

PERMUTASI DAN PERKAWINAN BERKAITAN DENGAN  
SISTEM BILANGAN KOMPLEKS  
MAMPAK SUDUT TERBUKA

KON CHUEN KONG

FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU

2003

no: 7517

1100076403

Perpustakaan Sultanah Nur Zahirah (UMT)  
Universiti Malaysia Terengganu



LP 8 FST 3 2009



1100076403

Permodelan dan pengoptimuman penjanaan tenaga elektrik dari panel fotovolta di stesen kajian sumber tenaga keterbaharuan, UMT / Kon Chuen Kong.

PERPUSTAKAAN SULTANAH NUR ZAHIRAH  
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU (UMT)  
21030 KUALA TERENGGANU

1100076403		

Lihat sebelah

HAK MILIK  
PERPUSTAKAAN SULTANAH NUR ZAHIRAH UMT

PERMODELAN DAN PENGOPTIMUMAN PENJANAAN TENAGA ELEKTRIK  
DARI PANEL FOTOVOLTA DI STESEN KAJIAN SUMBER  
TENAGA KETERBAHARUAN, UMT

Oleh  
Kon Chuen Kong

Projek ilmiah tahun akhir ini diserahkan untuk memenuhi  
sebahagian keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Muda Sains (Matematik Komputasi)

JABATAN MATEMATIK  
FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU

2009

1100076403



**JABATAN MATEMATIK  
FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU**

**PENGAKUAN DAN PENGESAHAN LAPORAN MAT 4499 B**

Adalah ini diakui dan disahkan bahawa laporan penyelidikan bertajuk Permodelan dan Pengoptimuman Penjanaan Tenaga Elektrik dari Panel Fotovolta di Stesen Kajian Sumber Tenaga Keterbaharuan, UMT oleh Kon Chuen Kong, No. Matriks: UK 13929 telah diperiksa dan semua pembedahan yang disarankan telah dilakukan. Laporan ini dikemukakan kepada Jabatan Matematik sebagai memenuhi sebahagian daripada keperluan memperoleh Ijazah Sarjana Muda Sains Matematik Komputasi, Fakulti Sains dan Teknologi, UMT.

Disahkan oleh:

Penyelia Utama

Nama:

Cop Rasmi:

Tarikh: 7/5/09

Penyelia Bersama

Nama:

Cop Rasmi:

Tarikh: .....

Ketua Jabatan Matematik

Nama:

Cop Rasmi: **DR. HJ. MUSTAFA BIN MAMAT**

Tarikh: 7/5/09

**Ketua  
Jabatan Matematik  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Malaysia Terengganu,  
21030 Kuala Terengganu,**

## PENGAKUAN

Saya mengakui tesis yang bertajuk Permodelan dan Pengoptimuman Penjanaan Tenaga Elektrik dari Panel Fotovolta di Stesen Kajian Sumber Tenaga Keterbaharuan, UMT adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

Tandatangan :.....*Shumus*.....  
Nama : *Kon Chuen Kong*.....  
No. Matriks : *UK 13929*.....  
Tarikh : *7.5.09*.....

## PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan setinggi-tingginya kepada penyelia utama tesis, Dr. Haji Mustafa bin Mamat atas bimbingan dan dorongan yang diberi sebelum dan semasa penyelidikan tesis ini dijalankan. Walaupun sentiasa sibuk dengan kerja-kerja di dalam jabatan, beliau tetap meluangkan masa untuk mengadakan perjumpaan dan perbincangan mengenai penyelidikan tesis. Segala maklum balas dan cadangan beliau dalam menyempurnakan tesis ini adalah amat dihargai.

Penghargaan juga ditujukan kepada penyelia bersama, Dr. Mohd. Zamri Ibrahim atas nasihat dan bimbingan yang diberikan sepanjang masa ini. Bukan sahaja beliau membekalkan data-data dan maklumat yang digunakan di dalam penyelidikan ini, malah beliau juga kerap memberi komen dan cadangan yang membantu dalam memperbaiki kelemahan dan kesalahan yang ditemui semasa menyediakan tesis ini.

Tidak dilupakan ahli-ahli keluarga serta rakan-rakan sekeliling yang sentiasa memberikan bantuan dan sokongan moral apabila menghadapi masalah atau tekanan. Kepada semua yang terlibat sama ada secara langsung atau tidak langsung membantu menjayakan projek penyelidikan ini, ribuan terima kasih diucapkan.

## PERMODELAN DAN PENGOPTIMUMAN PENJANAAN TENAGA ELEKTRIK DARI PANEL FOTOVOLTA DI STESEN KAJIAN SUMBER TENAGA KETERBAHARUAN, UMT

### ABSTRAK

Sumber tenaga konvensional yang semakin berkurangan dengan setiap hari yang berlalu menimbulkan kerisauan banyak pihak, dan ini juga menyebabkan sumber tenaga keterbaharuan mula mendapat perhatian sejak beberapa tahun yang lalu. Kedudukan Malaysia di dalam kawasan khatulistiwa membolehkan penerimaan cahaya matahari yang banyak sepanjang tahun, menjadikan tenaga fotovolta satu sumber tenaga keterbaharuan yang berpotensi besar. Kajian ini dibuat dengan tujuan untuk menghuraikan ciri I-V yang melibatkan satu pembolehubah sahaja, serta untuk membuktikan pernyataan di atas dalam bentuk angka. Dalam kajian ini, satu rumus yang menunjukkan ciri I-V telah dicari berdasarkan maklumat yang dikumpul, dan nilai-nilai  $I$  dan  $P$  untuk  $V$  yang berbeza telah ditentukan. Selepas itu, kaedah interpolasi *natural cubic spline* digunakan untuk membina model matematik yang dapat menghampiri nilai-nilai tersebut. Akhirnya, kaedah *bisection* digunakan sebagai kaedah pengoptimuman dalam mencari nilai  $V$  yang memberikan kuasa maksimum. Hasilnya, model-model matematik yang menghampiri ciri-ciri I-V dan P-V dengan baik telah diperolehi. Dan melalui model-model tersebut, nilai-nilai  $V$  yang optimum telah dikenalpasti. Dapatan utama dalam kajian ini merupakan nilai-nilai  $V$ ,  $I$  dan  $P$  yang dianggar menjanakan tenaga yang paling banyak di bawah keadaan yang ditetapkan. Untuk  $G = 221.19 \text{ W/m}^2$  dan  $T_c = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ , dianggarkan bahawa apabila  $V = 19.5724 \text{ V}$  dan  $I = 1.0576 \text{ A}$ , penjana tenaga adalah paling banyak iaitu  $20.3335 \text{ W}$ .



**MODELING AND OPTIMIZATION OF ELECTRICAL POWER  
GENERATED BY PHOTOVOLTAIC PANELS AT STESEN  
KAJIAN SUMBER TENAGA KETERBAHARUAN, UMT**

**ABSTRACT**

Resources for conventional energy decreases bit by bit with each passing day, stirring up worries among many, but this also made renewable energy resources to rapidly gaining attention since the last few years. Malaysia's position in the equator zone enables a high amount of sunlight reception throughout the year, making photovoltaic energy a renewable energy resource that has a great potential. This research was done with the objective of describe the I-V characteristics that involves only one variable, while proving the statement above numerically. In this research, a formula that describes this I-V characteristics was found based on the information gathered, and the values of  $I$  and  $P$  was determined according to different values of  $V$ . Afterwards, the natural cubic spline interpolation method was used to build a mathematical model that can approximate those values. Finally, the bisection method was used as an optimization method in determining the value of  $V$  that can produce the maximum power. As a result, mathematical models that approximate the I-V and P-V characteristics nicely were built. And through those models, the optimum values of  $V$  were determined. The major finding in this research is the estimated values of  $V$ ,  $I$  and  $P$  that generate the most energy under a fix condition. For  $G = 221.19 \text{ W/m}^2$  and  $T_c = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ , it is estimated that when  $V = 19.5724 \text{ V}$  and  $I = 1.0576 \text{ A}$ , the generated energy is the most which is  $20.3335 \text{ W}$ .



