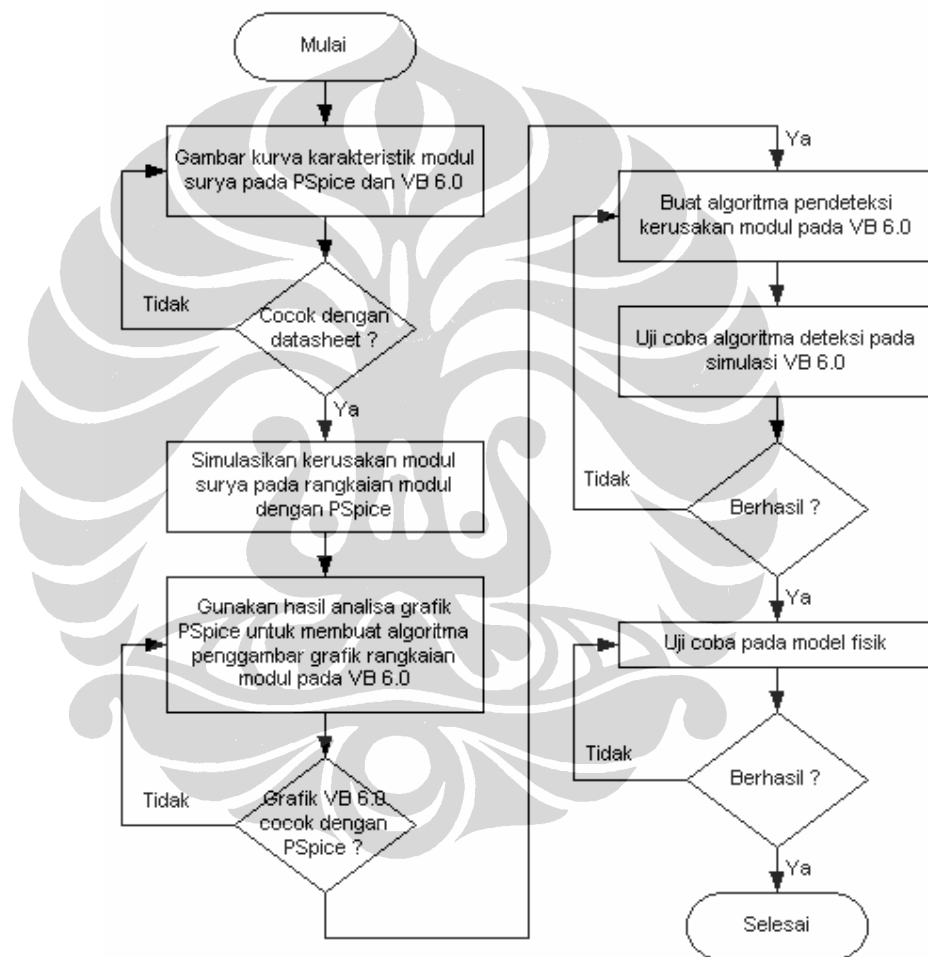


BAB III

ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA

Bab ini menerangkan urutan langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat simulator algoritma pendeteksi kerusakan modul surya. Urutan langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur metode pembuatan simulator

Masing-masing sub-bab berikut menerangkan tiap langkah alur metode pembuatan simulator. Modul surya yang disimulasikan adalah Solarex MSX-60, Schott Solar ASE-50-ETF, dan Suntech STP005S. Modul ini dipilih karena variabel yang dibutuhkan untuk simulasi diinformasikan jelas pada *datasheet*.

3.1 PENGAMBARAN KURVA KARAKTERISTIK MODUL SURYA

3.1.1 Penggambaran Karakteristik Modul Surya Pada PSpice

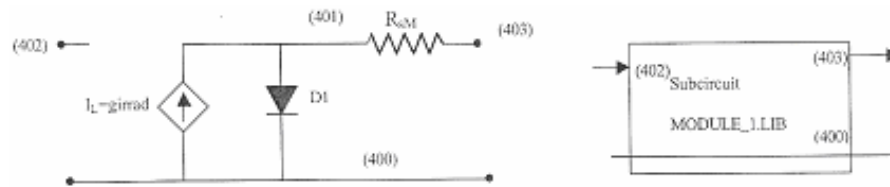
Langkah awal dalam penelitian adalah menggambarkan kurva karakteristik modul surya menggunakan pemodelan satu dioda pada program simulasi PSpice. Pemodelan satu dioda dipilih karena parameter untuk pemodelan ini hanya diambil dari *datasheet*.

