tidak berkenaan.

**Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa /organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

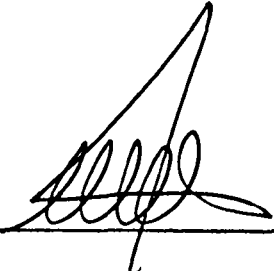
@Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

05 April 2008



ARAVINTHERSENA SIRISENA

HS2004-3003

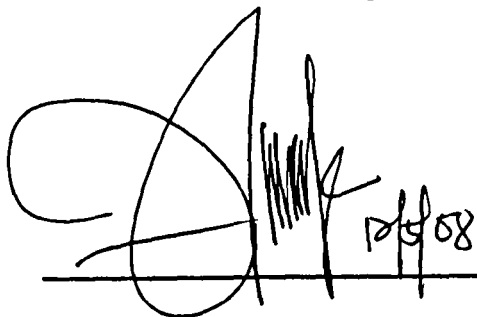


DIPERAKUKAN OLEH

Tandatangan

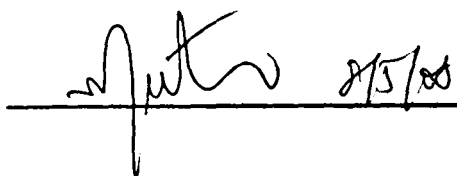
1. PENYELIA

(EN. ALVIE LO SIN VOI)



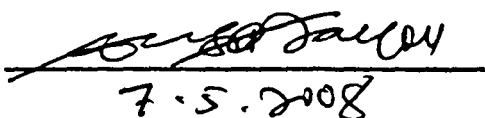
2. PEMERIKSA 1

(PUAN TEH MEE TENG)



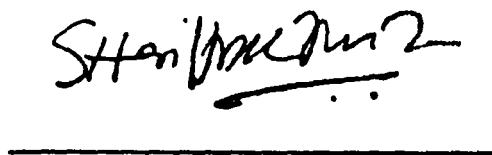
3. PEMERIKSA 2

(PROF. MADYA DR. JEDOL DAYOU)



7.5.2008

4. DEKAN

(PROF. MADYA DR. SHARIF
A. KADIR S. OMANG)

PENGHARGAAN

Saya ingin mengambil kesempatan menyampaikan ucapan dan penghargaan yang tidak terhingakepada mereka yang telah membantu saya dalam usaha menjayakan projek tahun akhir saya ini. Kejayaan ini tidak mungkin dicapai tanpa bantuan yang dihulurkan oleh mereka. Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Encik Alvie Lo Sin Voi selaku penyelia projek saya di atas bantuan dan nasihat yang dihulurkan sepanjang kajian disertasi ini dijalankan.

Kepada ayahanda dan bonda yang disayangi iaitu Sirisena John dan Paidammah serta keluarga yang sentiasa mendorong saya di dalam pelajaran serta mendoakan kejayaan saya selama saya menuntut di universiti. Tidak lupa kepada abang saya Sumanasena dan kakak saya Anuthra.

Kepada pensyarah-pensyarah Program Fizik Dengan Elektronik, pelajar-pelajar pasca siswazah, para pembantu makmal serta mereka yang turut sama membantu secara langsung ataupun tidak langsung, segala tunjuk ajar dan bantuan yang telah kalian berikan didahului dengan ucapan terima kasih yang tidak terhingga.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada rakan-rakan saya yang telah memberikan galakan dan bantuan terutamanya saudari Dymphna Jane Ekol, saudara Azwan Asis, Jerry J Kagon, Aswadi Jawal, Mohd. Sukri Laraja, Dalius Gandoh Sibin, Mohd.Sunny dan Romel Roli. Akhir kata, terima kasih untuk semua yang terlibat dalam penghasilan projek ini bersama saya dan semoga usaha yang dilakukan selama ini mendapat balasan baik dan keberkatan daripada Yang Maha Esa.