## KANDUNGAN

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>BORANG PENGAKUAN DAN PENGESAHAN LAPORAN MAT 4499 B</b>	ii
<b>PENGAKUAN</b>	iii
<b>PENGHARGAAN</b>	iv
<b>ABSTRAK</b>	v
<b>ABSTRACT</b>	vi
<b>KANDUNGAN</b>	vii
<b>SENARAI RAJAH</b>	ix
<b>SENARAI SINGKATAN (TATANAMA/ISTILAH/SIMBOL)</b>	x
<b>BAB 1           PENDAHULUAN</b>	
1.1    Pengenalan	1
1.2    Pernyataan Masalah/Persoalan Kajian	2
1.3    Objektif	3
1.4    Batasan Kajian	3
<b>BAB 2           SOROTAN KAJIAN</b>	
2.1    Fotovolta	5
2.2    Perkembangan Fotovolta di Malaysia	6
2.3    Persamaan-persamaan yang Berkaitan dengan Ciri I-V	7
2.4    Kaedah Interpolasi <i>Natural Cubic Spline</i>	9
<b>BAB 3           METODOLOGI</b>	
3.1    Perisian/Peralatan Digunakan	12
3.2    Penentuan Ciri-ciri I-V, P-V dan Model Matematik	12
3.2.1    Penentuan Ciri-ciri I-V dan P-V	13
3.2.2    Penentuan Model Matematik untuk Ciri-ciri I-V dan P-V	13
3.3    Pencarian Nilai-nilai Ciri-ciri I-V dan P-V	14
3.4    Pemetaan graf untuk Ciri-ciri I-V, P-V dan Model Matematik	15
3.5    Penentuan Titik Optimum Model Matematik	15
<b>BAB 4           KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1    Keputusan Kajian	17

4.1.1	Model Matematik yang Dibentuk serta Nilai Optimum yang Sepadan	17
4.1.2	Perbandingan Prestasi di bawah Keadaan yang Berbeza	23
4.2	Perbincangan	26
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
5.1	Kesimpulan	28
5.2	Cadangan	28
	<b>RUJUKAN</b>	29
	<b>BIODATA PENULIS</b>	

## SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
4.1	Hubungan di antara ciri-ciri I-V dengan P-V di bawah keadaan piawai.	19
4.2	Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri I-V di bawah keadaan piawai.	19
4.3	Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri P-V di bawah keadaan piawai.	20
4.4	Hubungan di antara ciri-ciri I-V dengan P-V apabila $G = 221.19 \text{ W/m}^2$ dan $T_C = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ .	21
4.5	Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri I-V apabila $G = 221.19 \text{ W/m}^2$ dan $T_C = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ .	22
4.6	Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri P-V apabila $G = 221.19 \text{ W/m}^2$ dan $T_C = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ .	22
4.7	Graf ciri-ciri I-V dan P-V bagi $G = 221.19 \text{ W/m}^2$ serta $T_C$ yang berbeza.	23
4.8	Pengaruh $G$ terhadap $I$ dengan $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .	24
4.9	Pengaruh $G$ terhadap $P$ dengan $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .	25
4.10	Pengaruh $T_C$ terhadap $I$ dengan $G = 1000 \text{ W/m}^2$ .	25
4.11	Pengaruh $T_C$ terhadap $P$ dengan $G = 1000 \text{ W/m}^2$ .	26
4.12	Contoh graf ciri-ciri I-V dan P-V.	27

## SENARAI SINGKATAN

### Singkatan

$A$	Faktor pelengkap
$\varepsilon_G$	Tenaga jurang jalur bahan
$\gamma$	Faktor bentuk
$G$	Kesinaran
$G_R$	Kesinaran (rujukan) – $1000 \text{ W/m}^2$
$I$	Arus pangkalan
$I_0$	Arus penepuan songsang
$I_{0,R}$	Arus penepuan songsang (rujukan)
$I_L$	Arus cahaya
$I_{L,R}$	Arus cahaya (rujukan)
$I_{MP,R}$	Arus kuasa maksimum (rujukan)
$I_{SC,R}$	Arus litar pintas (rujukan)
$k$	Pemalar Boltzmann – $1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
$\mu_{ISC}$	Pekali suhu untuk arus litar pintas
$NCS$	Bilangan sel disambung secara siri per modul
$NS$	Bilangan modul disambung secara siri di dalam susunan
$q$	Cas electron – $1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
$R_s$	Rintangan siri
$S(V)$	Fungsi <i>natural cubic spline</i> dengan $V$ sebagai pembolehubah

$T_C$	Suhu sel
$T_{C,R}$	Suhu sel (rujukan) – 25 °C
$V$	Voltan pangkalan
$V_{MP,R}$	Voltan kuasa maksimum (rujukan)
$V_{OC,R}$	Voltan litar buka (rujukan)

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Teknologi fotovolta merujuk kepada teknologi yang menukarkan tenaga yang terkandung di dalam sinaran matahari terus kepada tenaga elektrik, dengan menggunakan sel solar atau alat-alat yang seumpamanya. Teknologi fotovolta adalah satu teknologi yang berkembang maju sejak abad ke-20. Teknologi ini sedang berkembang pesat, dan dijangka akan menjadi matang dengan sepenuhnya di abad ke-21.

Penggunaan teknologi ini adalah sangat lazim dan boleh dijumpai di mana-mana sahaja. Contoh yang paling mudah adalah sesetengah mesin kira di rumah atau pejabat. Panel-panel kecil berwarna gelap yang boleh dijumpai di permukaan mesin kira itulah yang dipanggil sebagai sel solar. Contoh-contoh lain adalah seperti tanda isyarat di jalan raya, meter letak kereta yang moden, telefon kecemasan dan banyak lagi.

Sel solar merupakan unit asas kepada satu penjana fotovolta, di mana ia membentuk komponen utama kepada satu penjana solar. Penjana fotovolta, yang juga dikenali sebagai tatasusunan fotovolta, adalah seluruh sistem yang terdiri daripada modul-modul fotovolta yang disambung secara sesiri atau selari antara satu sama lain.

Tenaga suria, seperti tenaga diperbaharui yang lain, tidak akan kehabisan sumbernya, boleh diharap, dan tidak mencemarkan alam sekitar. Sejak tahun 2002, pengeluaran fotovolta telah bertambah sebanyak 48% secara puratanya untuk setiap tahun. Pada akhir tahun 2007, data awal menunjukkan bahawa sejumlah 12 400 MW tenaga fotovolta telah dijanakan di seluruh dunia (Wikipedia, 2004).

## **1.2 Pernyataan Masalah/Persoalan Kajian**

Akibat daripada peningkatan kos tenaga fosil seperti peningkatan harga minyak di pasaran dunia, sumber tenaga fosil semakin berkurangan serta kesan pencemaran yang semakin buruk daripada penggunaan tenaga fosil tersebut, tenaga fotovolta telah mendapat perhatian yang penting sejak beberapa tahun yang lalu. Ini mendorong teknologi fotovolta mengalami perkembangan pesat sehingga pencapaian yang kita ada di dunia kini, tetapi masih perlu diperbaiki lagi untuk memenuhi keperluan tenaga yang semakin meningkat.

Sebagai sebuah negara yang terletak di kawasan khatulistiwa yang menerima cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun, Malaysia mempunyai potensi yang sangat besar untuk menjadi penjana tenaga fotovolta di masa depan secara relatif. Akan tetapi, sumber tenaga suria ini tidak dimajukan dengan sepenuhnya kerana kekurangan kepakaran tempatan dalam teknologi fotovolta. Juga, kos pengoperasian



untuk menjana tenaga fotovolta masih tidak dapat bersaing dengan kos pengoperasian untuk menjana jumlah tenaga yang sama tetapi menggunakan tenaga fosil.

Walau bagaimanapun, tidak dapat dinafikan bahawa tenaga fotovolta akan memainkan peranan yang penting dalam penjanaan tenaga elektrik untuk keperluan seharian rakyat Malaysia di masa depan. Sebagai permulaan, Malaysia telah melancarkan Projek Fotovolta Bersepadu Bangunan Malaysia yang bernilai RM 95 juta pada tahun 2005 (Hanif, 2008). Ini menggalakkan penggunaan teknologi fotovolta di kalangan rakyat dan pada masa yang sama, mengurangkan penggunaan tenaga elektrik yang dijana daripada tenaga fosil.

### **1.3 Objektif**

Objektif kajian ini adalah:

- (1) Menganggar tenaga elektrik yang dijanakan oleh modul fotovolta menggunakan data-data yang direkod oleh piranometer model Li-Cor dari tahun 2004 hingga 2006.
- (2) Membina model matematik yang dapat menghuraikan penjanaan tenaga tersebut dan menentukan titik optimumnya.

### **1.4 Batasan Kajian**

Di dunia kini, wujudnya pelbagai jenis modul sel solar yang berasal dari negara-negara berlainan, diperbuat daripada bahan berlainan dan mempunyai nilai-nilai parameter yang berbeza. Tetapi, hanya sejenis modul sel solar yang telah

diperhatikan sepanjang kajian ini, yaitu sel solar *Uni-Solar US-64* jenis amorfus. Selain itu, data-data yang digunakan di dalam kajian ini adalah terhad dari tahun 2004 hingga 2006.