PSpice dipilih sebagai program simulasi karena PSpice banyak digunakan sebagai standar dalam lingkungan akademik dan industri untuk mensimulasikan rangkaian analog, memeriksa desain rangkaian dan memprediksi karakteristiknya. PSpice adalah versi perangkat lunak SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) yang dioperasikan pada *personal computer*. Dalam kaitannya dengan sistem surya, Pspice telah digunakan untuk memodelkan sel surya, modul surya, baterai, *inverter* dan *converter*. Persyaratan minimum untuk instalasi PSpice 9.1 *student version* adalah [10] :

- Intel Pentium 90MHz atau prosesor lain yang setingkat
- Windows 95, Windows 98 atau Windows NT
- 16MB RAM (32MB direkomendasikan)
- 90MB *hard disk*

Simulasi modul surya pada penelitian ini dibatasi maksimal 20 modul dan setiap modul diasumsikan memiliki *bypass diode* untuk melindunginya dari masalah *hot spot*. Pembatasan jumlah modul berkaitan dengan tampilan program VB6.0 dan pengujian hasil dengan program PSpice 9.1 *student version*. Program PSpice 9.1 *student version* hanya dapat mensimulasikan rangkaian yang memiliki simpul maksimal 64, sedangkan sebuah modul surya dimodelkan menggunakan 3 simpul.

PSpice mensimulasikan modul surya dengan menganalogikannya sebagai rangkaian listrik analog. Sifat modul surya sebagai *pn junction* dianalogikan sebagai dioda. Kemampuannya untuk menghasilkan arus listrik dianalogikan sebagai sumber arus tak bebas karena nilainya bergantung dari *irradiance* matahari. Hambatan dalam modul surya dianalogikan sebagai resistansi seri. Gambar keseluruhan rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model PSpice Untuk Modul Surya[3]

Parameter untuk mensimulasikan modul surya yang diambil dari *datasheet* adalah :

- Daya maksimal
- Voc
- Isc
- Suhu
- Jumlah sel seri
- *Irradiance*

3.1.2 Penggambaran Karakteristik Modul Surya Pada VB6.0

Simulasi juga dilakukan pada VB6.0 karena program simulasi PSpice hanya dapat mensimulasikan rangkaian listrik analog, sedangkan simulator pendeteksian memerlukan simulasi algoritma. Simulasi algoritma pendeteksi ini tidak dapat dilakukan pada PSpice, sehingga diperlukan peralihan ke program simulator VB6.0. Program PSpice berguna sebagai validasi hasil program VB6.0.

Visual Basic (VB) adalah salah satu bahasa pemrograman komputer yang dikembangkan oleh Microsoft. Penelitian ini memilih program VB 6.0 karena mudah dalam pemrograman, cukup andal dalam hal perhitungan bilangan *floating* dan eksponensial. Selain itu, VB 6.0 memiliki kemudahan dalam hal antarmuka pengguna dengan pemrograman grafis. Persyaratan minimum untuk instalasi Visual Basic 6.0 *Learning Edition* adalah[11] :

- PC dengan prosesor 66 MHz
- Microsoft Windows 95 atau Windows NT version 4.0
- 16 MB RAM untuk Windows 95; 24 MB untuk Windows NT 4.0
- 52 MB untuk *typical installation* dan 65 MB untuk *maximum installation*

Simulasi karakteristik modul surya pada VB6.0 menggunakan pemodelan satu dioda. Pemodelan ini dipilih karena parameter yang dibutuhkan dapat diambil dari *datasheet* modul surya. Ringkasan rumusan (lihat Bab 2) untuk mensimulasikan kurva karakteristik modul surya adalah[9] :

$$I = I_L - I_0(e^{q(V+IR_S)/nkT} - 1) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I_{L(T_1)} = G * I_{SC(T_1,nom)} / G_{(nom)} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$I_L = I_{L(T_1)}(1 + K_0(T - T_1)) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$K_0 = (I_{SC(T_2)} - I_{SC(T_1)}) / (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$$I_0 = I_{0(T_1)} * (T/T_1)^{3/n} * e^{-qV_g/nk*(1/T-1/T_1)} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$I_{0(T_1)} = I_{SC(T_1)} / (e^{qV_{OC(T_1)}/nkT_1} - 1) \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$R_S = -dV/dI_{V_{OC}} - 1/X_V \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$X_V = I_{0(T_1)} * q/nkT_1 * e^{qV_{OC(T_1)}/nkT_1} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Parameter untuk mensimulasikan modul surya yang diambil dari *datasheet* adalah :

