

## **BAB IV**

### **UJI COBA DAN ANALISA**

Tujuan akhir dari pengujian adalah untuk mengetahui, apakah algoritma pendeteksi berhasil atau tidak. Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan tahapan sebagai berikut :

- 1) Pengujian hasil simulasi modul surya.

Simulasi modul surya dilakukan pada program PSpice dan VB6.0. Hasilnya dicocokkan terhadap *datasheet*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan satu dioda dapat mewakili kurva karakteristik modul surya.

- 2) Simulasi dan analisa hasil simulasi kerusakan modul pada rangkaian modul surya.

Simulasi pada tahap ini menggunakan PSpice. Analisa ini untuk mendapatkan gambaran efek kerusakan terhadap kurva karakteristik. Hasil analisa ini diperlukan untuk membuat algoritma pembuat grafik efek kerusakan pada rangkaian modul surya. Algoritma ini nantinya akan digunakan pada VB6.0. Peralihan ke VB6.0 diperlukan karena PSpice tidak dapat digunakan untuk mensimulasikan algoritma pendeteksi.

- 3) Pengujian algoritma penggambar kurva karakteristik rangkaian modul surya.
- 4) Pengujian algoritma pendeteksi kerusakan modul surya secara simulasi.
- 5) Pengujian algoritma pendeteksi kerusakan modul surya berdasarkan data hasil pengukuran.

Masing-masing sub-bab berikut akan menjelaskan tiap-tiap langkah di atas.

#### **4.1 PENGUJIAN HASIL SIMULASI MODUL SURYA**

Modul surya yang diuji adalah modul surya Solarex MSX-60, Schott Solar ASE-50-ETF, dan Suntech STP005S. Modul ini dipilih karena variabel yang dibutuhkan untuk simulasi diinformasikan jelas pada *datasheet*. Modul ini disimulasikan berdasarkan fungsi suhu dan *irradiance* seperti yang tertera pada *datasheet* masing-masing. Modul surya disimulasikan menggunakan program

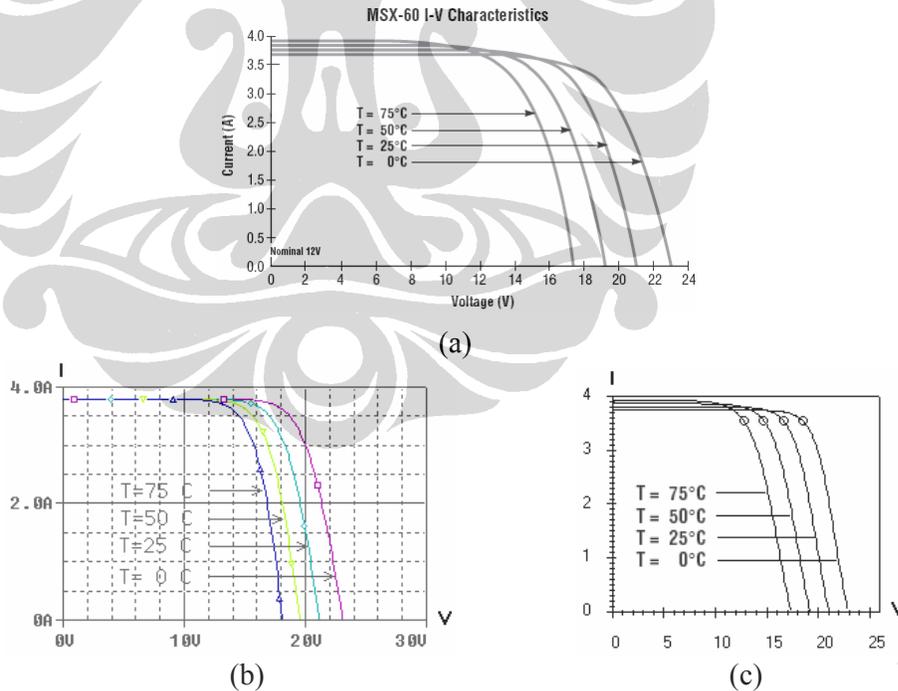
PSpice 9.1 *Student Version* dan program Visual Basic 6.0. Rumusan dan model yang digunakan dapat dilihat pada Bab 3. Sub-bab berikut menjelaskan hasil yang didapat untuk masing-masing modul surya.

#### 4.1.1 Modul Surya Solarex MSX-60

Parameter dari *datasheet* untuk mensimulasikan modul surya Solarex MSX-60 adalah :

- Daya maksimum : 60 Watt
- Voc : 21,1 volt pada 25°C
- Voc : 17,05 volt pada 75°C
- Isc : 3,8 A pada 25°C
- Isc : 3,92 A pada 75°C
- $dV/dI$  : 1,15
- $n$  : 1,2 berdasarkan total *error* terkecil
- Jumlah sel seri : 36

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan antara *datasheet* modul surya Solarex MSX-60, hasil simulasi PSpice 9.1, dan hasil simulasi pada VB6.0. Masing-masing grafik disimulasikan dengan mengacu pada *irradiance* dan suhu di *datasheet*, yaitu 1000 W/m<sup>2</sup> pada suhu 0 °C, 25 °C, 50 °C, 75 °C.



Gambar 4.1 Hasil simulasi Solarex MSX-60 (a) *Datasheet*[12] (lihat lampiran 1) (b) Simulasi PSpice (c) Simulasi VB 6.0

Kontur hasil simulasi menggunakan PSpice dan VB 6.0 pada Gambar 4.1 menyamai kurva *datasheet* Solarex MSX-60, sehingga disimpulkan bahwa karakteristik modul surya dapat disimulasikan dengan pemodelan satu dioda. Persamaan antara ketiga kurva dilihat kontur kurva, tetapi terdapat perbedaan pada kemiringan ketiga kurva. Perhitungan perbedaan kurva dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi Solarex MSX-60 Terhadap *Datasheet*

T (°C)	V (volt)	Datasheet	PSpice 9.1		VB6.0	
		I (A)	I(A)	% beda terhadap datasheet	I(A)	% beda terhadap datasheet
0	0-14	3,7	3,8	0,73	3,75	1,35
	16	3,6	3,8	5,56	3,75	4,17
	18	3,4	3,73	9,71	3,6	5,88
	20	2,8	3	7,14	3,1	10,71
	22	1,2	1,4	16,67	1,1	8,33
25	0-14	3,75	3,8	1,33	3,8	1,33
	16	3,5	3,7	5,71	3,5	0
	18	3	3,11	3,67	3,2	6,67
	20	1,4	1,5	7,14	1,2	14,29
50	0-12	3,8	3,8	0	3,9	2,63
	14	3,6	3,7	2,78	3,7	2,78
	16	3,2	3,4	6,25	3,5	9,38
	18	1,8	2	11,11	1,6	11,11
75	0-10	3,9	3,8	2,56	3,9	0
	12	3,9	3,8	2,56	3,7	5,13
	14	3,3	3,55	7,58	3,3	0
	16	2,2	2,9	31,82	1,5	31,82
Rata-rata =				7,2		6,8

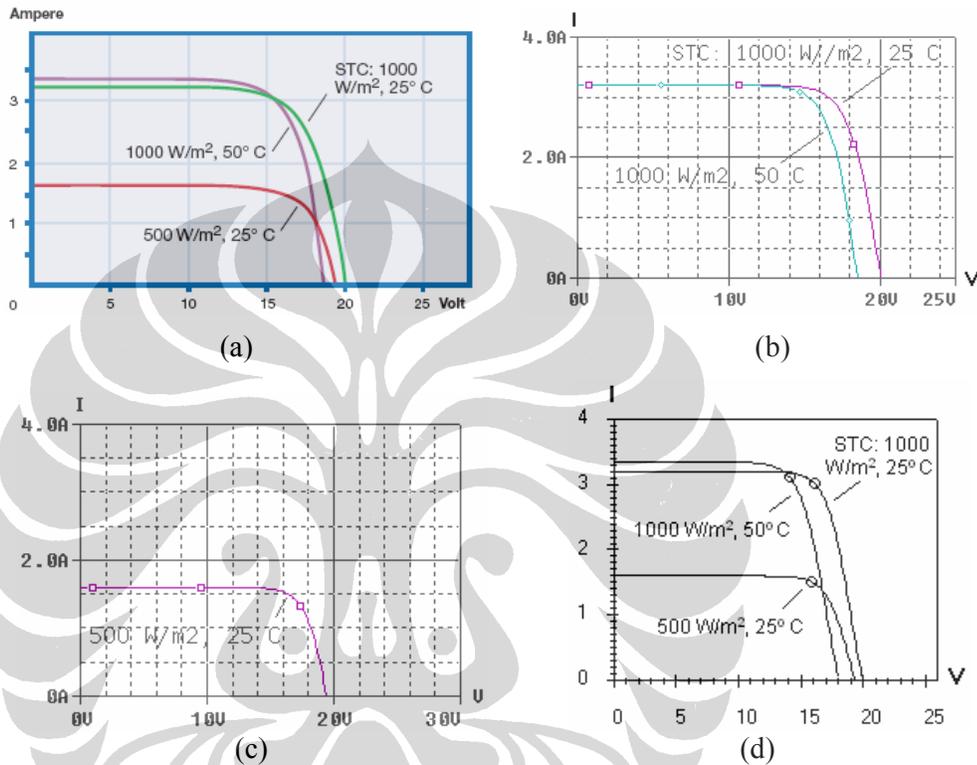
Rata-rata perbedaan kurva PSpice terhadap *datasheet* adalah 7,2%, sedangkan rata-rata perbedaan VB6.0 terhadap *datasheet* adalah 6,8%. Perbedaan ini disebabkan karena nilai *diode quality factor* yang tidak didapat dari *datasheet*. Nilai ini didapat dari perbandingan error terkecil terhadap *datasheet*.

#### 4.1.2 Modul Surya Schott Solar ASE-50-ETF

Parameter dari *datasheet* untuk mensimulasikan modul surya Schott Solar ASE-50-ETF adalah :

- Daya maksimum : 50 Watt
- Voc : 20 volt pada 25°C
- Voc : 19,31 volt pada 50°C
- Isc : 3,2 A pada 25°C
- Isc : 3,34 A pada 50°C
- $dV/dI$  : 1,2
- n : 1 berdasarkan total *error* terkecil
- Jumlah sel seri : 36

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan antara *datasheet* modul surya Schott Solar ASE-50-ETF, hasil simulasi PSpice 9.1, dan hasil simulasi pada VB6.0. Masing-masing grafik disimulasikan dengan mengacu pada *irradiance* dan suhu di *datasheet*, yaitu  $1000 \text{ W/m}^2$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$  dan  $50^\circ\text{C}$ .



