



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISA KARAKTERISTIK MODUL
FOTOVOLTAIK MENGGUNAKAN DATA HASIL
PENGUKURAN ARUS - TEGANGAN DENGAN
*SUN - SIMULATOR***

**HANDREW KHARISMA
NRP 02311340000069**

**Dosen Pembimbing:
Hardono Hadi, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 141581

**CHARACTERISTIC ANALYSIS OF
PHOTOVOLTAIK MODULE USING DATA
RESULT OF CURRENT - VOLTAGE
MEASUREMENT WITH *SUN - SIMULATOR***

HANDREW KHARISMA
NRP 02311340000069

Supervisors:
Hardono Hadi, Ph.D

Engineering Physics Department
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Handrew Kharisma
NRP : 02311340000069
Departemen : Teknik Fisika FTI – ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul ANALISA KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK MENGGUNAKAN DATA HASIL PENGUKURAN ARUS – TEGANGAN DENGAN *SUN – SIMULATOR* adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya

Surabaya, 20 Januari 2018
Yang membuat pernyataan



Handrew Kharisma
NRP. 02311340000069

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK
MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUKURAN ARUS –
TEGANGAN DENGAN *SUN – SIMULATOR***

Oleh :


Handrew Kharisma

NRP. 0231 13 40000 069

Surabaya, Januari 2018

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing



Harsono Hadi, Ph.D

NIP. 19600119 198611 1 001

Ketua Departemen

Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.

NIP. 19780902 200312 1 002

**ANALISA KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK
MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUKURAN ARUS –
TEGANGAN DENGAN *SUN – SIMULATOR***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Handrew Kharisma
NRP. 02311340000069

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Harsono Hadi, Ph.D (Pembimbing)
2. Ir. Roekmono, M.T (Ketua Penguji)
3. Agus Muhammad Hatta, S.T, Msi, Ph.D (Penguji I)
4. Gunawan, S.T, M.T (Penguji II)

**SURABAYA
JANUARI 2018**

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

ANALISA KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUKURAN ARUS – TEGANGAN DENGAN *SUN – SIMULATOR*

Nama Mahasiswa : Handrew Kharisma
NRP : 0231 13 40000 069
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Harsono Hadi, M.T, Ph.D.

Abstrak

Fotovltaik menghasilkan daya puncak (W_p) pada tegangan tertentu, Setiap sel pada Fotovoltaik dianggap memiliki performansi yang serupa, namun dalam proses pabrikasi, ada kemungkinan kecacatan dari sel pada modul Fotovoltaik sehingga mempengaruhi daya puncak Fotovoltaik. Pada tugas akhir ini, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai yang sebenarnya pada daya puncak Fotovoltaik yang diuji. Pengujian dilakukan secara indoor menggunakan *Sun-simulator* yang didapatkan kondisi yang mendekati ideal, terbebas dari kondisi cuaca yang fluktuatif dan dapat dilakukan kapanpun. Pada modul Fotovoltaik referensi dan modul uji didapatkan nilai I_{mpp} sebesar 0,775 Ampere dan V_{mpp} sebesar 16,3 Volt, Pada modul Fotovoltaik uji, melalui pengujian secara indoor dengan penyinaran menggunakan *Sun-Simulator* didapatkan nilai I_{mpp} sebesar 1,72 Ampere dan V_{mpp} sebesar 16,8 Volt. Daya maksimum (*Maksimum Power*) suatu modul referensi dan modul uji setelah diuji dengan *Sun-Simulator* didapatkan sebesar 12, 635 Watt dan 28, 9 Watt. Daya sebenarnya modul yang diuji diperoleh dengan cara membandingkan terhadap daya maksimum modul referensi didapatkan 121,79 Watt. Nilai daya yang didapatkan berbeda dengan nilai daya yang ada. pada spesifikasi alat, yaitu sebesar 100 watt. Sehingga dapat dikatakan, dengan pengujian didapatkan nilai yang sebenarnya dari daya modul Fotovoltaik yang akan diuji.

Kata kunci : Daya Puncak (W_p), Sun-Simulator, Modul Referensi, Modul uji

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

CHARACTERISTIC ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIK MODULE USING DATA RESULT OF CURRENT - VOLTAGE MEASUREMENT WITH SUN - SIMULATOR

Name : *Handrew Kharisma*
Student ID : *0231 13 40000 069*
Department : *Teknik Fisika FTI-ITS*
Supervisors : *Ir. Harsono Hadi, M.T, Ph.D.*

Abstract

Photovoltaics produce peak power (W_p) at a certain voltage, Each cell in a photovoltaic has similar performance, but in the manufacturing process, there is a possibility of cell defects in the photovoltaic module that affecting the photovoltaic peak power. In this final project, a test is conducted to find out what is true at the peak power of the photovoltaic being tested. The test is done indoors using a solar Sun-Simulator obtained ideal near conditions, free from fluctuating weather conditions and can be done anytime. In the reference photovoltaic module and test module obtained 0.775 Ampere and V_{mpp} impedance of 16.3 Volts, In photovoltaic module test, through indoor testing with radiation using Sun-Simulator obtained by Impression 1.72 Ampere and V_{mpp} of 16.8 Volt. Maximum Power (Maximum Power) of a reference module and test module after tested with a sun simulator of 12, 635 watts and 28, 9 watts. The actual power of the module tested by comparing with the maximum power of the reference module yields 121.79 Watts. The existing power value is different from the power available in the equipment specification, which is 100 Watts. That is to say, with the correct test of the power of the photovoltaic module to be tested.

Keywords : *Peak Power (W_p), Sun-Simulator, Reference Module, Module tested*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah dipanjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA “ANALISA KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK MENGGUNAKAN DATA HASIL PENGUKURAN ARUS – TEGANGAN DENGAN SUN – SIMULATOR”**

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah berperan dalam penulisan ini, diantaranya:

1. Ibu Karya Mukti, S.E. dan Bapak Isman, S.E., selaku orang tua yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada penulis
2. Bapak Agus Muhammad Hatta, Ph.D selaku ketua Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Bapak Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan membimbing penulis dengan baik.
4. Bapak Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.
5. Serta seluruh pihak yang telah banyak membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran serta kritik yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bentuk introspeksi. Semoga laporan ini dapat menjadi manfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi mahasiswa yang akan melaksanakan penelitian serupa.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER.....	iii
PENYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	viii
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
 BAB 1 PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Laporan.....	5
 BAB II DASAR TEORI.....	 7
2.1 Fotovoltaik.....	7
2.1.1 Pengertian.....	7
2.1.2 Efek Fotolistrik.....	8
2.1.3 Prinsip Kerja Fotovoltaik.....	9
2.1.4 Kuantum Efisiensi Sel-Surya.....	12
2.2 <i>Load-Simulator</i>	14
2.3 <i>Sun-Simulator</i>	15
2.4 Pengukuran Data.....	21
2.4.1 Diagram Blok Pengukuran.....	21
2.4.2 Pengukuran Tegangan.....	22
2.4.3 Pengukuran Arus.....	23
2.4.4 National Instruments PCI-6036 E	24
2.4.5 Labwindows/CVI.....	26
2.5 Perbandingan Daya referensi dan Daya uji.....	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 <i>Hardware</i> Penelitian	32
3.2.1 Modul Fotovoltaik Referensi.....	32
3.2.2 Modul Fotovoltaik Uji.....	33
3.2.3 <i>Sun-Simulator</i>	33
3.2.4 <i>Load-Simulator</i>	35
3.2.5 Sistem Pengukuran I-V.....	36
3.3 Pembuatan Program pada Labwindows/CVI	37
3.4 Analisa Data.....	40
 BAB IV ANALISA DATA.....	 41
4.1 Analisa Data.....	41
4.1.1 Hasil Rancang Bangun Sistem.....	41
4.1.2 Hasil Pengujian.....	43
 BAB V PENUTUP.....	 57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
 DAFTAR PUSTAKA.....	 59
LAMPIRAN A.....	60
LAMPIRAN B.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Efek Fotolistrik	8
Gambar 2.2	Pita energi bahan konduktor, semikonduktor dan isolator.....	9
Gambar 2.3	semikonduktor <i>tipe-n</i> (kiri), <i>tipe-p</i> (kanan).....	10
Gambar 2.4	p-n junction.....	10
Gambar 2.5	Prinsip Kerja Fotovoltaic.....	11
Gambar 2.6	Proses Irradiasi Fotovoltaik.....	12
Gambar 2.7	Grafik Quantum-Efisiensi terhadap panjang gelombang berbagai jenis sel-surya.....	13
Gambar 2.8	Rangkaian Pembebanan Fotovoltaik.....	14
Gambar 2.9	Kurva I-V dan P-V modul Fotovoltaik.....	14
Gambar 2.10	rangkaian <i>Load-Simulator</i> dengan Transistor.....	15
Gambar 2.11	Spektrum Cahaya Matahari.....	15
Gambar 2.12	Contoh Sun Simulator.....	16
Gambar 2.13	Distribusi Spektrum berbagai jenis lampu.....	18
Gambar 2.14	Rangkaian pengukuran Arus dan Tegangan modul Fotovoltaik.....	21
Gambar 2.15	Diagram Blok Sistem Pengukuran.....	22
Gambar 2.16	Rangkaian Pembagi tegangan.....	23
Gambar 2.17	Rangkaian Pengondisian Arus.....	24
Gambar 2.18	<i>National Instruments</i> PCI-6036 E.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3.2	Sketsa Sun-simulator.....	34
Gambar 3.3	Rangkaian <i>Load-Simulator</i>	35
Gambar 3.4	Diagram Blok Sistem Pengukuran.....	36
Gambar 3.5	Rangkaian Pembaca Tegangan dan Arus.....	36
Gambar 3.6	Halaman Kerja Labwindows/CVI.....	37
Gambar 3.7	Pembuatan <i>User Interface</i>	38
Gambar 3.8	Pembuatan <i>Source Code</i>	38
Gambar 3.9	Tampilan User Interface.....	39
Gambar 3.10	<i>Interface</i> Hasil data pengukuran.....	39

Gambar 4.1	Sun-Simulator kondisi menyala.....	41
Gambar 4.2	Susunan Lampu Sun-simulator.....	41
Gambar 4.3	Skema Sistem.....	42
Gambar 4.4	<i>User Interface</i> Labwindows/CVI.....	42
Gambar 4.5	<i>User Interface</i> Labwindows/CVI.....	43
Gambar 4.6	Kurva I –V modul referensi 50 Wp.....	48
Gambar 4.7	Kurva P – V modul referensi 50 Wp.....	49
Gambar 4.8	Kurva I –V modul uji 100 Wp.....	53
Gambar 4.9	Kurva I –V modul uji 100 Wp.....	54
Gambar 4.10	Kurva I –V modul uji dan Kurva I – V modul referensi.....	55
Gambar 4.11	Kurva P –V modul uji dan Kurva P – V modul referensi.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kelas Sun-Simulator.....	17
Tabel 2.2	Distribusi Spektrum berbagai jenis lampu.....	17
Tabel 4.1	Tabel hasil pengukuran modul Fotovoltaik referensi 50 Wp menggunakan Sun-simulato....	44
Tabel 4.2	Tabel hasil pengukuran modul Fotovoltaik uji 100 Wp menggunakan Sun-simulator.....	49

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peradaban dunia saat ini tumbuh dan bergerak dengan sangat cepat, terbukti dengan tumbuhnya berbagai industri, pabrik, pembangkit energi, berbagai lembaga pemerintah serta lembaga ilmiah yang mana sebagian besar masih menggunakan sumber energi tak terbarukan, seperti minyak bumi dan batu bara. Sumber energi tersebut mahal dan terbatas yang mana lama-kelamaan akan habis, namun juga menimbulkan masalah pencemaran udara dalam penggunaannya maupun dalam proses produksinya, seperti CO₂, CFC dan gas berbahaya lainnya. Sumber energi terbarukan akan menjadi solusi terbaik untuk mengatasi masalah tersebut (Wadud & Zaman, 2013).

