

**KARAKTERISASI PANEL SURYA MODEL SR-156P-100
BERDASARKAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI**

Oleh

NORA ADITIYAN

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2015**

ABSTRACT

CHARACTERIZATION SOLAR PANEL MODEL SR-156P-100 UNDER THE SUN LIGHT INTENSITY

By

Nora Aditiyan

Performance solar panels can be seen from the curve-specific characteristics of solar panels that will use it. Characteristics of solar panel consists of current-voltage curve and power-voltage curves. In this study to obtain the characteristics of the solar panels is measured by the intensity of sunlight. Measurements in question is to see the magnitude of the voltage value and the value of current solar panel by varying the resistance value of the load.

The current-voltage curve shaped nonlinear. The greater the resistance load, the load voltage will be closer to the value of the open circuit voltage (V_{oc}) solar panels. Meanwhile, the smaller the resistance of the load, the current flowing into the load will be getting closer to the short circuit current (I_{sc}) solar panels. The voltage-power curve shaped nonlinear. Power solar panels will be maximum (P_m) if the load flow the maximum current (I_m) and has a maximum voltage (V_m).

Some of the factors that affect the working of solar panels, among others, long electric cable used to connect the solar panels to the load, the slope solar panels on the incident angle of sunlight and the weather is sunny or cloudy conditions.

Keywords: Characteristics of solar panels, current-voltage curve, voltage-power curve, maximum power.

ABSTRAK

KARAKTERISASI PANEL SURYA MODEL SR-156P-100 BERDASARKAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI

Oleh

Nora Aditiyan

Kinerja panel surya dapat dilihat dari kurva karakteristik panel surya yang akan digunakan tersebut. Karakteristik panel surya terdiri dari kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan. Dalam penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik panel surya dilakukan pengukuran berdasarkan intensitas cahaya matahari. Pengukuran yang dimaksud adalah melihat besarnya nilai tegangan dan besarnya nilai arus panel surya dengan memvariasikan nilai resistansi beban.

Kurva arus-tegangan berbentuk nonlinear. Semakin besar resistansi beban, maka tegangan beban akan semakin mendekati nilai tegangan hubung terbuka (V_{oc}) panel surya. Sedangkan semakin kecil resistansi beban, arus yang mengalir ke beban akan semakin mendekati arus hubung singkat (I_{sc}) panel surya. Kurva daya-tegangan berbentuk nonlinear. Daya panel surya akan maksimum (P_m) jika pada beban mengalir arus maksimum (I_m) dan memiliki tegangan maksimum (V_m).

Beberapa faktor yang mempengaruhi kerja panel surya antara lain panjang kabel listrik yang digunakan untuk menghubungkan panel surya dengan beban, kemiringan panel surya terhadap sudut datang cahaya matahari dan kondisi cuaca cerah atau mendung.

Kata Kunci : Karakteristik panel surya, kurva arus-tegangan, kurva daya-tegangan, daya maksimum.

**KARAKTERISASI PANEL SURYA MODEL SR-156P-100
BERDASARKAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI**

Oleh

NORA ADITIYAN

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2015**

Judul Skripsi : **KARAKTERISASI PANEL SURYA MODEL
SR-156P-100 BERDASARKAN INTENSITAS
CAHAYA MATAHARI**

Nama Mahasiswa : **Nora Aditiyan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 0815031022

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Pendamping

Pembimbing Utama

Ir. Abdul Haris, M.T.
NIP 19630801 19603 1 001

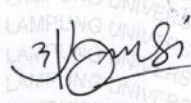
Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP 19710415 199803 1 005

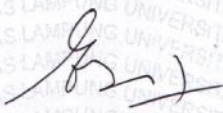
2. Ketua Jurusan

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua : **Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.** 

Sekretaris : **Ir. Abdul Haris, M.T.** 

Penguji Utama : **Dr. Eng Endah Komalasari, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik




Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Desember 2015

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan juga bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandar Lampung, Desember 2015



Nora Aditiyan
NPM 0815031022

RIWAYAT HIDUP



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Dilahirkan di Sidoluhur, Lampung Tengah pada tanggal 19 November 1990 dari pasangan Bapak Dasuki dan Ibu Tuminem dan diberi nama Nora Aditayan.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Sidoluhur dan lulus pada tahun 2002. Setelah lulus SD, penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Bangunrejo dan lulus pada tahun 2005. Setelah lulus SMP, penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Kalirejo dan lulus pada tahun 2008. Penulis berhasil masuk ke Universitas Lampung melalui jalur Penelusuran Kemampuan Akademik dan Bakat (PKAB) dengan mengambil jurusan Teknik Elektro. Penulis sendiri berhasil menyelesaikan kuliahnya di tingkat Universitas pada tahun 2015.

Selama menempuh pendidikan, penulis juga mengikuti berbagai organisasi. Di tingkat SMP, penulis mengikuti organisasi olimpiade biologi. Di tingkat SMA, penulis mengikuti organisasi olimpiade matematika, Rohani Islam (Rohis) dan Siswa Pecinta Alam (Sispelam). Di tingkat Universitas, penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro), Unila Robotika dan Otomasi (URO) dan Mahasiswa Pecinta Alam (Mapala).

Dalam masa kuliah, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Ulubelu Lampung. Penulis menyelesaikan Kerja Praktik dengan menulis sebuah laporan yang berjudul “Sistem Penguat Medan Magnet tanpa Sikat (*Brushless Excitation System*) pada Generator Unit 1 PLTP Ulubelu Tanggamus”.

SANWACANA

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Karakterisasi Panel Surya Model SR-156P-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari” yang merupakan suatu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. sebagai Dekan Fakultas Teknik
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. sebagai ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T. sebagai sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing utama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. Abdul Haris, M.T. sebagai dosen pembimbing pendamping dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu Dr. Eng Endah Komalasari, S.T., M.T. sebagai dosen penguji utama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, atas segala pelajaran dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Kepala Laboratorium Teknik Elektro Terpadu Universitas Lampung atas dukungan yang telah diberikan.
9. Teknisi Laboratorium Teknik Elektro Terpadu Universitas Lampung atas bantuan dalam proses administrasi.
10. Keluarga Besar Teknik Elektro Universitas Lampung, terimakasih atas bantuan yang telah diberikan.
11. Rekan-rekan seperjuangan, Angkatan 2008 Teknik Elektro Universitas Lampung atas kebersamaan dan kekeluargaan yang luar biasa.
12. Mbak Ning, mbak Dea, mas Daryono atas semua bantuannya dalam proses menyelesaikan administrasi di Jurusan Teknik Elektro.
13. Orang tua Penulis, Dasuki dan Tuminem, terimakasih atas semua dukungan yang telah diberikan selama proses perkuliahan berlangsung sampai dengan selesai.
14. Saudara Penulis, Feri dan Ruli, terimakasih untuk kebersamaan, semangat dan dukungan yang telah diberikan.
15. Aferdi, Kholil dan Yustinus selaku rekan dalam proses penyelesaian tugas akhir, terimakasih atas bantuan yang telah diberikan.
16. Rekan-rekan kosan Amanda, yang selalu bersama saat suka maupun duka, semoga selalu terjaga silaturahmi di antara kita untuk selamanya.
17. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu serta mendukung dari awal kuliah sampai terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis meminta maaf atas segala kesalahan dan ketidaksempurnaan dalam proses penulisan tugas akhir ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis demi kemajuan dan kebaikan di masa mendatang. Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu pada proses penyelesaian perkuliahan ini.

Bandar Lampung, Desember 2015

Penulis,

Nora Aditayan

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---------------------------|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSETUJUAN | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| SURAT PERNYATAAN | iv |
| RIWAYAT HIDUP | v |
| SANWACANA | vi |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xvi |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|---------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3 Manfaat Penelitian | 2 |
| 1.4 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.5 Batasan Masalah | 3 |
| 1.6 Hipotesis | 3 |
| 1.7 Sistematika Penulisan | 3 |

BAB II TINJUAN PUSTAKA

| | |
|---|----|
| 2.1 Radiasi Matahari | 5 |
| 2.2 Sel Surya | 7 |
| 2.3 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya | 10 |
| 2.4 Struktur Sel Surya | 14 |

| | | |
|-----|---|----|
| 2.5 | Macam-macam Bahan Pembuatan Sel Surya | 16 |
| 2.6 | Karakteristik Sel Surya | 18 |
| 2.7 | Faktor Pengoperasian Maksimum Sel Surya | 20 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Waktu dan Tempat Penelitian | 26 |
| 3.2 | Alat dan Bahan | 26 |
| 3.3 | Metode Penelitian | 32 |
| 3.4 | Pemodelan Sel Surya dengan Simulink Matlab | 36 |
| 3.5 | Pengukuran Arus dan Tegangan Panel Surya | 46 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | Karakteristik Panel Surya Hasil Simulasi | 47 |
| 4.1.1 | Pengaruh Iradian terhadap Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan | 51 |
| 4.1.2 | Pengaruh Suhu terhadap Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan | 53 |
| 4.2 | Karakteristik Panel Surya Hasil Pengukuran | 55 |
| 4.2.1 | Pengaruh Panjang Kabel terhadap Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan | 67 |
| 4.2.2 | Pengaruh Kemiringan Panel Surya terhadap Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan | 79 |
| 4.2.3 | Pengaruh Cuaca terhadap Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan | 114 |