Gambar 4.2 Hasil simulasi ASE-50-ETF (a) *Datasheet*[13] (lihat lampiran 2) (b) Simulasi PSpice pada irradiance  $1000 \text{ W/m}^2$  (c) Simulasi PSpice pada irradiance  $500 \text{ W/m}^2$  (d) Simulasi VB 6.0

Kontur hasil simulasi menggunakan PSpice dan VB 6.0 pada Gambar 4.2 menyamai kurva *datasheet* ASE-50-ETF, sehingga disimpulkan bahwa karakteristik modul surya dapat disimulasikan dengan pemodelan satu dioda. Persamaan antara ketiga kurva dilihat kontur kurva, tetapi terdapat perbedaan pada kemiringan ketiga kurva. Perhitungan perbedaan kurva dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi ASE-50-ETF Terhadap *Datasheet*

T (°C)	V (volt)	Datasheet	PSpice 9.1		VB6.0	
		I (A)	I(A)	% beda terhadap datasheet	I(A)	% beda terhadap datasheet
25	0-12	3,2	3,2	0	3,2	0
	14	3,17	3,2	0,95	3,2	0,95
	16	3	3,09	3	3,1	3,33
	18	2,31	2,47	6,93	2,25	2,6
	20	0	0	0	0	0
50	0-12	3,3	3,2	3,03	3,3	0
	14	3,17	3,2	0,95	3	4,1
	16	2,83	2,82	0,35	2,3	18,73
Rata-rata =				1,9		3,71

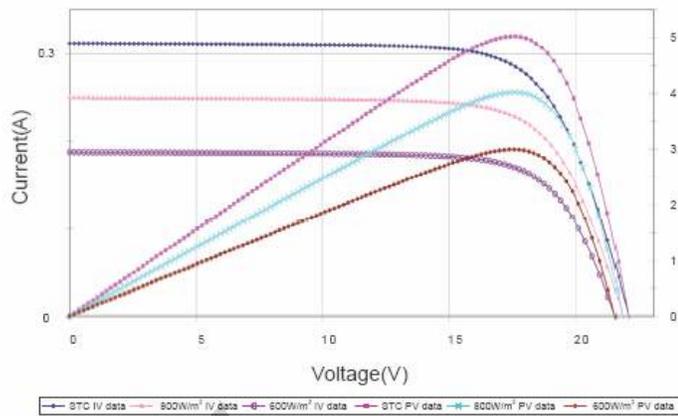
Rata-rata perbedaan kurva PSpice terhadap *datasheet* modul surya Schott Solar ASE-50-ETF adalah 1,9%, sedangkan rata-rata VB6.0 terhadap *datasheet* adalah 3,71%.

#### 4.1.3 Modul Surya Suntech STP005S

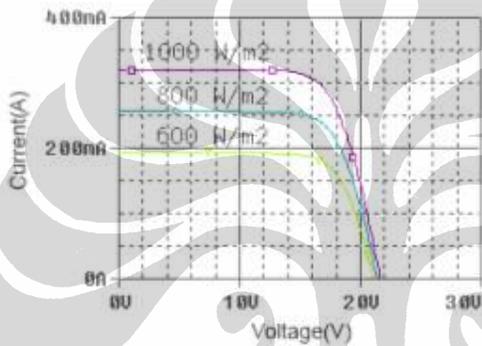
Parameter dari *datasheet* untuk mensimulasikan modul surya Suntech STP005S adalah :

- Daya maksimum : 5 Watt
- Voc : 21,6 volt pada 25°C
- Voc : 17,6 volt pada 75°C
- Isc : 0,32 A pada 25°C
- Isc : 0,35 A pada 75°C
- $dV/dI$  : 1,2
- n : 1,3 berdasarkan total *error* terkecil
- Jumlah sel seri : 36

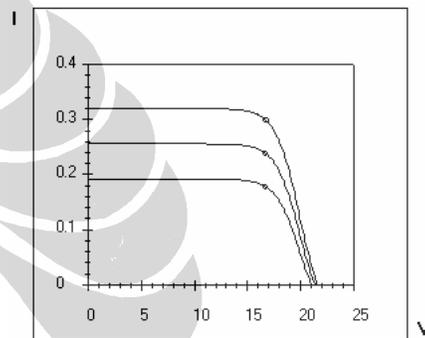
Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan antara *datasheet* modul surya Suntech STP005S, hasil simulasi PSpice 9.1, dan hasil simulasi pada VB6.0. Masing-masing grafik disimulasikan dengan mengacu pada *irradiance* dan suhu di *datasheet*, yaitu 600 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, dan 1000 W/m<sup>2</sup> pada suhu 25°C.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Hasil simulasi STP005S (a) *Datasheet*[13] (lihat lampiran 3) (b) Simulasi PSpice (c) Simulasi VB 6.0

Kontur hasil simulasi menggunakan PSpice dan VB 6.0 pada Gambar 4.3 menyamai kurva *datasheet* Suntech STP005S, sehingga disimpulkan bahwa karakteristik modul surya dapat disimulasikan dengan pemodelan satu dioda. Persamaan antara ketiga kurva dilihat kontur kurva, tetapi terdapat perbedaan pada kemiringan ketiga kurva. Perhitungan perbedaan kurva dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5.

Tabel 4.3 Perbandingan hasil simulasi STP005S pada *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>

V (volt)	Datasheet	PSpice 9.1		VB6.0	
	I (A)	I(A)	% beda	I(A)	% beda
0-14	0,32	0,32	0	0,32	0
15	0,31	0,31	0	0,31	0
16	0,3	0,3	0	0,31	3,33
17	0,29	0,28	3,45	0,3	3,45
18	0,26	0,25	3,85	0,27	3,85
19	0,25	0,22	12	0,2	12
20	0,2	0,18	10	0,14	30
21	0,09	0,07	22,22	0,08	11,11
Rata-rata =			7,36		9,11

Tabel 4.4 Perbandingan hasil simulasi STP005S pada *irradiance* 800 W/m<sup>2</sup>

V (volt)	Datasheet	PSpice 9.1		VB6.0	
	I (A)	I(A)	% beda	I(A)	% beda
0-14	0,25	0,26	4	0,26	4
15	0,25	0,25	0	0,26	4
16	0,24	0,24	0	0,25	4,17
17	0,23	0,23	0	0,24	4,35
18	0,21	0,21	0	0,22	4,76
19	0,17	0,19	11,76	0,16	5,88
20	0,15	0,1	33,33	0,1	33,33
21	0,07	0,05	28,57	0,05	28,57
Rata-rata =			10,52		12,15

Tabel 4.5 Perbandingan hasil simulasi STP005S pada *irradiance* 600 W/m<sup>2</sup>

V (volt)	Datasheet	PSpice 9.1		VB6.0	
	I (A)	I(A)	% beda	I(A)	% beda
0-14	0,19	0,19	0	0,19	0
15	0,18	0,19	5,56	0,19	5,56
16	0,18	0,18	0	0,18	0
17	0,17	0,17	0	0,17	0
18	0,16	0,16	0	0,16	0
19	0,15	0,13	13,33	0,12	20
20	0,1	0,08	20	0,07	30
21	0,04	0,03	25	0,01	75
Rata-rata =			9,13		18,65

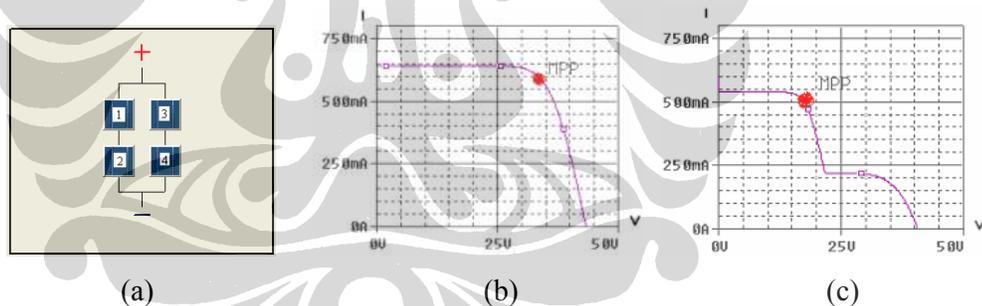
Rata-rata perbedaan kurva PSpice terhadap *datasheet* modul surya STP005S adalah 9%, sedangkan rata-rata perbedaan kurva VB6.0 terhadap *datasheet* modul surya STP005S adalah 13,3%.

## 4.2 SIMULASI DAN ANALISA KERUSAKAN MODUL SURYA

Sub-bab ini menunjukkan hasil simulasi PSpice untuk rangkaian modul dua seri & dua paralel dan rangkaian modul tiga seri & tiga paralel pada keadaan normal dan pada keadaan dengan kerusakan modul surya. Hasil dari simulasi PSpice ini digunakan untuk menganalisa efek kerusakan modul surya pada kurva karakteristiknya, sehingga hasilnya dapat disimpulkan untuk membuat algoritma penggambar kurva karakteristik. Perbedaan antara kurva normal dengan kurva yang memiliki kerusakan modul dapat dijadikan sebagai parameter bagi algoritma pendeteksi. Modul surya yang disimulasikan untuk kerusakan modul surya adalah Suntech STP005S karena modul ini yang akan diukur pada pengujian akhir.

### 4.2.1 Analisa Pada Rangkaian Dua Modul Surya Seri Dan Dua Modul Surya Paralel

Gambar 4.4 memperlihatkan rangkaian empat modul surya STP005S yang tersusun secara dua seri dan dua paralel. Rangkaian modul surya ini disimulasikan pada kondisi normal dan pada kondisi terdapat kerusakan modul dengan menggunakan program simulasi PSpice 9.1.



Gambar 4.4 (a) Susunan rangkaian modul surya 2X2 (b) Kurva karakteristik pada kondisi normal (c) Kurva karakteristik dengan kerusakan modul

Kurva normal pada Gambar 4.4 (b) disimulasikan dengan *irradiance*  $1000\text{W}/\text{m}^2$  tiap modul-nya sehingga tiap modul menghasilkan daya yang sama. Hasilnya adalah sistem yang memiliki MPP atau daya maksimum 20 Watt. Hasil simulasi sesuai dengan pembacaan *datasheet*, yaitu modul surya STP005S dapat menghasilkan MPP 5 Watt pada kondisi standar, sehingga empat modul surya menghasilkan 20 Watt. Gambar 4.4 (c) mensimulasikan modul yang sama tetapi dengan sebuah modul kurang teriluminasi, yaitu dengan *irradiance*  $200\text{W}/\text{m}^2$  dan

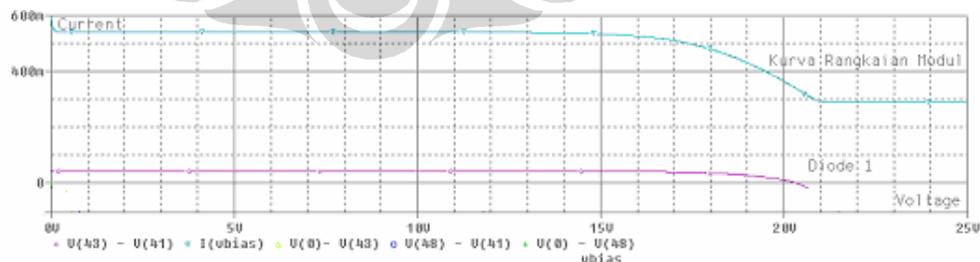
ke-tiga modul yang lain dengan *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>. Modul yang kurang teriluminasi ini dianggap sebagai modul yang memiliki sel yang rusak, sehingga tidak dapat menghasilkan daya seperti modul surya normal. Ringkasan dari variabel *irradiance* simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Irradiance* untuk simulasi rangkaian modul 2x2

Modul	<i>Irradiance</i> (normal) W/m <sup>2</sup>	<i>Irradiance</i> (terdapat kerusakan modul) W/m <sup>2</sup>
1	1000	200
2	1000	1000
3	1000	1000
4	1000	1000
MPP (watt)	20	8,5

Hasil dari perbedaan *irradiance* ini adalah sebuah modul menghasilkan daya yang lebih rendah, sehingga MPP sistem secara keseluruhan turun menjadi 8,5 Watt. Penurunan daya modul tidak linear terhadap penurunan daya per-modulnya karena apabila sebuah modul rusak pada sistem dengan empat modul dan penurunannya linear, maka sistem seharusnya dapat menghasilkan minimal 15 Watt.