Salah satu sumber energi terbarukan tersebut adalah Fotovoltaik. Fotovoltaik terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta* yang mana kata *photo* berasal dari bahasa Yunani (*phos*) yang berarti cahaya dan kata *volta* berasal dari nama seorang ilmuwan Italia yaitu Alessandro Volta yang namanya diabadikan sebagai satuan unit dari listrik, yaitu *Voltage* yang berarti tegangan. Istilah Fotovoltaik dapat diartikan konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. Fotovoltaik biasa disingkat menjadi PV (Quaschnig, 2005).

Fotovoltaik biasa dikemas menjadi suatu modul yang terdiri dari beberapa solar-sel yang mana di instal secara seri dan paralel dalam satu bingkai. Untuk melindungi sel surya dari air, goresan, kelembapan serta panas, sel surya diletakkan secara enkapsulasi dengan satu atau dua lapis kaca. Energi listrik yang dihasilkan dari sel surya berupa listrik DC (direct current). Dalam mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, Fotovoltaik memiliki performansi yang tergantung pada efisiensinya. Efisiensi maksimum dari modul mono-crystal silicon berkisar 15% dan 12 % dari modul poly-crystal Silicon. Karena tingkat efisiensi yang rendah, dibutuhkan beberapa modul Fotovoltaik untuk memenuhi kebutuhan akan energi (Quaschnig, 2005).

Dengan tumbuhnya sektor dibidang pembangkit energi terutama sumber energi terbarukan, yaitu Fotovoltaik, maka permintaan akan modul Fotovoltaik menjadi tinggi. Melihat akan permintaan yang tinggi tersebut menuntut untuk terciptanya banyak industri yang bergerak dalam bidang energi, dalam hal ini pabrik modul Fotovoltaik. Disamping itu permintaan yang tinggi menuntut pabrik modul Fotovoltaik untuk memproduksi lebih banyak dan lebih cepat modul Fotovoltaik.

Salah satu bagian dari proses produksi pada pabrik Fotovoltaik yaitu bagian pengujian (*testing*). Sebelum di distribusikan kepada masyarakat, Fotovoltaik yang telah diproduksi perlu menjalani pengujian, untuk mengetahui apakah modul yang telah diproduksi dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Pengujian modul Fotovoltaik dilakukan dengan cara membebani dengan modul Fotovoltaik dengan *Load-Simulator* dengan variasi beban dari keadaan minimum hingga maksimum dikontrol oleh sebuah komputer dan dilakukan penyinaran dengan menggunakan *Sun-Simulator* sehingga didapatkan karakteristik dari modul Fotovoltaik tersebut yang diuji. Hasil pengujian yang sering diambil berupa daya puncak (W_p), Arus saat daya puncak (I_{mpp}), tegangan saat daya puncak (V_{mpp}), open circuit Voltage (V_{oc}) dan short circuit current (I_{sc}). Tuntutan untuk memproduksi lebih banyak dan lebih cepat modul Fotovoltaik, membuat proses pengujian modul Fotovoltaik juga harus dilakukan dengan cepat agar produksi berjalan lancar sehingga permintaan akan modul Fotovoltaik dapat terpenuhi.

Modul Fotovoltaik, dalam proses produksinya memungkinkan adanya kecacatan yang dapat terjadi pada salah satu atau beberapa sel-surya didalam modul Fotovoltaik. Sehingga modul Fotovoltaik yang telah diproduksi akan memiliki unjuk kerja yang berbeda-beda. Dalam proses pengujian modul Fotovoltaik diberlakukan nilai toleransi terhadap unjuk kerja modul Fotovoltaik akibat unjuk kerja yang berbeda beda, apabila modul Fotovoltaik tidak diberi nilai toleransi pada nilai unjuk kerjanya, maka pabrik Fotovoltaik akan merugi akibat banyaknya modul yang tidak sesuai unjuk kerjanya sesuai standart yang telah ditetapkan. Nilai unjuk kerja

modul Fotovoltaik yang mana masih dalam batas toleransi, akan didekati dengan nilai unjuk kerja standart yang telah ditetapkan. Sehingga nilai dari unjuk kerja dari modul Fotovoltaik yang telah diuji selama masih dalam batas toleransi akan dianggap memiliki nilai unjuk kerja sama antara modul Fotovoltaik yang satu dengan yang lainnya.

Dalam penelitian Tugas-Akhir ini, kami ingin mengetahui nilai unjuk kerja yang sesungguhnya dari suatu modul Fotovoltaik yang telah dipasarkan kepada masyarakat dibandingkan dengan nilai unjuk kerja yang terdapat pada label spesifikasi yang ditempelkan pada modul Fotovoltaik. Pengujian nantinya akan dilakukan dengan cara membebani dengan modul Fotovoltaik dengan *Load-Simulator* dengan variasi beban dari keadaan minimum hingga maksimum dan dilakukan penyinaran dengan menggunakan *Sun-Simulator* dengan melakukan pengujian secara *Indoor*. *Sun-Simulator* dapat digunakan dan sangat membantu dalam pengujian solar-sel dan modul Fotovoltaik melalui kondisi pengujian *Indoor* yang terkendali. *Sun-Simulator* merupakan suatu alat atau komponen penghasil cahaya yang menyediakan pencahayaan yang mendekati pencahayaan sinar matahari. Dengan menggunakan *Sun-Simulator*, pengujian unjuk kerja modul Fotovoltaik setiap waktu dapat dilakukan bahkan dapat dilakukan secara terus menerus selama 24 jam sehari di dalam kondisi lingkungan yang diinginkan dan terkendali (Shatat & Riffat, 2013).

Cahaya yang dihasilkan oleh *Sun-Simulator*, memiliki spektrum cahaya yang tidak sama dengan spektrum cahaya matahari. Sehingga nilai unjuk kerja yang didapatkan akan berbeda dengan nilai unjuk kerja yang didapatkan dengan penyinaran melalui cahaya matahari langsung. Maka dari itu akan digunakan sebuah modul referensi yang mana telah diketahui nilai unjuk kerjanya yang sesungguhnya sebelumnya melalui pengujian dengan penyinaran menggunakan cahaya matahari langsung. Modul referensi dan modul yang akan diuji akan disinari dengan *Sun-Simulator* dengan menggunakan *Sun-Simulator* yang sama. Untuk mengetahui nilai unjuk kerja yang sesungguhnya dari modul uji, maka akan dibandingkan antara unjuk kerja modul referensi

dan modul uji dan kemudian dikalikan dengan nilai unjuk kerja yang sesungguhnya dari modul referensi. Nilai unjuk kerja yang cukup mudah untuk digunkana adalah dengan menggunakan nilai daya puncak (W_p) dari modul referensi maupun modul uji.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, didapatkan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik berupa kurva I-V modul Fotovoltaik referensi menggunakan *Sun-Simulator*?
2. Bagaimanakah karakteristik kurva I-V modul Fotovoltaik yang diuji menggunakan *Sun-Simulator*?
3. Berapa besar Daya maksimum (W_p) modul referensi?
4. Berapa besar Daya maksimum (W_p) modul yang diuji dengan cara membandingkan terhadap daya maksimum modul referensi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan pada sub-bab sebelumnya, tujuan dari pengerjaan tugas-akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik berupa kurva I-V modul Fotovoltaik referensi menggunakan *Sun-Simulator*.
2. Mengetahui karakteristik berupa kurva I-V modul Fotovoltaik yang diuji menggunakan *Sun-Simulator*.
3. Mengetahui seberapa besar Daya maksimum (Maksimum Power) suatu modul referensi.
4. Mengetahui seberapa besar Daya maksimum (Maksimum Power) suatu modul yang diuji.
5. Mengetahui seberapa besar Daya sebenarnya modul yang diuji dengan cara membandingkan terhadap daya maksimum modul referensi.

1.4 Batasan Masalah

Agar tujuan dari tugas-akhir bisa terlaksana, maka harus diberikan batasan-batasan masalah yang diangkat dalam pengerjaan tugas-akhir ini sebagai berikut:

1. Modul Fotovoltaik yang diteliti jenis polikristalin.
2. Modul Fotovoltaik yang diteliti minimal dua buah, satu modul referensi dan yang lain modul yang diuji.
3. *Sun-Simulator* berfungsi sebagai sumber cahaya yang bisa menggantikan sinar matahari.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas-akhir ini dibagi dalam 5 Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab I berisi latar-belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab II berisi secara singkat teori penunjang yang berkaitan dengan penelitian ini. Teori penunjang tersebut antara lain Fotovoltaik, *Sun-Simulator*, *Load-Simulator*, perbandingan daya modul referensi dengan daya modul yang diuji dan *measuring data*.

Bab III Metodologi

Bab III berisi tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Bab ini menyajikan tahapan pengujian modul photovoltaik ,simulasi mulai pembuatan hardware, pembuatan software dan pengambilan data pengukuran.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV berisi analisa data dan pembahasan hasil pengukuran nilai I-V modul referensi dan modul yang diuji menggunakan Sun simulator serta daya yang diperoleh dari modul referensi dan modul yang diuji yang selanjutnya akan dibandingkan

untuk mengetahui nilai sebenarnya dari nilai W_p dari modul yang diuji.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian dan pembahasan yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Bab ini berisikan juga saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Fotovoltaik

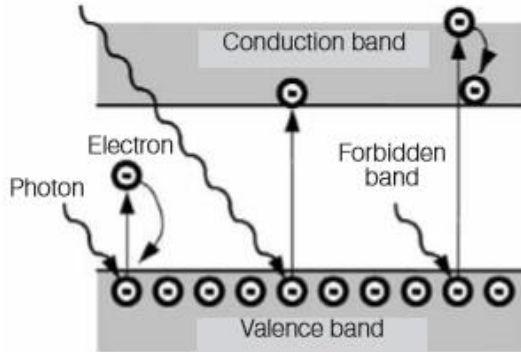
2.1.1 Pengertian

Fotovoltaik terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta* yang mana kata *photo* berasal dari bahasa Yunani (*phos*) yang berarti cahaya dan kata *volta* berasal dari nama seorang ilmuwan Italia yaitu Alessandro Volta yang namanya diabadikan sebagai satuan unit dari listrik, yaitu *Voltage* yang berarti tegangan. Istilah Fotovoltaik dapat diartikan konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. Fotovoltaik biasa disingkat menjadi PV (Quaschnig, 2005).