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|-----|----------------|-----|
| 5.1 | Simpulan | 119 |
| 5.2 | Saran | 120 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Spektrum Cahaya matahari | 6 |
| 2.2 Proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik pada Sel Surya | 7 |
| 2.3 Struktur Pita sebuah Semikonduktor | 8 |
| 2.4 Tingkat Energi yang Dihasilkan oleh Sambungan p-n Semikonduktor | 8 |
| 2.5 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya | 10 |
| 2.6 Struktur Sel Surya | 14 |
| 2.7 Kurva Arus-Tegangan | 18 |
| 2.8 Kurva <i>Fill Factor</i> Arus-Tegangan | 19 |
| 2.9 Karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan | 20 |
| 2.10 Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan dengan Variasi Suhu | 21 |
| 2.11 Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan dengan Variasi Iradian | 21 |
| 2.12 Sudut Panel Surya terhadap Matahari | 23 |
| 2.13 Sudut-sudut Penting dalam Energi Surya | 24 |
| 2.14 Pengaruh Koneksi Sel Surya terhadap Kurva Karakteristik Arus-Tegangan (a) Seri dan (b) Paralel | 25 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.1 | Panel Surya | 27 |
| 3.2 | Laptop | 27 |
| 3.3 | <i>Amperemeter</i> | 28 |
| 3.4 | <i>Voltmeter</i> | 28 |
| 3.5 | <i>Solar Power Meter</i> | 29 |
| 3.6 | <i>Thermometer</i> | 29 |
| 3.7 | Aplikasi Android Bubble Level | 30 |
| 3.8 | Resistor Semen atau Resistor Kotak | 30 |
| 3.9 | Kabel Listrik | 31 |
| 3.10 | Kabel Penghubung | 31 |
| 3.11 | Diagram Alir Penelitian | 33 |
| 3.12 | Rangkaian Konversi C ke K | 36 |
| 3.13 | Subsistem Celcius to Kelvin | 37 |
| 3.14 | Rangkaian <i>Photocurrent</i> | 37 |
| 3.15 | Subsistem <i>Photocurrent</i> | 37 |
| 3.16 | Rangkaian <i>Diode Saturation Current</i> | 38 |
| 3.17 | Subsistem <i>Diode Saturation Current</i> | 38 |
| 3.18 | Rangkaian <i>Reverse Saturation Current</i> | 39 |
| 3.19 | Subsistem <i>Reverse Saturation Current</i> | 39 |
| 3.20 | Rangkaian <i>Series Resistance</i> | 40 |
| 3.21 | Subsistem <i>Series Resistance</i> | 40 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.22 | Rangkaian <i>Diode Factor</i> | 41 |
| 3.23 | Subsistem <i>Diode Factor</i> | 42 |
| 3.24 | Rangkaian N_s AKT | 42 |
| 3.25 | Subsistem N_s AKT..... | 42 |
| 3.26 | Rangkaian <i>Output Current of Photovoltaic</i> | 43 |
| 3.27 | Subsistem <i>Output Current of Photovoltaic</i> | 43 |
| 3.28 | Rangkaian Sel Surya..... | 44 |
| 3.29 | Model Simulasi Sel Surya | 45 |
| 3.30 | Rangkaian Pengukuran Arus dan Tegangan..... | 46 |
| 4.1 | Data Teknis Panel Surya..... | 47 |
| 4.2 | Kurva Arus-Tegangan | 49 |
| 4.3 | Kurva Daya-Tegangan..... | 50 |
| 4.4 | Kurva Arus-Tegangan dengan Variasi Iradian | 51 |
| 4.5 | Kurva Daya-Tegangan dengan Variasi Iradian | 52 |
| 4.6 | Kurva Arus-Tegangan dengan Variasi Suhu | 53 |
| 4.7 | Kurva Daya-Tegangan dengan Variasi Suhu | 54 |
| 4.8 | Pengukuran Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari | 55 |
| 4.9 | Kurva Arus-Tegangan Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari..... | 65 |
| 4.10 | Kurva Daya-Tegangan Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari | 66 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4.11 | Pengukuran dengan Panjang Kabel 1 Meter..... | 67 |
| 4.12 | Kurva Arus-Tegangan dengan Variasi Panjang Kabel..... | 76 |
| 4.13 | Kurva Daya-Tegangan dengan Variasi Panjang Kabel | 77 |
| 4.14 | Kurva Daya Maksimum dengan Panjang Kabel..... | 78 |
| 4.15 | Pengukuran dengan Kemiringan 0° (5m) | 79 |
| 4.16 | Pengukuran dengan Kemiringan 5° (5m) | 80 |
| 4.17 | Pengukuran dengan Kemiringan 10° (5m) | 80 |
| 4.18 | Pengukuran dengan Kemiringan 15° (5m) | 81 |
| 4.19 | Pengukuran dengan Kemiringan 20° (5m) | 81 |
| 4.20 | Pengukuran dengan Kemiringan 25° (5m) | 82 |
| 4.21 | Pengukuran dengan Kemiringan 30° (5m) | 82 |
| 4.22 | Kurva Arus-Tegangan dengan Variasi Panjang Kemiringan (5m)..... | 90 |
| 4.23 | Kurva Daya-Tegangan dengan Variasi Panjang Kemiringan (5m)..... | 91 |
| 4.24 | Kurva Daya Maksimum dengan Kemiringan (5m) | 92 |
| 4.25 | Kurva Arus-Tegangan dengan Variasi Panjang Kemiringan (10m)..... | 100 |
| 4.26 | Kurva Daya-Tegangan dengan Variasi Panjang Kemiringan (10m)..... | 101 |
| 4.27 | Kurva Daya Maksimum dengan Kemiringan (10m) | 102 |
| 4.28 | Kurva Arus-Tegangan dengan Variasi Panjang Kemiringan (20m)..... | 110 |
| 4.29 | Kurva Daya-Tegangan dengan Variasi Panjang Kemiringan (20m)..... | 111 |
| 4.30 | Kurva Daya Maksimum dengan Kemiringan (20m) | 112 |

| | |
|--|-----|
| 4.31 Kurva Daya Maksimum dengan Kemiringan | 113 |
| 4.32 Pengukuran Berdasarkan Kondisi Cuaca (5m)..... | 114 |
| 4.33 Kurva Arus-Tegangan Cerah dengan Mendung (5m) | 117 |
| 4.34 Kurva Daya-Tegangan Cerah dengan Mendung (5m)..... | 118 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 4.1 Data Pengukuran Jam 08.00 WIB | 56 |
| 4.2 Data Pengukuran Jam 09.00 WIB | 57 |
| 4.3 Data Pengukuran Jam 10.00 WIB | 58 |
| 4.4 Data Pengukuran Jam 11.00 WIB | 59 |
| 4.5 Data Pengukuran Jam 12.00 WIB | 60 |
| 4.6 Data Pengukuran Jam 13.00 WIB | 61 |
| 4.7 Data Pengukuran Jam 14.00 WIB | 62 |
| 4.8 Data Pengukuran Jam 15.00 WIB | 63 |
| 4.9 Data Pengukuran Jam 16.00 WIB | 64 |
| 4.10 Data Pengukuran 1 Meter | 68 |
| 4.11 Data Pengukuran 5 Meter | 69 |
| 4.12 Data Pengukuran 10 Meter | 70 |
| 4.13 Data Pengukuran 15 Meter | 71 |
| 4.14 Data Pengukuran 20 Meter | 72 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.15 | Data Pengukuran 25 Meter | 73 |
| 4.16 | Data Pengukuran 30 Meter | 74 |
| 4.17 | Data Pengukuran 35 Meter | 75 |
| 4.18 | Data Pengukuran Kemiringan 0° (5 m) | 83 |
| 4.19 | Data Pengukuran Kemiringan 5° (5 m) | 84 |
| 4.20 | Data Pengukuran Kemiringan 10° (5 m) | 85 |
| 4.21 | Data Pengukuran Kemiringan 15° (5 m) | 86 |
| 4.22 | Data Pengukuran Kemiringan 20° (5 m) | 87 |
| 4.23 | Data Pengukuran Kemiringan 25° (5 m) | 88 |
| 4.24 | Data Pengukuran Kemiringan 30° (5 m) | 89 |
| 4.25 | Data Pengukuran Kemiringan 0° (10 m) | 93 |
| 4.26 | Data Pengukuran Kemiringan 5° (10 m) | 94 |
| 4.27 | Data Pengukuran Kemiringan 10° (10 m) | 95 |
| 4.28 | Data Pengukuran Kemiringan 15° (10 m) | 96 |
| 4.29 | Data Pengukuran Kemiringan 20° (10 m) | 97 |
| 4.30 | Data Pengukuran Kemiringan 25° (10 m) | 98 |
| 4.31 | Data Pengukuran Kemiringan 30° (10 m) | 99 |
| 4.32 | Data Pengukuran Kemiringan 0° (20 m) | 103 |
| 4.33 | Data Pengukuran Kemiringan 5° (20 m) | 104 |
| 4.34 | Data Pengukuran Kemiringan 10° (20 m) | 105 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.35 | Data Pengukuran Kemiringan 15° (20 m) | 106 |
| 4.36 | Data Pengukuran Kemiringan 20° (20 m) | 107 |
| 4.37 | Data Pengukuran Kemiringan 25° (20 m) | 108 |
| 4.38 | Data Pengukuran Kemiringan 30° (20 m) | 109 |
| 4.39 | Data Pengukuran Cuaca Cerah (5 m) | 115 |
| 4.40 | Data Pengukuran Cuaca Mendung (5 m)..... | 116 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya adalah sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya. Sel surya juga mampu beroperasi dengan baik di hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan, sehingga lebih ramah lingkungan.

Kinerja panel surya dapat dilihat dari karakteristik panel surya tersebut. Karakteristik panel surya terdiri dari kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan. Kedua kurva ini merupakan kurva non-linear, sehingga beban dengan resistansi berbeda akan memiliki karakteristik berbeda. Jadi supaya kerja panel surya maksimum, maka diperlukan kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan berdasarkan intensitas cahaya matahari. Dengan adanya kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan dapat diketahui berapa besar resistansi yang akan menghasilkan kinerja panel surya maksimum.

Dalam penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik panel surya dilakukan pengukuran berdasarkan intensitas cahaya matahari. Pengukuran yang dimaksud

adalah melihat besarnya nilai tegangan dan besarnya nilai arus panel surya dengan memvariasikan nilai resistansi beban.

Karakteristik panel surya dibuat berdasarkan tegangan dan arus hasil pengukuran. Kurva yang pertama adalah kurva arus-tegangan, dari kurva ini dapat diketahui besar nilai tegangan maksimum (V_m) dan besar nilai arus maksimum (I_m) panel surya. Kemudian kurva yang kedua adalah kurva daya-tegangan, dari kurva ini dapat diketahui besar nilai daya maksimum (P_m) panel surya. Data daya panel surya diperoleh dari perkalian antara data tegangan dengan arus hasil pengukuran.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik arus-tegangan panel surya.
2. Untuk mengetahui karakteristik daya-tegangan panel surya.
3. Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kerja panel surya.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat diketahui karakteristik arus-tegangan panel surya.
2. Dapat diketahui karakteristik daya-tegangan panel surya.
3. Dapat diketahui faktor yang mempengaruhi kerja panel surya.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan data arus dan tegangan dari panel surya.

2. Bagaimana membuat karakteristik arus-tegangan dan karakteristik daya-tegangan panel surya.
3. Bagaimana menentukan faktor yang mempengaruhi kerja panel surya.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Menggunakan panel surya model SR-156P-100 dalam posisi statis dan di tempat terbuka.
2. Pengambilan data dilakukan berdasarkan intensitas matahari pada pagi sampai sore hari .
3. Membuat karakteristik arus-tegangan dan daya-tegangan panel surya.

1.6 Hipotesis

Daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan optimal dengan pemasangan beban yang sesuai. Untuk mengetahui kapasitas beban yang sesuai dengan panel surya, maka diperlukan karakteristik panel surya sesuai intensitas cahaya matahari.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan penelitian secara umum, berisi latar belakang, tujuan, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan secara umum tentang teori dasar yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian yang berisi data, serta analisa data yang diperoleh tersebut.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang suatu kesimpulan yang diperoleh dari data dan analisa, serta saran-saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

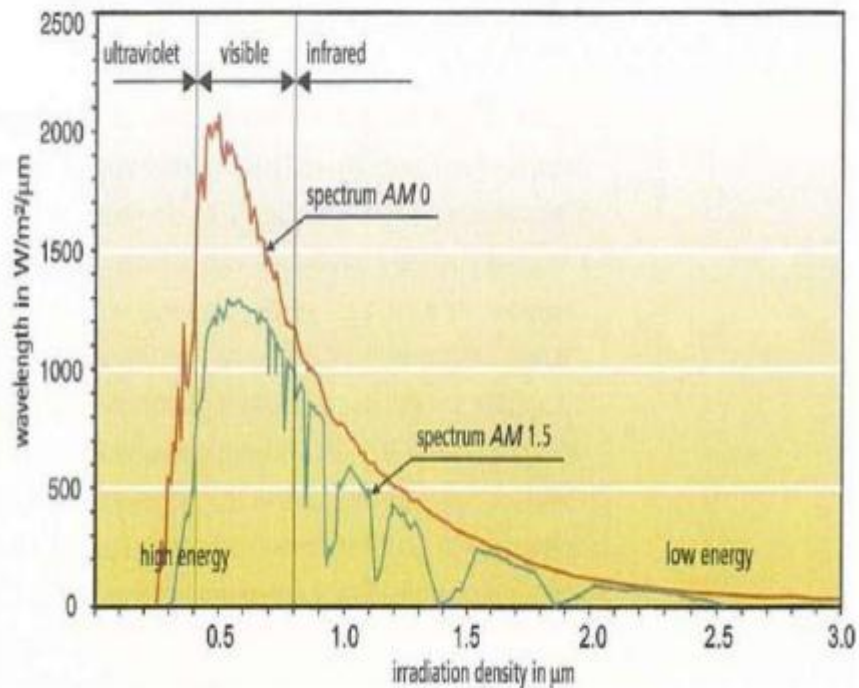
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Matahari

Matahari adalah salah satu bintang yang merupakan sumber energi utama bagi kehidupan di bumi. Sumber energi matahari berasal dari reaksi fusi atom-atom sehingga menghasilkan tekanan dan suhu yang sangat tinggi. Dari reaksi fusi tersebut matahari menghasilkan energi yang sangat besar. Energi tersebut dipancarkan sampai di bumi dalam bentuk catuan gelombang elektromagnetik. Matahari memancarkan radiasi cahaya dengan berbagai panjang gelombang, mulai dari radiasi ultraungu (*ultraviolet*), cahaya tampak (*visible*) sampai inframerah (*infrared*) dari spektrum elektromagnetik. Besar energi radiasi yang diterima dari matahari per satuan area per satuan waktu sebagai fungsi dari panjang gelombang.