ABSTRAK

Projek ini dilakukan untuk mengkaji kesan suhu ke atas prestasi sel solar. Ia bertujuan untuk mengetahui sama ada sel solar ini sesuai digunakan di negara kita yang beriklim khatulistiwa iaitu panas dan lembab sepanjang tahun di mana kesesuaian sel solar ini boleh ditentukan melalui kecekapan penukarannya. Selain itu, hubungan di antara suhu dan keamatan cahaya dan kesan terhadap kecekapan PV telah dikaji dan kesannya terhadap kecekapan sel solar dikaji. Sel Fotovoltik Silikon Kristal Tunggal disambungkan dengan multimeter dan suhu dicatatkan melalui termometer. Data yang akan diperolehi dari multimeter berbentuk voltan dan arus. Meter cahaya diletakkan di sebelah sel solar bagi mengukur keamatan cahaya matahari yang diterima oleh sistem solar (Danny *et al.*, 2005). Seperti yang kita semua maklum, kecekapan sel fotovoltik akan berkurang dengan penambahan suhu (David *et al.*, 2005). Menurut pemerhatian yang dilakukan oleh Radziemska (2003), kecekapan penukaran sel fotovoltik menurun sebanyak 0.08% dengan peningkatan suhu sebanyak 1 kelvin. Kesimpulannya, sel solar sesuai digunakan di negara kita kerana kecekapan penukaran tenaga sel solar di negara kita adalah sebanyak (-0.074%/K).



ABSTRACT

This project is to determine the effect of the temperature on the performance of the solar panel as well as to determine whether this solar panel is suitable to be used in our equator climate. Monocrystalline Silicon solar panel will be connected with the multimeter and the thermometer will be used to measure the temperature degree. The output that will be generated are in the current and voltage form. The light meter will be placed next to the solar panel to get the irradiance of the sun penetration (Danny *et al.*, 2005). As we all know the coefficient efficiency of the solar panel will decrease as the temperature increases (David *et al.*, 2005). From the observation of Radziemska (2003), the conversion efficiency of the solar panel decrease 0.08% with the increase of 1 Kelvin. As a conclusion, seems the conversion efficiency of the solar panel is (-0.074%/K) in our country, the solar panel is suitable to be used in our country.



KANDUNGAN

Muka Surat

PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI FOTO	xi
SENARAI SIMBOL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 PENGENALAN	1
1.2 PENGGUNAAL SEL FOTOVOLTIK	4
1.3 SEJARAH AWAL SEL FOTOVOLTIK	5
1.4 TUJUAN KAJIAN	6
1.5 OBJEKTIF KAJIAN	7
1.6 SKOP KAJIAN	7
BAB 2 ULASAN PERPUSTAKAAN	8
2.1 SEL SOLAR	8
2.2 EMPAT GENERASI PV	11
2.3 SIMPANG p-n	12
2.4 MEKANISMA KERJA SEL SOLAR	13
2.5 TEKNOLOGI SEL SOLAR	16
2.6 KECEKAPAN PENUKARAN TENAGA	17
2.7 SUHU	22
2.8 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENGUMPULAN DATA	22



BAB 3	BAHAN DAN KAEDAH	24
3.1	PENGENALAN	24
3.2	PENYEDIAAN BAHAN DAN PERALATAN	25
3.3	PEMASANGAN LITAR	25
3.4	PENYEDIAAN DATA	25
3.5	PENGIRAAN BAGI KECEKAPAN PENUKARAN TENAGA	26
BAB 4	KEPUTUSAN DAN ANALISIS DATA	28
4.1	DATA YANG DIAMBIL	28
4.1.1	KESAN CUACA TERHADAP OUTPUT SEL SOLAR	29
4.2	KESAN KEAMATAN TERHADAP KUASA DAN SUHU TERHADAP SEL SOLAR	33
4.3	KESAN SUHU TERHADAP SEL SOLAR	36
4.3.1	KESAN SUHU KEATAS KUASA SEL	36
4.3.2	KESAN SUHU KEATAS KECEKAPAN SEL	40
BAB 5	KESIMPULAN	41
5.1	KESIMPULAN	41
5.2	CADANGAN MASA HADAPAN	42
RUJUKAN		44
LAMPIRAN		47



SENARAI JADUAL

Nombor Jadual	Muka surat
4.1 Cuaca dan keadaan sekeliling pada hari pertama, kedua dan ketiga	29
5.1 Hubungan di antara parameter	42