Perkembangan dari Fotovoltaik dimulai dari tahun 1839, dimana pada saat itu ditemukan efek Fotolistrik oleh Becquerel. Namun pada saat itu teknologi yang ada tidak tersedia untuk pengembangan lebih jauh. Pengembangan lebih jauh dimulai 100 tahun setelahnya setelah Shockley mengembangkan model dari p-n junction. Efisiensi dari Fotovoltaik saat itu hanya masih sekitar 5%. Saat itu biaya dari produksi tidak menjadi suatu permasalahan karena pada saat itu Fotovoltaik dibutuhkan sebagai sumber tenaga untuk aplikasi luar angkasa. Dengan berjalannya waktu, pengembangan sel surya terus dilakukan, sehingga didapatkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi. Material yang digunakan masih silikon, namun juga dikembangkan pula material lain untuk mengurangi biaya pembuatan dan mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi (Quaschnig, 2005).

Penggunaan Fotovoltaik sebagai sumber energi memiliki keuntungan pada tingkat fleksibilitas yang tinggi. Mulai dari sumber energi untuk kalkulator hingga sumber energi yang mencapai satuan MegaWatt. Secara teoritis, sistem Fotovoltaik dapat menutupi sebagian besar kebutuhan energi dunia.

2.1.2 Efek Fotolistrik



Gambar 2.1 : Efek Fotolistrik

Cahaya dengan energi fotonnya, menyediakan energi yang cukup untuk menindahkan elektron ke orbit yang lebih tinggi.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.1)$$

Dimana :

E = energi Foton (Joule)

h = konstanta Plank ($h = 6,626070040 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

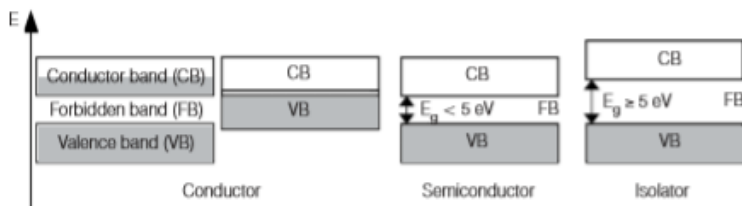
c = kecepatan cahaya ($c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

λ = panjang gelombang cahaya (nm)

Ada dua jenis Efek Fotolistrik, Eksternal Fotolistrik dan Internal Fotolistrik. Eksternal Fotolistrik merupakan pelepasan electron dari nukleus oleh foton, Internal Fotolistrik merupakan perpindahan electron dari pita valensi menuju pita konduksi oleh foton. Karena Fotovoltaik utamanya mengkonversi listrik dari foton pada spektrum cahaya tampak, ultraviolet dan inframerah, Internal Fotolistrik lebih sesuai dengan operasi pada Fotovoltaik. Pada model pita energi, terdapat dua pita energi, yaitu pita valensi dan pita konduksi. Elektron lebih banyak berada tingkat energi yang lebih rendah yaitu pada pita valensi dan hampir tidak

ada elektron pada pita yang lebih tinggi yaitu pita konduksi. Jarak antara pita valensi dan pita konduksi dikenal dengan *band gap* (Quaschnig, 2005).

Benda padat dibagi menjadi tiga jenis menurut daya hantar listriknya yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor tergantung dari susunan dan kedudukan dari pita energi. Tahanan listrik spesifik dari bahan konduktor sangat rendah ($\rho < 10^{-5} \Omega \text{ m}$). Kebanyakan bahan konduktor adalah logam. Tahanan listrik spesifik dari bahan isolator sangat tinggi ($\rho > 10^7 \Omega \text{ m}$). Pada bahan isolator pita konduksi sepenuhnya kosong dan membutuhkan energi yang sangat tinggi untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Bahan semikonduktor sangat relevan untuk digunakan pada Fotovoltaik, yang mana bahan semikonduktor memiliki tahanan listrik spesifik antara $10^{-5} \Omega \text{ m}$ dan $10^7 \Omega \text{ m}$. Pada pita konduksi bahan semikonduktor cenderung kosong dari elektron, bagaimanapun elektron mudah berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi (Quaschnig, 2005).

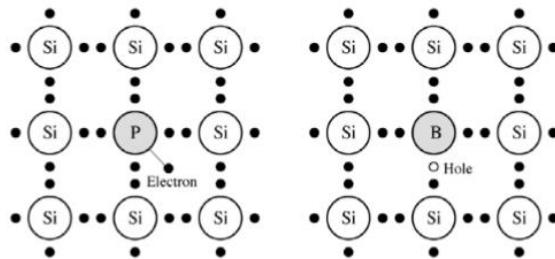


Gambar 2.2 : Pita energi bahan konduktor, semikonduktor dan isolator (Quaschnig, 2005).

2.1.3 Prinsip Kerja Fotovoltaik

Fotovoltaik tersusun atas bahan semikonduktor. Silikon merupakan material semikonduktor yang berada pada golongan IV pada tabel periodik yang mana silikon memiliki empat buah elektron bebas. Fotovoltaik merupakan sebuah *p-n junction* (sambungan p-n) semikonduktor. *p-n junction* tersusun atas semikonduktor *tipe-p* dan semikonduktor *tipe-n*. Semikonduktor *tipe-p* merupakan semikonduktor yang berikatan dengan atom atom pada golongan 3, yang mana memiliki lebih sedikit elektron

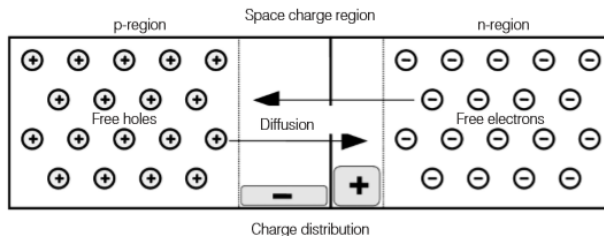
daripada atom atom pada golongan 4, kekurangan electron ini dikenal dengan *hole*. Semikonduktor *tipe-n* merupakan semikonduktor yang berikatan dengan atom atom pada golongan 5, yang mana memiliki lebih banyak electron daripada atom atom pada golongan 4, oleh karena itu pada tipe-n, terjadi kelebihan electron Gambar 2.2 menunjukkan semikonduktor *tipe-p* dan semikonduktor *tipe-n* (Quaschnig, 2005).



Gambar 2.3 : semikonduktor *tipe-n* (kiri), *tipe-p* (kanan) (Quaschnig, 2005).

Tampak pada gambar 2.3, gambar sebelah kiri menunjukkan semikonduktor *tipe-n* (kelebihan electron) akibat atom silikon (golongan IV) berikatan dengan atom fosfor (V). Gambar sebelah kanan menunjukkan semikonduktor *tipe-p* (kekurangan electron) akibat atom silikon (golongan IV) berikatan dengan atom boron (III) sehingga membentuk hole.

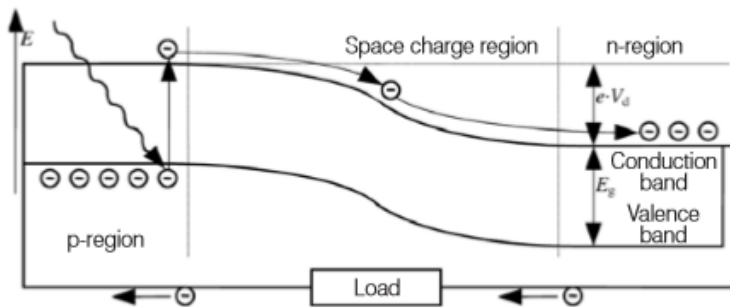
Apabila semikonduktor *tipe-p* dan *tipe-n* di sambung, maka akan terbentuk sambungan p-n atau lebih dikenal dengan *p-n junction*, tampak pada gambar 2.4



Gambar 2.4 : p-n junction (Quaschnig, 2005).

Pada *p-n junction*, electron akan mudah berdifusi melewati daerah hampa dari *tipe-n* menuju *tipe-p* untuk berekombinasi dengan hole saat diberi arus listrik. Elektron yang mengalir melalui daerah hampa akan melepaskan sebagian energinya dalam bentuk foton, saat berekombinasi dengan *hole*, peristiwa ini dapat kita lihat pada lampu LED.

Pada Fotovoltaic, saat sambungan atau daerah hampa diberi penyinaran atau diberi foton, maka akan terjadi peristiwa perubahan energi cahaya (foton) menjadi energi listrik seperti pada gambar 2.5 berikut ini :

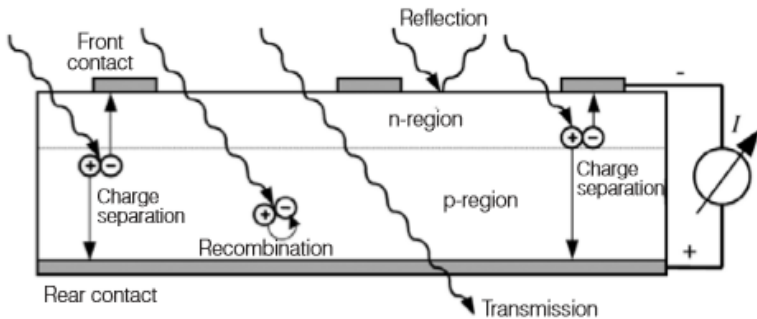


Gambar 2.5 : Prinsip Kerja Fotovoltaic (Quaschnig, 2005).

Pada gambar 2.5, foton memindahkan elektron pada *tipe-p* pada pita valensi menuju pita konduksi melewati *band gap*, peristiwa ini dikenal dengan efek fotolistrik seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Elektron yang telah dipindahkan menuju pita konduksi pada *tipe-p*, kemudian mengalir menuju pita konduksi tipe n karena tingkat energi pada *tipe-n* lebih rendah dari *tipe-p*. Dengan terjadinya perpindahan elektron, maka terbentuklah arus listrik (Quaschnig, 2005).

Foton dengan energi yang lebih rendah dari *band gap*, tidak akan memindahkan elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Foton dengan energi yang lebih besar dari *band gap* akan dapat memindahkan elektron dari pita valensi menuju pita

konduksi, kelebihan energi akan hilang karena elektron. Namun tidak semua energi dari foton dengan panjang gelombang mendekati *band gap* diubah menjadi listrik. Permukaan dari Fotovoltaik memantulkan sebagian cahaya yang datang menuju Fotovoltaik, sebagian lagi ditransmisikan menembus Fotovoltaik sehingga hanya sebagian kecil saja yang diubah menjadi energi listrik. Selain itu elektron dapat berekombinasi dengan *hole*, sehingga sebagian dari elektron tidak berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi, tetapi kembali lagi menuju pita valensi. Peristiwa tersebut digambarkan pada gambar 2.6 (Quaschnig, 2005).



Gambar 2.6 : Proses Irradiasi Fotovoltaik (Quaschnig, 2005).

2.1.4 Kuantum Efisiensi Sel-Surya

Sel-Surya hanya dapat mengkonversi sebagian dari energi foton yang memiliki nilai yang sama dengan *band gap* atau lebih besar dengan panjang gelombang yang lebih rendah untuk menjadi arus listrik. Energi foton yang memiliki energi yang lebih kecil dari *band gap*, energi foton tersebut tidak akan mampu memindahkan electron yang berada pada pita valensi menuju pita konduksi. Kelebihan energi dari energi foton yang dibutuhkan yang melalui kristal Sel-Surya akan diubah menjadi panas. Oleh karena itu energi yang digunakan tergantung dari panjang gelombang dan *band gap*.