Energi matahari yang ditransmisikan mempunyai panjang gelombang dengan *range* 0,25 mikrometer sampai 3 mikrometer (untuk di luar atmosfer bumi), sedangkan untuk di atmosfer bumi berkisar antara 0,32 mikrometer sampai 2,53 mikrometer. Hanya 7% energi tersebut terdiri dari *ultraviolet* (Air Mass 0), 47% adalah *visible* (cahaya tampak memiliki panjang gelombang 0,4 mikrometer sampai 0,75 mikrometer), 46% merupakan cahaya *infrared*^[1].

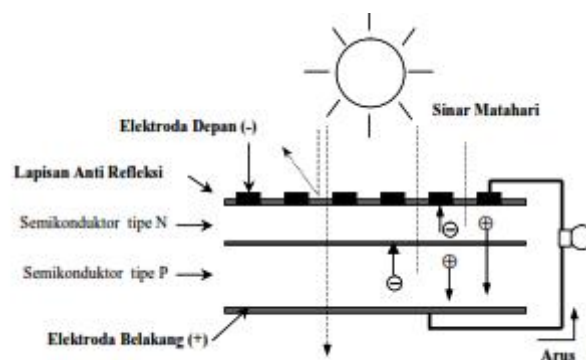


Gambar 2.1 Spektrum Cahaya Matahari^[1].

Spektrum cahaya matahari seperti pada gambar 2.1, akan menentukan beberapa jenis teknologi konversi energi yang sesuai. Teknologi yang dimaksud adalah pembuatan piranti-piranti berbasis tenaga surya. Konversi energi surya menjadi energi lain secara umum dapat dibedakan menjadi tiga proses terpisah, yakni proses *heliocemical*, *heliotermal* dan *helioelectrical*. Proses *heliocemical* terjadi pada proses fotosintesis. Proses ini merupakan sumber dari semua bahan bakar fosil. Proses *heliotermal* adalah penyerapan (*absorpsi*) radiasi matahari dan secara langsung dikonversi menjadi energi termal, sedangkan proses *helioelectrical* yang utama adalah produksi listrik oleh sel-sel surya dan disebut juga efek fotovoltaik^[1].

2.2 Sel Surya

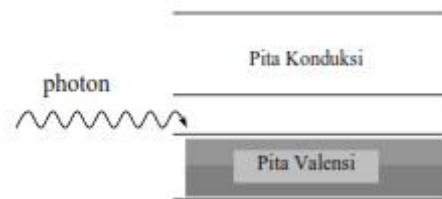
Panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang disusun sedemikian rupa sehingga didapatkan output sesuai dengan yang diinginkan. Dari kumpulan sel surya ini dapat dikonversi cahaya matahari menjadi listrik arus searah. Dengan menambahkan baterai yang dihubungkan dengan panel surya, maka daya hasil konversi cahaya matahari menjadi listrik dapat disimpan sebagai cadangan energi listrik. Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik pada Sel Surya^[2].

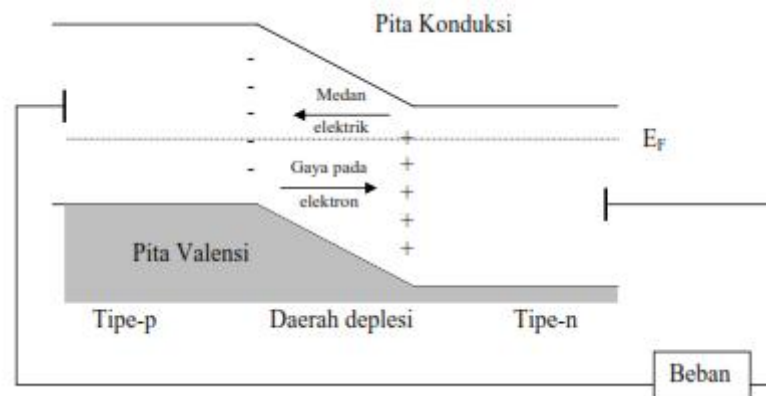
Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerap (*absorber*), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari^[2].

Lebih detail lagi bisa dijelaskan bahwa semikonduktor adalah bahan yang memiliki struktur seperti isolator akan tetapi memiliki celah energi kecil (1 eV atau kurang) sehingga memungkinkan elektron bisa melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan pita-pita energi seperti Gambar 2.3 di bawah ini^[2].



Gambar 2.3 Struktur Pita sebuah Semikonduktor^[2].

Elektron dari pita valensi dapat meloncat ke pita konduksi ketika sambungan tersebut dikenai *photon* dengan energi tertentu. Tingkat energi yang dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 2.4 di bawah ini^[2].



Gambar 2.4 Tingkat Energi yang Dihasilkan oleh Sambungan p-n Semikonduktor^[2].

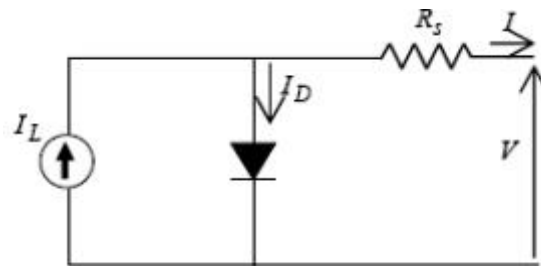
Ketika sinar matahari yang terdiri dari *photon-photon* jatuh pada permukaan bahan sel surya (*absorber*), akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan begitu saja seperti terlihat pada Gambar 2.2 dan hanya *photon* dengan tingkat energi tertentu

yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Tingkat energi ini disebut energi *band-gap* yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Elektron menjadi pembawa n dan meninggalkan hole. Pembawa p akan bergerak menuju persambungan demikian juga pembawa n akan bergerak ke persambungan, perpindahan tersebut menghasilkan beda potensial. Arus dan daya yang dihasilkan fotovoltaik ini dapat dialirkan ke rangkaian luar. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi *photon* (hc) harus sedikit lebih besar daripada energi *band-gap*. Jika energi *photon* terlalu besar dari pada energi *band-gap*, maka ekstra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada sel surya. Karenanya sangatlah penting pada sel surya untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul dari semikonduktor yang dipergunakan^[2].

Agar efisiensi sel surya bisa tinggi maka *photon* yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak-banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan rekombinasi serta memperbesar konduktivitas dari bahannya. Supaya *photon* bisa diserap sebanyak-banyaknya, maka penyerap harus memiliki energi *band-gap* dengan jangkauan yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam tersebut. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah CuInSe_2 yang dikenal merupakan salah satu dari *direct Semiconductor*^[2].

2.3 Rangkaian Ekivalen Sel Surya

Rangkaian ekivalen sel surya terdiri dari sumber arus (I_L), arus dioda (I_D) dan hambatan seri (R_s) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 di bawah ini. Rangkaian ini digunakan untuk membuat persamaan matematis sel surya, sehingga dapat digunakan untuk pemodelan sel surya atau untuk membuat simulasinya.



Gambar 2.5 Rangkaian Ekivalen Sel Surya^[3].

Dari Gambar 2.5, *photocurrent* (I_L) adalah arus yang dihasilkan langsung akibat penyinaran sinar matahari pada sel surya. Arus I_L dipengaruhi oleh radiasi matahari dan tergantung pada suhu permukaan sel surya. Hambatan R_s menunjukkan hambatan seri dari sel surya. Persamaan 2.1 menjelaskan prinsip sederhana dari rangkaian ekivalen sel surya di atas. Besarnya arus output sel surya (I) adalah pengurangan dari arus I_L dengan arus dioda (I_D) yang dirumuskan sebagai berikut^[3]:

$$I = I_L - I_D \quad (2.1)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa^[3]:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(q \frac{(V + IR_s)}{N_s A k T} \right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

Dimana:

I = *Output current (A)*

I_L = *Photocurrent (A)*

I_0 = *Diode saturation current (A)*

q = *Electron charge (1.6×10^{-19} C)*

V = *Output voltage (V)*

R_s = *Series resistance*

N_s = *Number of cells in series*

A = *Diode factor*

k = *Boltzman constant (1.3805×10^{-23} J/K)*

T = *Cell temperature (K)*

Untuk menentukan parameter *series resistance* (R_s) dan besarnya *diode factor* (A) dapat diketahui dengan metode *simplified explicit method* yang merupakan metode yang disederhanakan secara eksplisit berdasarkan pada beberapa penyederhanaan rumusan awal.

Persamaan untuk mencari *series resistance* (R_s) adalah sebagai berikut^[3]:

$$R_s = \frac{\frac{N_s A k T}{q} \ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_m}{I_m} \quad (2.3)$$

Dimana:

R_s = *Series resistance*

N_s = *Number of cells in series*

A = *Diode factor*

k = *Boltzman constant (1.3805×10^{-23} J/K)*

T = *Cell temperature (K)*

- q = Electron charge (1.6×10^{-19} C)
 I_m = Current at the point of maximal power (A)
 I_{sc} = Short circuit current at 25 °C 1000 W/m² (A)
 V_{oc} = Open circuit voltage (V)
 V_m = Voltage at the point of maximal power (V)

Persamaan untuk mencari *diode factor* (A) adalah sebagai berikut^[3]:

$$A = \frac{q(2V_m - V_{oc})}{N_s k T \left[\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_m} + \ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right]} \quad (2.4)$$

Dimana:

- A = Diode factor
 q = Electron charge (1.6×10^{-19} C)
 V_m = Voltage at the point of maximal power (V)
 V_{oc} = Open circuit voltage (V)
 N_s = Number of cells in series
 k = Boltzman constant (1.3805×10^{-23} J/K)
 T = Cell temperature (K)
 I_{sc} = Short circuit current at 25 °C 1000 W/m² (A)
 I_m = Current at the point of maximal power (A)

Dari persamaan 2.2 masih terdapat parameter yang belum diketahui. Parameter tersebut adalah *photocurrent* (I_L), *diode saturation current* (I_0) dan *reverse saturation current* (I_{rs}). Persamaan untuk mencari *photocurrent* (I_L) adalah sebagai berikut^[4]:

$$I_L = [I_{sc} + K_i (T-298)] \frac{\beta}{1000} \quad (2.5)$$

Dimana:

I_L = Photocurrent (A)