## **BAB 2**

### **SOROTAN KAJIAN**

#### **2.1 Fotovolta**

Fotovolta (PV) adalah satu bidang teknologi dan penyelidikan yang berkaitan dengan penggunaan sel-sel solar untuk mendapatkan tenaga dengan menukarkan cahaya matahari kepada tenaga elektrik secara terus (Wikipedia, 2004). Fotovolta, teknologi abad ke-20 yang bersedia mencapai kematangan yang sepenuhnya di dalam abad ke-21, menyediakan satu cara yang senang, boleh diharap dan anggun, untuk menukarkan cahaya matahari terus kepada tenaga elektrik (Green, 2005).

Fotovolta berasal daripada dua perkataan iaitu foto yang bermaksud foton atau cahaya atau gelombang elektromagnet dan voltan bermaksud daya gerak elektrik. Tenaga fotovolta merujuk kepada penjanaan tenaga elektrik menggunakan cahaya matahari atau dikenali sebagai foton. Fotovolta adalah bahan yang dapat menukarkan sinaran suria kepada tenaga elektrik. Teknologi ini sudah digunakan dengan begitu meluas di negara-negara maju termasuk Jepun, Amerika Syarikat dan negara-negara Eropah (Junus, 2004).

Semasa memasuki satu sel solar fotovolta yang biasa, foton yang membentuk cahaya matahari membebaskan elektron yang akan mengalir melalui muatan elektrik yang disambung di antara terminal positif dan terminal negatif sel solar tersebut (Green, 2005). Sel solar membentuk unit asas kepada sebuah penjana fotovolta, di mana ia pula merupakan komponen utama kepada sebuah penjana solar. Penjana fotovolta merupakan seluruh sistem yang terdiri daripada modul-modul fotovolta yang disambung secara siri atau selari antara satu sama lain (Tiwari, 2002).

Sebagai sejenis sumber yang bersih dan boleh diperbaharui, tenaga fotovolta telah mendapat perhatian penting sejak dewasa ini akibat daripada kos tenaga yang tinggi serta kesan-kesan buruk kepada alam sekitar melalui penggunaan bahan api fosil yang konvensional (Li et al., 2008). Pengeluaran fotovolta telah berganda setiap dua tahun, meningkat sebanyak 48 peratus dalam purata setiap tahun sejak 2002, menjadikan ia teknologi tenaga yang mengalami pertumbuhan paling pesat di dunia. Menurut data awal pada akhir tahun 2007, pengeluaran global kumulatif adalah 12 400 megawatt (Wikipedia, 2004).

## **2.2 Perkembangan Fotovolta di Malaysia**

Malaysia adalah sebuah negara yang terletak di dalam kawasan khatulistiwa, di mana kawasan permukaan buminya menerima paling banyak cahaya matahari kerana kedudukannya yang paling hampir dengan matahari. Walau bagaimanapun, sumber ini tidak dimajukan dengan sepenuhnya kerana kekurangan kepakaran tempatan dalam memperkembangkan teknologi tenaga suria di Malaysia.

Sumber ini bersifat jauh lebih mesra alam daripada sumber tenaga fosil dan dapat mengurangkan masalah alam sekitar seperti gas rumah hijau dan pencemaran alam berpunca daripada penggunaan sumber tenaga fosil. Lantas dengan itu, kajian mengenai tenaga solar atau suria perlu diberikan perhatian agar Malaysia tidak ketinggalan dalam bidang sains dan teknologi (Cetree, 2006).

Malaysia mengambil inisiatif berkaitan solar apabila Projek Fotovolta Bersepadu Bangunan Malaysia (MBIPV) bernilai RM95 juta, projek nasional bagi tenaga yang diperbaharui akan menggalakkan penggunaan teknologi itu bagi memanfaatkan tenaga solar dan mengeluarkan elektrik untuk bangunan. Ia diperkenalkan pada 2005 dengan tujuan menggunakan sumber tenaga diperbaharui iaitu tenaga solar yang banyak dalam negara.

Salah satu program yang dikelola melalui MBIPV di bawah Pusat Tenaga Malaysia (PTM) ialah Suria 1000. Suria 1000 ialah sistem solar bergrid, yang mana tenaga elektrik yang dihasil disambung terus kepada sumber tenaga elektrik utama melalui Tenaga Nasional Berhad (TNB) (Hanif, 2008).

### **2.3 Persamaan-persamaan yang Berkaitan dengan Ciri I-V**

Berdasarkan hasil kajian Chenni et al. (2007), ciri I-V adalah diuraikan oleh persamaan berikut:

$$I = I_L - I_0 \left( \exp \left( \frac{q(V + IR_s)}{\gamma k T_C} \right) - 1 \right) \quad (2.1)$$

di mana

$$\gamma = A \cdot NCS \cdot NS, \quad (2.2)$$

$$I_L = \left( \frac{G}{G_R} \right) (I_{L,R} + \mu_{ISC} (T_C - T_{C,R})), \quad (2.3)$$

dan

$$I_0 = I_{0,R} \left( \frac{T_C}{T_{C,R}} \right)^3 \exp \left[ \left( \frac{q \varepsilon_G}{kA} \right) \left( \frac{1}{T_{C,R}} - \frac{1}{T_C} \right) \right]. \quad (2.4)$$

Juga berdasarkan hasil kajian Chenni et al. (2007), didapati bahawa jika penilaian parameter dilakukan dalam keadaan rujukan, sesetengah persamaan boleh dipermudahkan melalui penggantian nilai parameter ke dalam persamaan (2.1), dan ini memberikan

$$I_{L,R} \approx I_{SC,R}, \quad (2.5)$$

$$I_{0,R} = I_{SC,R} \exp \left( \frac{-qV_{OC,R}}{k\gamma T_{C,R}} \right), \quad (2.6)$$

dan

$$\gamma = \frac{q(V_{MP,R} + I_{MP,R}R_S - V_{OC,R})}{kT_{C,R} \ln(1 - (I_{MP,R}/I_{SC,R}))}. \quad (2.7)$$

## 2.4 Kaedah Interpolasi *Natural Cubic Spline*

Diberi satu fungsi  $f$  yang tertakrif di atas  $[a,b]$  dan satu set titik

$a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$ . Satu interpolan *natural cubic spline*  $S$  untuk  $f$  adalah suatu fungsi yang memenuhi syarat-syarat di bawah:

- (a)  $S(x)$  adalah suatu polinomial kubik, ditandai  $S_j(x)$ , di atas selang kecil  $[x_j, x_{j+1}]$  untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ ;
- (b)  $S_j(x_j) = f(x_j)$  dan  $S_j(x_{j+1}) = f(x_{j+1})$  untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ ;
- (c)  $S_{j+1}(x_{j+1}) = S_j(x_{j+1})$  untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-2$ ;
- (d)  $S'_{j+1}(x_{j+1}) = S'_j(x_{j+1})$  untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-2$ ;
- (e)  $S''_{j+1}(x_{j+1}) = S''_j(x_{j+1})$  untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-2$ ;
- (f)  $S''(x_0) = S''(x_n) = 0$ .

Untuk membina interpolan tersebut untuk suatu fungsi  $f$  yang diberi, syarat-syarat di atas dikenakan ke atas polinomial kubik

$$S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 + d_j(x - x_j)^3$$

untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ .

Oleh kerana  $S_j(x_j) = a_j = f(x_j)$ , maka syarat (c) memberikan

$$a_{j+1} = S_{j+1}(x_{j+1}) = S_j(x_{j+1}) = a_j + b_j(x_{j+1} - x_j) + c_j(x_{j+1} - x_j)^2 + d_j(x_{j+1} - x_j)^3$$

untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-2$ .



Untuk memudahkan pengiraan, kita menggunakan tanda

$$h_j = x_{j+1} - x_j$$

untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ . Jika kita juga membuat takrifan  $a_n = f(x_n)$ , maka persamaan

$$a_{j+1} = a_j + b_j h_j + c_j h_j^2 + d_j h_j^3 \quad (2.8)$$

adalah benar untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ .

Dengan cara yang sama, takrifkan  $b_n = S'(x_n)$  dan perhatikan bahawa

$$S'_j(x) = b_j + 2c_j(x - x_j) + 3d_j(x - x_j)^2$$

bermakna  $S'_j(x_j) = b_j$ , untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ . Dengan mengenakan syarat (d) kita dapat

$$b_{j+1} = b_j + 2c_j h_j + 3d_j h_j^2 \quad (2.9)$$

untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ .

Satu lagi hubungan di antara pekali-pekali  $S_j$  adalah diperolehi melalui takrif  $c_n = S''(x_n)/2$  dan penggunaan syarat (e). Maka, untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ ,

$$c_{j+1} = c_j + 3d_j h_j. \quad (2.10)$$

Selesaikan untuk  $d_j$  di dalam (2.10) dan gantikan nilai ini ke dalam (2.8) dan (2.9) memberikan persamaan-persamaan baru

$$a_{j+1} = a_j + b_j h_j + \frac{h_j^2}{3} (2c_j + c_{j+1}) \quad (2.11)$$

dan

$$b_{j+1} = b_j + h_j (c_j + c_{j+1}) \quad (2.12)$$

untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ .

Hubungan terakhir yang melibatkan pekali-pekali adalah diperolehi dengan menyelesaikan persamaan (2.11) untuk mencari  $b_j$ ,

$$b_j = \frac{1}{h_j} (a_{j+1} - a_j) - \frac{h_j}{3} (2c_j + c_{j+1}), \quad (2.13)$$

dan  $b_{j-1}$  dengan penurunan indeks,

$$b_{j-1} = \frac{1}{h_{j-1}} (a_j - a_{j-1}) - \frac{h_{j-1}}{3} (2c_{j-1} + c_j).$$

Gantikan nilai-nilai ini ke dalam persamaan (2.12), dengan nilai indeks diturunkan sebanyak 1, dan kita akan dapat sistem persamaan linear

$$h_{j-1} c_{j-1} + 2(h_{j-1} + h_j) c_j + h_j c_{j+1} = \frac{3}{h_j} (a_{j+1} - a_j) - \frac{3}{h_{j-1}} (a_j - a_{j-1}) \quad (2.14)$$

untuk setiap  $j = 0, 1, \dots, n-1$ . Sistem ini hanya melibatkan anu  $\{c_j\}_{j=0}^n$  kerana nilai-nilai  $\{h_j\}_{j=0}^{n-1}$  dan  $\{a_j\}_{j=0}^n$  telah diketahui. Selepas nilai-nilai  $\{c_j\}_{j=0}^n$  telah dikenalpasti, nilai-nilai  $\{b_j\}_{j=0}^{n-1}$  dari (2.13) dan  $\{d_j\}_{j=0}^{n-1}$  dari (2.10) dapat dicari, dan polinomial kubik  $\{S_j(x)\}_{j=0}^{n-1}$  dapat dibina (Burden & Faires, 2005).

## **BAB 3**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Perisian/Peralatan Digunakan**

Sepanjang penyelidikan ini, perisian Maple telah digunakan untuk mendapatkan hasil kajian. Perisian Microsoft Office Excel, Visual C++ 6.0 dan juga Notepad telah digunakan dalam pemprosesan data. Rajah-rajah yang mengandungi tiga paksi adalah hasil daripada penggunaan perisian Matlab.

Modul sel solar yang telah digunakan dalam kajian ini merupakan sel solar *Uni-Solar US-64* jenis amorfus, yang dipasang di Stesen Kajian Sumber Tenaga Keterbaharuan (Renewable Energy) antara UMT dengan UKM.

#### **3.2 Penentuan Ciri-ciri I-V, P-V dan Model Matematik**

### 3.2.1 Penentuan Ciri-ciri I-V dan P-V

Dengan menggunakan arahan *solve* yang tersedia di dalam perisian Maple, satu rumus untuk mencari nilai arus dalam litar telah didapati berdasarkan persamaan (2.1). Rumus yang diberi adalah seperti yang berikut:

$$I = \frac{-qV + \left( -LambertW \left( \frac{qR_s I_0 \exp \left( \frac{q(V + R_s I_L + R_s I_0)}{\gamma k T_C} \right)}{\gamma k T_C} \right) + \left( \frac{q(V + R_s I_L + R_s I_0)}{\gamma k T_C} \right) \right) \gamma k T_C}{qR_s} \quad (3.1)$$

di mana arahan *LambertW* merupakan satu fungsi yang tersedia di dalam perisian Maple.

Untuk mencari nilai  $P$  pada suatu nilai  $V$ , kita mendarabkan  $V$  dengan nilai  $I$  yang diperoleh daripada rumus (3.1).

### 3.2.2 Penentuan Model Matematik untuk Ciri-ciri I-V dan P-V

Kaedah interpolasi *natural cubic spline* telah digunakan untuk membina model matematik yang menggambarkan ciri-ciri I-V dan P-V (Burden & Faires, 2005). Berikut adalah algoritma bagi kaedah tersebut:

Diberi titik-titik  $x_0, x_1, \dots, x_n$  di mana  $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ , dan  $a_0 = f(x_0), a_1 = f(x_1), \dots, a_n = f(x_n)$  untuk suatu fungsi  $f$ .

(1) Untuk  $i = 0, 1, \dots, n-1$  tetapkan  $h_i = x_{i+1} - x_i$ .

(2) Untuk  $i = 1, 2, \dots, n-1$  tetapkan  $\alpha_i = \frac{3}{h_i}(a_{i+1} - a_i) - \frac{3}{h_{i-1}}(a_i - a_{i-1})$ .

(3) Tetapkan  $l_0 = 1, \mu_0 = 0, z_0 = 0$ .

(4) Untuk  $i = 1, 2, \dots, n-1$  tetapkan

$$l_i = 2(x_{i+1} - x_{i-1}) - h_{i-1}\mu_{i-1},$$

$$\mu_i = h_i/l_i,$$

$$z_i = (\alpha_i - h_{i-1}z_{i-1})/l_i.$$

(5) Tetapkan  $l_n = 1, z_n = 0, c_n = 0$ .

(6) Untuk  $j = n-1, n-2, \dots, 0$  tetapkan

$$c_j = z_j - \mu_j c_{j+1},$$

$$b_j = (a_{j+1} - a_j)/h_j - h_j(c_{j+1} + 2c_j)/3,$$

$$d_j = (c_{j+1} - c_j)/3h_j.$$

(7) Tunjukkan nilai-nilai  $a_j, b_j, c_j, d_j$  untuk  $j = 0, 1, \dots, n-1$ .

Algoritma dihentikan.

Daripada nilai-nilai  $a_j, b_j, c_j, d_j$  di atas, satu polinomial kubik  $S(x)$  dibangun di mana

$$S(x) = S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 + d_j(x - x_j)^3 \text{ untuk } x_j \leq x \leq x_{j+1}.$$

### 3.3 Pencarian Nilai-nilai Ciri-ciri I-V dan P-V

Dengan bantuan perisian Maple, nilai-nilai  $I$  dan  $P$  pada nilai  $V$  yang berbeza telah diperolehi menggunakan lelaran dan penggantian nilai-nilai  $V$  yang bertambah ke dalam rumus (3.1). Nilai-nilai ini juga disimpan sebagai set-set titik untuk tujuan pemetaan graf, dengan setiap set mewakili parameter yang berlainan.

### 3.4 Pemetaan graf untuk Ciri-ciri I-V, P-V dan Model Matematik

Sekali lagi, perisian Maple digunakan dalam mendapatkan graf-graf yang menunjukkan perbandingan di antara ciri-ciri I-V, P-V dengan model matematik yang menghampiri ciri-ciri tersebut. Arahan yang digunakan adalah arahan *plot*.

Selain itu, perisian Matlab juga telah digunakan dalam memeta graf-graf yang mengandungi tiga paksi, di mana paksi mengufuk menunjukkan nilai  $V$ , dan dua paksi menegak menunjukkan nilai  $I$  dan  $P$  masing-masing.

### 3.5 Penentuan Titik Optimum Model Matematik

Kaedah *bisection* telah digunakan untuk menentukan titik optimum kepada model matematik yang dibina menggunakan kaedah interpolasi *natural cubic spline* yang disebut di atas. Algoritma untuk kaedah ini adalah seperti di bawah:

Diberi suatu fungsi  $f$ , nilai toleransi,  $TOL$ , titik awal dan titik akhir selang yang ingin dicarikan titik optimum tersebut,  $a$  dan  $b$ .

- (1) Tentukan terbitan pertama fungsi, iaitu  $f'$ .
- (2) Tetapkan  $L = a$  dan  $R = b$ .
- (3) Cari nilai  $M = (L+R)/2$ .
- (4) Tentukan nilai  $f'(M)$ . Jika nilai itu 0 atau  $|R - L| < TOL$ , hentikan algoritma.