Terjadinya ”jenjang” pada kurva karakteristik rangkaian modul surya dapat dijelaskan sebagai berikut. Penjelasan mengambil contoh Gambar 4.4 (c), yaitu rangkaian modul surya yang terdiri dari rangkaian seri dua modul surya dan rangkaian paralel dua modul surya. Pada kondisi dengan kerusakan pada sebuah modulnya, maka *bypass diode* pada modul surya yang rusak akan aktif dan kurva dioda ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



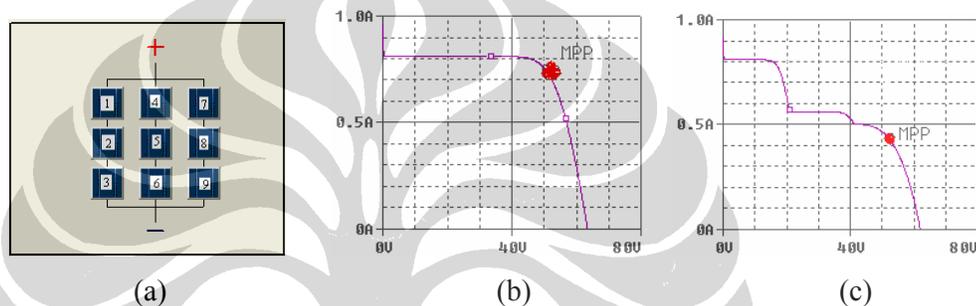
Gambar 4.5 Kurva dioda pada rangkaian modul surya

Gambar 4.5 menunjukkan kurva karakteristik rangkaian modul surya dengan *bypass diode*. Rangkaian ini disimulasikan dengan kondisi yang sama dengan Gambar 4.4 (c). Akibatnya adalah *bypass diode* pada modul kesatu

menjadi aktif (panjar maju). Arus pada kurva pada rangkaian modul surya menjadi berkurang sampai pada Voc dioda. Daya yang terdisipasi pada dioda ini yang menyebabkan kurva karakteristik sistem memiliki "jenjang / ladder".

#### 4.2.2 Analisa Pada Rangkaian Tiga Modul Surya Seri Dan Tiga Modul Surya Paralel

Pada Gambar 4.6 ditunjukkan rangkaian modul yang terdiri dari tiga modul seri dan tiga modul paralel. Rangkaian ini juga disimulasikan pada kondisi normal dan pada kondisi dengan kerusakan pada satu dan dua modulnya.



Gambar 4.6 (a) Susunan rangkaian modul surya 3X3 (b) Kurva karakteristik pada kondisi normal (c) Kurva karakteristik dengan kerusakan modul

Simulasi sistem dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  tiap modul-nya pada Gambar 4.6 (b) menghasilkan daya yang sama untuk tiap modulnya, sehingga sistem memiliki MPP atau daya maksimum 45 Watt. Hasil simulasi sesuai dengan pembacaan *datasheet*, yaitu modul surya STP005S dapat menghasilkan MPP 5Watt pada kondisi standar, sehingga sembilan sel surya menghasilkan 45 Watt. Gambar 4.6 (c) menggambarkan untuk simulasi sistem yang sama, tetapi dengan dua modul kurang teriluminasi, yaitu dengan *irradiance*  $800 \text{ W/m}^2$  dan *irradiance*  $200 \text{ W/m}^2$ , sedangkan modul yang lain dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$ . Perbedaan pada kedua modul seri ini menyebabkan kurva memiliki dua "ladder / jenjang". Ringkasan dari variabel *irradiance* yang digunakan dalam simulasi rangkaian modul surya ini dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 *Irradiance* untuk simulasi rangkaian modul 3x3

Modul	<i>Irradiance</i> (normal)	<i>Irradiance</i> (terdapat kerusakan modul)
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
1	1000	200
2	1000	800
3	1000	1000
4	1000	1000
5	1000	1000
6	1000	1000
7	1000	1000
8	1000	1000
9	1000	1000
MPP (watt)	45	24

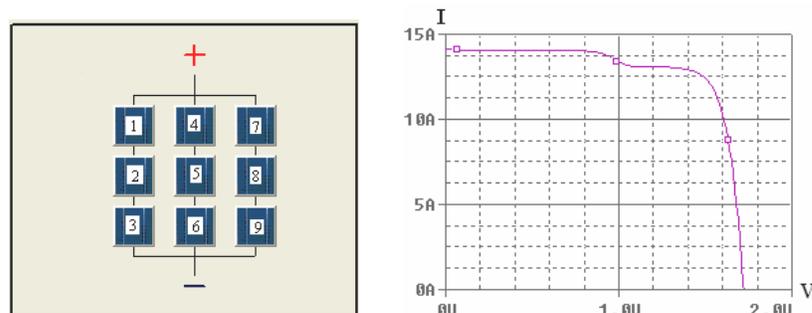
Hasil dari perbedaan *irradiance* ini adalah dua modul menghasilkan daya yang berbeda dan MPP sistem secara keseluruhan turun menjadi 24 Watt. Penurunan daya sistem untuk rangkaian ini juga tidak linear terhadap penurunan daya per-modul-nya.

### 4.3 ALGORITMA PENGGAMBAR KURVA KARAKTERISTIK MODUL SURYA

Algoritma ini diperlukan untuk menggambar kurva karakteristik rangkaian modul surya pada VB6.0 tanpa menghitung persamaan rangkaian analog yang rumit. Peralihan dari PSpice ke VB6.0 dilakukan karena PSpice tidak dapat mensimulasikan algoritma pendeteksi kerusakan modul surya.

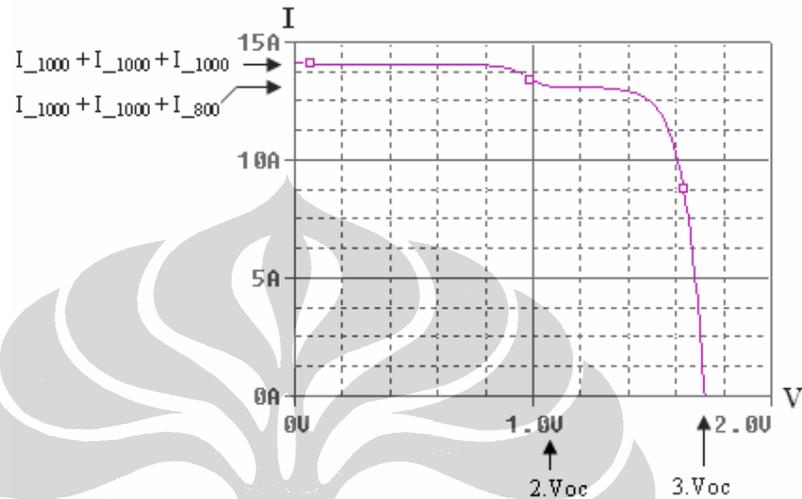
#### 4.3.1 Perancangan Algoritma Penggambar Kurva

Gambar 4.7 menggambarkan kurva karakteristik modul surya 3x3 pada PSpice. Delapan modul menerima *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>, sedangkan sebuah modul hanya dapat menerima 800 W/m<sup>2</sup>.



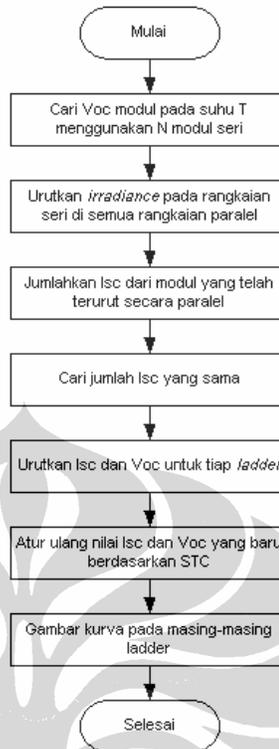
Gambar 4.7 Kurva rangkaian modul surya 3x3 dengan kerusakan pada modul kesatu

Modul yang disimulasikan adalah modul yang memiliki  $I_{sc} = 4,6A$  pada irradiance  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $I_{sc} = 3,6A$  pada irradiance  $800 \text{ W/m}^2$ , dan  $I_{sc} = 0,9A$  pada irradiance  $200 \text{ W/m}^2$ .  $V_{oc}$  satu modulnya adalah  $566 \text{ mV}$ . Penjelasan jenjang pada kurva diperjelas variabelnya pada Gambar 4.8.



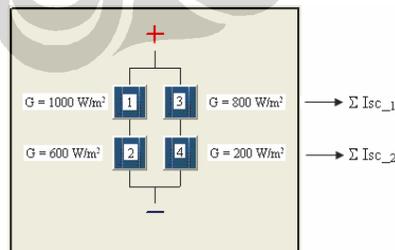
Gambar 4.8 Penjelasan jenjang pada kurva dengan kerusakan pada modul kesatu

$I_{sc}$  merupakan penjumlahan arus secara paralel. Arus pada jenjang merupakan penjumlahan arus secara paralel dengan sebuah modul yang rusak ( $irradiance = 800 \text{ W/m}^2$ ).  $V_{oc}$  rangkaian merupakan penjumlahan tegangan secara seri. Dari hasil analisa tersebut dan sifat karakteristik sel surya pada Bab 2, maka dapat dijadikan rumusan untuk algoritma penggambar kurva rangkaian modul surya, baik untuk kondisi normal, maupun dengan kondisi terdapat kerusakan modul surya. Kerusakan yang dimaksud dalam algoritma ini adalah modul surya menghasilkan daya yang lebih rendah dibandingkan modul lain dalam sistem atau pun modul tidak menghasilkan daya sama sekali. Urutan algoritma tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Alur algoritma penggambar kurva karakteristik

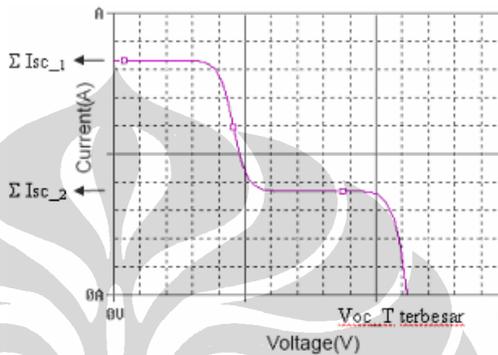
Langkah pertama adalah mencari Voc modul pada suhu T menggunakan N modul seri. Voc pada rangkaian dipengaruhi oleh banyaknya modul seri, sedangkan modul paralel tidak berpengaruh. Nilai Voc terutama dipengaruhi oleh suhu, bukan oleh *irradiance*. Selanjutnya *irradiance* diurutkan pada rangkaian seri di semua rangkaian paralel. Contoh untuk *irradiance* yang telah terurut ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Rangkaian modul surya dengan *irradiance* yang terurut

Setelah terurut, Isc dijumlahkan dari modul secara paralel, sehingga kedudukan Isc ini pada kurva seperti pada Gambar 4.11. Nilai Isc yang berbeda digunakan untuk membuat ”jenjang / ladder” pada kurva sehingga banyaknya

jenjang = M modul paralel -  $\Sigma$  (Isc yang sama). Contoh pada Gambar 4.11 adalah kurva yang memiliki dua "jenjang / ladder". Nilai Isc dan Voc untuk setiap jenjang kemudian diurutkan dan dihitung kembali berdasarkan kondisi standar (STC). Langkah terakhir adalah menggambar kurva pada masing-masing jenjang dengan batas sumbu y : Isc(1) sampai dengan Isc(jenjang) dan batas x: Voc(1) sampai dengan Voc(jenjang).