I_{sc} = Short circuit current at 25 °C 1000 W/m² (A)

K_i = Short circuit current temperature coefficient at I_{sc} (0.0017 A/°C)

T = Cell temperature (K)

= Solar irradiance (W/m²)

Persamaan untuk mencari *diode saturation current* (I_O) adalah sebagai berikut^[4]:

$$I_O = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{qE_g}{Ak} \left\{ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right\} \right] \quad (2.6)$$

Dimana:

I_O = Diode saturation current (A)

I_{rs} = Reverse saturation current (A)

T = Cell temperature (K)

T_r = Reference temperature 298 K

q = Electron charge (1.6 x 10⁻¹⁹ C)

E_g = Silicon gap energy 1.1 eV

A = Diode factor

k = Boltzman constant (1.3805 x 10⁻²³ J/K)

Persamaan untuk mencari *reverse saturation current* (I_{rs}) adalah sebagai berikut^[4]:

$$I_{rs} = I_{sc} / \left[\exp \left(\frac{qV_{oc}}{N_s AkT} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Dimana:

I_{rs} = Reverse saturation current (A)

I_{sc} = Short circuit current at 25 °C 1000 W/m² (A)

q = Electron charge (1.6 x 10⁻¹⁹ C)

V_{oc} = *Open circuit voltage (V)*

N_s = *Number of cells in series*

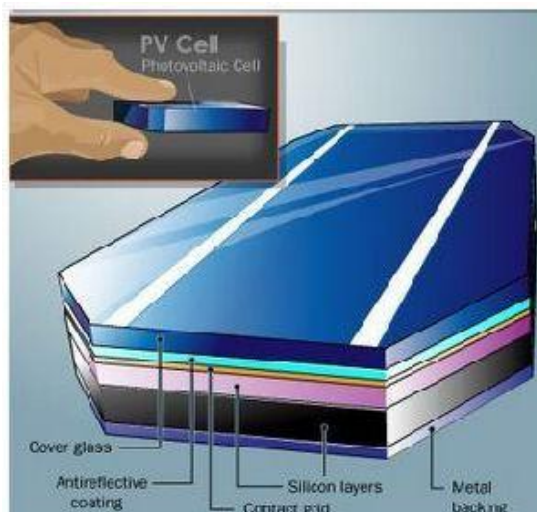
k = *Boltzman constant (1.3805×10^{-23} J/K)*

A = *Diode factor*

T = *Cell temperature (K)*

2.4 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur sel surya generasi pertama (sel surya silikon). Sel surya memiliki beberapa bagian di dalam pembuatannya. Pada Gambar 2.6 ada lima tipe umum struktur sel surya.



Gambar 2.6 Struktur Sel Surya^[5].

1. Substrat/ *Metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau *molybdenum*. Untuk sel surya *dye-sensitized* (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *indium tin oxide* (ITO) dan *flourine doped tin oxide* (FTO)^[5].

2. Material semikonduktor/ *Silicon layers*

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon) dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Semikonduktor yang digunakan pada sel surya adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material Cu(In,Ga)(S,Se)_2 (CIGS), CdTe (*kadmium telluride*) dan *amorphous silikon*, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang sedang dalam penelitian intensif seperti $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ (CZTS) dan Cu_2O (*copper oxide*). Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari *junction* atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS, dll) yang membentuk p-n *junction*. P-n *junction* ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya^[5].

3. Kontak metal / *Contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material konduktif transparan sebagai kontak negatif^[5].

4. Lapisan antireflektif/ *Antireflective coating*

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali^[5].

5. Enkapsulasi/ *Cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran^[5].

2.5 Macam-macam Bahan Pembuatan Sel Surya

Perkembangan sel surya sangat meningkat sebagai energi alternatif yang terbarukan. Perkembangan tersebut salah satunya berdampak pada bahan pembuatan sel surya. Bahan yang digunakan banyak jenisnya dan memiliki efisiensi yang berbeda-beda. Dengan demikian untuk mengaplikasikan sumber energi sel surya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan pastinya dapat disesuaikan dengan anggaran dana. Macam-macam bahan pembuatan sel surya adalah sebagai berikut:

1. *Poly-crystalline*

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel *mono-crystalline* (efektifitas 18%), tetapi biaya lebih murah^[6].

2. *Mono-crystalline*

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. *mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%^[6].

3. *Gallium Arsenide*

Sel Surya III-IV semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%^[6].

Sel surya silikon terpadu "*Thin Film*":

a. *Amorphous Silikon*

Sebagai pengganti *tinted glass* yang semi transparan.

b. *Thin Film Silikon*

Dibuat dari *thin-crystalline* atau *poly-crystalline* pada bahan metal yang cukup murah (*cladding system*).

c. *Cadmium Telluride*

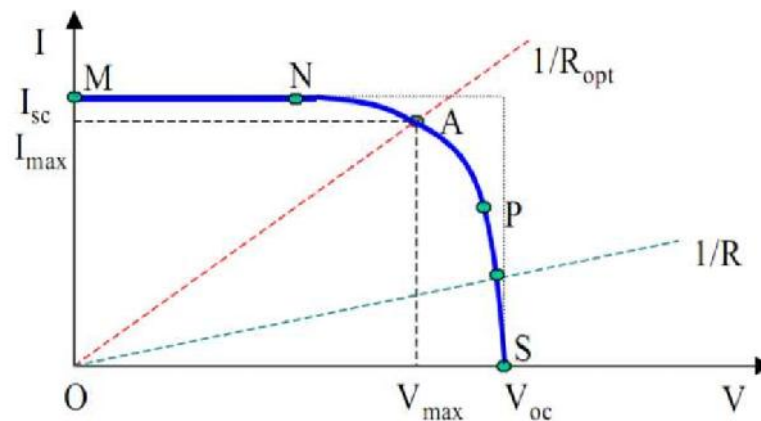
Terbentuk dari bahan materi thin film *poly-crystalline* secara deposit, semprot dan evaporasi tingkat tinggi. Nilai efisiensi 16%.

4. *Copper Indium Diselenide*

Merupakan bahan dari film tipis *poly-crystalline*. Nilai efisiensi 17.7% .

2.6 Karakteristik Sel Surya

Sel surya adalah sebuah alat non-linear, sehingga untuk memahami karakteristiknya digunakan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Karakteristik panel surya terdiri dari kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan.



Gambar 2.7 Kurva Arus-Tegangan^[7].

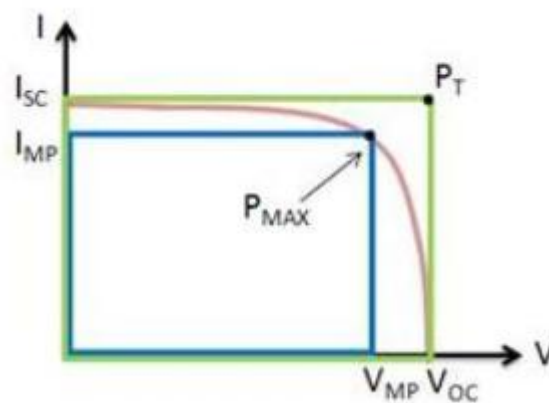
Gambar 2.7 menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan garis $I/V = I/R$. Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil maka sel beroperasi pada daerah kurva MN , dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit* (I_{sc}). Pada sisi lain jika R besar, sel beroperasi pada daerah PS , dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan *open circuit* (V_{oc}). Jika dihubungkan dengan hambatan optimal R_{opt} berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max})^[7].

Parameter pada kurva arus-tegangan

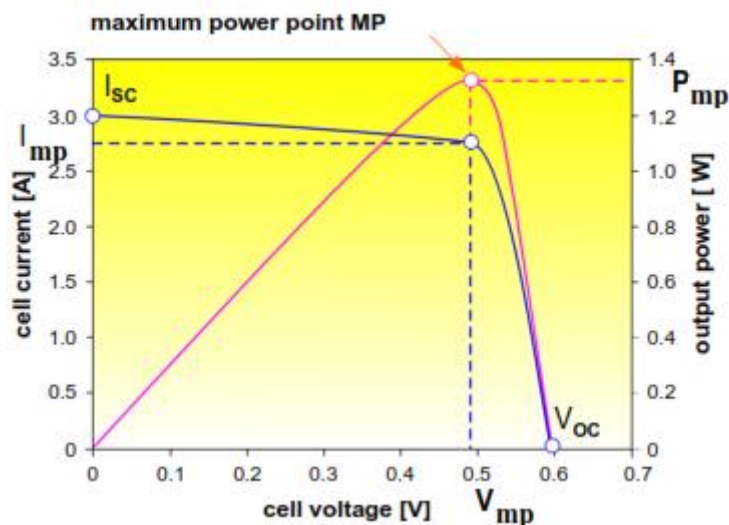
Parameter yang biasa digunakan untuk menentukan output karakteristik dari sel surya, yaitu^[7]:

1. Arus hubung singkat atau *short circuit current* (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimum dari sel surya pada kondisi tidak ada resistansi.
2. Tegangan hubung terbuka atau *open circuit voltage* (V_{oc}) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.
3. Daya maksimum (P_{max}) pada Gambar 2.7 berada pada titik A (V_{max}, I_{max}).
4. Faktor pengisian atau *Fill Factor* (FF) merupakan harga yang mendekati konstanta suatu sel surya tertentu. Jika nilai FF lebih tinggi dari 0.7, maka sel tersebut lebih baik.

Fill factor pada dasarnya adalah ukuran kualitas dari sel surya. Hal ini dihitung dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Persamaan *fill factor* adalah P_{max}/P_T atau $(I_{mp} \times V_{mp}) / (I_{sc} \times V_{oc})$ dan kurva *fill factor* panel surya dapat dilihat Gambar 2.8 dibawah ini^[8] :



Gambar 2.8 Kurva *Fill Factor* Arus-Tegangan^[8].



Gambar 2.9 Karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan^[9].

Pada Gambar 2.9 kurva daya-tegangan diperoleh dari data arus dan tegangan panel surya yang dihubungkan dengan beban yang memiliki resistansi berbeda. Daya maksimum (P_{mp}) terjadi ketika arus yang mengalir maksimum (I_{mp}) dengan tegangan yang maksimum (V_{mp}). Dengan demikian dapat diketahui berapa resistansi beban yang sesuai supaya daya panel surya maksimum.

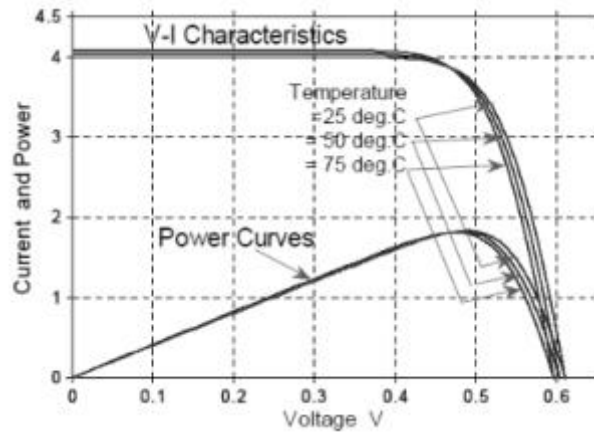
2.7 Faktor Pengoperasian Maksimum Sel Surya

Kerja maksimum sel surya dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut ada yang berpengaruh cukup besar dan ada juga yang kecil pengaruhnya. Faktor yang mempengaruhi kerja maksimum sel surya adalah sebagai berikut:

1. Temperatur panel surya

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur panel tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang

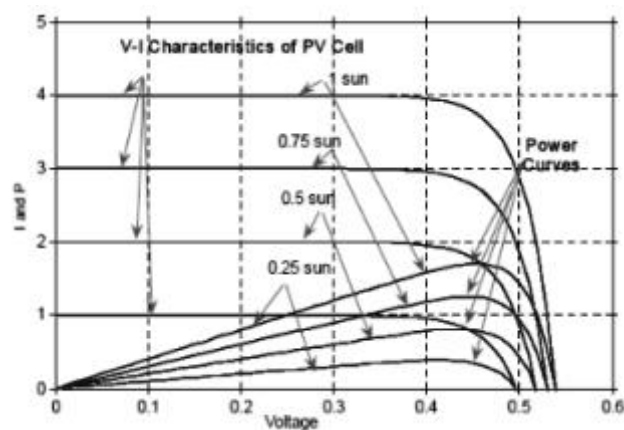
dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk kenaikan temperatur panel per 10°C , hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini^[10].