- Voc pada T1 dan T2
- Isc pada T1 dan T2
- Suhu
- Jumlah sel seri
- Irradiance
- dV/dI

3.2 SIMULASI KERUSAKAN MODUL SURYA

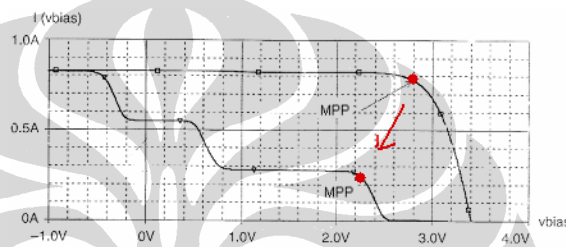
Setelah simulasi modul surya pada kedua program simulasi cocok dengan *datasheet*, maka simulasi dilanjutkan dengan mensimulasikan rangkaian modul surya. Rangkaian dapat berupa susunan modul surya secara seri, paralel, atau gabungan keduanya. Rangkaian yang akan disimulasikan pada PSpice adalah gabungan dari model pada Gambar 3.2. Masing-masing modul pada simulasi diasumsikan memiliki sebuah *bypass diode* untuk melindunginya dari masalah "hot spot".

Kerusakan modul surya pada simulasi dianalogikan dengan ketidakmampuan modul untuk menerima *irradiance* seperti pada modul normal. Kerusakan modul surya juga dianalogikan dengan ketidakmampuan modul untuk menghasilkan daya sama sekali (*irradiance* = 0).

Pada simulasi kerusakan modul dengan VB6.0, diperlukan algoritma tersendiri agar tidak perlu menghitung persamaan listrik analog seperti yang dilakukan pada PSpice. Algoritma ini akan dijelaskan pada Bab 4 karena memerlukan analisis dari hasil simulasi kerusakan pada PSpice.

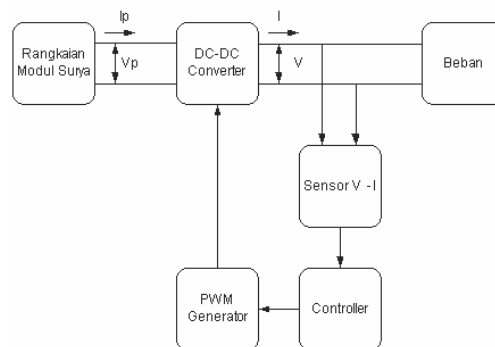
3.3 RANCANGAN ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA

Seperti yang telah dijelaskan pada teori sebelumnya bahwa *bypass diode* telah mengatasi masalah *hot spot*, tetapi kerusakan modul dapat mengurangi nilai MPP sistem secara keseluruhan. Gambar 3.3 adalah contoh modul dengan kondisi beberapa sel tidak menghasilkan daya sama sekali, sehingga dapat dianalogikan dengan kerusakan sel. Kontur grafik kurva pada rangkaian modul surya yang memiliki modul yang rusak sama dengan kontur grafik kurva pada modul surya yang memiliki sel yang rusak[5].



Gambar 3.3 Pergeseran nilai MPP akibat perbedaan daya antar sel[3]

Sistem konvensional yang umum digunakan pada aplikasi modul surya, ditampilkan pada Gambar 3.4. Tegangan dan arus kerja modul surya diatur nilainya menggunakan sebuah *controller*. *Controller* mengatur agar daya yang dapat diambil dari rangkaian modul adalah maksimal. Pengaturan daya ini dilakukan melalui *PWM (Pulse Width Modulation) Generator*. PWM Generator bekerja dengan memperbesar atau memperkecil lebar pulsa agar *dc-dc converter* dapat mengubah-ubah tegangan kerja rangkaian modul surya. Daya ini selain digunakan untuk mencukupi kebutuhan beban, juga diumpan balik (nilai arus dan tegangannya) ke *controller* untuk mengatur kembali nilai maksimum daya.