SENARAI RAJAH

Nombor Rajah	Muka surat
2.1 Litar sel solar	10
2.2 Simbol bagi sel solar	10
2.3 Struktur asas sel silikon	11
2.4 Suhu dan kecekapan penukaran sel fotovoltik setiap bulan di Jepun	19
2.5 Kecekapan penukaran dan jumlah keamatan cahaya matahari sebagai fungsi suhu modul.	21
2.6 Kecekapan penukaran sepanjang tahun	21
4.1 Kuasa lawan masa – Hari Pertama	30
4.2 Graf kuasa lawan masa – Hari kedua	31
4.3 Kuasa lawan masa – Hari ketiga	32
4.4 Graf Keamatan Lawan Kuasa pada hari ketiga	33
4.5 Graf Keamatan Lawan Kuasa pada hari ketiga – hari ketiga	34
4.6 Graf Keamatan dan kecekapan melawan suhu – hari ketiga	35
4.7 Kuasa dan kecekapan lawan suhu – hari ketiga	36
4.8 Graf kuasa melawan suhu (Radziemska, 2003)	38
4.9 Graf Kuasa lawan suhu.	39
4.10 Graf kecekapan lawan suhu bagi hari ketiga.	40



SENARAI FOTO

Nombor Foto	Muka Surat
2.1 Sel solar yang diperbuat daripada Wafer Silikon Kristal Tunggal	8
2.2 Sel solar monosilikon	9
3.1 Pemasangan sel solar	25



SENARAI SIMBOL

A	Ampere
°C	Darjah Celcius
%	Peratus
K	Kelvin
η	Kecekapan
T	Suhu
V	Voltan
I	Arus
W	Watt
Lux	Keamatan Cahaya
=	Sama dengan
°	Darjah
P_m	Kuasa maksimum
A_c	Luas permukaan
m	Meter
P_{IN}	kuasa tuju
E_{ref}	Keamatan cahaya matahari

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Generasi fotovoltaik kuasa semakin merebak luas sebagai sumber bumi yang baik dan selamat digunakan (Nishioka *et al.*, 2003). Penggunaan sel fotovoltaik pada hari ini di negara-negara maju adalah semakin meluas tetapi masih belum lagi digunakan di negara kita. Kebanyakan kawasan pedalaman di negara kita berpotensi untuk menggunakan tenaga elektrik dengan menggunakan sel fotovoltaik. Seperti yang kita semua maklum, kecekapan sel fotovoltaik akan berkurang dengan penambahan suhu (David *et al.*, 2005). Setiap saat, matahari menghasilkan tenaga radiasi yang tinggi ke seluruh sistem solar. Oleh kerana bumi berdekatan dengan matahari, planet kita menyerap jumlah tenaga yang agak besar. Fungsi sel fotovoltaik adalah mengumpul cahaya matahari dan menukarkan cahaya kepada tenaga. Proses ini adalah dikenali sebagai kesan fotovoltaik. Sudah tentu bukan semua sel fotovoltaik dihasilkan sama dan kecekapannya berlainan. Salah satu sel fotovoltaik yang popular adalah Sel Fotovoltaik Silikon Kristal Tunggal tetapi jenis-jenis lain masih boleh digunakan.



Bahagian yang paling penting dalam cahaya matahari terhadap fungsi sel PV adalah foton yang terdapat dalam cahaya matahari. Setiap foton mengandungi jumlah tenaga elektrik yang berbeza bergantung kepada panjang gelombang spectrum solar yang berlainan. Semasa memasuki sel PV, tenaga yang dibawa oleh foton dipindahkan kepada electron dalam atom semikonduktor.

Elektron tersebut akan teruja dan meninggalkan posisi lamanya yang sebahagian dari atom dan menjadi sebahagian dari arus elektrik. Ini adalah proses di mana cahaya matahari berukar menjadi tenaga elektrik. Untuk menjadikan tenaga tersebut lebih berguna, satu alat yang dipanggil 'inverter' digunakan untuk mengatur semula arus terus (DC) dan menukarnya kepada arus ulang-alik (AC).