(5) Tentukan nilai  $f'(L) \cdot f'(M)$ . Jika ia kurang daripada 0, tetapkan  $R = M$ .

Kalau tidak, tetapkan  $L = M$ .

(6) Ulangi algoritma dari (3).

Nilai  $M$  yang terakhir sebelum algoritma di atas dihentikan merupakan nilai voltan yang akan memberikan nilai maksimum kepada ciri P-V, atau nilai voltan yang optimum di dalam litar yang dikaji.



## BAB 4

### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

#### 4.1 Keputusan Kajian

Berikut adalah nilai-nilai parameter yang telah ditetapkan dalam kajian ini:

$A = 0.7$ ,  $\varepsilon_G = 1.5$  eV,  $\gamma = 15.4$ ,  $I_{MP,R} = 3.88$  A,  $I_{SC,R} = 4.80$  A,  $\mu_{ISC} = 0.10$  %/°C,  
 $NCS = 11$ ,  $NS = 2$ ,  $R_S = 1.713$   $\Omega$ ,  $V_{MP,R} = 16.5$  V,  $V_{OC,R} = 23.8$  V.

##### 4.1.1 Model Matematik yang Dibentuk serta Nilai Optimum yang Sepadan

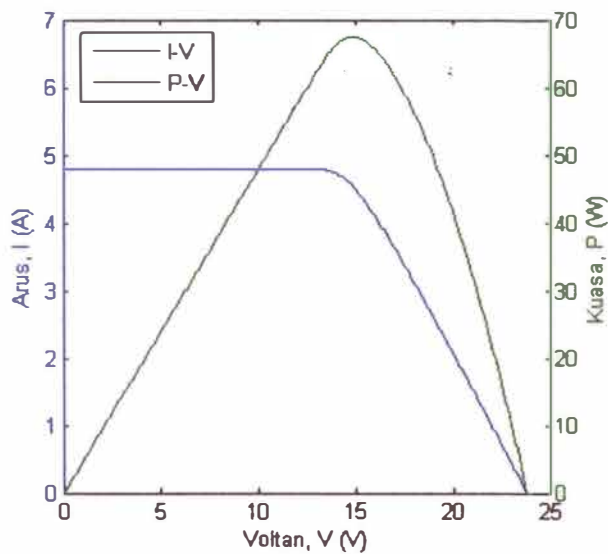
Dengan mengambil nilai keadaan piawai,  $G = 1000$  W/m<sup>2</sup> dan  $T_C = 25$  °C, ciri I-V adalah dihuraikan dengan model berikut:

$$S(V) = \begin{cases} 4.8 & 0 \leq V < 8.4 \\ 4.8 - 0.0001(V - 8.4) - 0.0002(V - 8.4)^2 + 0.0002(V - 8.4)^3 & 8.4 \leq V < 9.8 \\ 4.8 + 0.0005(V - 9.8) + 0.0006(V - 9.8)^2 - 0.0007(V - 9.8)^3 & 9.8 \leq V < 11.2 \\ 4.8 - 0.0018(V - 11.2) - 0.0022(V - 11.2)^2 + 0.0014(V - 11.2)^3 & 11.2 \leq V < 12.6 \\ 4.797 + 0.0002(V - 12.6) + 0.0036(V - 12.6)^2 - 0.026(V - 12.6)^3 & 12.6 \leq V < 14 \\ 4.733 - 0.1427(V - 14) - 0.1057(V - 14)^2 + 0.0105(V - 14)^3 & 14 \leq V < 15.4 \\ 4.355 - 0.3768(V - 15.4) - 0.0615(V - 15.4)^2 + 0.0113(V - 15.4)^3 & 15.4 \leq V < 16.8 \\ 3.738 - 0.4825(V - 16.8) - 0.014(V - 16.8)^2 + 0.001(V - 16.8)^3 & 16.8 \leq V < 18.2 \\ 3.038 - 0.5155(V - 18.2) - 0.0096(V - 18.2)^2 + 0.0013(V - 18.2)^3 & 18.2 \leq V < 19.6 \\ 2.301 - 0.5348(V - 19.6) - 0.0041(V - 19.6)^2 + 0.0003(V - 19.6)^3 & 19.6 \leq V < 21 \\ 1.545 - 0.5446(V - 21) - 0.0029(V - 21)^2 & 21 \leq V < 22.4 \\ 0.777 - 0.5525(V - 22.4) - 0.0027(V - 22.4)^2 + 0.0006(V - 22.4)^3 & 22.4 \leq V \leq 23.8 \end{cases}$$

manakala model berikut pula menghuraikan ciri P-V:

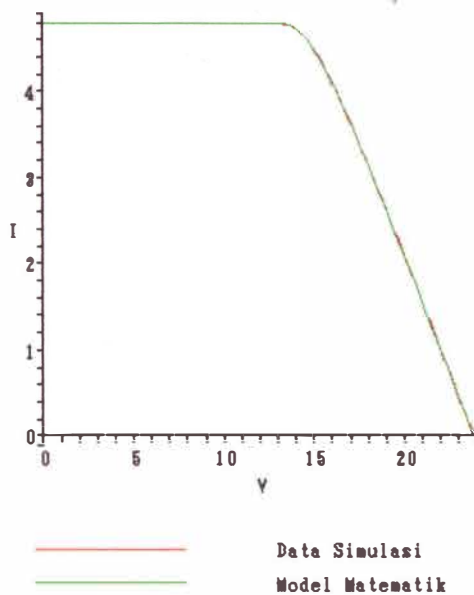
$$S(V) = \begin{cases} 4.8V & 0 \leq V < 5.6 \\ 26.88 + 4.7999(V - 5.6) - 0.0002(V - 5.6)^2 + 0.0002(V - 5.6)^3 & 5.6 \leq V < 7 \\ 33.6 + 4.8005(V - 7) + 0.0006(V - 7)^2 - 0.0007(V - 7)^3 & 7 \leq V < 8.4 \\ 40.32 + 4.7982(V - 8.4) - 0.0022(V - 8.4)^2 + 0.0025(V - 8.4)^3 & 8.4 \leq V < 9.8 \\ 47.04 + 4.8067(V - 9.8) + 0.0083(V - 9.8)^2 - 0.0097(V - 9.8)^3 & 9.8 \leq V < 11.2 \\ 53.759 + 4.7728(V - 11.2) - 0.0325(V - 11.2)^2 + 0.0258(V - 11.2)^3 & 11.2 \leq V < 12.6 \\ 60.448 + 4.8334(V - 12.6) + 0.0757(V - 12.6)^2 - 0.3998(V - 12.6)^3 & 12.6 \leq V < 14 \\ 66.266 + 2.6945(V - 14) - 1.6035(V - 14)^2 + 0.0603(V - 14)^3 & 14 \leq V < 15.4 \\ 67.061 - 1.4405(V - 15.4) - 1.3501(V - 15.4)^2 + 0.1461(V - 15.4)^3 & 15.4 \leq V < 16.8 \\ 62.799 - 4.3618(V - 16.8) - 0.7366(V - 16.8)^2 + 0.0136(V - 16.8)^3 & 16.8 \leq V < 18.2 \\ 55.286 - 6.3444(V - 18.2) - 0.6795(V - 18.2)^2 + 0.0105(V - 18.2)^3 & 18.2 \leq V < 19.6 \\ 45.101 - 8.185(V - 19.6) - 0.6352(V - 19.6)^2 + 0.0164(V - 19.6)^3 & 19.6 \leq V < 21 \\ 32.442 - 9.8671(V - 21) - 0.5663(V - 21)^2 - 0.0452(V - 21)^3 & 21 \leq V < 22.4 \\ 17.394 - 11.7186(V - 22.4) - 0.7561(V - 22.4)^2 + 0.18(V - 22.4)^3 & 22.4 \leq V \leq 23.8 \end{cases}$$

Rajah (4.1) menunjukkan hubungan di antara  $V$ ,  $I$  dan  $P$  di bawah keadaan piawai:

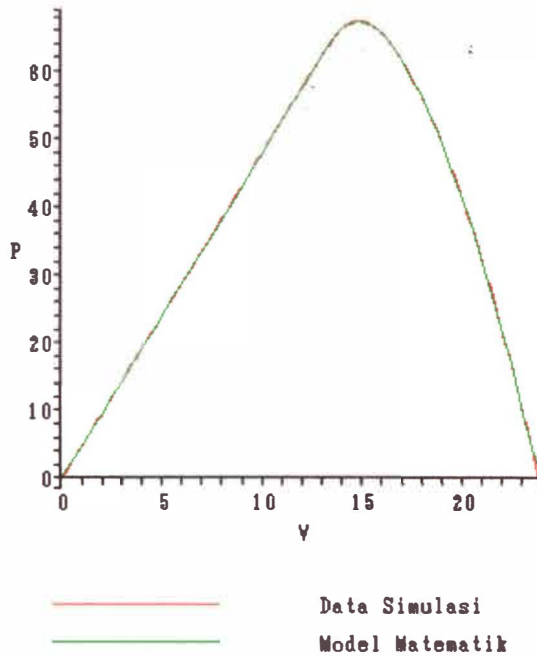


Rajah 4.1: Hubungan di antara ciri-ciri I-V dengan P-V di bawah keadaan piawai.

manakala rajah (4.2) dan (4.3) menunjukkan julat di antara data simulasi dengan model matematik:



Rajah 4.2: Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri I-V di bawah keadaan piawai.