Efisiensi pengumpulan kuantum eksternal merupakan kemungkinan suatu foton menjadi pasangan electron-hole. Hal ini terkait erat dengan respon spektral dari Fotovoltaik, yang

merupakan ukuran dari energi yang diubah menjadi pembawa muatan (Quaschning, 2005). Dalam Fotovoltaik, respon spektral $S(\lambda)$ dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$S(\lambda) = \frac{e \cdot \lambda}{h \cdot c} \cdot \eta_{\text{ext}}(\lambda) = \frac{\lambda}{1,24 \text{ } \mu\text{m}} \cdot \frac{A}{W} \cdot \eta_{\text{ext}}(\lambda) \quad (2.2)$$

Dimana :

e = muatan elektron ($e = 1,60217662 \cdot 10^{-19}$ Coulomb)

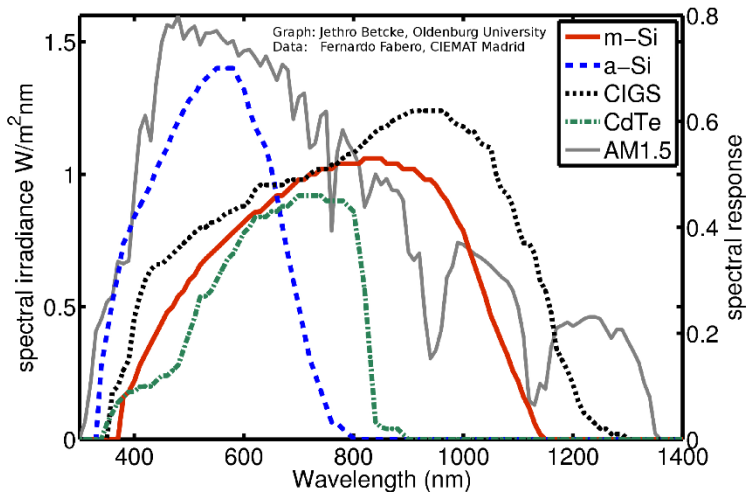
h = konstanta Plank ($h = 6,626070040 \cdot 10^{-34}$ J•s)

c = kecepatan cahaya ($c = 2.99792458 \cdot 10^8$ m/s)

λ = panjang gelombang cahaya (nm)

η_{ext} = efisiensi pengumpulan kuantum eksternal

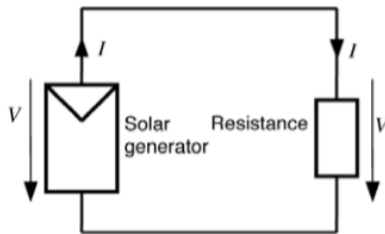
Respon spektral dari beberapa jenis teknologi kristal yang digunakan pada modul Fotovoltaik dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 : Grafik Quantum-Efisiensi terhadap panjang gelombang berbagai jenis sel-surya (Betcke, 2018)

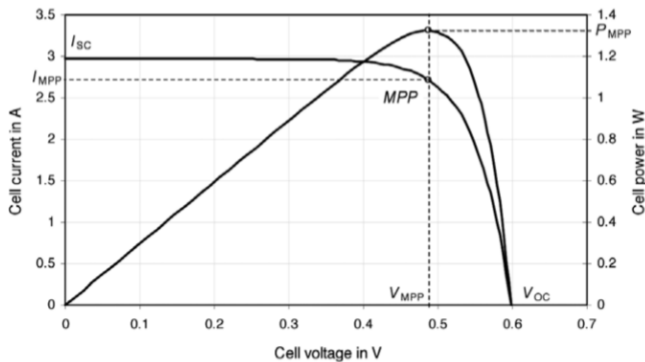
2.2 Load-Simulator

Untuk mengetahui karakteristik dari modul Fotovoltaik berupa kurva I-V dan kurva P-V maka modul Fotovoltaik perlu disinari baik menggunakan cahaya matahari maupun *Sun-Simulator* serta diberi beban. Untuk mendapat kurva karakteristik, modul Fotovoltaik diberi beban mulai dari nol kemudian diubah sedikit demi sedikit sampai pada beban maksimum yaitu tak hingga.



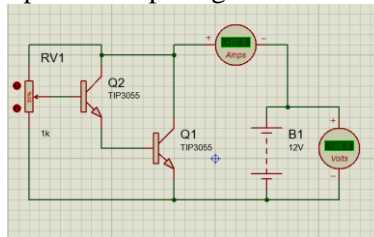
Gambar 2.8 : Rangkaian Pembebanan Fotovoltaik (Quaschnig, 2005).

Pembebanan yang dilakukan menggunakan *Load-Simulator* yang berfungsi untuk mengubah nilai tahanan listrik dari nilai nol hingga tak hingga. *Load-Simulator* yang biasa digunakan berupa variabel resistor maupun *DC Electronic Load*. Untuk mendapatkan pengukuran yang cukup cepat dan akurat, pembebanan yang sesuai dapat menggunakan *DC Electronic Load*.



Gambar 2.9 : Kurva I-V dan P-V modul Fotovoltaik (Quaschnig, 2005).

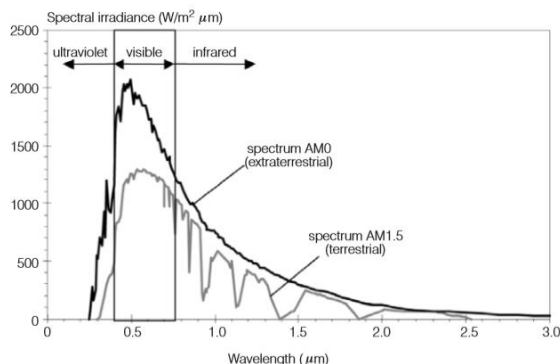
DC Electronic Load yang cukup mudah digunakan yaitu menggunakan Transistor. Transistor dapat berfungsi sebagai variabel resistor. Ketika base – emitter pada transistor dialiri arus, maka arus dari collector akan mengalir ke emitter, semakin besar arus yang melalui base – emitter, semakin besar pula arus yang mengalir melalui collector ke emitter. Sehingga transistor dapat digunakan sebagai tahanan variabel resistor. Skema Rangkaian dari Load Simulator dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini



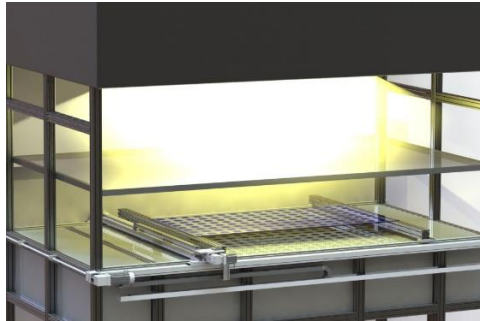
Gambar 2.10 : rangkaian *Load-Simulator* dengan Transistor

2.3 Sun-Simulator

Sun-Simulator (juga dikenal sebagai sinar matahari buatan) merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk memberikan suatu pencahayaan atau illuminasi dengan distribusi spectrum pencahayaan yang mendekati distribusi spektrum dari sinar matahari alami (Wang, 2014). Spektrum cahaya matahari dapat dilihat pada gambar 2.11, Gambar 2.12 menunjukkan contoh dari Sun-simulator



Gambar 2.11 : Spektrum Cahaya Matahari (Quaschnig, 2005).



Gambar 2.12 : Contoh Sun Simulator (Projects of Solar Energy, 2018)

Sebuah *Sun-Simulator* biasanya terdiri atas tiga komponen utama, yaitu sumber cahaya dan power suplai yang memadai, peralatan optik dan filter yang digunakan untuk mengkondisikan berkas sinar yang dihasilkan oleh *Sun-Simulator* sesuai dengan kelas Sun-simulator yang digunakan dan beberapa komponen pengendali untuk mengoperasikan *Sun-Simulator*, mengatur tingkat irradiasi yang diinginkan dan sebagainya (Standard Specification for Solar Simulation for Photovoltaic Testing, 2005).

Sun-Simulator dibagi menjadi tiga kelas, yaitu kelas A, kelas B dan kelas C dengan kategori tiap kelas yaitu kecocokan spektral, spasial tak seragam, dan ketidakstabilan temporal. *Sun-Simulator* yang digunakan bisa jadi salah satu dari ketiga kelas tersebut. Setiap Sun simulator memiliki kelas yang berbeda beda berdasarkan kebutuhannya, misal kelas ABA, ABC dan sebagainya berdasarkan kecocokan spektral, spasial takseragam, dan ketidakstabilan temporal. Apabila *Sun-Simulator* memiliki kebutuhan yang sama, misal AAA, atau BBB, atau CCC, cukup dapat diwakili dengan salah satu huruf saja, misal *Sun-Simulator* kelas-A, *Sun-Simulator* kelas-B dan *Sun-Simulator* kelas-C (Standard Specification for Solar Simulation for Photovoltaic Testing, 2005). Tabel 2.1 menunjukkan kelas dari sebuah *Sun-simulator*

Tabel 2.1 : Kelas *Sun-simulator* (Standard Specification for Solar Simulation for Photovoltaic Testing, 2005)

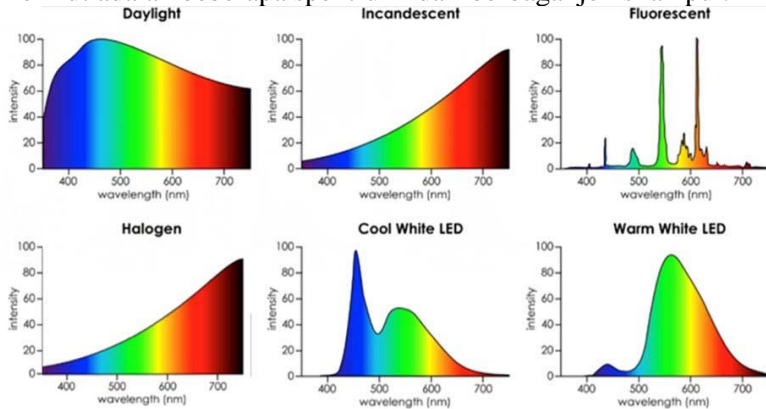
Classification	Characteristics		
	Spectral Match to all Intervals	Spatial Non-uniformity of Irradiance	Temporal Instability of Irradiance
Class A	0.75 to 1.25	2 %	2 %
Class B	0.6 to 1.4	5 %	5 %
Class C	0.4 to 2.0	10 %	10 %

Dalam penggunaannya, *Sun-Simulator* dibagi menjadi tiga fungsi utama yaitu *Sun-Simulator* untuk menyinari ruangan, *Sun-Simulator* untuk pengujian sel dari Fotovoltaik secara terestrial dan juga berfungsi sebagai sumber cahaya dengan skala besar untuk pengujian *solar-collector*. Beberapa jenis lampu digunakan sebagai sumber cahaya diantaranya adalah lampu Carbon arc, lampu Quartz tungsten halogen, lampu Mercury xenon, lampu Xenon arc, lampu metal Metal halida arc, lampu Light-emitting diode (LED). Berikut adalah perbandingan dari distribusi spektrum dari masing masing lampu tersebut :

Tabel 2.2 : Distribusi Spektrum berbagai jenis lampu (Wang, 2014)

Wavelength Band (nm)	AM-2 (ASHRAE)	CSI Lamp (CSIRO) (% of energy)	Tungsten Lamp (NASA Lewis Sim.) (% of energy)	Filtered XENON Lamp (% of energy)	ASHRAE Requirements for Solar Simulator (% of energy)
300-400	2.7	0.9 a)	0.3	6.0	2.3-3.1
400-700	44.4	47.3	48.3	45.6	40.4-48.4
700-1000	28.6	19.2	51.3	19.4	27.7-29.5
>1000	24.3	32.6 b)		29.0 b)	21.9-26.7
a) >370 nm only		b)<2490 nm			

Berikut adalah beberapa spektrum dari berbagai jenis lampu :



Gambar 2.13 : Distribusi Spektrum berbagai jenis lampu (Lam, 2018).