Gambar 4.11 Kedudukan Isc dan Voc pada kurva

#### 4.3.2 Pengujian Algoritma Penggambar Kurva

Uji coba pada *form* VB 6.0 ini ditujukan untuk menguji algoritma penggambar karakteristik untuk sistem surya pada kondisi normal dan untuk sistem surya dengan kerusakan pada satu modulnya atau lebih. Uji coba dilakukan pada rangkaian tiga modul seri, rangkaian tiga modul paralel, dan rangkaian dengan dua modul seri dan dua modul paralel. Uji coba ini membandingkan hasil simulasi kurva karakteristik V-I sistem pada PSpice 9.1 dengan kurva karakteristik V-I sistem menggunakan algoritma penggambar kurva pada VB 6.0. Modul yang diuji adalah modul surya Swissco Solar STP005 karena modul ini yang akan diuji pada pengujian algoritma pendeteksi menggunakan data hasil pengukuran.

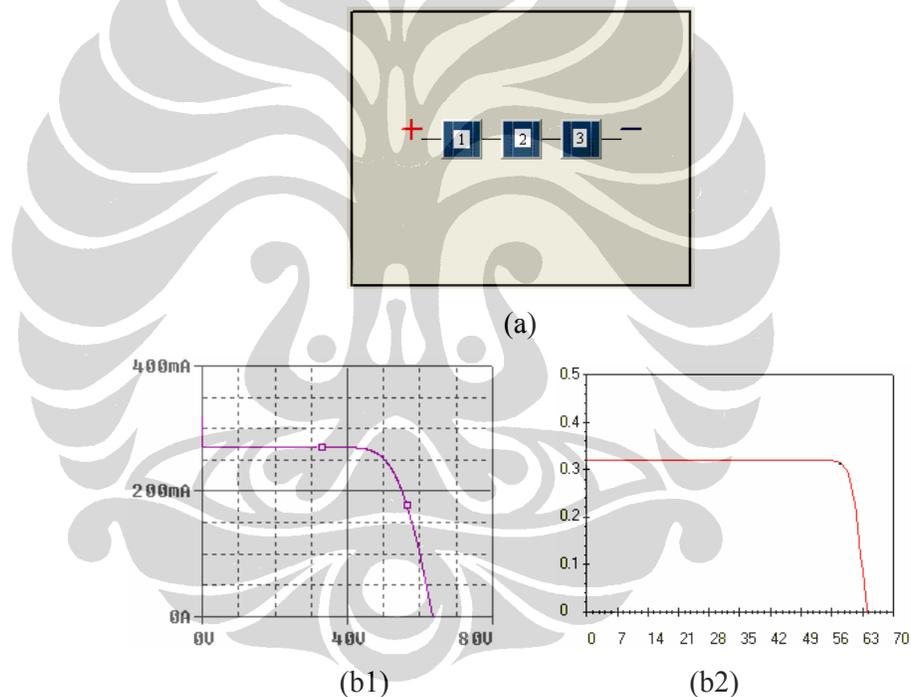
Kerusakan modul disimulasikan sebagai perbedaan *irradiance* karena sebuah modul yang rusak dapat dianalogikan sebagai modul yang menghasilkan daya kurang dari modul normal dan penurunan *irradiance* dapat menyebabkan penurunan daya pada modul. Pengguna dapat melihat perubahan bentuk grafik yang melibatkan nilai Isc dan Voc untuk variasi nilai *irradiance*.

4.3.2.1 Uji Coba Algoritma Penggambar Karakteristik Pada Rangkaian Tiga Modul Surya Seri

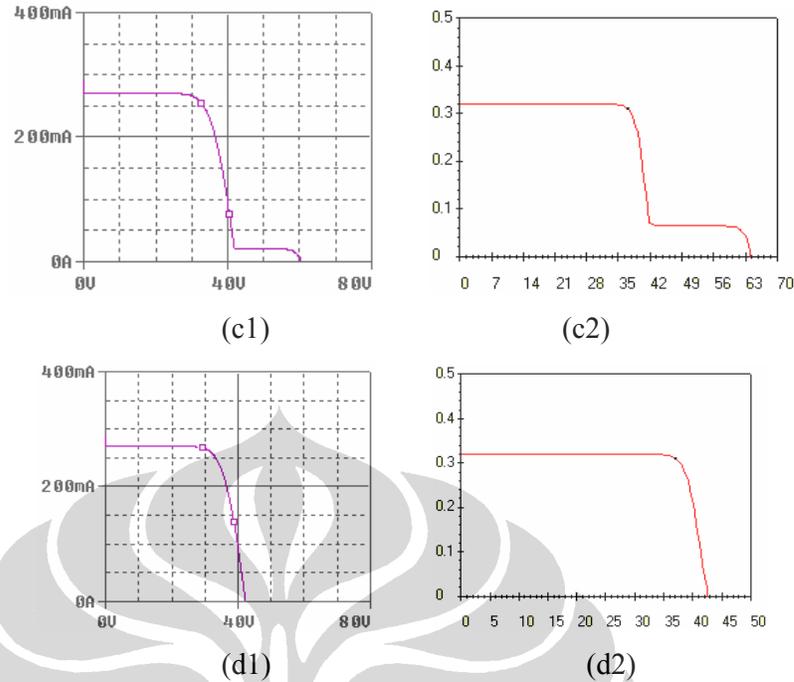
Gambar 4.12 menggambarkan penurunan nilai MPP akibat perbedaan *irradiance* pada tiga rangkaian modul surya yang disusun secara seri. Tabel 4.8 menampilkan nilai *irradiance* yang digunakan pada Gambar 4.12.

Tabel 4.8 Nilai *irradiance* untuk rangkaian tiga modul surya seri

Modul	<i>Irradiance</i> untuk Gambar 4.6 (b) W/m <sup>2</sup>	<i>Irradiance</i> untuk Gambar 4.6 (c) W/m <sup>2</sup>	<i>Irradiance</i> untuk Gambar 4.6 (d) W/m <sup>2</sup>
1	1000	200	0
2	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000



Gambar 4.12 (a) Susunan modul surya (b1) Simulasi normal PSpice (b2) Simulasi normal VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Sebuah modul tidak menghasilkan daya sama sekali pada PSpice (d2) Sebuah modul tidak menghasilkan daya sama sekali pada VB6.0



Gambar 4.12 (a) Susunan modul surya (b1) Simulasi normal PSpice (b2) Simulasi normal VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Sebuah modul tidak menghasilkan daya sama sekali pada PSpice (d2) Sebuah modul tidak menghasilkan daya sama sekali pada VB6.0 (lanjutan)

Gambar 4.12 (a) menggambarkan susunan tiga modul surya yang tersusun secara seri. Gambar 4.12 (b1) pada PSpice dan Gambar 4.12 (b2) pada VB6.0 menggambarkan hasil simulasi pada kondisi normal, yaitu tiap modul teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Gambar 4.12 (c1) pada PSpice dan Gambar 4.12 (c2) pada VB6.0 menggambarkan hasil simulasi pada kondisi dengan satu modul teriluminasi dengan *irradiance*  $200 \text{ W/m}^2$ , sedangkan modul yang lain teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Hasil pada Gambar 4.12 (d1) menggunakan PSpice dan Gambar 4.12 (d2) menggunakan VB6.0 menggambarkan hasil simulasi pada kondisi dengan satu modul tidak menghasilkan daya sama sekali, sedangkan modul yang lain tetap teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$ .

Setiap penurunan daya menyebabkan ”jenjang / ladder” pada kurva karakteristik sistem, kecuali bila modul tidak teriluminasi sama sekali. Pada

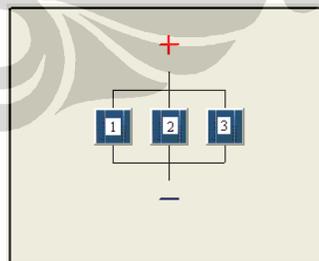
sistem dengan susunan modul seri dapat disimpulkan bahwa penurunan daya pada satu atau lebih modul surya menyebabkan jenjang / *ladder* pada kurva dan jenjang ini dapat digunakan sebagai indikasi terjadinya kerusakan modul surya. Apabila sebuah modul surya pada rangkaian tidak dapat menghasilkan daya sama sekali, maka kurva karakteristik tidak menghasilkan jenjang. Kontur kurva yang tidak memiliki jenjang (sama dengan kurva karakteristik normal) ini tidak dapat digunakan untuk mengindikasikan adanya kerusakan modul. Jenjang tidak dihasilkan pada sistem dengan modul yang tidak menghasilkan daya sama sekali karena modul tidak menghasilkan arus  $I_{sc}$  pada penjumlahan arus secara paralel.

#### 4.3.2.2 Uji Coba Algoritma Penggambar Karakteristik Pada Rangkaian Tiga Modul Surya Paralel

Gambar 4.13 menggambarkan penurunan nilai MPP akibat perbedaan *irradiance* pada tiga rangkaian modul surya yang disusun secara paralel. Tabel 4.9 menampilkan nilai *irradiance* yang digunakan untuk melihat efek perbedaannya pada kurva.