Gambar 2.10 Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan dengan Variasi Suhu^[10].

2. Radiasi matahari

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima panel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya, dalam hal ini $1 \text{ sun} = 1000 \text{ W/m}^2$ dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini^[10].



Gambar 2.11 Kurva Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan dengan Variasi Irdian^[10].

Intensitas cahaya merupakan pancaran energi yang berasal dari proses termonuklir yang terjadi di matahari, atau dapat dikatakan sumber utama untuk proses-proses fisika atmosfer yang menentukan keadaan cuaca dan iklim di atmosfer bumi. Radiasi surya memegang peranan penting dari berbagai sumber energi lain yang dimanfaatkan manusia^[10].

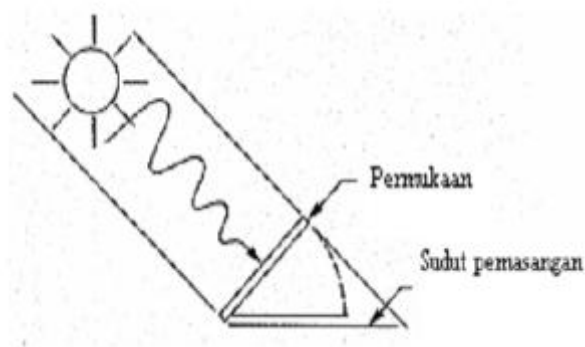
3. Kecepatan angin bertiup dan keadaan atmosfer bumi

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi panel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca panel surya. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari panel surya^[11].

4. Orientasi panel surya dan kemiringan panel surya

Orientasi dari panel surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut kemiringan (*tilt angle*) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara *latitude*, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke selatan, orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum^[11].

Pada Gambar 2.12 di bawah sudut orientasi matahari mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegaklurusan antara sinar matahari dengan bidang panel surya, maka ekstra luasan bidang panel surya dibutuhkan^[11].

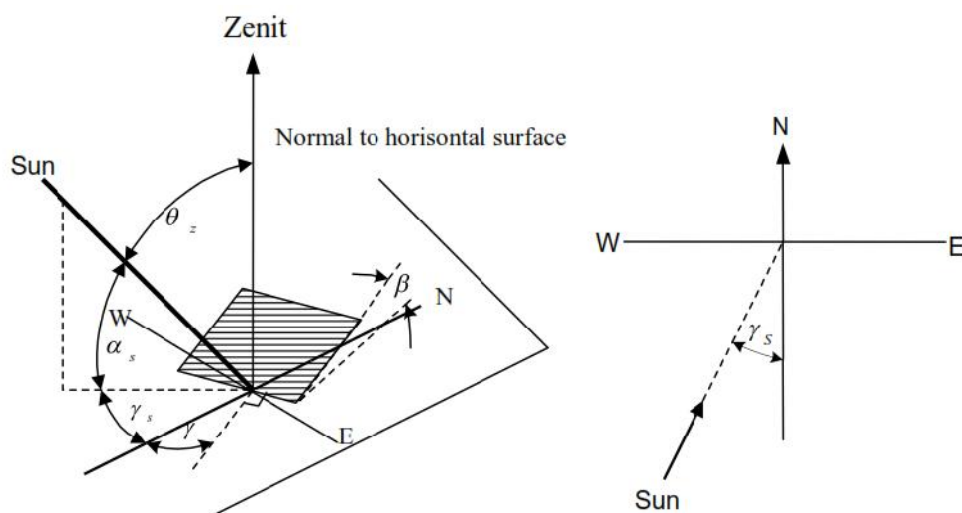


Gambar 2.12 Sudut Panel Surya terhadap Matahari^[11].

Posisi relatif matahari terhadap suatu bidang di bumi bisa dinyatakan dalam beberapa sudut. Beberapa diantaranya bisa dilihat pada Gambar 2.13, sudut-sudut itu adalah^[12] :

- a. , *latitude* (garis lintang) : Sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif ; -90° 90° .
- b. , *declination* (deklinasi) : Sudut posisi matahari saat *solar noon* yang berhubungan terhadap bidang khatulistiwa, utara positif; $-23,45^{\circ} < < 23,45^{\circ}$.
- c. , *slope* (kemiringan) : Sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal ; 0° 180° .
- d. , *surface azimuth angle* (sudut permukaan azimuth) : Proyeksi ke bidang horisontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif ; -180° 180° .
- e. , *hour angle* (sudut jam) : Sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam ; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.

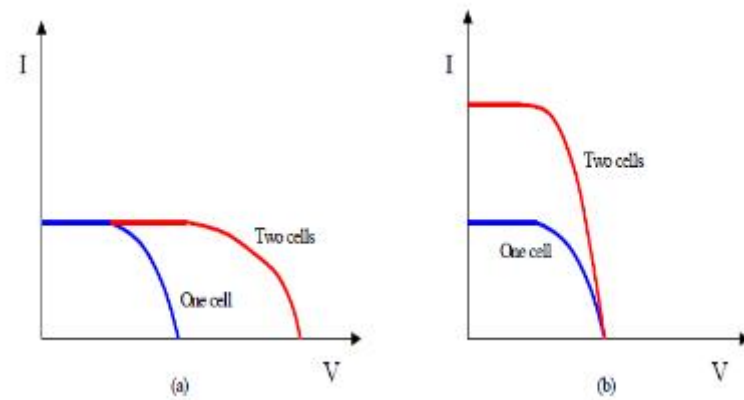
- f. θ_z , *angle of incidence* (sudut datang) : Sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor.
- g. θ_z , *zenith angle* (sudut zenith) : Sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari.
- h. α_s , *solar altitude angle* (sudut ketinggian matahari) : Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang.
- i. γ_s , *solar azimuth angle* (sudut azimuth matahari) : Sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.



Gambar 2.13 Sudut-sudut Penting dalam Energi Surya^[12].

Sebuah sel surya memiliki keterbatasan dalam menyuplai daya, sehingga dalam aplikasi, sel surya jarang digunakan secara individual. Pada umumnya, sel-sel yang identik dihubungkan secara seri dalam membuat sebuah modul agar tegangan yang dihasilkan sel surya lebih besar dengan tegangan total sebesar $V_{oc1} + V_{oc2}$ namun arus yang dihasilkan tetap berdasarkan hukum *Kirchoff*. Sedangkan

bila dua sel surya dirangkai secara paralel, besarnya tegangan yang dihasilkan adalah tetap dengan arus total sebesar $I_1 + I_2$ berdasarkan hukum *Kirchoff*. Pengaruh koneksi seri paralel pada sel surya terhadap kurva arus-tegangan (I-V) dapat dilihat pada Gambar 2.14 di bawah ini^[13].



Gambar 2.14 Pengaruh Koneksi Sel Surya terhadap Kurva Karakteristik Arus-Tegangan (a) Seri dan (b) Paralel^[13].

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2015 sampai Desember 2015 di Jl. Bumi Manti III RT 04 LK I Kampung Baru kecamatan Kedaton kabupaten Bandar Lampung provinsi Lampung (Latitude 5°21'37.0''S, Longitude 105°14'38.4''E).

3.2 Alat dan Bahan

Untuk mendapatkan karakteristik panel surya diperlukan alat dan bahan yang mendukung penelitian ini. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) sebagai berikut.

Perangkat keras yang digunakan, yaitu :

1. Panel surya

Karakterisasi yang akan dibuat berdasarkan panel surya model SR-156P-100. Panel surya ini memiliki *maximum power* (P_{max}) sebesar 100 W, *maximum power voltage* (V_{mp}) sebesar 17.6 V, *maximum power current* (I_{mp}) sebesar 4.26 A, *open circuit voltage* (V_{oc}) sebesar 21.6 V, *short circuit current* (I_{sc}) sebesar 4.69 A.

Bentuk fisik panel surya dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Panel Surya.

2. Laptop

Alat ini digunakan untuk mengolah data dan untuk menulis laporan. Spesifikasi dari laptop yaitu *system manufacturer* Lenovo G460, *system model* 20041, *processor* Intel(R) Core(TM) i3 CPU M 390 @ 2.67 GHz, *memory* 4096 MB RAM, *operating system* windows 7 ultimate 64-bit (6.1, build 7601). Bentuk fisik laptop dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Laptop.

3. Amperemeter

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya arus dari rangkaian. *Amperemeter* yang digunakan yaitu DT9205A *auto power off* dengan *range* arus DC 2 mA sampai 20 A. Bentuk fisik *amperemeter* dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 *Amperemeter*.

4. Voltmeter

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dari rangkaian. *Voltmeter* yang digunakan yaitu Krisbow KW06-271 dengan *range* tegangan DC 200 mV sampai 600 V. Bentuk fisik *voltmeter* dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 *Voltmeter*.

5. *Solar power meter*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya iradian cahaya matahari. *Solar power meter* yang digunakan yaitu Constant *solar power* 10 dengan *sunlight measurement up to 1999 W/m²*. Bentuk fisik *solar power meter* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Solar Power Meter*.

6. *Thermometer*

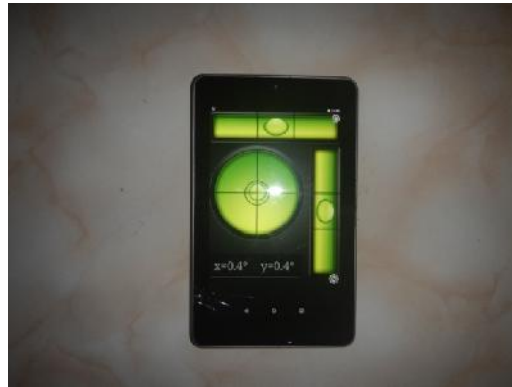
Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya suhu permukaan panel surya. *Thermometer* yang digunakan yaitu Fluke 62 *max IR Thermometer* dengan *range -30 °C to 500 °C*. Bentuk fisik *thermometer* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Thermometer*.

7. Aplikasi android *Bubble Level*

Aplikasi ini digunakan untuk mengukur kemiringan permukaan panel surya. Kemiringan yang dapat diukur dengan aplikasi ini adalah 45° x 45° dan 45° y 45° . Tampilan dari aplikasi android *Bubble Level* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Aplikasi Android *Bubble Level*.

8. Resistor semen atau resistor kotak

Alat ini digunakan sebagai beban pada panel surya. Resistansi terkecil yang digunakan sebesar 0.1 dan resistansi terbesar 470 . Bentuk fisik dari modul beban dapat dilihat pada Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 Resistor Semen atau Resistor Kotak.