Sun-simulator dapat digunakan dan sangat membantu dalam pengujian Fotovoltaik melalui kondisi pengujian *indoor* yang terkendali. *Sun-Simulator* merupakan suatu alat atau komponen penghasil cahaya yang menyediakan pencahayaan yang mendekati pencahayaan dari sinar matahari. Dengan menggunakan solar simulator, pengujian performansi dari Fotovoltaik kapan pun sesuai waktu yang diinginkan, terus menerus selama 24 jam sehari di dalam kondisi lingkungan yang terkendali dan mendekati ideal sehingga terhindar dari kondisi lingkungan luar dan cuaca yang tidak menentu (Irwan, 2015).

Sun-Simulator, dalam penggunaannya sebagai sumber cahaya untuk menyinari Fotovoltaik dalam pengujian *indoor*, perlu diketahui respon spektrum dari modul Fotovoltaik yang akan digunakan sesuai jenis teknologi sel yang digunakan gambar 2.7 menunjukkan respon spektral dari berbagai jenis teknologi sel-surya.

Lampu merupakan sumber cahaya buatan (*artificial light*) dimana merubah Daya listrik (Watt) menjadi Daya lampu (Lumen). Ukuran seberapa baik sebuah lampu mampu merubah Daya listrik (Watt) menjadi Daya lampu (Lumen) disebut efikasi

Lumen. memiliki efikasi lumen. Efikasi lumen merupakan rasio Daya lampu (Lumen) dibandingkan dengan Daya listrik (Watt). Persamaan efikasi lumen dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$\eta = \frac{lm}{W} \quad (2.3)$$

Dimana :

η = efikasi lumen (Lumen/Watt)

lm = daya lampu (lumen)

W = daya listrik (Watt)

Cahaya dari lampu akan menyebar ke berbagai arah, setiap permukaan dari benda atau objek yang tersinari akan memperoleh daya lampu yang sama pada tiap luasannya, semakin luas area yang perlu disinari, maka semakin kecil tingkat penerangan dari lampu tersebut. Penerangan dari lampu dikenal dengan Lux yang mana persamaannya ditulis dalam persamaan 2.4.

$$Lux = \frac{Lumen}{m^2} \quad (2.4)$$

Dimana :

Lux = tingkat penerangan (Lumen/m²)

Lumen = Daya lampu (lumen)

m² = Area disinari (Watt)

Sel surya agar dapat menghasilkan arus listrik perlu dilakukan penyinaran dengan tingkat irradiasi tertentu. Irradiasi dinyatakan dengan persamaan 2.5.

$$Irradiance = \frac{Watt}{m^2} \quad (2.5)$$

Dimana :

Irradiance = tingkat Irradiasi (Watt/m²)

Watt = Daya (Watt)

m² = Area disinari (Watt)

Pada Sun-Simulator, Daya yang dihasilkan oleh lampu berupa Daya Lampu (Lumen), untuk dapat memenuhi kebutuhan dari

Irradiasi agar Fotovoltaik yang diuji dapat menghasilkan listrik, dapat dicari dengan cara berikut :

Matahari memiliki efikasi lumen 93 lm/Watt. Saat pada kondisi puncaknya yaitu 1050 W/m². Matahari memiliki 98000 Lux. Nilai lux tersebut didapatkan dari perkalian antara efikasi lumen dengan irradiasi, karena Lux merupakan lm/m².

Pertama, menghitung kebutuhan irradiasi yang dibutuhkan oleh sun simulator, irradiasi dapat lebih kecil atau dapat memiliki nilai lebih besar dari irradiasi matahari. Irradiasi dicari dengan persamaan berikut serta menghitung luasan area yang akan disinari:

$$Irradiance = \frac{Watt}{m^2} \quad (2.6)$$

Kedua, kemudian mencari nilai Lux yang dibutuhkan pada permukaan Fotovoltaik, dengan membandingkan antara irradiasi dan lux matahari dengan irradiasi dan lux yang diinginkan.

$$\frac{Irradiasi\ matahari \left(\frac{W}{m^2} \right)}{Lux\ matahari \left(\frac{lm}{m^2} \right)} = \frac{Irradiasi\ simulator \left(\frac{W}{m^2} \right)}{Lux\ simulator \left(\frac{lm}{m^2} \right)} \quad (2.7)$$

Sehingga

$$Lux\ simulator \left(\frac{lm}{m^2} \right) = \frac{Irradiasi\ simulator \left(\frac{W}{m^2} \right)}{Irradiasi\ matahari \left(\frac{lm}{m^2} \right)} \times Lux\ matahari \left(\frac{lm}{m^2} \right) \quad (2.8)$$

Ketiga mencari nilai lumen dari lampu dengan persamaan berikut:

$$lm = Lux\ simulator . m^2 \quad (2.9)$$

Keempat mencari daya listrik lampu yang dibutuhkan dengan persamaan berikut:

$$W = lm . \eta \quad (2.10)$$

Dimana

Irradiance = tingkat Irradiasi (Watt/m^2)

Watt = Daya (Watt)

m^2 = Area disinari (Watt)

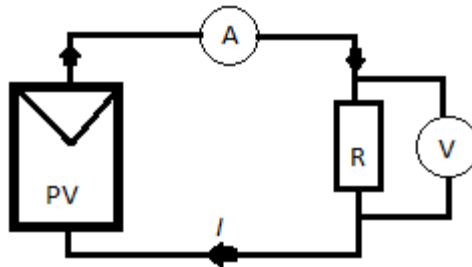
η = efikasi lumen (Lumen/Watt)

Dari berbagai jenis lampu yang digunakan sebagai sumber cahaya dari *Sun-Simulator*, Lampu halogen dapat digunakan sebagai sumber cahaya. Lampu halogen banyak digunakan sebagai sun-simulaor karena menyediakan pencahayaan dengan spektrum yang sangat stabil dan halus.

Temperatur warna dari lampu halogen mendekati temperatur warna dari temperatur black body radiator dengan puncak irradiasi pada panjang gelombang yang sama berdasarkan hasil pengujian. Disamping itu, harga tiap lampu yang tidak terlalu mahal jika dibandingkan dengan jenis lampu lain, dan pencahayaan yang sangat baik, perawatan yang mudah, serta konsistensi yang cukup baik membuat lampu halogen telah digunakan sangat luas sebagai sumber cahaya inframerah pada *Sun-Simulator* dengan berbagai jenis sumber cahaya dan pada kebutuhan spektrum yang lebih kecil (Shatat & Riffat, 2013).

2.4 Pengukuran Data

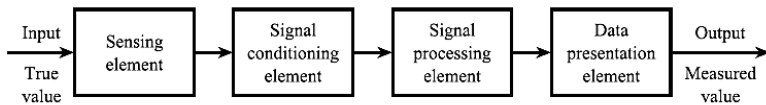
Untuk mendapatkan kurva karakteristik dari suatu modul Fotovoltaik (kurva I-V) maka modul Fotovoltaik disinari dengan cahaya matahari atau dengan *Sun-Simulator* dan diberi pembebanan mulai dari beban terendah yaitu nilai hambatan mendekati nol kemudian diubah sedikit demi sedikit hingga mencapai nilai hambatan tak hingga. Untuk mendapatkan nilai karakteristik tersebut diperlukan pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) dari modul Fotovoltaik yang diuji.



Gambar 2.14 : Rangkaian pengukuran Arus dan Tegangan modul Fotovoltaik

2.4.1 Diagram Blok Pengukuran

Dalam melakukan pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) dari modul Fotovoltaik yang diuji, diperlukan suatu sistem pengukuran agar didapatkan nilai dari arus (I) dan tegangan (V) yang diharapkan. Sistem pengukuran tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.15 dalam bentuk diagram blok sistem pengukuran.



Gambar 2.15 : Diagram Blok Sistem Pengukuran (Bentley, 2005)

Berdasarkan diagram blok pada gambar 2.15, berikut penjelasan mengenai setiap komponen diagram blok pada gambar 2.15 tersebut :

Input : merupakan suatu besaran fisis yang akan diukur

Sensing Element / elemen pengindera : merupakan elemen yang berfungsi untuk membaca besaran fisis dari input menjadi sinyal pada sistem pengukuran.

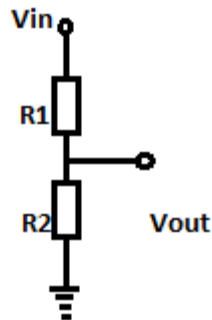
Signal Conditioning Element / elemen pengondisian sinyal : merupakan elemen yang berfungsi untuk mengondisikan sinyal dari elemen pengindera agar dapat dibaca oleh elemen pemrosesan sinyal.

Signal Processing Element / elemen pemrosesan sinyal : elemen yang berfungsi untuk memproses sinyal, sehingga sinyal yang diterima dapat menjadi suatu informasi dalam bentuk nilai pengukuran yang diinginkan.

Data presentation element / elemen penampil data : merupakan suatu elemen sebagai penampil hasil nilai pengukuran yang telah diproses pada elemen pemrosesan sinyal, sehingga nilai yang diukur dari input yang diberikan dapat di lihat atau dikenali oleh pengamat.

2.4.2 Pengukuran Tegangan

Nilai tegangan yang dihasilkan oleh modul Fotovoltaik, untuk sebuah modul memiliki range sekitar 0 sampai 24 Volt, agar dapat dibaca oleh pemrosesan sinyal yang mana memiliki tegangan yang lebih rendah (0 – 5 Volt), maka diperlukan pengondisian sinyal dalam bentuk pembagi tegangan. Rangkaian Pembagi tegangan dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 : Rangkaian Pembagi tegangan

Untuk mencari nilai dari tegangan *output* maka dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$V_{out} = \frac{R2}{R1+R2} \cdot V_{in} \quad (2.12)$$

Dimana :

V_{out} = Tegangan *output*

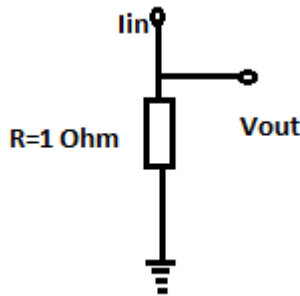
V_{in} = Tegangan *input*

R_1 = Tahanan 1

R_2 = Tahanan 2

2.4.3 Pengukuran Arus

Nilai Arus yang dihasilkan oleh modul Fotovoltaik, agar dapat dibaca oleh pemrosesan sinyal yang mana memiliki tegangan yang lebih rendah (0 – 5 Volt), maka diperlukan pengondisian sinyal untuk mengubah nilai arus menjadi nilai tegangan. Untuk itu dapat digunakan resistor yang bernilai 1 Ohm dan rangkaian pembagi tegangan apabila tegangan yang dikonversi dari arus melebihi nilai dari range tegangan pemrosesan sinyal. Rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 : Rangkaian Pengondisian Arus

Untuk mencari nilai dari tegangan *output* maka dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$V_{out} = I_{in} \cdot R \quad (2.13)$$

Dimana :

V_{out} = Tegangan *output* (Volt)

I_{in} = Arus *input* (Ampere)

R = Tahanan (1 Ohm)

2.4.4 National Instruments PCI-6036 E

National Instruments PCI-6036 E merupakan perangkat DAQ multifungsi yang menyediakan fungsionalitas penuh dengan harga yang sesuai dengan kebutuhan pengguna yang memiliki anggaran terbatas. National Instruments PCI-6036 E ideal untuk aplikasi mulai dari logging data berkecepatan tinggi secara terus-menerus aplikasi di bidang kontrol hingga sinyal bertegangan tinggi atau pengukuran sensor ketika digunakan bersama dengan pengkondisian sinyal NI. Dengan menyinkronkan operasi beberapa perangkat menggunakan bus RTSI atau PXI trigger bus untuk mengintegrasikan perangkat keras lain dengan mudah seperti kontrol gerak dan penglihatan mesin untuk menciptakan keseluruhan sistem pengukuran dan pengendalian (National Instruments, 2018).