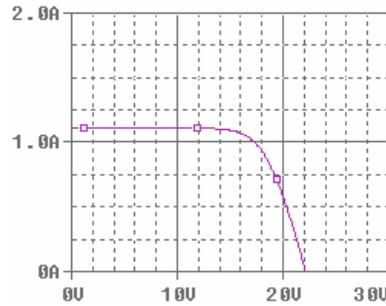
Tabel 4.9 Nilai *irradiance* untuk rangkaian tiga modul surya paralel

Modul	<i>Irradiance</i> untuk Gambar 4.13 (b) $W/m^2$	<i>Irradiance</i> untuk Gambar 4.13 (c) $W/m^2$	<i>Irradiance</i> untuk Gambar 4.13 (d) $W/m^2$
1	1000	200	0
2	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000

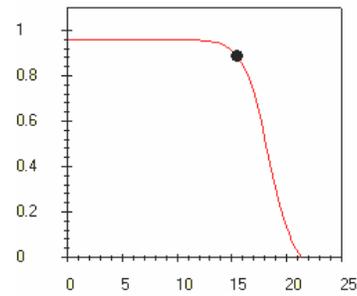


(a)

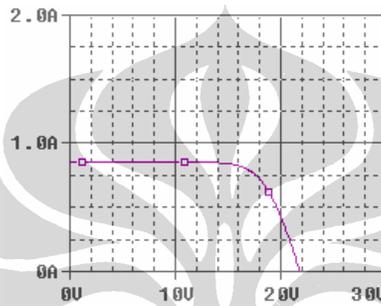
Gambar 4.13 (a) Susunan modul surya (b1) Simulasi normal PSpice (b2) Simulasi normal VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0



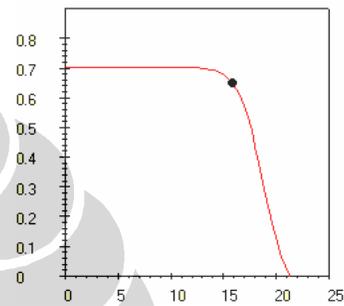
(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

Gambar 4.13 (a) Susunan modul surya (b1) Simulasi normal PSpice (b2) Simulasi normal VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (lanjutan)

Gambar 4.13 (a) menggambarkan susunan tiga modul surya paralel. Gambar 4.13 (b1) pada PSpice dan Gambar 4.8 (b2) pada VB6.0 menggambarkan hasil simulasi pada kondisi normal, yaitu tiap modul teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^\circ\text{C}$ , sedangkan Gambar 4.13 (c1) pada PSpice dan Gambar 4.13 (c2) pada VB6.0 menggambarkan hasil simulasi pada kondisi dengan satu modul teriluminasi dengan *irradiance*  $200 \text{ W/m}^2$ , sedangkan modul yang lain teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^\circ\text{C}$ .

Hasil simulasi pada sistem dengan tiga modul paralel memberikan kontur kurva yang sama dengan kurva normal. Apabila satu atau lebih modul kurang teriluminasi atau pun modul tidak teriluminasi sama sekali, kontur kurva tetap sama. Perbedaannya dengan kurva normal hanya terletak pada nilai  $I_{sc}$ , sedangkan nilai  $V_{oc}$  sistem tetap sama dengan  $V_{oc}$  satu modul (sesuai dengan hukum Kirchhoff). Algoritma pendeteksi yang mendeteksi menggunakan

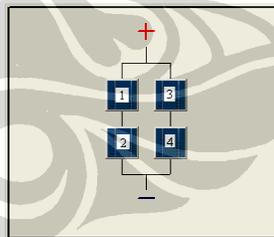
parameter tegangan dan arus tidak dapat diterapkan untuk kasus semua modul tersusun secara paralel seperti ini karena kontur kurvanya yang sama dengan kurva normal.

#### 4.3.2.3 Uji Coba Algoritma Penggambar Karakteristik Pada Rangkaian Modul Surya Dua Seri Dan Dua Paralel

Gambar 4.14 menggambarkan susunan modul surya yang terdiri dari dua modul surya secara paralel dan dua modul surya secara seri. Rangkaian ini disimulasikan dengan kombinasi kerusakan modulnya, yaitu : sebuah modul rusak, modul 1 & 4 rusak, modul 1 & 2 rusak (modul seri), modul 1 & 3 rusak (modul paralel). Ringkasan *irradiance* yang dipakai pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.10.

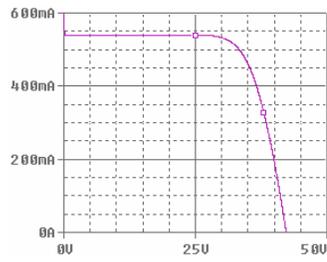
Tabel 4.10 Nilai *irradiance* untuk rangkaian modul surya dua seri dan dua paralel

Modul	<i>Irradiance</i> (W/m <sup>2</sup> ) untuk Gambar 4.14 (b1)&(b2)	<i>Irradiance</i> (W/m <sup>2</sup> ) untuk Gambar 4.14 (c1)&(c2)	<i>Irradiance</i> (W/m <sup>2</sup> ) untuk Gambar 4.14 (d1)&(d2)	<i>Irradiance</i> (W/m <sup>2</sup> ) untuk Gambar 4.14 (e1)&(e2)	<i>Irradiance</i> (W/m <sup>2</sup> ) untuk Gambar 4.14 (f1)&(f2)
1	1000	200	200	0	0
2	1000	1000	1000	0	1000
3	1000	1000	800	1000	0
4	1000	1000	1000	1000	1000

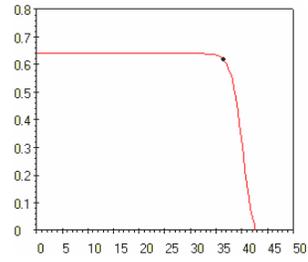


(a)

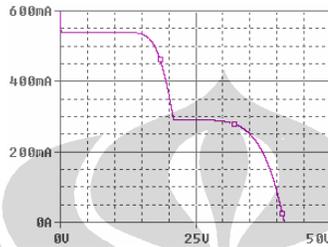
Gambar 4.14 (a) Susunan modul surya (b1) Modul normal dengan PSpice (b2) Modul normal dengan VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Beda daya pada modul satu dan dua dengan PSpice (d2) Beda daya pada modul satu dan dua dengan VB6.0 (e1) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan PSpice (e2) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan VB6.0 (f1) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan PSpice (f2) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan VB6.0



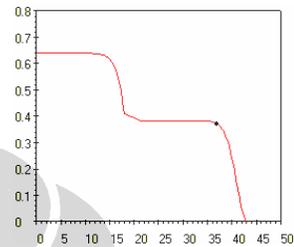
(b1)



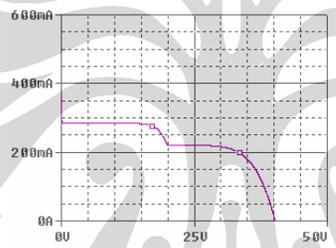
(b2)



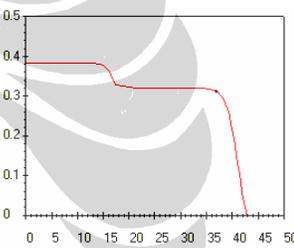
(c1)



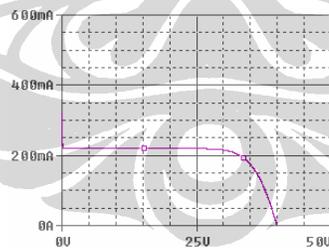
(c2)



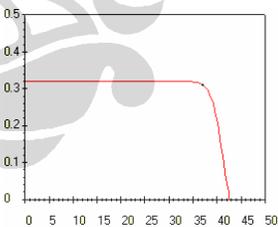
(d1)



(d2)

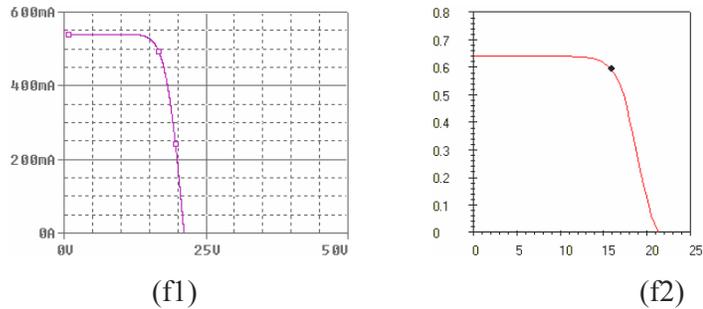


(e1)



(e2)

Gambar 4.14 (a) Susunan modul surya (b1) Modul normal dengan PSpice (b2) Modul normal dengan VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Beda daya pada modul satu dan dua dengan PSpice (d2) Beda daya pada modul satu dan dua dengan VB6.0 (e1) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan PSpice (e2) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan VB6.0 (f1) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan PSpice (f2) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan VB6.0 (lanjutan)



Gambar 4.14 (a) Susunan modul surya (b1) Modul normal dengan PSpice (b2) Modul normal dengan VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Beda daya pada modul satu dan dua dengan PSpice (d2) Beda daya pada modul satu dan dua dengan VB6.0 (e1) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan PSpice (e2) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan VB6.0 (f1) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan PSpice (f2) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan VB6.0 (lanjutan)

Gambar 4.14 (b) menggambarkan hasil simulasi pada kondisi normal, yaitu tiap modul teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Gambar 4.14 (c) menggambarkan hasil simulasi pada kondisi dengan satu modul teriluminasi dengan *irradiance*  $200 \text{ W/m}^2$ , sedangkan modul yang lain teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Gambar 4.14 (d) menggambarkan hasil simulasi pada kondisi dengan modul ke-satu teriluminasi dengan *irradiance*  $800 \text{ W/m}^2$  dan modul ke-tiga teriluminasi dengan *irradiance*  $200 \text{ W/m}^2$ , sedangkan modul yang lain teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Gambar 4.14 (e) menggambarkan hasil simulasi dengan satu rangkaian modul seri tidak teriluminasi sama sekali, yaitu modul ke-satu dan modul ke-dua, sedangkan modul yang lain teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Gambar 4.14 (f) menggambarkan hasil simulasi dengan satu rangkaian modul paralel tidak teriluminasi sama sekali, yaitu modul ke-satu dan modul ke-tiga, sedangkan modul yang lain teriluminasi dengan *irradiance*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^{\circ}\text{C}$ .

Hasil simulasi pada rangkaian modul dengan dua modul seri dan dua modul paralel dengan kondisi satu rangkaian seri atau satu rangkaian paralel tidak teriluminasi sama sekali memberikan kontur kurva yang sama dengan kurva

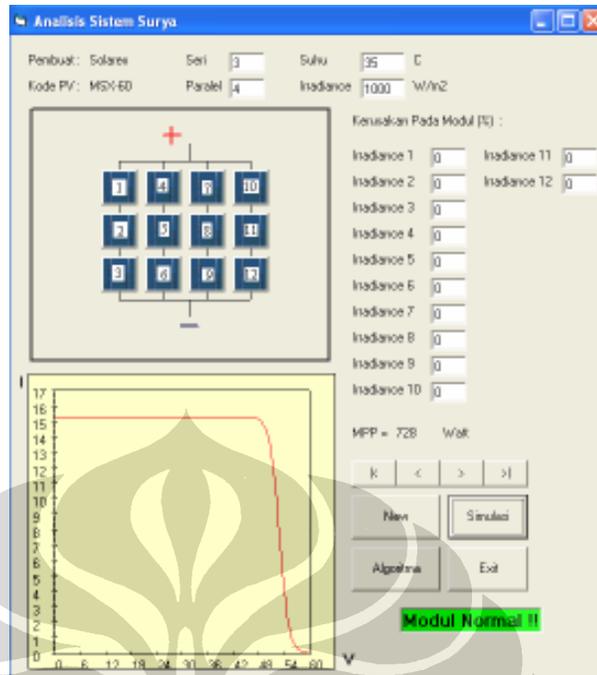
normal, sehingga algoritma tidak dapat diterapkan untuk kasus seperti ini. Hasil ini tetap sama untuk susunan modul dengan N modul seri dan M modul paralel.