Rajah 4.3: Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri P-V di bawah keadaan piawai.

Melalui model matematik untuk ciri P-V serta menggunakan kaedah *bisection*, didapati apabila  $V = 14.8844$  V, nilai anggaran untuk  $P$  yang optimum diperoleh, iaitu 67.4365 W. Nilai optimum untuk  $I$  pula adalah 4.5314 A.

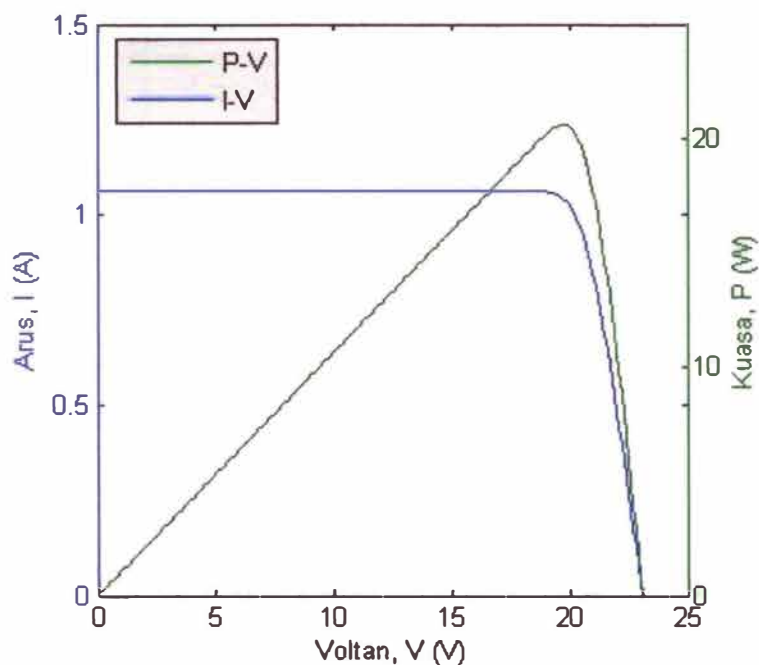
Menurut data-data yang diperoleh dari tahun 2004 hingga 2006, secara puratanya nilai  $G$  adalah  $221.19 \text{ W/m}^2$ , manakala  $T_C$  adalah  $28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ . Berdasarkan nilai-nilai ini, berikut adalah model matematik untuk ciri I-V:

$$S(V) = \begin{cases} 1.066 & 0 \leq V < 11.5 \\ 1.066 - 0.0002(V - 11.5) - 0.0001(V - 11.5)^2 + 0.0001(V - 11.5)^3 & 11.5 \leq V < 13.8 \\ 1.066 + 0.0007(V - 13.8) + 0.0005(V - 13.8)^2 - 0.0004(V - 13.8)^3 & 13.8 \leq V < 16.1 \\ 1.066 - 0.0026(V - 16.1) - 0.002(V - 16.1)^2 + 0.0013(V - 16.1)^3 & 16.1 \leq V < 18.4 \\ 1.065 + 0.0084(V - 18.4) + 0.0068(V - 18.4)^2 - 0.0165(V - 18.4)^3 & 18.4 \leq V < 20.7 \\ 0.92 - 0.2215(V - 20.7) - 0.1067(V - 20.7)^2 + 0.0155(V - 20.7)^3 & 20.7 \leq V \leq 23 \end{cases}$$

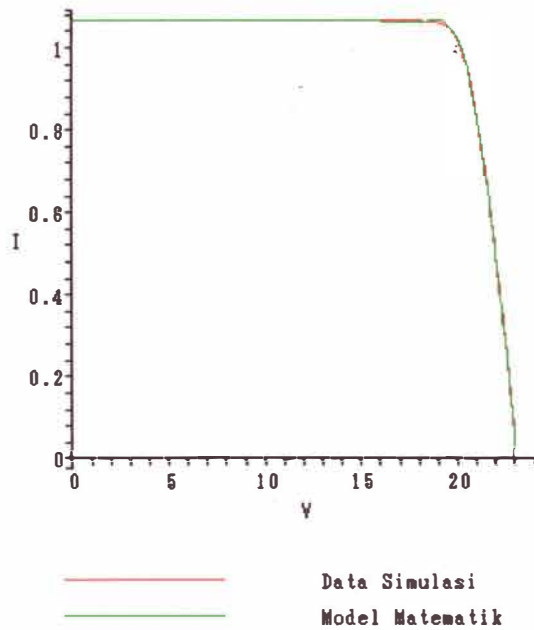
dan untuk P-V:

$$S(V) = \begin{cases} 1.0658V & 0 \leq V < 2.3 \\ 2.451 + 1.0654(V - 2.3) - 0.0002(V - 2.3)^2 + 0.0001(V - 2.3)^3 & 2.3 \leq V < 4.6 \\ 4.901 + 1.0654(V - 4.6) + 0.0002(V - 4.6)^2 & 4.6 \leq V < 6.9 \\ 7.352 + 1.0658(V - 6.9) & 6.9 \leq V < 9.2 \\ 9.803 + 1.0654(V - 9.2) - 0.0002(V - 9.2)^2 + 0.0001(V - 9.2)^3 & 9.2 \leq V < 11.5 \\ 12.254 + 1.0666(V - 11.5) + 0.0007(V - 11.5)^2 - 0.0005(V - 11.5)^3 & 11.5 \leq V < 13.8 \\ 14.704 + 1.061(V - 13.8) - 0.0031(V - 13.8)^2 + 0.0022(V - 13.8)^3 & 13.8 \leq V < 16.1 \\ 17.155 + 1.0821(V - 16.1) + 0.0123(V - 16.1)^2 - 0.0098(V - 16.1)^3 & 16.1 \leq V < 18.4 \\ 19.59 + 0.9836(V - 18.4) - 0.0551(V - 18.4)^2 - 0.2072(V - 18.4)^3 & 18.4 \leq V < 20.7 \\ 19.04 - 2.5577(V - 20.7) - 1.4845(V - 20.7)^2 + 0.2151(V - 20.7)^3 & 20.7 \leq V \leq 23 \end{cases}$$

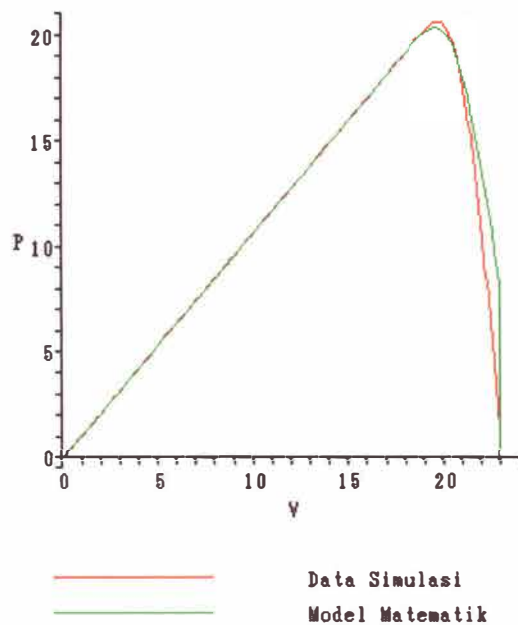
Hubungan di antara  $V$ ,  $I$  dan  $P$ , serta perbezaan di antara data simulasi dengan model matematik untuk kedua-dua ciri I-V dan P-V adalah ditunjuk di dalam rajah (4.4), (4.5) dan (4.6):



Rajah 4.4: Hubungan di antara ciri-ciri I-V dengan P-V apabila  $G = 221.19 \text{ W/m}^2$  dan  $T_C = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Rajah 4.5: Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri I-V apabila  $G = 221.19 \text{ W/m}^2$  dan  $T_C = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ .

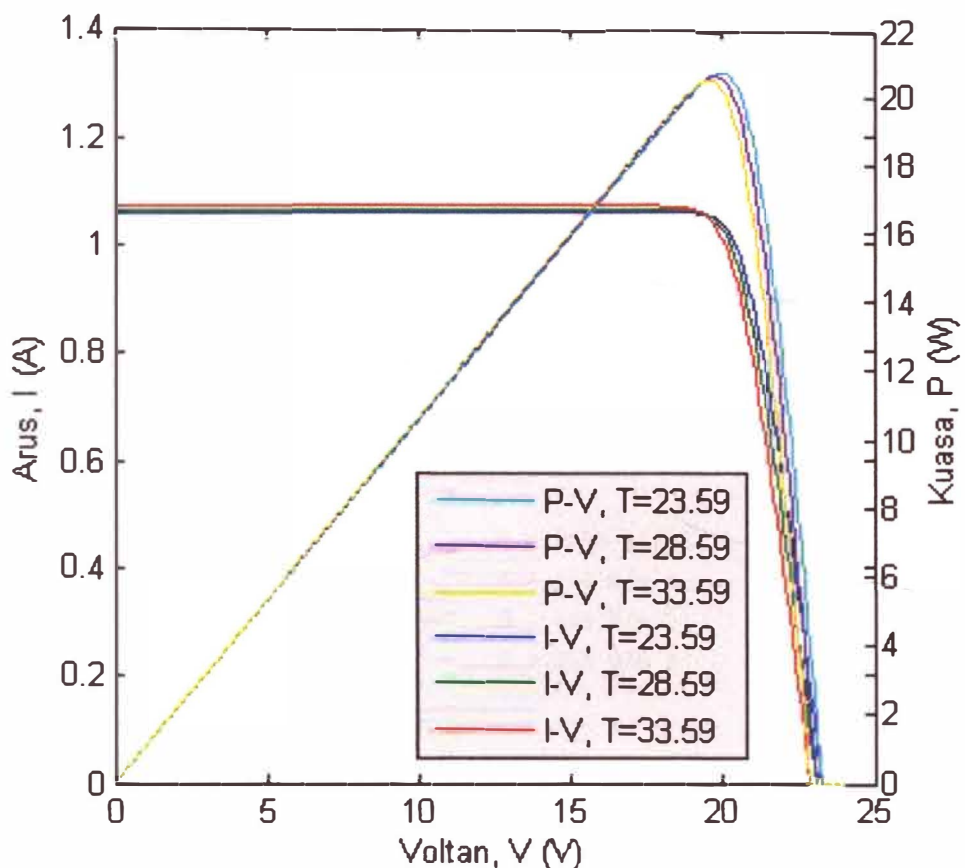


Rajah 4.6: Perbandingan di antara data simulasi dengan model matematik untuk ciri P-V apabila  $G = 221.19 \text{ W/m}^2$  dan  $T_C = 28.59 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Kaedah *bisection* memberikan anggaran nilai voltan yang optimum,  $V = 19.5724$  V. Nilai  $P$  dan  $I$  yang sepadan adalah  $20.3335$  W dan  $1.0576$  A.

#### 4.1.2 Perbandingan Prestasi di bawah Keadaan yang Berbeza

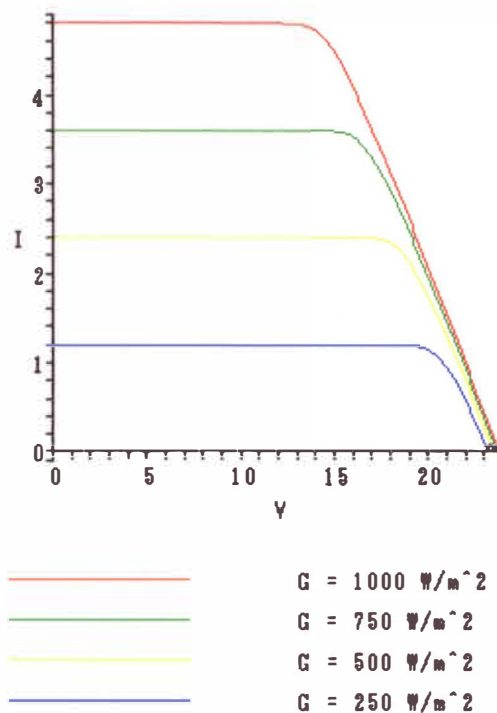
Jika  $G$  ditetapkan pada  $221.19 \text{ W/m}^2$  dan nilai  $T_c$  yang berbeza digunakan dalam perbandingan prestasi modul solar, keputusannya adalah seperti yang ditunjukkan di dalam rajah (4.7):



Rajah 4.7: Graf ciri-ciri I-V dan P-V bagi  $G = 221.19 \text{ W/m}^2$  serta  $T_c$  yang berbeza.

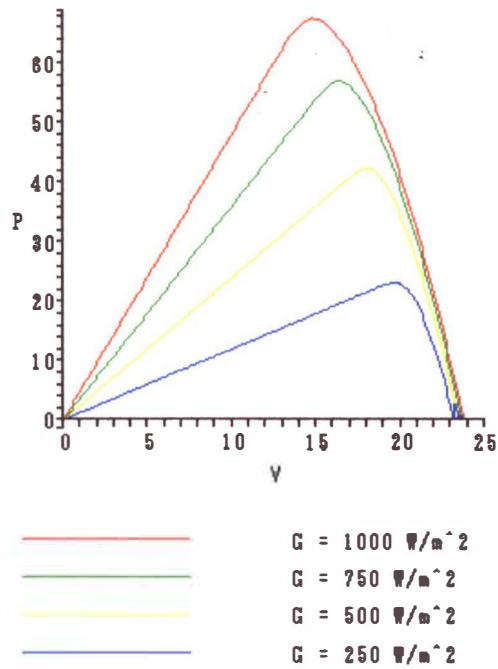
Walaupun perbezaan di antara lengkungan-lengkungan bagi kes ini tidak ketara, adalah jelas bahawa penjanaaan kuasa modul solar adalah lebih tinggi jika suhu sel adalah lebih rendah. Pemerhatian ke atas rajah (4.7) membuktikan bahawa penjanaaan kuasa yang optimum tercapai apabila  $T_C = 23.59 \text{ }^\circ\text{C}$ , iaitu nilai yang terendah digunakan dalam perbandingan prestasi tersebut.

Rajah (4.8), (4.9), (4.10) dan (4.11) menunjukkan contoh-contoh lain tentang pengaruh terhadap prestasi modul solar untuk nilai  $G$  dan  $T_C$  yang berbeza:

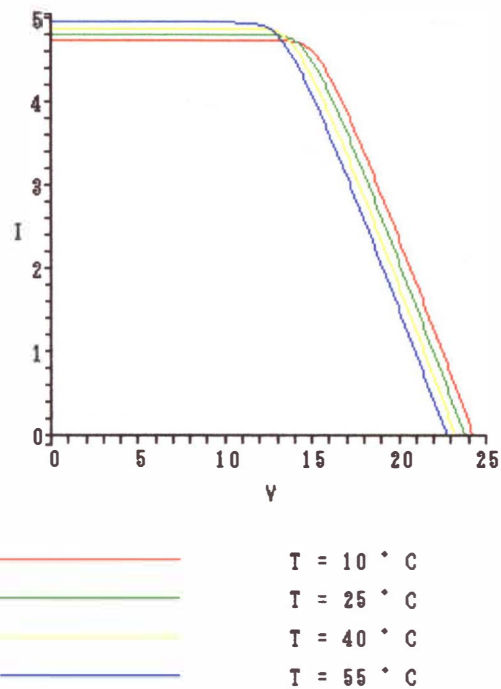


Rajah 4.8: Pengaruh  $G$  terhadap  $I$  dengan  $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

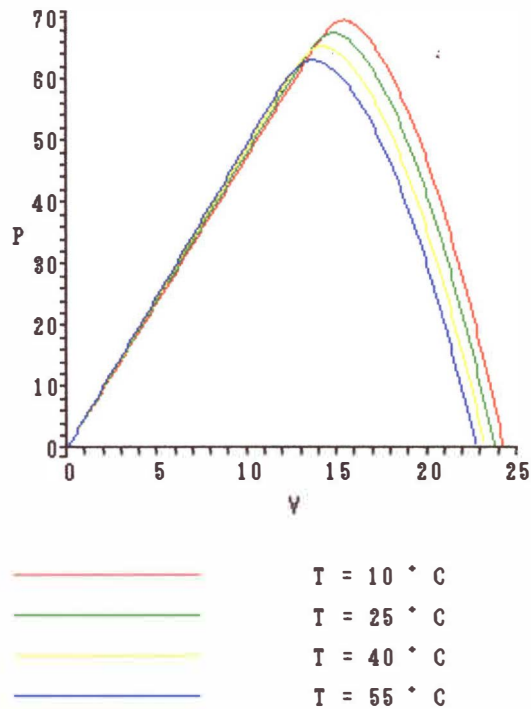




Rajah 4.9: Pengaruh  $G$  terhadap  $P$  dengan  $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$ .