Gambar 2.18 : *National Instruments PCI-6036 E*

Agar Sensor sensor serta pengukuran tegangan tinggi dapat terhubung dengan *National Instruments* PCI-6036 E, dapat digunakan pengondisian sinyal National Instruments SCC atau SCXI. NI PCI-6036E memiliki akuisisi data sebesar 16-bit untuk aplikasi yang sangat luas. PCI-6036E mempunyai enam belas 16-bit analog input dan dua buah 16-bit analog output. Selain itu, ada pula delapan baris digital I/O and dua buah 24-bit serta counter/timer sebesar 20 MHz. Bergantung pada hard drive

pengguna, PCI-6036E dapat melakukan streaming ke disk dengan nilai hingga 200 Ks/s.

National Instruments PCI-6036 E memiliki beberapa fitur, diantaranya :

Pelindung Sirkuit dari Drift Suhu – Dirancang dengan komponen yang meminimalkan efek perubahan suhu pada pengukuran hingga kurang dari 0,0010% pembacaan /°C.

Teknologi peningkat resolusi – Rantai kebisingan dirancang dengan hati hati untuk memaksimalkan resolusi.

Onboard Selfcalibration – referensi tegangan yang tepat untuk akurasi kalibrasi dan pengukuran. Kalibrasi sendiri benar benar dikendalikan oleh perangkat lunak tanpa perlu menggunakan potensiometer untuk penyesuaian

NI DAQ – STC – waktu dan kontrol ASIC dirancang untuk memberikan fleksibilitas lebih, konsumsi daya yang rendah, dan ketebalan yang lebih tinggi terhadap kebisingan dan jitter daripada chip counter/timer off-the-shelf.

NI MITE - ASIC dirancang untuk mengoptimalkan transfer data untuk beberapa operasi simultan menggunakan master bus dengan satu saluran DMA, interupsi, atau I / O terprogram

NI PGIA - Pengukuran dan penguat kelas instrumen yang menjamin waktu penyelesaian pada semua keuntungan. Komponen penguat off-the-shelf komersial biasa tidak memenuhi persyaratan waktu penyelesaian untuk aplikasi pengukuran dengan gain tinggi

PFI Lines - Delapan jalur input fungsi yang dapat diprogram (PFI) yang dapat Anda gunakan untuk perangkat lunak yang dikendalikan oleh interboard dan intraboard digital dan timing signal.

RTSI atau PXI Trigger Bus - Bus digunakan untuk membagi timing dan sinyal kontrol antara dua atau lebih perangkat PCI atau PXI untuk melakukan sinkronisasi operasi

Mode RSE - Selain mode single-ended diferensial dan nonreferenced, perangkat E Series murah NI menawarkan mode single-ended (RSE) yang dirujuk untuk digunakan dengan sumber

sinyal mengambang pada aplikasi dengan jumlah saluran lebih tinggi dari delapan.

Onboard Temperature Sensor - Termasuk untuk memantau operasi suhu perangkat untuk memastikan pengoperasiannya dalam kisaran yang ditentukan.

2.4.5 Labwindows/CVI

Salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram National Instruments PCI-6036 E yaitu LabWindows/CVI. CVI merupakan kependekan dari *C for Virtual Instrumentation* yang mana merupakan salah satu pemrograman berdasarkan ANSI (American National Standart Institute) C untuk pengujian dan pengukuran yang dikembangkan oleh National Instruments. Perilisan pertama program LabWindows untuk DOS pada tahun 1987, namun kemudian direvisi untuk platfrom *Microsoft Windows*. Versi Labwindows akhir-akhir ini dikembangkan pada tahun 2017 yang lebih dikenal dengan CVI. Labwindows CVI menggunakan modul pustaka / *library* dan akuisisi data yang sama dengan LabView Instrument yang lebih dikenal. Perbedaan antara Labwindows dengan LabView sendiri yaitu pada untuk Labview menggunakan GUI sementara CVI berbasir pemrograman C (Wikipedia, 2018).

2.5 Perbandingan daya referensi dan daya uji

Untuk mendapatkan nilai daya sesungguhnya dari modul uji photovoltaic, dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P_{mpp\ ref}(W_{p\ ref}) = V_{mpp\ ref} \cdot I_{mpp\ ref} \quad (2.14)$$

$$P_{mpp\ uji}(W_{p\ uji}) = V_{mpp\ uji} \cdot I_{mpp\ uji} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} P_{mpp\ aktual}(W_{p\ aktual}) \\ = \frac{P_{mpp\ ref}(W_{p\ ref})}{P_{mpp\ uji}(W_{p\ uji})} \cdot P_{ideal\ ref} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Dimana :

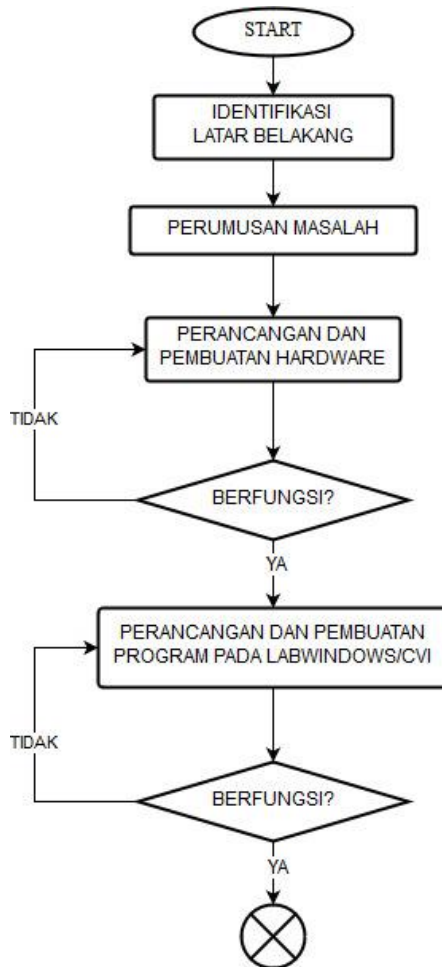
$P_{mpp\ ref}(W_{p\ ref})$ = Daya puncak modul referensi

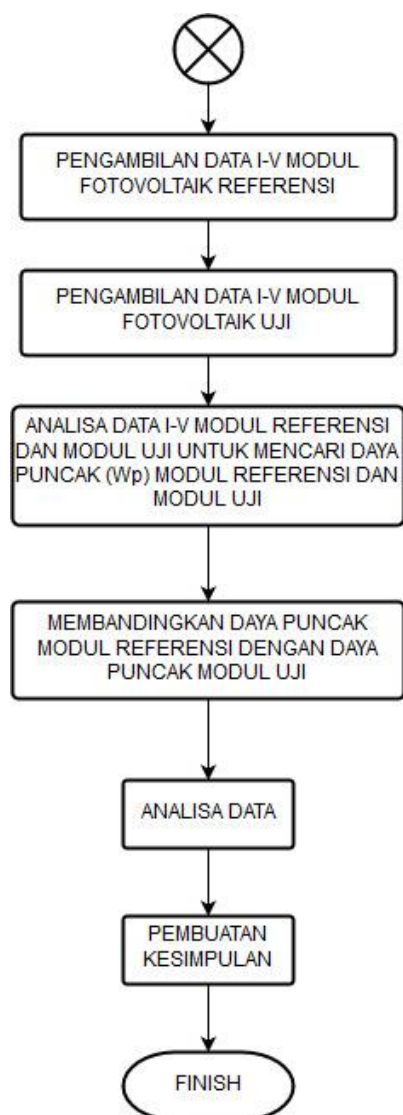
$P_{mpp\text{ uji}} (W_p\text{ uji})$	= Daya puncak modul uji
$P_{mpp\text{ aktual}} (W_p\text{ aktual})$	= Daya puncak modul uji
sebenarnya	
$P_{ideal\text{ ref}}$	= Daya puncak modul referensi
sebenarnya	
$V_{mpp\text{ ref}}$	= Tegangan puncak modul
referensi	
$V_{mpp\text{ uji}}$	= Tegangan puncak modul uji
$I_{mpp\text{ ref}}$	= Arus puncak modul referensi
$I_{mpp\text{ uji}}$	= Arus puncak modul uji

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir pelaksanaan tugas akhir ini :





Gambar 3.1 : Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian tugas-akhir ini ada beberapa langkah langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian.

Pertama yaitu identifikasi latar belakang. Ada beberapa poin-poin yang melatarbelakangi diusulkannya tugas akhir ini. Utamanya pada analisa karakteristik modul Fotovoltaik yang mana ingin diketahui nilai karakteristik yang sebenarnya melalui pengujian secara indoor dengan menggunakan *Sun-Simulator*.

Kedua, perumusan masalah. Berdasarkan latar belakang yang telah diidentifikasi, disusunlah beberapa rumusan masalah yang menjadi pertanyaan untuk dijawab melalui penelitian tugas akhir ini. Hasil dari perumusan masalah dituangkan dalam bab pendahuluan dibagian rumusan masalah.

Ketiga, perancangan dan pembuatan *hardware*. Untuk menyelesaikan tugas akhir ini dibangun beberapa hardware yang berfungsi untuk pengambilan data. Hardware yang dimaksud diantaranya *Sun-simulator*, *Load-Simulator* sistem pengukuran I-V modul Fotovoltaik.

Keempat, perancangan dan pembuatan program pada Labwindows/CVI. Agar sistem pengukuran I-V modul Fotovoltaik dapat bekerja, maka dibuat program sehingga sistem pengukuran I-V modul Fotovoltaik dapat mengambil data.

Kelima, pengambilan data I-V modul Referensi. Setelah Hardware dan Program pada Labwindows/CVI selesai dibangun, dilakukan pengambilan data berupa data I-V pada modul referensi, yang mana nantinya data ini akan dianalisa.

Keenam, pengambilan data I-V modul Referensi. Setelah Hardware dan Program pada Labwindows/CVI selesai dibangun, dilakukan pengambilan data berupa data I-V pada modul uji, yang mana nantinya data ini akan dianalisa.

Ketujuh, analisa data I-V modul referensi dan modul uji untuk mencari nilai daya puncak (W_p) modul referensi dan modul uji

Kedelapan, setelah didapatkan nilai dari daya puncak modul referensi dan Daya puncak modul uji, kemudian dibandingkan untuk mendapatkan nilai Daya puncak yang sebenarnya dari modul uji.

Kesembilan, analisa data, setelah didapatkan nilai Daya puncak yang sebenarnya dilakukan analisa untuk menjawab pertanyaan dari rumusan masalah yang telah disusun sebelumnya.