9. Kabel listrik

Sebagai penghubung dari panel surya ke beban. Kabel listrik yang digunakan yaitu kabel Eterna NYHY 2 x 0.75 mm². Bentuk fisik dari kabel listrik dapat dilihat pada Gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9 Kabel Listrik.

10. Kabel penghubung

Sebagai penghubung antara alat satu dengan yang lainnya pada rangkaian pengukuran panel surya. Bentuk fisik dari kabel penghubung dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah ini.



Gambar 3.10 Kabel Penghubung.

Sedangkan untuk perangkat lunaknya, yaitu :

1. *Microsoft office 2007*

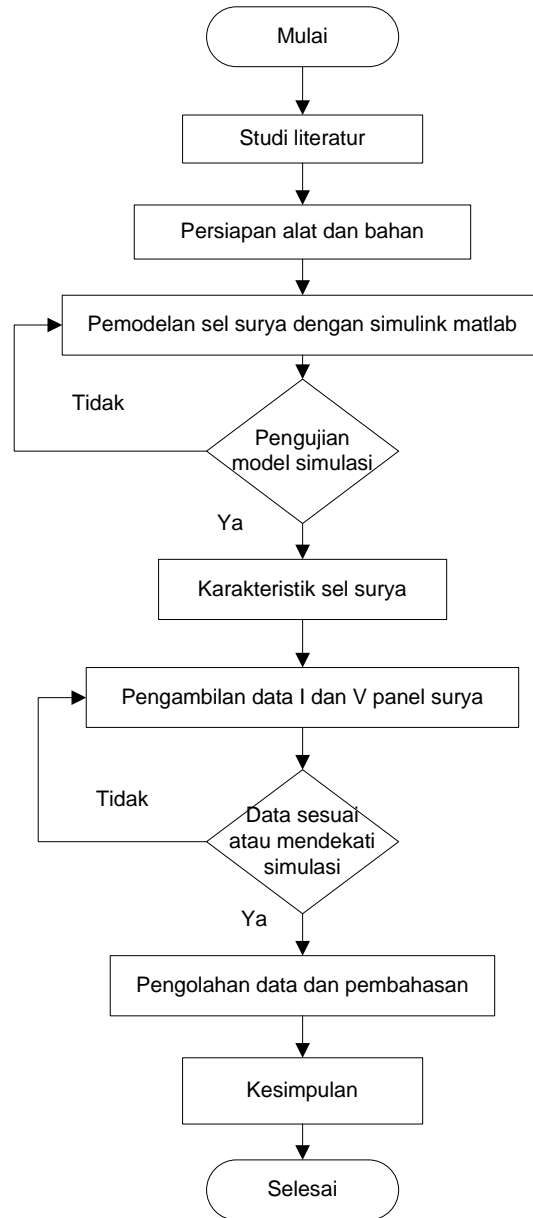
Microsoft office memiliki beberapa program yang bisa digunakan untuk membantu dalam penelitian yaitu, *Microsoft office word* digunakan untuk menulis laporan penelitian, *Microsoft office excel* digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran, *Microsoft office visio* digunakan untuk membuat diagram alir penelitian dan *Microsoft office picture manager* digunakan untuk mengedit gambar atau foto.

2. *Matlab R2009a*

Matlab (*Matrix Laboratory*) memiliki beberapa fungsi diantaranya simulink matlab digunakan untuk pemodelan sel surya, sehingga diperoleh karakteristik panel surya. Kemudian fungsi grafik digunakan untuk membuat kurva arus-tegangan dan daya-tegangan.

3.3 Metode Penelitian

Proses penelitian melalui beberapa langkah kerja, secara umum melakukan pengujian model simulasi panel surya untuk mendapatkan karakteristik panel surya dan melakukan karakterisasi panel surya yaitu membuat kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan dari hasil pengukuran serta analisa kurva yang sudah dibuat. Langkah-langkah tersebut lebih jelas dapat digambarkan dalam diagram alir penelitian pada Gambar 3.11 di bawah ini.



Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian.

Keterangan dari diagram alir di atas adalah sebagai berikut:

a. Studi literatur

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi atau bahan materi baik dari buku, jurnal, maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Materi tersebut diantaranya mengenai pengertian sel surya dan prinsip kerjanya,

karakteristik sel surya yang terdiri dari kurva arus-tegangan, kurva daya-tegangan dan pemodelan sel surya.

b. Persiapan alat dan bahan

Setelah melakukan studi literatur, kemudian menyiapkan segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa perangkat keras yang diperlukan seperti panel surya itu sendiri, alat ukur arus dan tegangan serta komputer. Sedangkan perangkat lunak yang diperlukan seperti *microsoft office* untuk membantu dalam pembuatan laporan dan *simulink matlab* digunakan untuk melakukan pemodelan sel surya.

c. Pemodelan sel surya dengan simulink matlab

Untuk melakukan pemodelan sel surya, maka harus mengetahui terlebih dahulu rangkaian ekuivalen dari sel surya tersebut. Dari rangkaian ekuivalen didapatkan persamaan-persamaan yang menggambarkan kerja dari sel surya. Persamaan ini digunakan untuk membuat model sel surya dengan menggunakan *simulink matlab*.

d. Pengujian model simulasi

Model simulasi yang dibuat dengan menggunakan *simulink matlab* tersebut, kemudian dilakukan pengujian karakteristik sel surya. Apabila hasil dari model yang diuji sudah sesuai dengan data teknis, maka pengambilan data karakteristik dapat dilakukan. Sedangkan apabila hasil dari model yang diuji belum sesuai dengan data teknis, maka perlu dilakukan perbaikan model simulasi sel surya.

e. Karakteristik sel surya

Jika model simulasi sudah dapat menghasilkan karakteristik sel surya, maka dapat digunakan untuk melihat karakteristik sebuah panel surya. Hasil simulasi berguna sebagai referensi dalam membuat karakteristik panel surya berdasarkan intensitas cahaya matahari.

f. Pengambilan data I dan V panel surya

Setelah didapatkan karakteristik panel surya berdasarkan model simulasi dengan simulink matlab, maka dilakukan pengambilan data arus dan tegangan panel surya berdasarkan intensitas cahaya matahari. Data dimasukkan kedalam lembar kerja berupa tabel data, sehingga memudahkan dalam pengolahan data tersebut.

g. Data sesuai atau mendekati simulasi

Hasil pengukuran arus dan tegangan dibandingkan dengan hasil dari simulasi apakah sesuai atau mendekati. Jika data sesuai atau mendekati, maka data dapat dibuat kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan. Jika tidak sesuai atau mendekati, maka dilakukan pengukuran kembali arus dan tegangan pada panel surya.

h. Pengolahan data dan pembahasan

Data yang diperoleh dari pengukuran panel surya diolah menjadi kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan dengan menggunakan matlab. Dari kurva arus-tegangan dapat diketahui arus maksimum dan tegangan maksimum panel surya. Kemudian dari kurva daya-tegangan dapat diketahui daya maksimum yang dihasilkan panel surya sesuai dengan intensitas cahaya matahari.

i. Kesimpulan

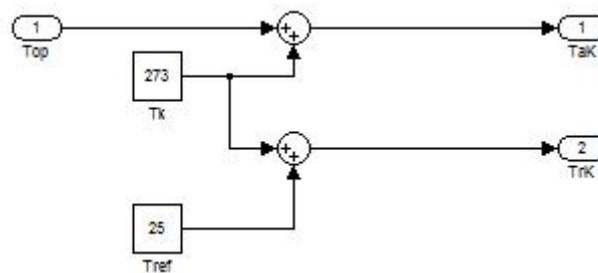
Dari data yang sudah diolah dalam bentuk kurva dapat diambil beberapa simpulan. Seperti berapa daya maksimum yang dapat dihasilkan panel surya atau faktor apa saja yang mempengaruhi kerja dari panel surya tersebut dan simpulan lainnya.

3.4 Pemodelan Sel Surya dengan Simulink Matlab

Pada bagian tinjauan pustaka terdapat rangkaian ekivalen sel surya dengan beberapa persamaannya. Persamaan ini dapat digunakan untuk membuat model sel surya dengan simulink matlab.

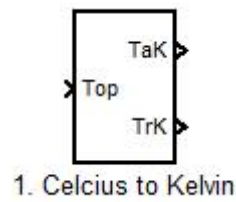
a. Membuat subsistem konversi celcius (C) ke kelvin (K)

Dalam persamaan ekivalen panel surya satuan suhu yang digunakan adalah kelvin, maka perlu mengkonversi satuan celcius ke satuan kelvin. Untuk mengkonversi celcius ke kelvin perlu menambahkan suhu dalam °C dengan 273 yaitu seperti pada Gambar 3.12 di bawah ini.



Gambar 3.12 Rangkaian Konversi C ke K.

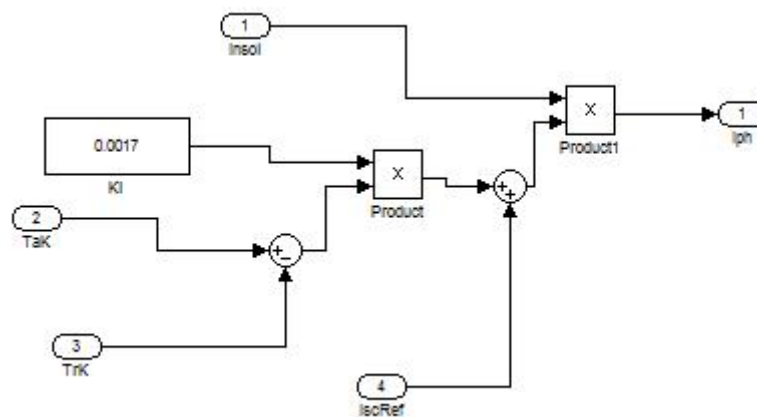
Setelah membuat rangkaian konversi C ke K, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem celcius to kelvin seperti terlihat pada Gambar 3.13 di bawah ini.



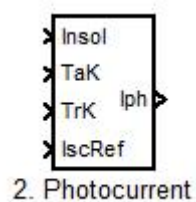
Gambar 3.13 Subsistem Celcius to Kelvin.

b. Membuat subsistem *photocurrent* (I_{ph})

Untuk membuat subsistem *photocurrent* diperlukan sebuah rangkaian penyusunnya. Rangkaian ini dibuat berdasarkan persamaan 2.5 yang dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.14 di bawah ini.

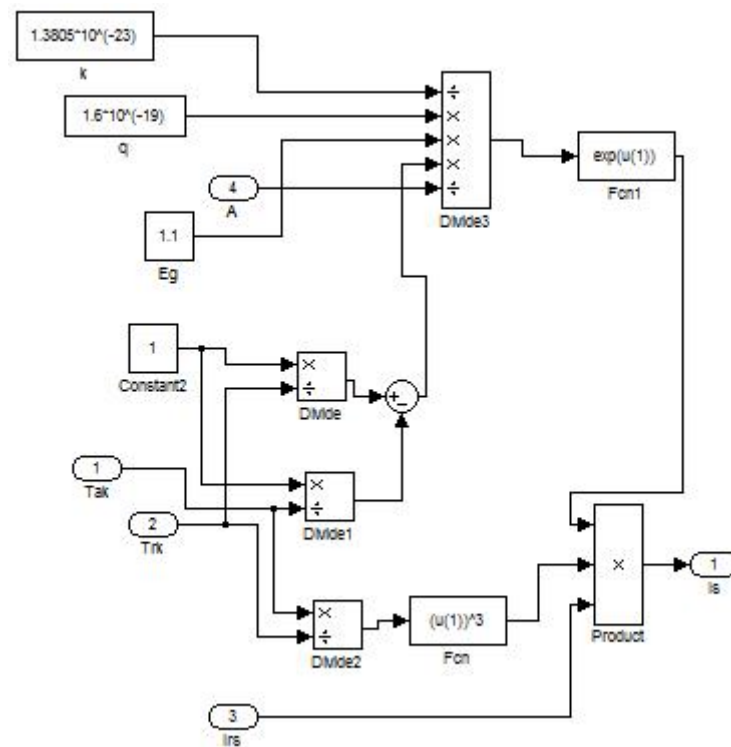
Gambar 3.14 Rangkaian *Photocurrent*.