Terdapat banyak kebaikan dalam penggunaan teknologi fotovoltik sebagai pembekal tenaga. Beberapa kebaikan teknologi fotovoltik iaitu:

- a) Tiada pencemaran – pembakaran bahan semulajadi untuk menghasilkan tenaga akan menghasilkan asap, hujan asid, pencemaran air dan juga pencemaran udara.. Karbon dioksida, gas rumah hijau yang utama juga dihasilkan. Kuasa solar hanya menggunakan tenaga solar sebagai bahan apinya. Ia tidak menghasilkan hasil sampingan yang berbahaya.
- b) Tiada bunyi – pencemaran bunyi, biarpun ia tidak menyumbang kepada perubahan cuaca, ia boleh menghasilkan masalah. Penjana kuasa solar tidak menghasilkan sebarang bunyi.
- c) Tiada pengurangan sumber alam – tenaga matahari adalah satu-satunya sumber yang diperlukan untuk menjana sel solar. Biarpun sel fotovoltik diperbuat



daripada silikon, silikon terdapat dengan banyak dan adalah bahan tidak bertoksid. Bahan-bahan lain juga dalam kajian untuk digunakan.

- d) Murah – oleh kerana cahaya matahari adalah percuma, tidak ada sebarang kos selain kos pemasangan malah pembayaran untuk penggunaan tenaga elektrik akan berkurang.
- e) Kurang kos penyelenggaraan - sel solar tidak memerlukan kos penjagaan kerana amat kecil kebarangkalian sel solar akan retak mahupun rosak. Sel solar boleh berfungsi untuk bertahun – tahun.

Ini hanyalah kebaikan asas dari fotovoltik. Di negara yang sedang membangun, lebih banyak keuntungan yang diperolehi daripada teknologi fotovoltik. Sebagai contohnya, kawasan pedalaman boleh menggunakan tenaga elektrik tanpa penjana kuasa elektrik dengan adanya sel fotovoltik.

Di antara keburukan sel fotovoltik ialah:

- a) Tenaga elektrik dari sel fotovoltik lebih mahal dari tenaga elektrik yang dihasilkan dari sumber lain.
- b) Tenaga solar tidak dapat digunakan pada waktu malam dan mungkin tidak dapat digunakan pada cuaca tertentu. Oleh itu, satu penyimpan kuasa adalah diperlukan untuk menyimpan tenaga sewaktu sel fotovoltik tidak dapat digunakan.
- c) Sel solar menghasilkan arus terus (DC) dimana ia perlu ditukarkan kepada arus ulang-alik (AC) dan ini akan mengakibatkan kehilangan tenaga sebanyak 4 - 12%.



Persoalannya, adakah sel fotovoltik ini sesuai digunakan di negara kita yang mempunyai iklim khatulistiwa dan adakah cuaca kita yang panas dan lembab sepanjang masa ini akan mempengaruhi kecekapan sel solar Fotovoltik?

1.2 PENGGUNAAN SEL FOTOVOLTIK

Senarai yang berikut menerangkan beberapa penggunaan utama sel suria bagi bekalan kuasa elektrik.

- a) Lampu rumah, televisyen, pemain kaset, radio dan peralatan kecil. Lampu pada malam hari adalah penting untuk pendidikan, kerja tangan dan aktiviti sosial. Televisyen, radio dan sistem stereo pula berguna kepada penduduk luar bandar yang memerlukan maklumat dan hiburan.
- b) Industri kecil dan institusi. Sekolah dan pemiagaan kecil di luar bandar menggunakan elektrik suria untuk menghidupkan lampu, mesin jahit, kalkulator, peralatan kecil, komputer, mesin taip dan sistem keselamatan.
- c) Telekomunikasi. Biasanya sistem telekomunikasi dibina di tempat terpencil tanpa kewujudan bekalan kuasa elektrik, sistem fotovolta boleh membekalkan kuasa elektrik tersebut pada radio, pengulang terpencil, dan peralatan pemantau cuaca.
- d) Peti ais vaksin dan lampu bagi pusat kesihatan. Sistem elektrik suria banyak digunakan bagi peti ais vaksin di pusat kesihatan terpencil. Peti ais tersebut digunakan juga bagi membekukan ketulan ais dan menyimpan plasma darah



dalam keadaan sejuk. Organisasi Kesihatan Sedunia (WHO) menyokong penggunaan sistem elektrik suria ini.