Gambar 3.4 Diagram blok sistem energi surya konvensional

Sumber daya yang telah ada pada sistem konvensional ini (*DC-DC converter*, *PWM generator*, *controller*, dan sensor V-I) dapat dimanfaatkan untuk mengaplikasikan pendeteksian kerusakan modul surya, sehingga algoritma yang dirancang harus memiliki spesifikasi berikut untuk dimungkinkan dalam aplikasi, yaitu algoritma hanya dapat mengatur nilai tegangan. Ini disebabkan karena kontrol sistem yang ada mengatur MPP menggunakan *DC-DC converter*. *Converter* ini menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur tegangan.

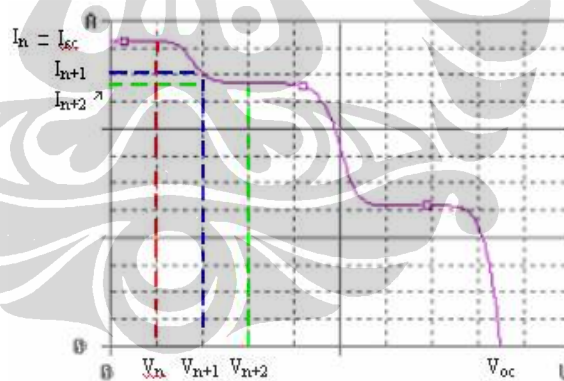
3.3.1 Rancangan Algoritma Untuk Kondisi Ideal

Referensi[5] pada Gambar 2.18 menunjukkan bahwa kurva rangkaian modul surya yang memiliki kerusakan modul memiliki "jenjang / ladder". Jenjang ini dapat dijadikan sebagai parameter indikasi yang dirumuskan dengan algoritma berikut :

If $(I_n - I_{n+1} = 0)$ and $(I_n > I_{sc})$ then

Terdapat kerusakan modul

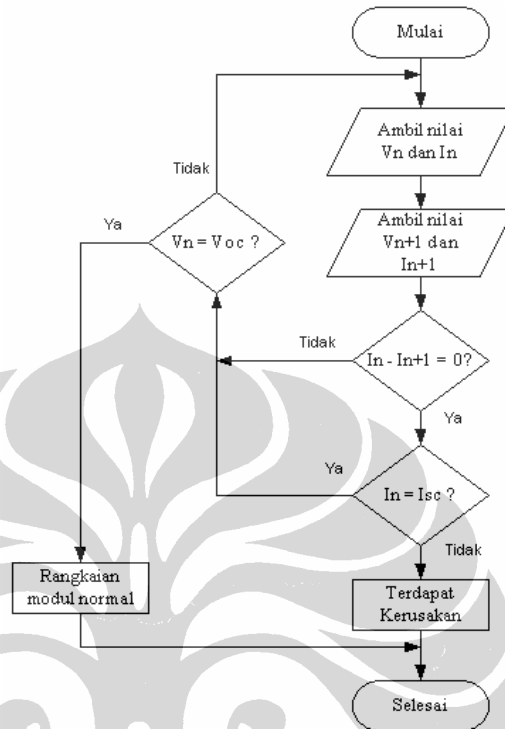
Keterangan variabel secara grafik dapat dilihat dari Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Keterangan variabel algoritma

Gambar 3.5 adalah simulasi rangkaian modul surya dengan kerusakan pada modulnya. Bila dilihat dari kurva grafik, maka setiap kurva hasil simulasi memiliki I_{sc} yang rata sampai V_n tertentu. Hal ini merupakan kondisi ideal karena diasumsikan sistem dapat mengukur dengan sangat presisi, semua modul diasumsikan identik, dan suhu serta *irradiance* dianggap tidak berubah selama

pendeteksian. Algoritma yang lebih mendetil untuk mendeteksi kerusakan pada kondisi ideal ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir algoritma pendeteksi

Algoritma bekerja dengan memeriksa tegangan rangkaian mulai dari nol sampai dengan Voc dan memeriksa arus dari Isc sampai dengan nol. Bila terdapat selisih arus ($I_n - I_{n+1}$) yang sama dengan nol dan I_n tidak sama dengan Isc, maka hal ini mengindikasikan adanya kerusakan pada modul surya.