Setelah membuat rangkaian rangkaian *photocurrent*, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem *photocurrent* seperti terlihat pada Gambar 3.15 di bawah ini.

Gambar 3.15 Subsistem *Photocurrent*.

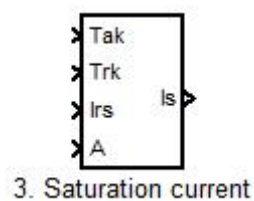
c. Membuat subsistem *diode saturation current* (I_s)

Untuk membuat subsistem *diode saturation current* diperlukan sebuah rangkaian penyusunnya. Rangkaian ini dibuat berdasarkan persamaan 2.6 yang dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.16 di bawah ini.



Gambar 3.16 Rangkaian *Diode Saturation Current*.

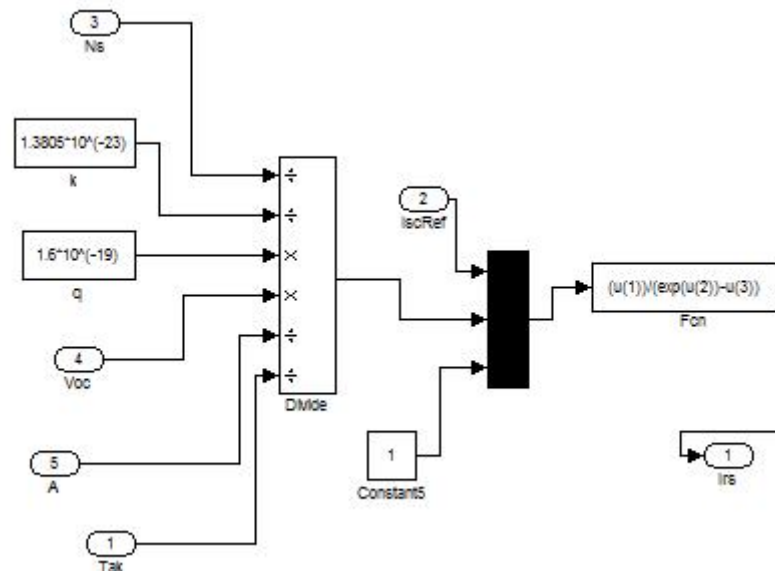
Setelah membuat rangkaian rangkaian *diode saturation current*, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem *diode saturation current* seperti terlihat pada Gambar 3.17 di bawah ini.



Gambar 3.17 Subsistem *Diode Saturation Current*.

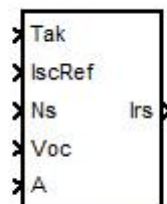
d. Membuat subsistem *reverse saturation current* (I_{rs})

Untuk membuat subsistem *reverse saturation current* diperlukan sebuah rangkaian penyusunnya. Rangkaian ini dibuat berdasarkan persamaan 2.7 yang dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.18 di bawah ini.



Gambar 3.18 Rangkaian *Reverse Saturation Current*.

Setelah membuat rangkaian rangkaian *reverse saturation current*, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem *reverse saturation current* seperti terlihat pada Gambar 3.19 di bawah ini.

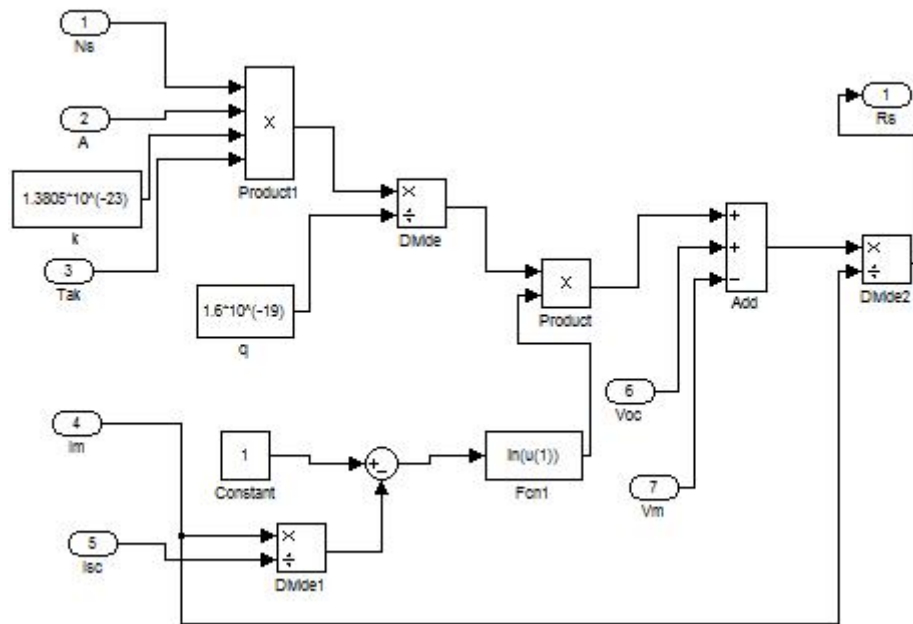


4. Reverse saturation current

Gambar 3.19 Subsistem *Reverse Saturation Current*.

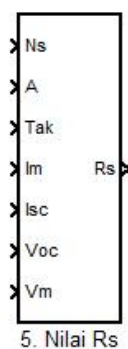
e. Membuat subsistem *series resistance* (R_s)

Untuk membuat subsistem *series resistance* diperlukan sebuah rangkaian berdasarkan persamaan 2.3 yang dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Rangkaian *Series Resistance*.

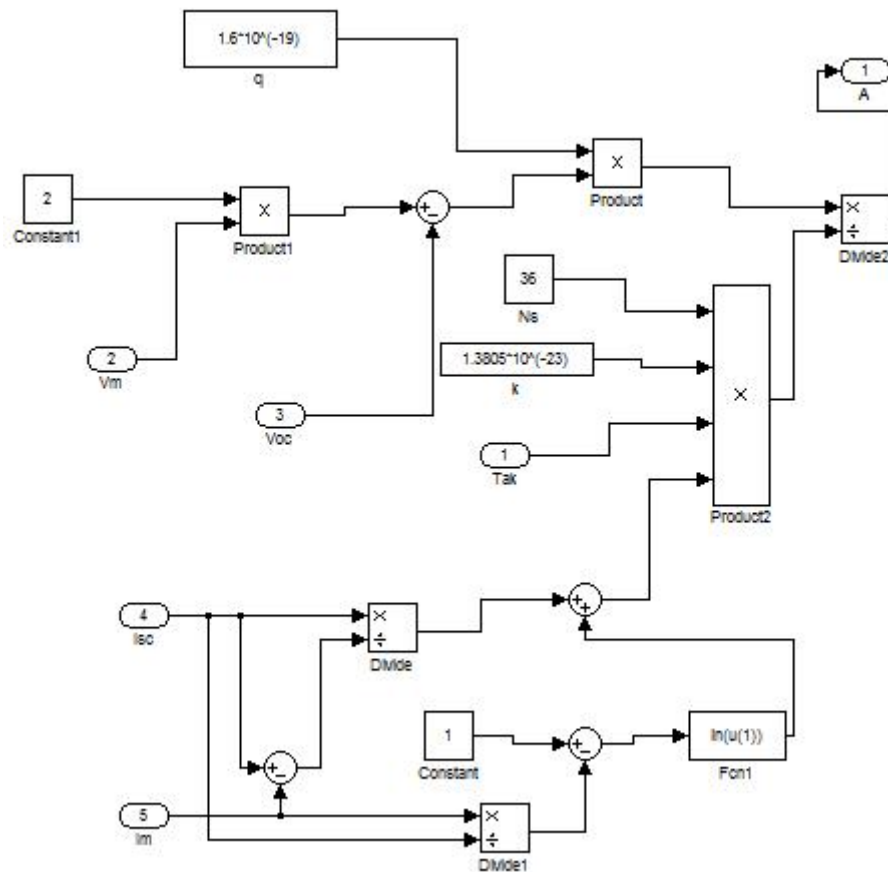
Setelah membuat rangkaian rangkaian *series resistance*, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem *series resistance* seperti terlihat pada Gambar 3.21 di bawah ini.



Gambar 3.21 Subsistem *Series Resistance*.

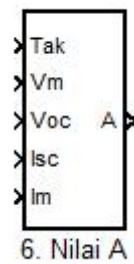
f. Membuat subsistem *diode factor* (A)

Untuk membuat subsistem *diode factor* diperlukan sebuah rangkaian penyusunnya. Rangkaian ini dibuat berdasarkan persamaan 2.4 yang dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.22 di bawah ini.



Gambar 3.22 Rangkaian *Diode Factor*.

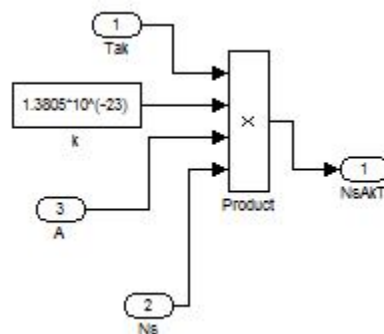
Setelah membuat rangkaian rangkaian *diode factor*, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem *diode factor* seperti terlihat pada Gambar 3.23 di bawah ini.



Gambar 3.23 Subsistem *Diode Factor*.

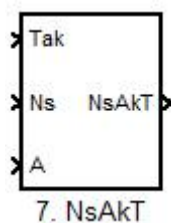
g. Membuat subsistem N_sAKT

Untuk membuat subsistem N_sAKT diperlukan sebuah rangkaian penyusunnya. Rangkaian ini digunakan sebagai masukan pada rangkaian arus keluaran sel surya dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.24 di bawah ini.



Gambar 3.24 Rangkaian N_sAKT .

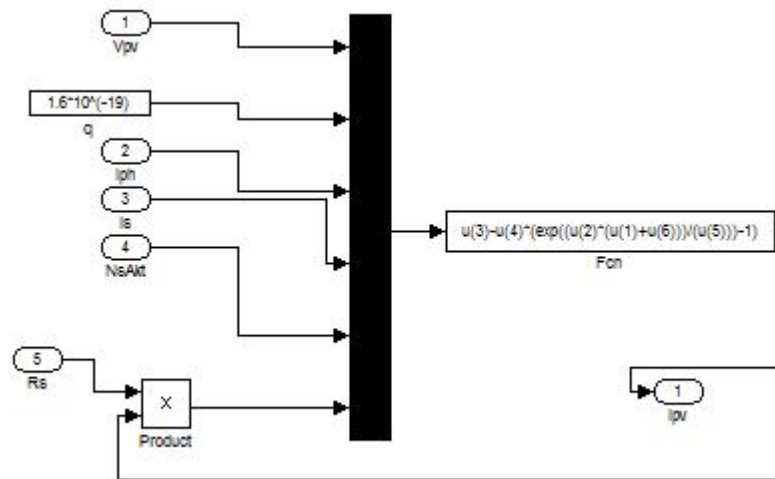
Setelah membuat rangkaian rangkaian N_sAKT , maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem N_sAKT seperti terlihat pada Gambar 3.25 di bawah ini.