- e) Pengepaman air. Susunatur modul sel suria disambungkan pada pam elektrik untuk mengepam air dari sungai dan telaga. Air ini boleh digunakan bagi tujuan minuman, pembasuhan, penggunaan kerja rumah lain dan projek pengairan kecil.
- f) Pagar elektrik dan lain-lain kegunaan. Pagar elektrik yang boleh menghindarkan binatang liar dari ladang dan taman haiwan boleh di kuasakan oleh elektrik suria. Kegunaan biasa lain seperti lampu jalan, tanda jalan, alat pembantu pengemudian kapal, sistem keselamatan dan kawalan batang paip dari kakisan.

1.3 SEJARAH AWAL SEL FOTOVOLTIK (PV)

Ramai yang terkejut mengetahui teknologi fotovoltik bukannya sesuatu yang baru. Kebenarannya, kita mempunyai pengetahuan terhadap fotovoltik selama seabad. Fotovoltik yang pertama dicipta pada 1839 oleh Charles Fritts iaitu 16 tahun sebelum Thomas Edison mereka mentol cahaya. Silicon adalah bahan yang paling sesuai untuk PV hari ini. Sekitar 1838, Edmund Becquerel yang berumur 19 tahun telah menemui kesan fotovoltik ('fotovoltik' adalah penukaran cahaya matahari kepada elektrik).

Banyak penemuan yang lain selepas ciptaan Fritts dimana ahli sains telah menemui kombinasi unsur-unsur yang berbeza akan menghasilkan akan kepekaan terhadap yang berbeza. Mereka juga menemui cara untuk memperbaiki kristal tunggal silikon. Einstein

sendiri telah memberi sumbangan terhadap fotovoltik dan beliau menerima Hadiah Nobel untuk peneranganya terhadap kesan fotovoltik.

Tidak terdapat apa-apa perkembangan kepada perkembang teknologi fotovoltik sehingga tahun 1954 dimana Bell Laboratories telah memerhatikan kepekaan Silikon terhadap cahaya. Sehingga tahun 60an, kuasa PV telah mula digunakan dan dikenali.

1.4 TUJUAN KAJIAN

Projek ini dilakukan untuk mengkaji kesan suhu ke atas prestasi sel solar. Ia bertujuan untuk mengetahui sama ada sel solar ini sesuai digunakan di negara kita yang beriklim khatulistiwa iaitu panas dan lembab sepanjang tahun dimana kesesuaian sel solar ini boleh ditentukan melalui kecekapan penukarannya.

Selain itu, hubungan di antara suhu dan keamatan cahaya dan kesan terhadap kecekapan PV akan dikaji.



1.5 OBJEKTIF KAJIAN

Ojektif kajian ini adalah seperti berikut:

- i. menentukan kadar perubahan kecekapan terhadap suhu
- ii. menentukan hubungan antara suhu dan keamatan dan kesan terhadap kecekapan panel solar

1.6 SKOP KAJIAN

Menurut Adolf dan Christoper (2000), sejak sel solar yang pertama berkembang di makmal Bell pada tahun 1954, fotovoltik telah di dominasikan oleh silikon. Oleh itu, sel solar yang akan digunakan dalam projek ini adalah sel solar silikon kristalin dimana kajian ini akan bertempat di Universiti Malaysia Sabah (UMS), Kota Kinabalu.



BAB 2

ULASAN PERPUSTAKAAN

2.1 SEL SOLAR

Sel solar atau sel fotovoltik adalah suatu alat yang menukarkan tenaga cahaya kepada tenaga elektrik. Sel solar berkebolehan untuk menyerap foton dari cahaya matahari untuk menghasilkan elektron bebas (Gerardo and Antonio, 1994). Kadang kala, istilah sel solar adalah digunakan untuk alat yang menyerap tenaga dari cahaya matahari manakala istilah sel fotovoltik adalah digunakan apabila sumber cahaya adalah tidak spesifik. Seperti yang kita semua maklum, kecekapan sel fotovoltik akan berkurang dengan penambahan suhu (David *et al.*, 2005). Foto 2.1 menunjukkan contoh sel solar yang diperbuat daripada wafer silikon.