3.3.2 Rancangan Algoritma Untuk Kondisi Non-ideal

Pada pendeteksian secara riil, maka pengukuran tegangan dan arus pada sistem dibatasi oleh keakuratan alat ukur. Modul surya pada rangkaian juga tidak mungkin semuanya identik. Selain itu, suhu dan *irradiance* dapat berubah ketika program sedang mendeteksi. Adanya toleransi untuk perbedaan ini mengharuskan modifikasi pada algoritma pendeteksi.

$I_n - I_{n-1}$ untuk kurva horisontal tidak selalu sama dengan 0, melainkan terdapat perbedaan dalam miliamper karena faktor yang disebutkan tadi. Toleransi perbedaan ini harus dapat diantisipasi algoritma agar program tidak mendeteksi perbedaan ini sebagai kerusakan modul surya. Potongan algoritma pendeteksi

yang telah dilengkapi dengan toleransi perbedaan pada kurva horisontal adalah sebagai berikut :

```
rusak = 0
next_step = 1
z = 0
flag = 0

Do While (z < Voc)

    Do While (arus(z) - arus(z + next_step) < delta_toleransi)
        z = z + next_step
    Loop

    Do While (arus(z) - arus(z + next_step) > delta_toleransi)
        z = z + next_step
    Loop

    If z <> Voc Then
        flag = 1
        rusak = rusak + 1
        z = z + next_step
    Elseif z >= Voc And flag = 0 Then
        rusak = 0
    End If

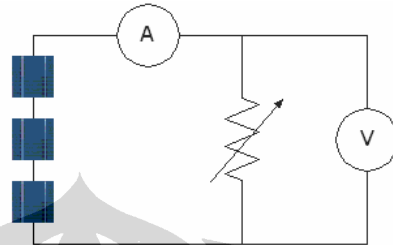
Loop

If rusak > 0 Then
    "Terdapat Kerusakan !!"
Else
    "Modul Normal !!"
End If
```

Algoritma ini pada prinsipnya mendeteksi adanya kerusakan modul dengan cara mencari dua kurva horisontal atau lebih karena kurva sistem yang normal hanya memiliki satu kurva horisontal. Pernyataan *Do While* yang pertama menyatakan bahwa program memeriksa nilai arus dari Isc sampai dengan nol dan tegangan dari nol sampai dengan Voc. Pernyataan *Do While* yang kedua menyatakan bahwa program memeriksa jumlah kurva horisontal. Pernyataan *Do While* yang ketiga menyatakan bahwa program memeriksa kemiringan kurva, diawali dari *knee* kurva. Kurva yang kemiringannya kurang dari *delta_toleransi* dianggap sebagai kurva horisontal dan kurva yang kemiringannya lebih dari *delta_toleransi* dianggap sebagai kemiringan kurva. *Delta_toleransi* ini yang mengantisipasi $I_n - I_{n-1}$ pada kurva horisontal yang tidak sama dengan nol.

3.4 CARA PENGUJIAN

Pengujian algoritma dilakukan pada simulasi. Pengujian juga dilakukan menggunakan data hasil pengukuran. Skematik rangkaian untuk mengumpulkan data rangkaian modul surya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Skematik rangkaian untuk mengukur karakteristik modul surya

Skematik rangkaian pada Gambar 3.7 digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada rangkaian modul surya. Sistem yang akan diukur adalah rangkaian dua modul surya seri dan rangkaian tiga modul surya seri. Kondisi yang akan diuji adalah kondisi normal dan kondisi dengan kerusakan sebuah modul surya pada rangkaian seri ini.

Sensor V dan I pada rangkaian digunakan untuk mengukur besaran tegangan dan arus. Besaran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian modul diubah-ubah dengan mengatur resistor variabel. Hasil setiap penambahan tegangan dari 0 sampai dengan V_{oc} dan pengurangan arus dari I_{sc} sampai dengan 0, kemudian dicatat dan digambar pada program VB 6.0. Komputer akan menentukan apakah pada sistem terdapat kerusakan modul menggunakan algoritma pendeteksi berdasarkan nilai parameter V dan I ini.