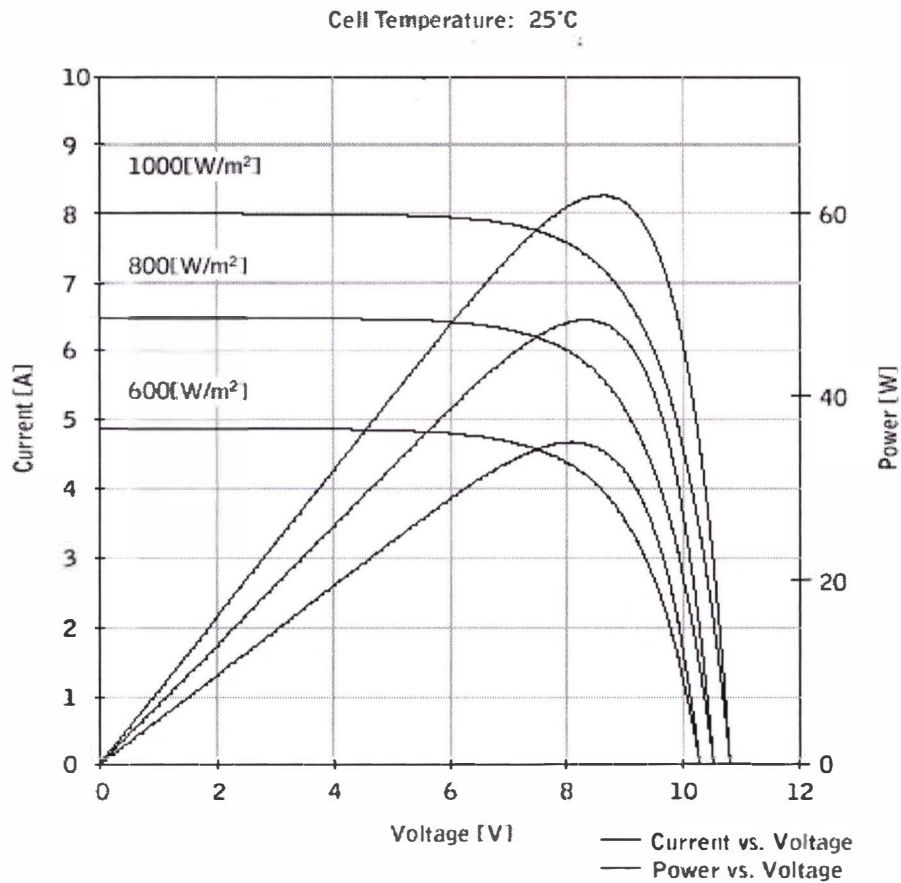
Rajah 4.10: Pengaruh  $T_c$  terhadap  $I$  dengan  $G = 1000\text{ W/m}^2$ .



Rajah 4.11: Pengaruh  $T_c$  terhadap  $P$  dengan  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ .

## 4.2 Perbincangan

Kajian ini telah dijalankan berdasarkan data simulasi yang diperolehi melalui rumus (3.1), dan tidak dapat dicarikan data-data dari sumber lain dalam bentuk angka yang boleh digunakan untuk menentukan kesahan data simulasi ini. Walau bagaimanapun, data simulasi ini boleh diterima kerana graf yang dipetakan adalah seiras dengan contoh-contoh graf yang terdapat di dalam jurnal atau internet seperti rajah (4.12).



Rajah 4.12: Contoh graf ciri-ciri I-V dan P-V.

Model-model matematik yang dibina di dalam kajian ini telah memberi anggaran yang cukup dekat dengan data simulasi yang diperolehi, dengan bantuan rajah-rajah di atas sebagai bukti. Walau bagaimanapun, masih wujudnya julat yang agak besar di bahagian akhir Rajah (4.6). Ini adalah kerana saiz selang yang sama telah digunakan untuk membina model tersebut. Jika saiz selang yang lebih kecil digunakan di bahagian di mana nilai data berubah dengan mendadak, adalah dipercayai bahawa anggaran yang lebih tepat dapat diperolehi.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN CADANGAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Secara keseluruhannya, walaupun wujudnya masalah dan kesukaran, kajian ini telah dilaksanakan mengikut rancangan yang ditetapkan. Hasil dapatan juga menghampiri jangkaan yang ditulis di dalam kertas saranan. Kajian ini adalah dikira sebagai satu kejayaan.

#### **5.2 Cadangan**

Cadangan untuk kajian pada masa akan datang termasuk:

- (1)Memperbaiki kaedah-kaedah yang telah digunakan dalam kajian ini agar penganggaran yang lebih bagus boleh diperolehi. Contohnya adalah seperti penggunaan saiz selang yang lebih kecil, pengiraan yang melibatkan lebih angka titik perpuluhan dan lain-lain.
- (2)Mempertimbangkan kaedah-kaedah permodelan dan pengoptimuman yang lain.

## RUJUKAN

- Green, M.A. 2005. Photovoltaic physics and devices. Dlm. Gordon, J.M. *Solar energy: the state of the art: ISES position papers / edited by Jeffery Gordon*. London: International Solar Energy Society. hlm. 291-356.
- Tiwari, G.N. 2002. *Solar energy: fundamentals, design, modeling and applications*. Pangbourne: Alpha Science.
- Burden, R.L. & Faires, J.D. 2005. *Numerical analysis*. Ed. Ke-8. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Li, C.H., Zhu, X.J., Cao, G.Y., Sui, S. & Hu, M.R. 2008. Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy storage technology. *Renewable Energy* (2008): 1-12.
- Chenni, R., Makhlouf, M., Kerbache, T. & Bouzid, A. 2007. A detailed modeling method for photovoltaic cells. *Energy* 32 (2007): 1724-1730.
- Wikipedia, 2004. Photovoltaics. (Laman sesawang)  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic> [4 Oktober 2008].
- Junus, L. 2004. Suria sumber tenaga masa depan. (Laman sesawang)  
[http://utusan.com.my/utusan/special.asp?pr=PR11&y=2004&dt=0131&pub=Utusan\\_Malaysia&sec=Rencana&pg=re\\_05.htm](http://utusan.com.my/utusan/special.asp?pr=PR11&y=2004&dt=0131&pub=Utusan_Malaysia&sec=Rencana&pg=re_05.htm) [4 Oktober 2008]
- Cetree, 2006. Tenaga solar sebagai alternatif. (Laman sesawang)  
[http://www.usm.my/cetree/view\\_info.asp?id=58](http://www.usm.my/cetree/view_info.asp?id=58) [4 Oktober 2008]
- Hanif, A. 2008. Nuklear atau solar?. (Laman sesawang)  
[http://www.hmetro.com.my/Current\\_News/myMetro/Wednesday/itMetro/20080702095551/Article/indexv\\_html](http://www.hmetro.com.my/Current_News/myMetro/Wednesday/itMetro/20080702095551/Article/indexv_html) [4 Oktober 2008]

## BIODATA PENULIS

Nama : Kon Chuen Kong  
Alamat Tetap : No. 2, Jalan 4A, Kg. Baru, 43200 Batu 9 Cheras, Selangor.  
Nombor Telefon : 017-3958723  
Email : destined\_solituder@yahoo.com  
Tarikh Lahir : 09/01/1986  
Tempat Lahir : Kuala Lumpur  
Kewarganegaraan : Malaysia  
Bangsa : Cina  
Jantina : Lelaki  
Agama : Buddha  
Pendidikan : -  
Anugerah : -  
Lain-lain (jika ada) : -

PERMODELAN DAN PENGOPTIMUMAN PENJANAAN TENAGA ELEKTRIK DARI PANEL FOTOVOLTA DI  
STESEN KAJIAN SUMBER TENAGA KETERBAHARUAN, UMT - KON CHUEN KONG