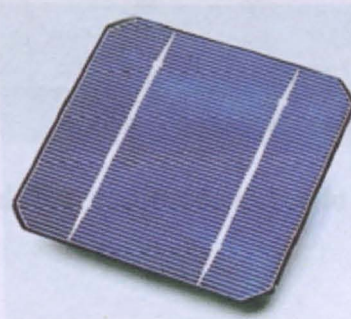


Foto 2.1 Sel solar yang diperbuat daipada Wafer Silikon Kristal Tunggal.(0)

Secara asasnya, alat tersebut perlu memenuhi dua fungsi:

- fotogenerasi oleh cas yang membawa (elektron dan lohong) dalam meterial yang menyerap cahaya.
- pengasingan cas pembawa kepada hubungan konduksi yang akan memindahkan elektik (secara ringkasnya, peminahan elektron yan bersentuhan dengan logam ke dalam wayar atau litar lain). Pertukaran tenaga ini dipanggil *kesan fotovoltik* dan bidang yang berkaitan dengan sel solar dikenali sebagai fotovoltik. Foto 2.2 menunjukkan sel solar monosilikon yang digunakan di Ukraine.

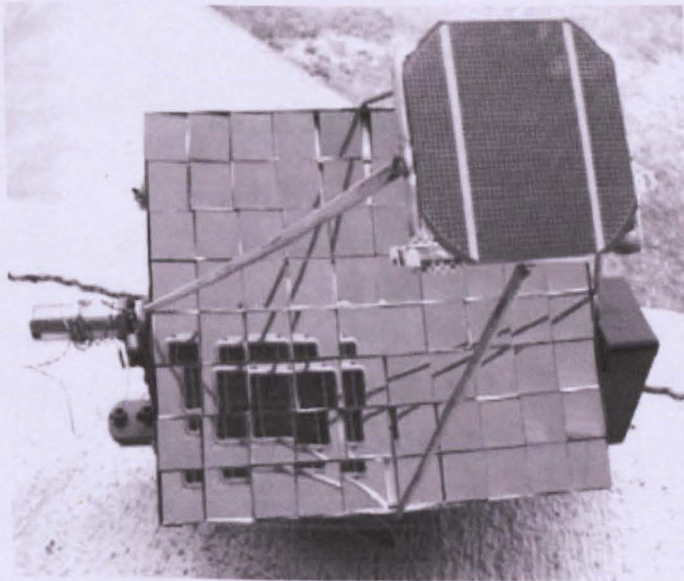
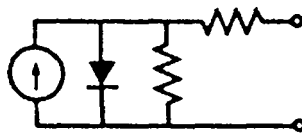
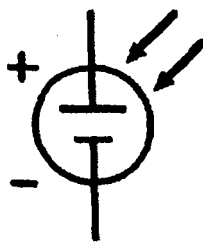


Foto 2.2 Sel solar monosilikon (David *et al.*, 2005)

Sel solar beroperasi secara automatik dimana ia mula dan berhenti beroperasi tanpa campur tangan oleh mana-mana individu (Diarra and Akuffo, 2002). Jumlah kuasa yang dijanakan oleh sel solar bergantung kepada keamatan cahaya matahari di kawasan ia digunakan (Danny *et al.*, 2003). Selain itu, Diarra dan Antonio (2002) mengatakan bahawa suhu adalah salah satu faktor yang mempengaruhi prestasi modul PV. Sel solar mempunyai banyak aplikasi. Ia telah lama digunakan dalam situasi dimana kuasa elektrik dari grid tidak wujud, contohnya dalam sistem kuasa kawasan pedalaman. Rajah 2.1 menunjukkan litar sel solar manakala rajah 2.2 menunjukkan simbol bagi sel solar.