Kesepuluh, penarikan kesimpulan, merupakan hasil akhir dari penelitian yang telah dilakukan, dituangkan beberapa pernyataan yang menjawab pertanyaan dari rumusan masalah penelitian ini.

3.2 Hardware Penelitian

Berikut adalah beberapa *hardware* yang dibangun dalam penelitian tugas akhir ini :

3.2.1 Modul Fotovoltaik Referensi

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan sebuah modul Fotovoltaik yang berfungsi sebagai modul referensi yang mana nantinya akan dibandingkan dengan modul uji untuk dicari karakteristik dari modul uji. Modul referensi yang digunakan telah diketahui nilai karakteristik yang sebenarnya. Berikut adalah spesifikasi dari modul Fotovoltaik referensi yang digunakan :

Model	:GH-50P-18
Daya Puncak Rata-rata (Wp)	:50 Watt
Toleransi	:+-3 Watt
Vmpp	:18 V
Imp	:2,78 A
Voc	:22,4 V
Isc	: 3,24 A
NOTC	: 47 +-2 ° C
Tegangan Maksimum Sistem	: 1000 VDC
Kelas Aplikasi	: Kelas A
Teknologi Sel	: Poly - Si
Berat	: 4,3 Kg
Dimensi	: 540 x 670 x 30 mm
Unjuk Kerja modul referensi menggunakan <i>Sun-Simulator</i>	
Vmpp ref	: 16,3 Volt
Imp ref	: 0,775 Ampere
Pmpp ref	: 12,635 watt.

3.2.2 Modul Fotovoltaik Uji

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan sebuah modul Fotovoltaik yang berfungsi sebagai modul uji yang mana nantinya akan dibandingkan dengan modul referensi untuk dicari karakteristiknya. Berikut adalah spesifikasi dari modul Fotovoltaik referensi yang digunakan :

Model	:GH-100P-18
Daya Puncak Rata-rata (Wp)	:100 Watt
Toleransi	:+3 Watt
Vmpp	:17 V
Imp	:5,97 A
Voc	:22 V
Isc	: 6,08 A
NOTC	: 47 +-2 ° C
Tegangan Maksimum Sistem	: 1000 VDC
Kelas Aplikasi	: Kelas A
Teknologi Sel	: Poly - Si
Berat	: 12,5 Kg
Dimensi	: 1070 x 700 x 30 mm

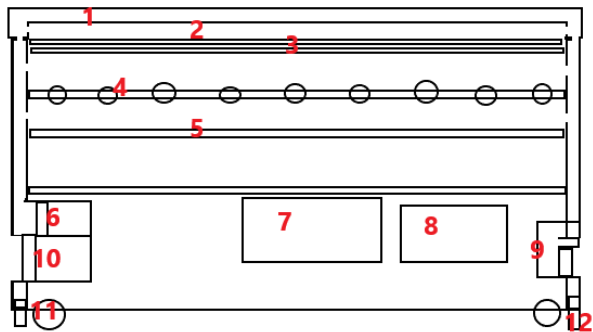
3.2.3 Sun-Simulator

Dalam penelitian tugas akhir ini, agar modul Fotovoltaik dapat menghasilkan Arus dan Tegangan, maka modul Fotovoltaik perlu disinari. Pada peneelitan tugas-akhir ini, pengujian dilakukan didalam ruangan agar pengujian dapat dilakukan 24 jam sehari dan dapat terhindar dari kondisi cuaca yang tidak menentu. Sebagai sumber cahaya untuk menyinari modul Fotovoltaik, digunakan *Sun-Simulator*. Berikut adalah Spesifikasi dari Sun simulator yang digunakan :

Panjang	: 170 cm
Lebar	: 90 cm
Tinggi	: 70 cm
Space ruang kerja	: 5 cm
Space ruang lampu	: 10 cm

Jumlah lampu	: 50 Buah
Jenis Lampu	: Lampu Halogen
Daya lampu	: 50 Watt (700 lumen)
Daya Total +/-	: 2000 Watt
Rangka	: Besi
Cover luar	: Stainless Steel
Body dalam	: Stainless Steel
Dudukan lampu reflektor	: kayu triplex dengan lapisan

Berikut adalah desain dari *Sun-Simulator* yang digunakan



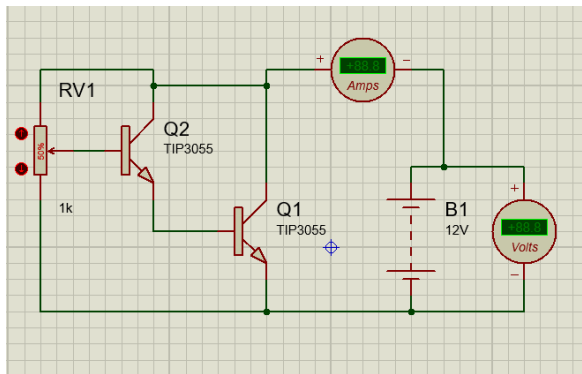
Gambar 3.2 : Sketsa Sun-simulator

Keterangan

- 1. Pintu
- 2. Ruang Kerja
- 3. Double Glass Pelindung dan Insulator Panas
- 4. Ruang Lampu
- 5. Pembatas dan pengatur ketinggian ruang lampu
- 6. Airintake Blower
- 7. Ruang komponen elektronik
- 8. Ruang Power Suply
- 9. Exhaust Blower
- 10. Air Intake Filter
- 11. Roda penggerak
- 12. Pengatur rata tempat

3.2.4 Load-Simulator

Dalam penelitian tugas akhir ini, agar modul nilai I-V modul Fotovoltaik dapat diketahui, maka modul Fotovoltaik perlu dibebani. Pembebanan dilakukan dengan memberikan beban paling kecil yaitu nilai hambatan listrik nol, kemudian nilai hambatan ditingkatkan hingga mencapai nilai maksimum yaitu tak hingga. *Load-Simulator* digunakan sebagai pembebanan pada modul Fotovoltaik yang digunakan. Berikut adalah rangkaian skema *Load-Simulator* yang digunakan:

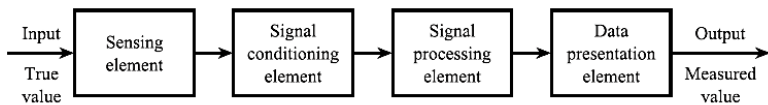


Gambar 3.3 : Rangkaian *Load-Simulator*

Load-Simulator yang digunakan terdiri atas dua buah transistor power TIP3055 yang disusun menjadi rangkaian darlington untuk meningkatkan nilai dari β transistor. Terdapat sebuah potensiometer dengan nilai 1kOhm untuk mengatur aliran listrik menuju dari collector menuju base dari rangkaian transistor, untuk mengalirkan arus listrik dari base menuju emitter. Ketika arus yang melewati base-emitter tidak ada, maka nilai tahanan pada transistor akan bernilai tak hingga, sebaliknya saat arus yang melewati base-emitter melebihi arus saturasi, maka transistor akan memiliki nilai hambatan yang sangat kecil, yaitu mendekati nol. Oleh karena itu transistor digunakan sebagai *Load-Simulator* pada penelitian tugas-akhir ini.

3.2.5 Sistem Pengukuran I-V

Untuk mendapatkan data hasil pengukuran, dibangun sebuah sistem pengukuran untuk membaca nilai I-V dari modul Fotovoltaik yang diuji. Sistem pengukuran yang dibangun terdiri dari dua sistem, yaitu sistem pengukuran tegangan diwakili dengan sistem 1 dan sistem pengukuran arus diwakili dengan sistem 2 yang didasarkan oleh diagram blok sistem pengukuran sebagai berikut :



Gambar 3.4 : Diagram Blok Sistem Pengukuran

Berikut adalah keterangan dari tiap komponennya :

Input :

sistem 1 : Tegangan (Volt)

sistem 2 : Arus (Ampere)

Sensing Element / elemen pengindra : tidak ada karena input langsung terbaca dalam sinyal listrik sehingga tidak perlu konversi sinyal menggunakan pengindra.

Signal Conditioning Element / elemen pengondisian sinyal :

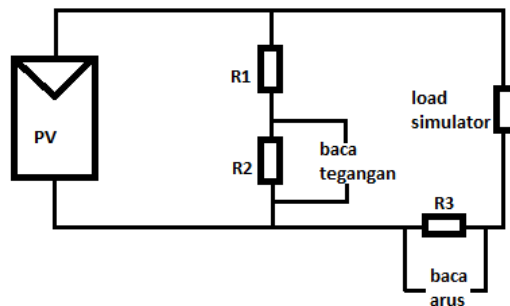
Sistem 1 : Pembagi tegangan

$R1 = 1500 \text{ Ohm}$

$R2 = 500 \text{ Ohm}$

Sistem 2 : Resistor

$R3 = 1 \text{ Ohm}$



Gambar 3.5: Rangkaian Pembaca Tegangan dan Arus

Signal Processing Element / elemen pemrosesan sinyal :

Sistem 1 : National Instruments PCI-6036 E terhubung dengan komputer

Sistem 2 : National Instruments PCI-6036 E terhubung dengan komputer

Data presentation element / elemen penampil data :

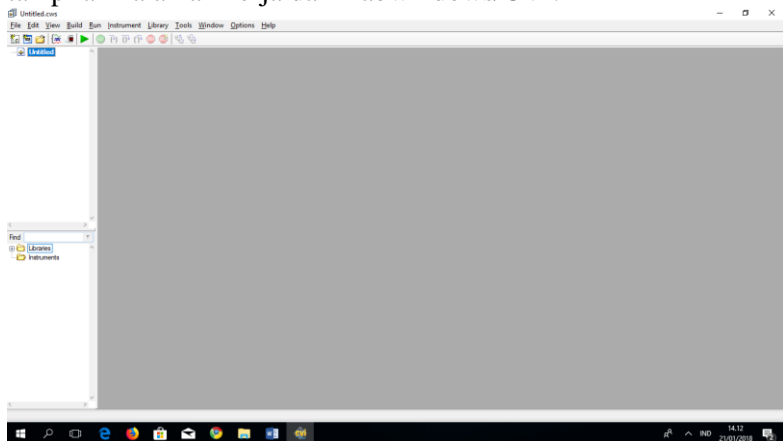
Menggunakan monitor komputer

3.3 Pembuatan Program pada Labwindows/CVI

Agar sistem pengukuran dapat berjalan, maka dibuat program pada Labwindows/CVI untuk memberi perintah pada National Instruments PCI-6036 E, membuat GUI (Graphical User Interface) serta penyimpanan data pada komputer.

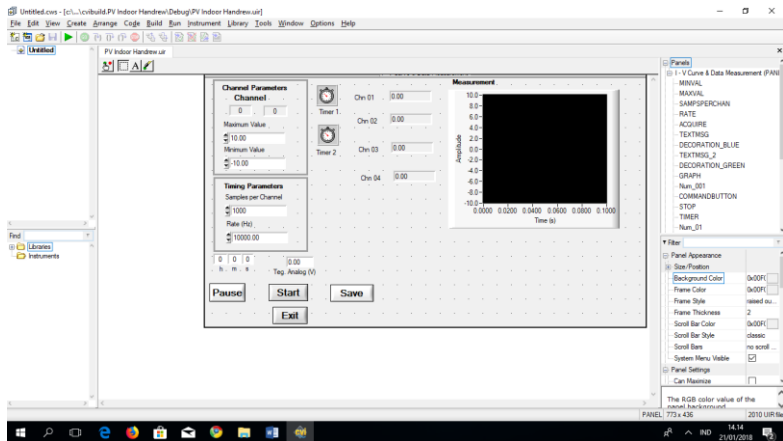
Berikut adalah tahapan pembuatan program pada Labwindows/CVI :

Pertama, membuka software Labwindows/CVI. Berikut adalah tampilan halaman kerja dari Labwindows/CVI.