Kesimpulan akhir dari hasil simulasi pada VB 6.0 adalah cukup menyamai kurva PSpice. Namun, terdapat perbedaan pada kemiringan kurva dan  $I_{sc}$ . Munculnya perbedaan kemiringan kurva dimulai dari *knee* kurva dan perbedaan nilai *knee* ini yang menyebabkan perbedaan kemiringan. Perbedaan ini berkisar antara satu sampai dengan lima volt bergantung dari jumlah modul pada susunan sistem. Hal ini disebabkan karena Pspice mensimulasikan modul berdasarkan analisis simpul rangkaian listrik analog, sedangkan program VB 6.0 mensimulasikan modul berdasarkan algoritma pergeseran kurva. Kurva  $I_{sc}$  yang berbeda disebabkan karena PSpice menghitung efek tegangan jatuh pada *bypass diode*, sedangkan VB 6.0 tidak menghitungnya. Secara grafis, kurva karakteristik VB 6.0 cukup baik untuk merepresentasikan karakteristik V-I modul untuk menguji algoritma deteksi.

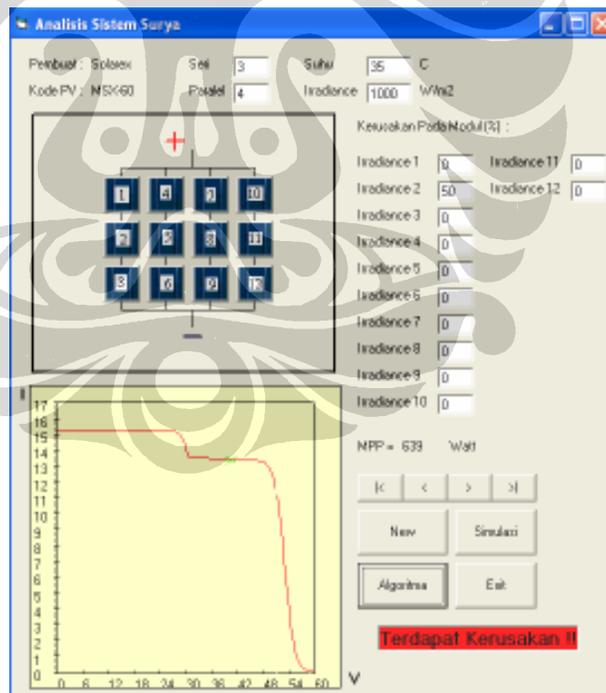
#### **4.4 PENGUJIAN ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA SECARA SIMULASI**

##### **4.4.1 Pengujian Algoritma Pendeteksi Pada Solarex MSX-60**

Sub-program algoritma pendeteksi kerusakan modul surya pada sistem energi surya direalisasikan dengan tombol "algoritma" pada *form* simulasi sistem. Tujuannya adalah untuk melihat jalannya algoritma pendeteksi pada *picture box* (kurva V-I). Pengujian dilakukan pada rangkaian modul 3x4 normal (*irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup> tiap modul) dan rangkaian modul 3x4 dengan salah satu modul teriluminasi dengan *irradiance* 500 W/m<sup>2</sup>, sedangkan modul lain dengan *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>. Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 memperlihatkan tampilan hasil akhir pengujian algoritma pada kondisi normal dan pada kondisi terdapat kerusakan modul surya.



Gambar 4.15 Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Solarex MSX-60

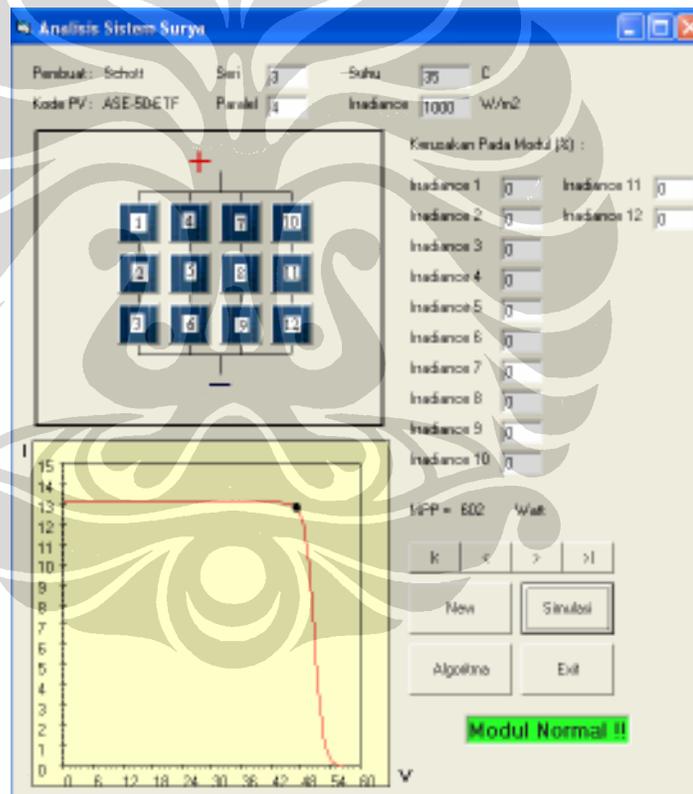


Gambar 4.16 Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Solarex MSX-60 dengan kerusakan pada salah satu modulnya

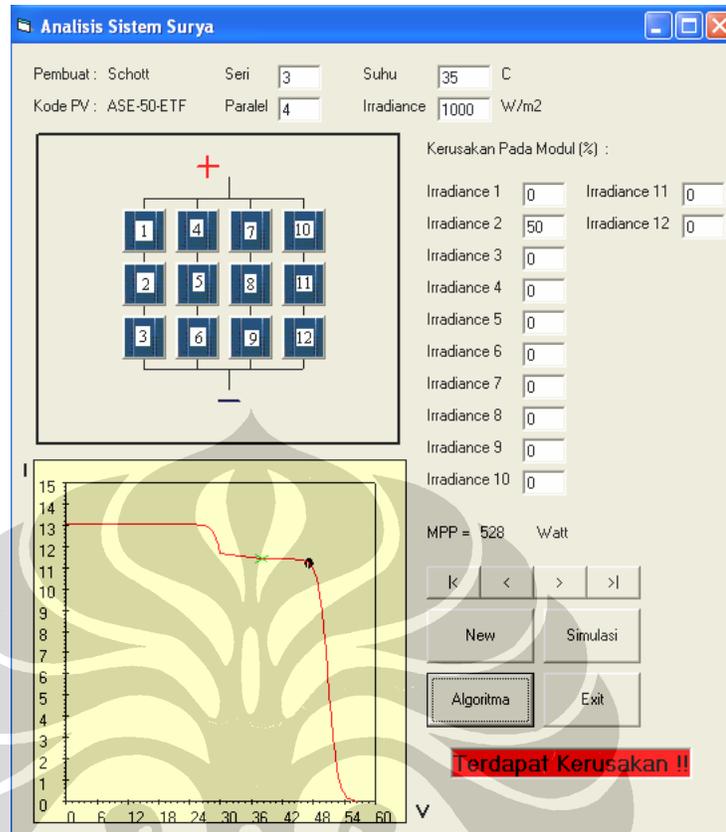
Algoritma berhasil membedakan kedua kurva, antara kurva normal dengan kurva yang memiliki kerusakan pada salah satu modulnya. Indikasi terjadinya kerusakan pada kurva ditandai dengan tanda silang hijau.

#### 4.4.2 Pengujian Algoritma Pendeteksi Pada Schott Solar ASE-50-ETF

Pengujian dilakukan pada rangkaian modul 3x4 normal (*irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup> tiap modul) dan rangkaian modul 3x4 dengan salah satu modul teriluminasi dengan *irradiance* 500 W/m<sup>2</sup>, sedangkan modul lain dengan *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>. Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 memperlihatkan tampilan hasil akhir pengujian algoritma pada kondisi normal dan pada kondisi terdapat kerusakan modul surya.



Gambar 4.17 Simulasi pengujian algoritma deteksi pada ASE-50-ETF

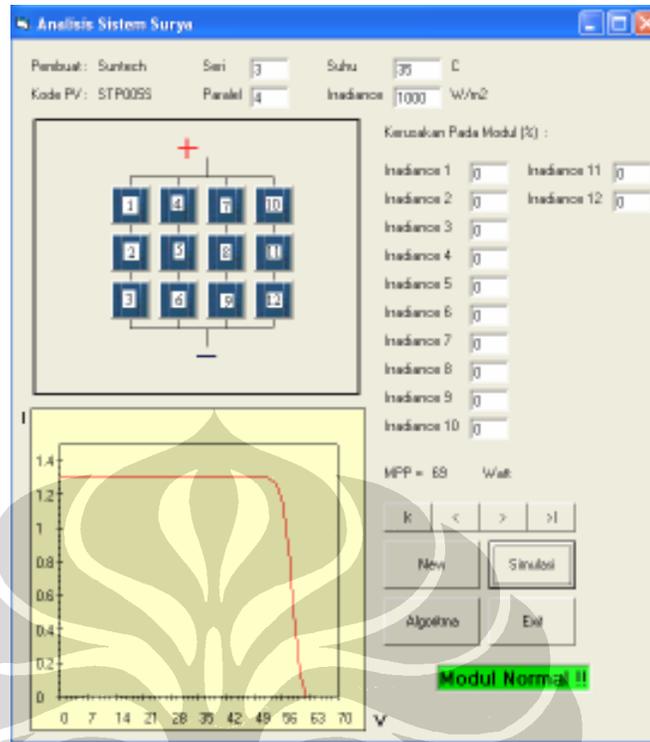


Gambar 4.18 Simulasi pengujian algoritma deteksi pada ASE-50-ETF dengan kerusakan modul

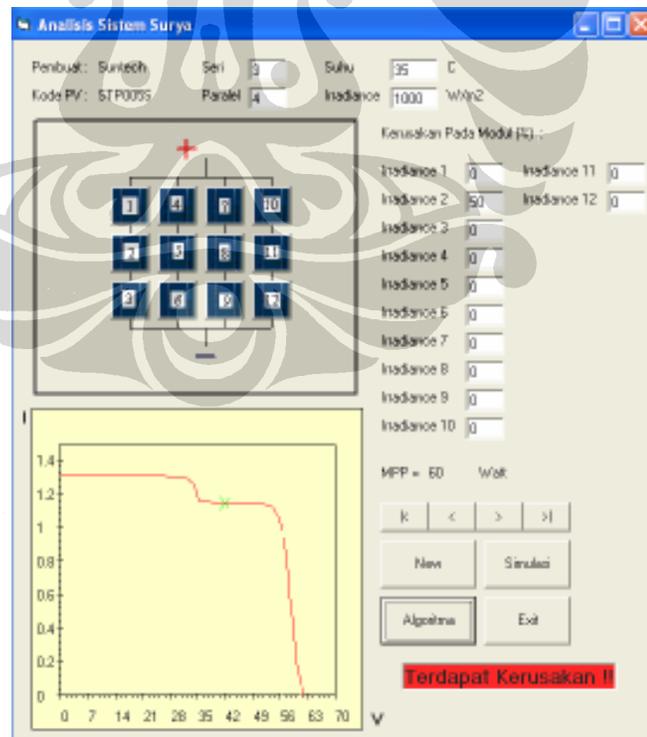
Algoritma berhasil membedakan kedua kurva, antara kurva normal dengan kurva yang memiliki kerusakan pada salah satu modulnya. Indikasi terjadinya kerusakan pada kurva ditandai dengan tanda silang hijau.