Gambar 3.25 Subsistem N_sAKT .

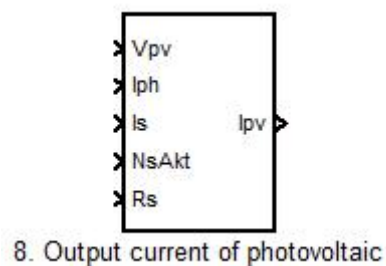
h. Membuat subsistem *output current of photovoltaic* (I_{pv})

Untuk membuat subsistem *output current of photovoltaic* diperlukan sebuah rangkaian penyusunnya. Rangkaian ini dibuat berdasarkan persamaan 2.2 yang dalam simulink matlab dapat dilihat pada Gambar 3.26 di bawah ini.

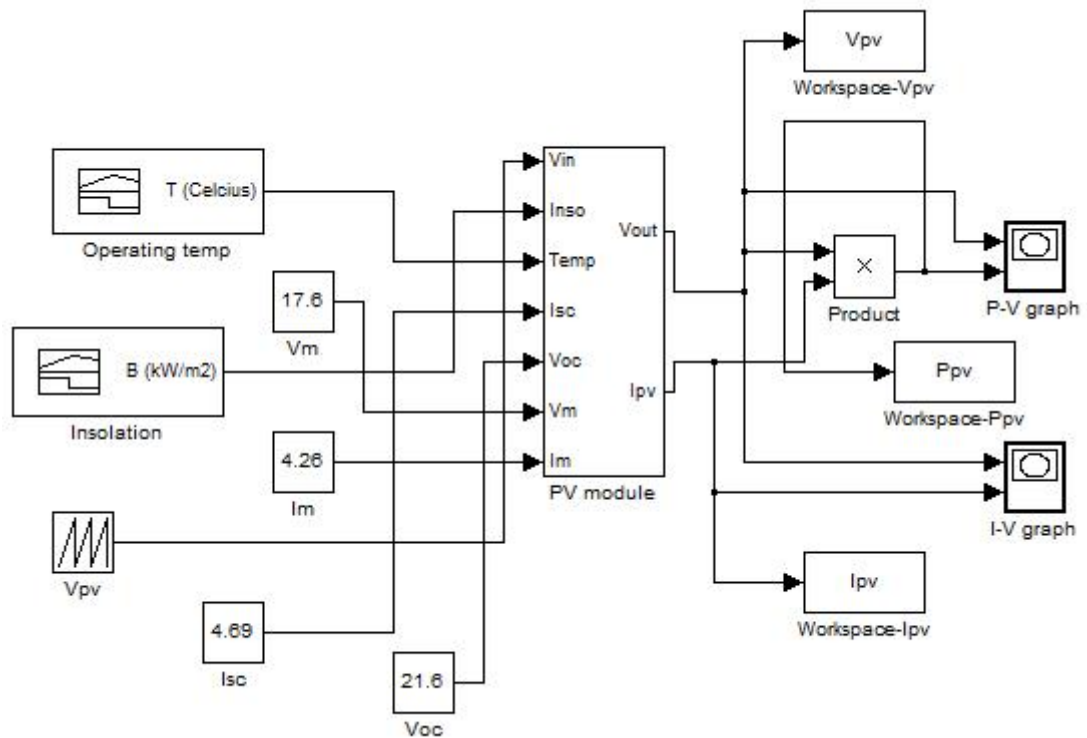


Gambar 3.26 Rangkaian *Output Current of Photovoltaic*.

Setelah membuat rangkaian rangkaian *output current of photovoltaic*, maka rangkaian tersebut kemudian dijadikan subsistem *output current of photovoltaic* seperti terlihat pada Gambar 3.27 di bawah ini.



Gambar 3.27 Subsistem *Output Current of Photovoltaic*.

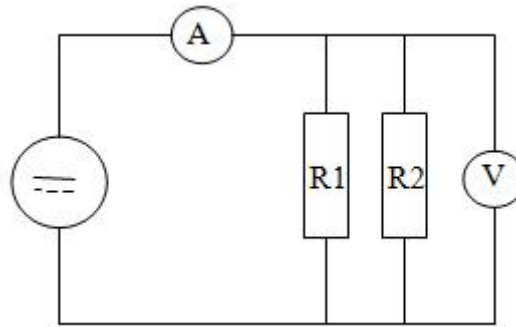


Gambar 3.29 Model Simulasi Sel Surya.

Dari rangkaian sel surya diperoleh bentuk akhir yaitu model simulasi sel surya yang dapat dilihat pada Gambar 3.29 diatas. Rangkaian ini memiliki tujuh masukan ke sistem dan dua keluaran dari sistem. Ketujuh masukan tersebut adalah tegangan sel surya (V_{in}), cahaya matahari (*Insolation*), suhu permukaan sel surya (*Temperature*), Arus hubung singkat (I_{sc}), tegangan hubung terbuka (V_{oc}), tegangan maksimum (V_m) dan arus maksimum (I_m). Sedangkan keluarannya adalah tegangan sel surya (V_{out}) dan arus sel surya (I_{pv}). Dari kedua keluaran tersebut digunakan untuk mencari daya sel surya, karena daya merupakan hasil perkalian antara tegangan dengan arus. Untuk memudahkan dalam memahami karakteristik sel surya, maka dari keluaran model ditampilkan dalam bentuk kurva yaitu kurva arus-tegangan dan daya-tegangan. Selain itu data arus, tegangan dan daya ditampilkan dalam *workspace*.

3.5 Pengukuran Arus dan Tegangan Panel Surya

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan nilai beban yang berbeda-beda. Dengan membuat rangkaian pengukuran arus dan tegangan pada panel surya seperti terlihat dalam Gambar 3.30 di bawah ini.



Gambar 3.30 Rangkaian Pengukuran Arus dan Tegangan.

Sumber dari rangkaian pengukuran adalah panel surya model SR-156P-100 dengan daya maksimum 100 W. Menggunakan resistor yang memiliki resistifitas berbeda-beda sebagai beban panel surya. Resistor yang digunakan adalah jenis resistor semen atau resistor kotak, karena resistor jenis ini bisa menahan daya yang lebih besar daripada resistor jenis gelang atau resistor warna. Dalam rangkaian terdapat *amperemeter* yang berfungsi untuk mengukur arus yang mengalir ke beban. Kemudian dalam rangkaian terdapat *voltmeter* yang berfungsi untuk mengukur tegangan beban. Dari pengukuran diperoleh data arus dan tegangan sesuai intensitas cahaya matahari. Mengolah data arus dan tegangan menjadi kurva arus-tegangan, sehingga dapat diketahui tegangan maksimum (V_m) dan arus maksimum (I_m). Mencari data daya dengan cara mengalikan antara arus dengan tegangan. Mengolah data daya dan tegangan menjadi kurva daya-tegangan, sehingga dapat diketahui daya maksimum (P_m).

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang dapat diperoleh dari hasil analisa dan pembahasan mengenai karakterisasi panel surya model SR-156P-100 berdasarkan intensitas cahaya matahari adalah sebagai berikut:

1. Kurva arus-tegangan berbentuk nonlinear. Semakin besar resistansi beban, maka tegangan beban akan semakin mendekati nilai tegangan hubung terbuka (V_{oc}) panel surya. Sedangkan semakin kecil resistansi beban, arus yang mengalir ke beban akan semakin mendekati arus hubung singkat (I_{sc}) panel surya.
2. Kurva daya-tegangan berbentuk nonlinear. Daya panel surya akan maksimum jika pada beban mengalir arus maksimum (I_m) dan memiliki tegangan maksimum (V_m). Penambahan beban yang memiliki resistansi (R) lebih kecil dari resistansi beban maksimum, maka daya akan meningkat mendekati nilai daya maksimum (P_m) panel surya. Sedangkan penambahan beban yang memiliki resistansi (R) lebih besar dari resistansi beban maksimum, maka daya akan menurun dari daya maksimum panel surya.

3. Panjang kabel listrik yang digunakan untuk menghubungkan panel surya dengan beban mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya. Semakin panjang kabel yang digunakan, maka daya maksimum panel surya akan mengalami penurunan. Penurunan daya maksimum untuk kenaikan panjang kabel sebesar 5 meter rata-rata adalah 5.61 W.
4. Kemiringan panel surya terhadap sudut datang cahaya matahari mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya. Daya maksimum meningkat dengan bertambahnya kemiringan sebesar 5° yaitu dari kemiringan panel surya 0° sampai 15° , kenaikan tersebut rata-rata sebesar 1.05 W. Daya maksimum menurun dengan bertambahnya kemiringan sebesar 5° yaitu dari kemiringan panel surya 15° sampai 30° , penurunan tersebut rata-rata sebesar 0.91 W.
5. Kondisi cuaca cerah atau mendung mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya. Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya yaitu 18.18 W pada saat kondisi cuaca mendung (200 W/m^2) sampai 78.85 W pada saat kondisi cuaca cerah 980 W/m^2 .

5.2 Saran

Untuk memaksimalkan kerja panel surya dapat dibuat alat yang bekerja secara otomatis mengatur kemiringan panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariswan. *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta. Hlm 2-3
- [2] Yuwono, Budi. 2005. *Optimalisasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler At89c51*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. Hlm 6-9
- [3] Khezzar, A., M. Zereg and R. Khezzar. *Comparative Study of Mathematical Methods for Parameters Calculation of Current Voltage Characteristic of Photovoltaic Module*. Algeria: Universite Hadj Lakhdar and Universite Mentouri. Hlm 24-25
- [4] Pandiarajan, N., and Ranganath Muthu. *Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink*. India: Departement of Electrical Engineering SSn College of Engineering Kalavakkam. Hlm 314-315
- [5] Pahlevi, Reza. 2014. *Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hlm 11-12
- [6] Setiyowati, Ernaning. *Teknologi Photovoltaic adalah Salah Satu Strategi Menciptakan Green Architecture*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Hlm 4
- [7] Anjarani, Karina, dan Satwiko Sidopekso. *Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta. Hlm 164

- [8] Wijaya, Zulnisyah Putra. 2015. *Perancangan Set Up Karakterisasi Panel Surya*. Tanjung Pinang: Universitas Maritim Raja Ali Haji. Hlm 7
- [9] Markova, D., M. Petkov and St. Platikanov. *Modelling of Electrical Characteristics of Photovoltaic Power Supply Sources*. Bulgaria: Technical University of Gabrovo. Hlm 172
- [10] Wibowo, Arymukti, Hadi Nasbey dan Satwiko Sidopekso. 2011. *Pengukuran I-V dengan Menggunakan Sun Simulator Sederhana*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta. Hlm 80
- [11] Setiono, Joko, dan Sunaryo. *Analisis Daya Listrik yang Dihasilkan Panel Surya Ukuran 216 cm x 121 cm Berdasarkan Intensitas Cahaya*. Pekanbaru: Universitas Muhammadiyah Riau. Hlm 30-32
- [12] Mulyono, Dwi. 2003. *Pengaruh Penambahan Reflektor terhadap Karakteristik Arus-Tegangan dan Efisiensi Sel Surya*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. Hlm xx-xxi
- [13] Sidopekso, Satwiko. *Uji Karakteristik Sel Surya pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catu Daya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta. Hlm 209