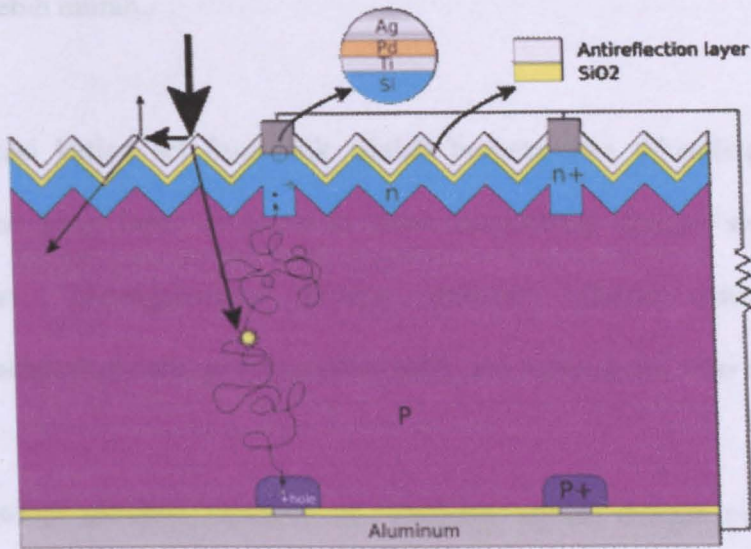


Rajah 2.1 Litar sel solar



Rajah 2.2 Simbol bagi sel solar

Rajah 2.3 menunjukkan struktur asas sel silikon. Menurut Diarra dan Akuffo (2002), sistem PV perlu dibersihkan dari masa ke masa sekurang-kurangnya seminggu sekali.



Rajah 2.3 Struktur asas sel silikon

2.2 EMPAT GENERASI PV

Generasi pertama fotovoltaik, memerlukan kawasan yang lebih luas, lapisan tunggal simpang p-n diod yang mana mampu menjanakan tenaga elektrik yang berguna dari sumber cahaya dengan panjang gelombang dari cahaya matahari.

2.3

Bahan yang digunakan oleh selfotovoltaik generasi kedua adalah berasaskan filem nipis semikonduktor. Alat ini adalah direka untuk menghasilkan kecekapan yang tinggi dengan "multiple junction" sel fotovoltaik. Kemudian, kelebihan menggunakan filem nipis didapati mengurangkan jisim sel fotovoltaik. Walau bagaimanapun, kecekapan sel solar

RUJUKAN

Adolf, G., & Christopher, H. Photovoltaic materials, past, present, future. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 62 : 1-19

Barra & Cotante. 2004. Annual energy production and room temperature effect in siting flat plate photovoltaic systems. *ENEA, ENE, FORT- Casaccia Research Centre* 51 : 383-389.

Brinkworth, B.J & Sandberg, M. 2006. Design procedure for cooling ducts to minimize efficiency loss due to temperature rise in PV arrays. *Solar Energy* 80 : 89 103.

Danny, H.W., Gary, H.W. & Joseph, C. 2005. Analysis of the operational performance and efficiency characteristic for photovoltaic system in Hong Kong. *Energy Conversion and Management* 46 : 1107–1118.

David, M., Paul, P., Jesus, H., Yuri, V., & Peter, N. 2005. Photovoltaic solar cells performance at elevated temperatures. *Solar Energy* 78 : 243–250.

Diarra, D.C. & Akuffo, F.O. Solar Photovoltaic in Mali: potential and constrains. *Energy conversion and management* 43: 151-163.



Emery, K., Osterwald, C. R., Glatfelter, T., Burdick, J., and Virshup, G. 1988. A comparison of the errors in determining the conversion efficiency of multijunction solar cells by various method. *Solar Cells*, 24: 371 – 380.

Gerardo, L. & Antonio, M. 1994. Absolute limiting efficiencies for photovoltaic energy conversion. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 33 : 213-240.

Hirata. Y., Inasaki, T., & Tani, T. 1998. Output variation of photovoltaic modules with environmental factors — II: seasonal variation. *Solar Energy* Vol. 63: No. 3, 185–189.

http://en.wikipedia.org/wiki/solar_cell

<http://en.wikipedia.org/wiki/Irridiance>

Kiyoshi, T., Takeshi, K., Kuniomi, N., Tadamas, K., & Takeshi Y. 1997. Experimental model and long-term prediction of photovoltaic conversion efficiency of a-Si solar cells.

Neoh, K.C., Wan, H.L., and Ibrahim,K. 1999. Solar Powered Insect Light Trap for Pest Control in Food Cultivation. *Proceeding of World Renewable Energy Congress '99*: 261-262.



- Nishioka, K., Hatayama, T., Uraoka, Y., Fuyuki, T., Hagihara, R. & Watanabe, M. 2003. Field-test analysis of PV system output characteristics focusing on module temperature. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 75 : 665–671.
- Malik, A.Q., Salmi, J. 2003. Outdoor testing of single crystal silicon solar cells. *Renewable Energy* 28 : 1433–1445.
- Radziemska, E. 2003. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renewable Energy* 28: 1–12.
- Satyen, K. 1998. Recent Developments in high efficiency photovoltaic cells. *Renewable Energy* 15 : 467–472.