#### 4.4.3 Pengujian Algoritma Pendeteksi Pada Suntech STP005S

Pengujian dilakukan pada rangkaian modul 3x4 normal (*irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup> tiap modul) dan rangkaian modul 3x4 dengan salah satu modul teriluminasi dengan *irradiance* 500 W/m<sup>2</sup>, sedangkan modul lain dengan *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>. Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 memperlihatkan tampilan hasil akhir pengujian algoritma pada kondisi normal dan pada kondisi terdapat kerusakan modul surya.



Gambar 4.19 Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Suntech STP005S



Gambar 4.20 Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Suntech STP005S dengan kerusakan modul

Algoritma berhasil membedakan kedua kurva, antara kurva normal dengan kurva yang memiliki kerusakan pada salah satu modulnya. Indikasi terjadinya kerusakan pada kurva ditandai dengan tanda silang hijau.

#### **4.5 PENGUJIAN ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA BERDASARKAN HASIL PENGUKURAN**

Metode pengujian algoritma pendeteksi dilakukan pada rangkaian seri dua modul surya STP005S dan rangkaian seri tiga modul surya STP005S (lihat lampiran 4). Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan data tegangan dari nol sampai Voc dan data arus rangkaian dari Isc sampai dengan nol. Data ini menggambarkan kurva karakteristik sistem. Nilai tegangan dan arus diukur menggunakan voltmeter dan amperemeter, yang besarnya bergantung dari perubahan beban. Perubahan beban pada model diatur melalui sebuah resistor variabel. Model untuk pengukuran karakteristik rangkaian modul surya dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Data yang didapat dari hasil pengukuran, kemudian digambar sebagai kurva di program VB6.0. Selanjutnya algoritma pendeteksi akan menentukan apakah terdapat kerusakan modul atau tidak berdasarkan parameter tegangan dan arus hasil pengukuran.

##### **4.5.1 Pengujian Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Seri Dua Modul Surya**

Pengujian algoritma dilakukan pada program VB6.0 dengan data tegangan dan arus yang didapat dari hasil pengukuran rangkaian seri dua modul surya. Algoritma diuji untuk kondisi normal dan untuk kondisi dengan kerusakan modul. Kerusakan modul dilakukan dengan menutup sebagian modul, sehingga sebagian sel dari modul surya tidak menghasilkan daya. Modul surya yang tertutup ini otomatis akan menghasilkan daya yang lebih rendah daripada modul surya normal. Perbedaan daya yang dihasilkan pada kedua modul akan mempengaruhi bentuk kurva daya.

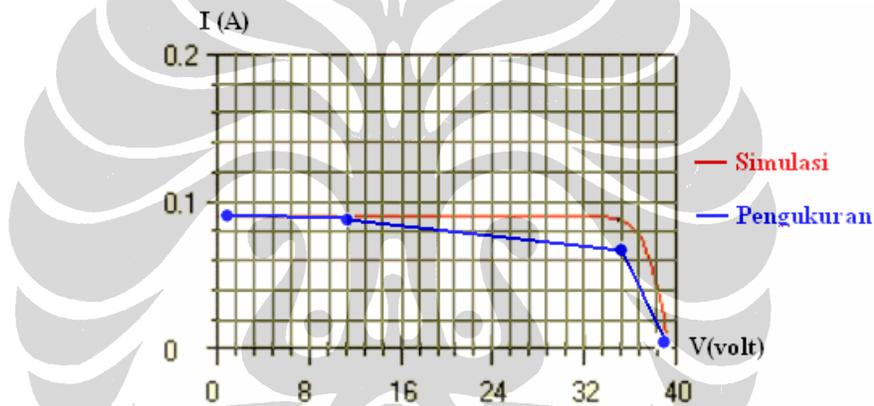
#### 4.5.1.1 Rangkaian Seri Dua Modul Surya Normal

Hasil pengukuran karakteristik rangkaian dua modul surya pada kondisi normal tanpa kerusakan modul surya ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Normal

V (volt)	I (mA)
1	87
10	84,9
36	64,3
39	0,01

Perbandingan data dari Tabel 4.11 dengan hasil simulasi VB6.0 ditampilkan pada Gambar 4.21.



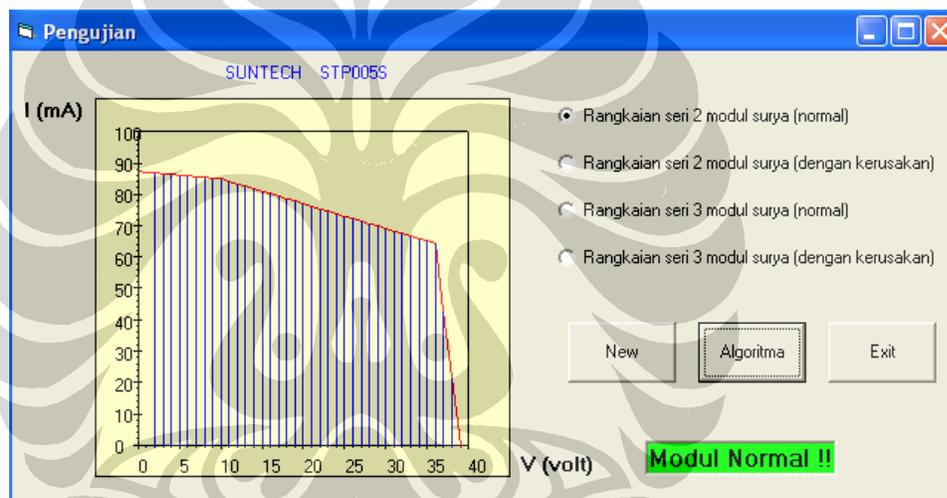
Gambar 4.21 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri dua modul surya pada kondisi normal

Variabel *irradiance* dan suhu tidak diukur pada waktu pengukuran rangkaian modul surya, sehingga masukan data untuk VB6.0 dilakukan secara *trial and error* agar kurva memiliki  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  yang cocok dengan Tabel 4.11. Program VB6.0 pada Gambar 4.21 disimulasikan dengan nilai *irradiance*  $270\text{W/m}^2$  dan nilai suhu  $50^\circ\text{C}$ . Berdasarkan Gambar 4.21, maka terlihat bahwa perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi terletak pada kemiringan kurva dan *knee* kurva. Perbedaan hasil simulasi terhadap hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Normal

V (volt)	I simulasi (mA)	I pengukuran m(A)	% beda
1	87	87	0
10	87	84,9	2,41
36	85	64	24,35
39	0	0,01	0
Rata-rata =			6,69

Rata-rata perbedaan antara kedua kurva, dilihat dari Tabel 4.12 adalah sebesar 6,69%. Namun, kedua kurva masih memiliki kontur yang sama, sehingga algoritma deteksi tetap dapat digunakan. Hasil pengujian algoritma deteksi untuk data hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri dua modul surya normal

Algoritma tidak mendeteksi adanya kerusakan modul dari parameter data hasil pengukuran. Hasil ini cocok dengan kondisi rangkaian modul pengujian, yaitu semua modul dalam rangkaian berfungsi dengan normal.

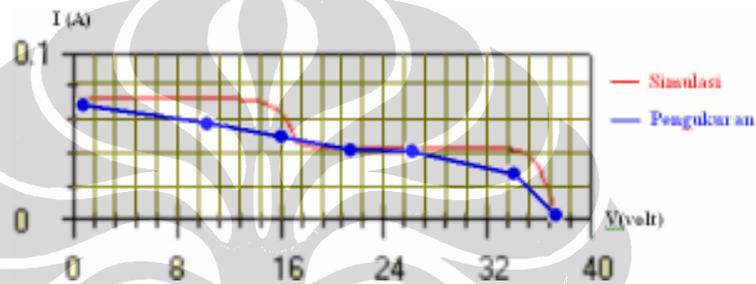
#### 4.5.1.2 Rangkaian Seri Dua Modul Surya Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul

Hasil pengukuran karakteristik rangkaian dua modul surya pada kondisi dengan kerusakan pada salah satu modul surya ditampilkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul Surya

V (volt)	I (mA)
1	67,7
10	59,2
16	51,4
21	41,4
25	41,2
34	22,3
36	0,02

Perbandingan data dari Tabel 4.13 dengan hasil simulasi VB6.0 ditampilkan pada Gambar 4.23.



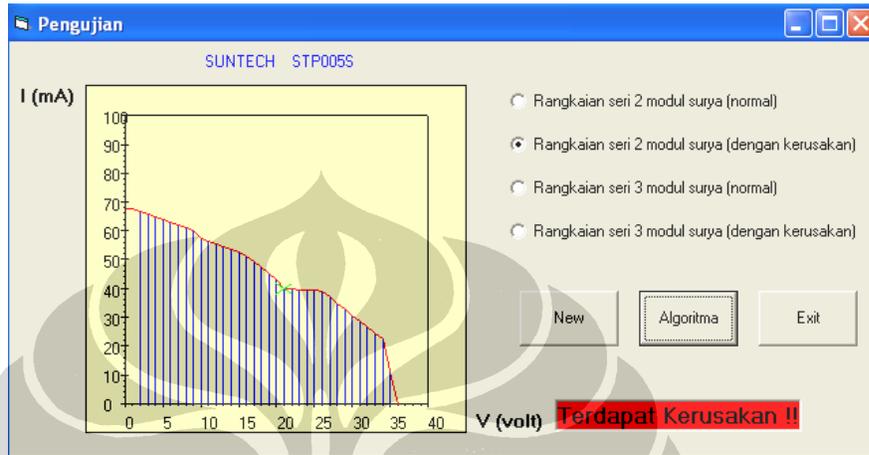
Gambar 4.23 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri dua modul surya pada kondisi dengan kerusakan pada salah satu modul surya

Program VB6.0 pada Gambar 4.23 disimulasikan dengan nilai *irradiance* 210W/m<sup>2</sup> dan nilai suhu 65°C. Berdasarkan Gambar 4.23, maka terlihat bahwa perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi terletak pada kemiringan kurva dan *knee* kurva. Perbedaan ini dipengaruhi oleh akurasi alat ukur dan karena jumlah *bypass diode* yang tidak diketahui. Perbedaan hasil simulasi terhadap hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul

V (volt)	I simulasi (mA)	I pengukuran m(A)	% beda
1	68	67,7	0,44
10	68	59,2	1,18
16	62	51,4	17,1
21	42	41,4	1,43
25	42	41,2	1,9
34	40	27,3	31,75
36	0	0,02	0
Rata-rata =			7,69

Rata-rata perbedaan antara kedua kurva, dilihat dari Tabel 4.14 adalah sebesar 7,69%. Namun, kedua kurva masih memiliki kontur yang sama, sehingga algoritma deteksi tetap dapat digunakan. Hasil pengujian algoritma deteksi untuk data hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri dua modul surya dengan kerusakan pada salah satu modul

Algoritma mendeteksi adanya kerusakan modul dari parameter data hasil pengukuran. Bagian awal dari indikasi kerusakan ditandai dengan tanda silang hijau, yaitu bagian yang landai dari kurva karakteristik sistem. Hasil ini cocok dengan kondisi rangkaian modul pengujian, yaitu hanya sebuah modul yang berfungsi normal dari rangkaian seri dua modul surya.

#### 4.5.2 Pengujian Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Seri Tiga Modul Surya

Pengujian algoritma dilakukan pada program VB6.0 dengan data tegangan dan arus yang didapat dari hasil pengukuran rangkaian seri tiga modul surya. Algoritma diuji untuk kondisi normal dan untuk kondisi dengan kerusakan modul pada salah satu modul surya. Kerusakan modul dilakukan dengan menutup sebagian modul kedua, sehingga sebagian sel dari modul surya ini tidak menghasilkan daya. Modul surya yang tertutup ini otomatis akan menghasilkan daya yang lebih rendah daripada modul surya normal. Perbedaan daya yang dihasilkan pada tiap modul akan mempengaruhi bentuk kurva daya.

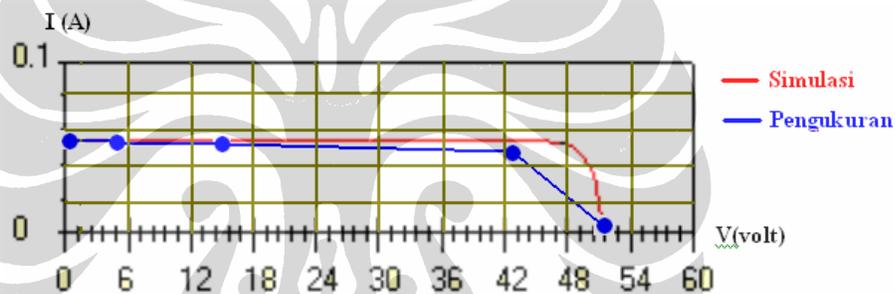
#### 4.5.2.1 Rangkaian Seri Tiga Modul Surya Normal

Hasil pengukuran karakteristik rangkaian tiga modul surya pada kondisi normal tanpa kerusakan modul surya ditampilkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Normal

V (volt)	I (mA)
1	51
5	50,5
15	50,2
43	43,3
52	0,2

Perbandingan data dari Tabel 4.15 dengan hasil simulasi VB6.0 ditampilkan pada Gambar 4.25.



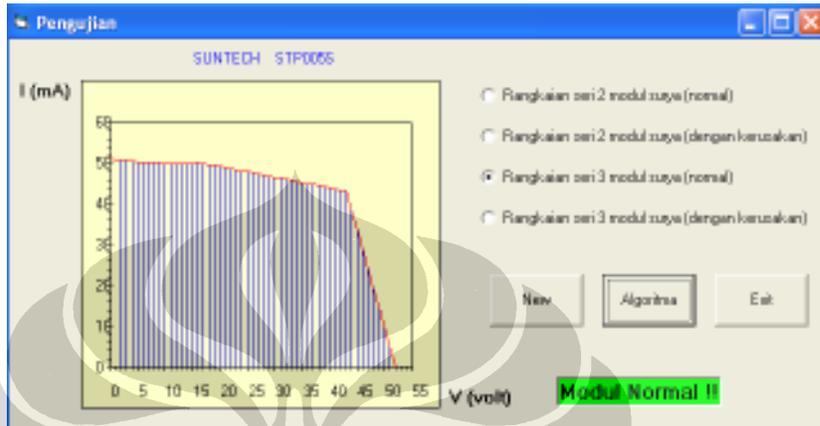
Gambar 4.25 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri tiga modul surya pada kondisi normal

Program VB6.0 pada Gambar 4.25 disimulasikan dengan nilai *irradiance*  $150\text{W/m}^2$  dan nilai suhu  $85^\circ\text{C}$ . Berdasarkan Gambar 4.25, maka terlihat bahwa perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi terletak pada kemiringan kurva dan *knee* kurva. Perbedaan hasil simulasi terhadap hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Normal

V (volt)	I simulasi (mA)	I pengukuran m(A)	% beda
1	51	51	0
5	51	50,5	0,98
15	51	50,2	1,57
43	51	43,3	15,1
52	0	0,2	0
Rata-rata =			3,53

Rata-rata perbedaan antara kedua kurva, dilihat dari Tabel 4.16 adalah sebesar 3,53%. Namun, kedua kurva masih memiliki kontur yang sama, sehingga algoritma deteksi tetap dapat digunakan. Hasil pengujian algoritma deteksi untuk data hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri tiga modul surya normal

Algoritma tidak mendeteksi adanya kerusakan modul dari parameter data hasil pengukuran. Hasil ini cocok dengan kondisi rangkaian modul pengujian, yaitu semua modul dalam rangkaian berfungsi dengan normal.

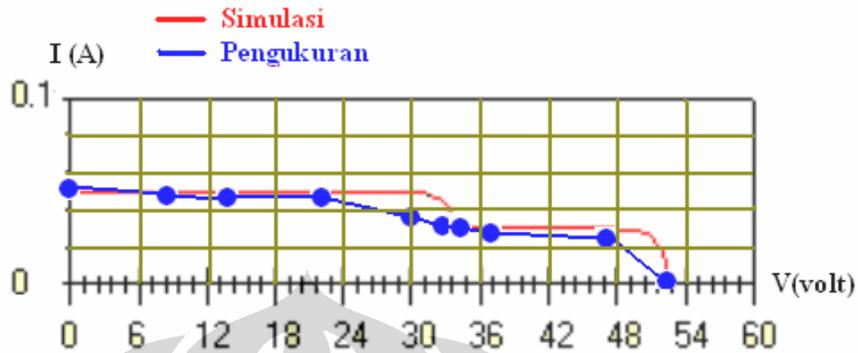
#### 4.5.2.2 Rangkaian Seri Tiga Modul Surya Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul

Hasil pengukuran karakteristik rangkaian tiga modul surya pada kondisi dengan kerusakan modul surya ditampilkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Pengukuran Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Modul Surya

V (volt)	I (mA)
0	48
9	46
14	44,4
22	42,7
30	35,1
33	32,7
34	32,6
37	32,4
47	25,3
51	0,1

Perbandingan data dari Tabel 4.17 dengan hasil simulasi VB6.0 ditampilkan pada Gambar 4.27.



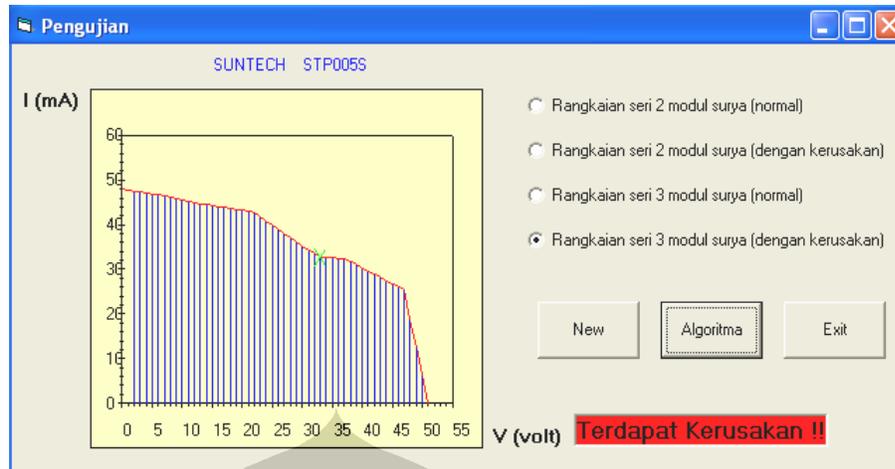
Gambar 4.27 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri tiga modul surya pada kondisi dengan kerusakan pada salah satu modul surya

Program VB6.0 pada Gambar 4.27 disimulasikan dengan nilai *irradiance*  $140\text{W}/\text{m}^2$  dan nilai suhu  $80^\circ\text{C}$ . Berdasarkan Gambar 4.27, maka terlihat bahwa perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi terletak pada kemiringan kurva dan *knee* kurva. Perbedaan hasil simulasi terhadap hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul

V (volt)	I simulasi (mA)	I pengukuran m(A)	% beda
0	50	48	4
9	50	46	8
14	50	44,4	11,2
22	50	42,7	14,6
30	50	35,1	29,8
33	42	32,7	22,14
34	40	32,6	18,5
37	30	32,4	8
47	30	25,3	15,67
51	0	0,1	0
Rata-rata =			13,19

Rata-rata perbedaan antara kedua kurva, dilihat dari Tabel 4.18 adalah sebesar 13,19%. Namun, kedua kurva masih memiliki kontur yang sama, sehingga algoritma deteksi tetap dapat digunakan. Hasil pengujian algoritma deteksi untuk data hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri tiga modul surya dengan kerusakan pada salah satu modul

Algoritma mendeteksi adanya kerusakan modul dari parameter data hasil pengukuran. Bagian awal dari indikasi kerusakan ditandai dengan tanda silang hijau, yaitu bagian yang landai dari kurva karakteristik sistem. Hasil ini cocok dengan kondisi rangkaian modul pengujian, yaitu terdapat kerusakan pada modul kedua.

Pendeteksian kerusakan modul surya berdasarkan data hasil pengukuran memerlukan sedikit modifikasi pada algoritma. Modifikasi dilakukan pada bagian  $I_n - I_{n+1} = 0$ . Hasil simulasi memperlihatkan bahwa bagian kurva horisontal memiliki  $I_n$  dan  $I_{n+1}$  yang datar sempurna, sehingga  $I_n - I_{n+1} = 0$ . Hasil pengukuran menunjukkan bagian horisontal kurva tidak datar sempurna, tetapi memiliki kemiringan yang perlu ditoleransi agar kemiringan ini tidak diidentifikasi sebagai kerusakan. Besarnya toleransi untuk pengujian pada modul surya STP005S adalah 0,7 mA.