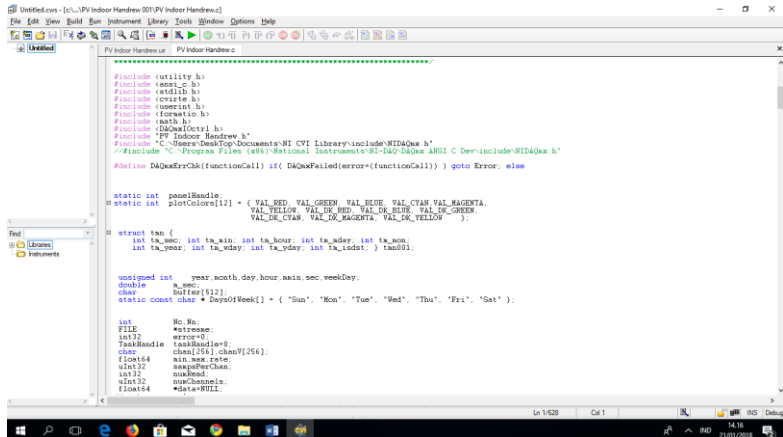
Gambar 3.6 : Halaman Kerja Labwindows/CVI

Kedua, membuat user interface pada halaman kerja. Berikut adalah tampilan user interface pada halaman kerja dari Labwindows/CVI.



Gambar 3.7 : Pembuatan *User Interface*

Ketiga, memberikan program berupa bahasa C pada Labwindows/CVI.



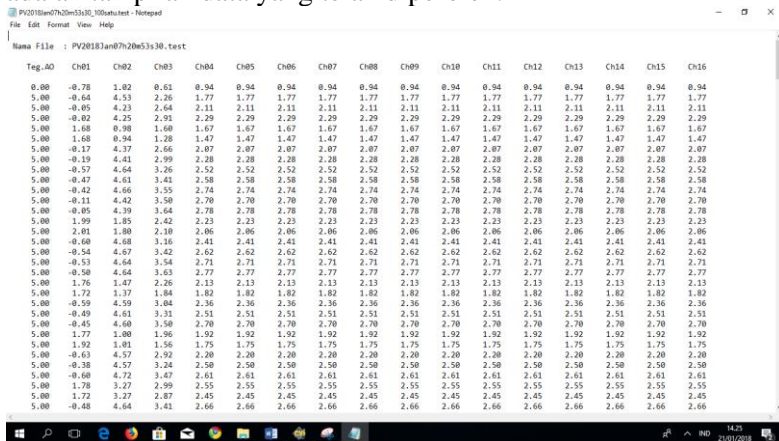
Gambar 3.8 : Pembuatan *Source Code*

Keempat, menjalankan program. Berikut adalah tampilan program yang telah dibuat dari Labwindows/CVI :



Gambar 3.9 : Tampilan User Interface

Kelima, data hasil pengukuran yang telah diperoleh diolah. Berikut adalah tampilan data yang telah diperoleh.



Gambar 3.10 : Interface Hasil data pengukuran

Data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan microsoft excell untuk analisa.

3.4 Analisa data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dan dianalisa untuk mengetahui karakteristik I-V modul Fotovoltaik yang diuji. Kemudian untuk mencari daya puncak (W_p) sesungguhnya dari modul Fotovoltaik yang diuji dicari dengan persamaan-persamaan berikut :

$$P_{mpp\ ref}(W_{p\ ref}) = V_{mpp\ ref} \cdot I_{mpp\ ref} \quad (3.1)$$

$$P_{mpp\ uji}(W_{p\ uji}) = V_{mpp\ uji} \cdot I_{mpp\ uji} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} P_{mpp\ aktual}(W_{p\ aktual}) \\ = \frac{P_{mpp\ ref}(W_{p\ ref})}{P_{mpp\ uji}(W_{p\ uji})} \cdot P_{ideal\ ref} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Dimana :

$P_{mpp\ ref}(W_{p\ ref})$	= Daya puncak modul referensi
$P_{mpp\ uji}(W_{p\ uji})$	= Daya puncak modul uji
$P_{mpp\ aktual}(W_{p\ aktual})$	= Daya puncak modul uji sebenarnya
$P_{ideal\ ref}$	= Daya puncak modul referensi sebenarnya
$V_{mpp\ ref}$	= Tegangan puncak modul referensi
$V_{mpp\ uji}$	= Tegangan puncak modul uji
$I_{mpp\ ref}$	= Arus puncak modul referensi
$I_{mpp\ uji}$	= Arus puncak modul uji

BAB IV

ANALISA DATA

4.1 ANALISA DATA

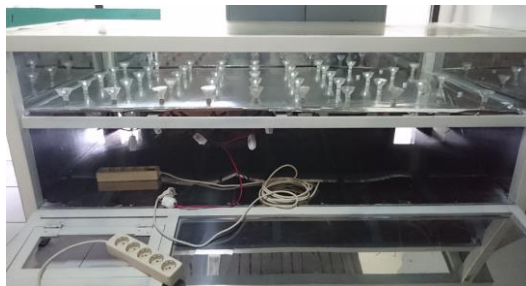
Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan beberapa hal sebagai berikut :

4.1.1 Hasil Rancang Bangun Sistem

Pada peralatan pengujian modul PV menggunakan *Sun-Simulator*, *Sun-Simulator* difungsikan sebagai sumber cahaya sebagai pengganti sinar matahari. Pada *Sun-simulator* ini, lampu halogen yang dipasang sebanyak 35 buah @ 50 W/220 Volt dengan luas area sebaran sebesar 1,6 m x 0,8 m. *Sun-Simulator* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2

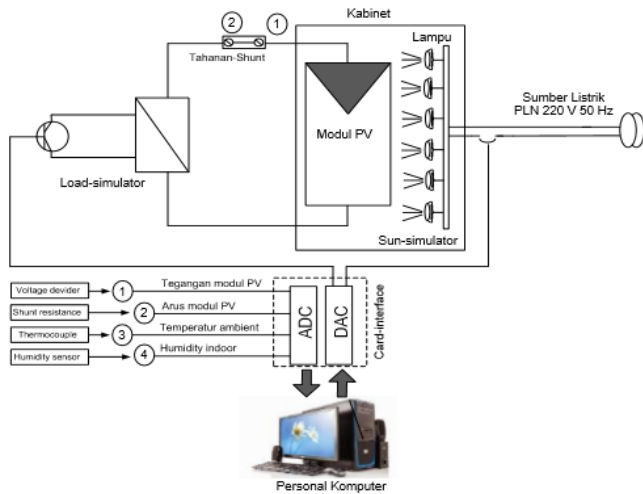


Gambar 4.1 : Sun-Simulator kondisi menyala

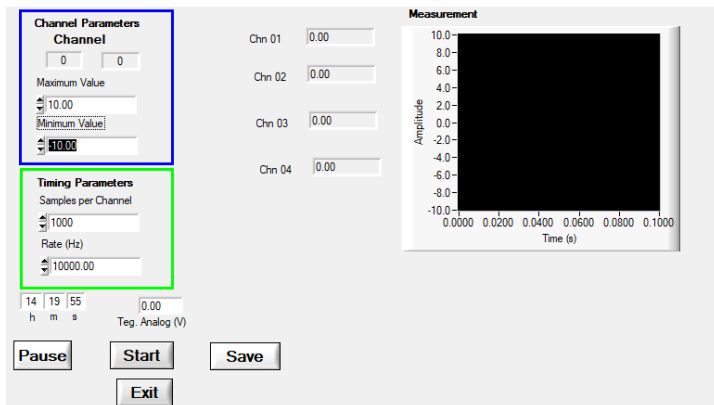


Gambar 4.2 : Susunan Lampu Sun-simulator

Berikut adalah skema sistem dan User Interface pada LabWindows/CVI yang telah dibuat, ditunjukkan gambar 4.3 dan gambar 4.4

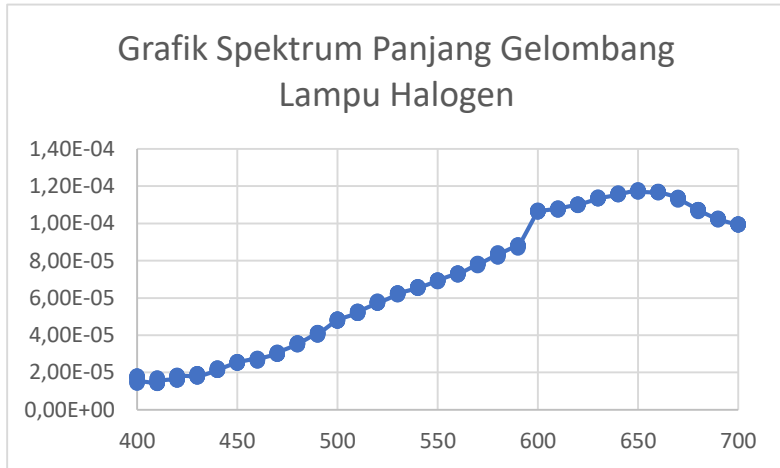


Gambar 4.3 : Skema Sistem



Gambar 4.4 : User Interface Labwindows/CVI

Berikut adalah grafik dari distribusi spektrum panjang gelombang lampu halogen yang digunakan. Ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 : Spektrum Panjang Gelombang Lampu Halogen

Gambar 4.3 menunjukkan skema sistem yang telah dibangun dengan yang mana dalam sistem terdapat sensor, transduser, load-simulator, Sun-Simulator dan PC. Pada gambar tersebut peran Sun-Simulator sebagai sumber energi foton seolah-olah menggantikan sinar matahari. Prinsip pengujian PV pada pengujian yang dilakukan pada penelitian Tugas-Akhir ini yaitu membandingkan antara modul PV yang diuji dengan sebuah modul PV referensi. Hal ini dilakukan karena intensitas sun-simulator terbatas dan panjang gelombang sinar yang dihasilkan oleh sun-simulator relatif berbeda dengan sinar matahari. Berikut adalah

4.1.2 Hasil Pengujian

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan, arus dan daya modul photovoltaik referensi 50 Wp melalui penyinaran menggunakan *Sun-Simulator*. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.1: Tabel hasil pengukuran modul photovoltaic referensi 50 Wp menggunakan Sun-simulator

No	Tegangan	Arus	Daya
1	0,84	0,853546	0,716978
2	0,92	0,845342	0,777715
3	0,96	0,856577	0,822313
4	0,96	0,854524	0,820343
5	0,96	0,835886	0,802451
6	1,04	0,855123	0,889328
7	1,2	0,855348	1,026418
8	1,28	0,855465	1,094995
9	1,36	0,855685	1,163732
10	1,4	0,855578	1,197809
11	1,8	0,855356	1,539641
12	2,1	0,855457	1,79646
13	2,4	0,855456	2,053094
14	2,5	0,855999	2,139998
15	2,6	0,855467	2,224214
16	2,6	0,855257	2,223668
17	2,8	0,855887	2,396484
18	2,9	0,855279	2,480309
19	3	0,855142	2,565426
20	3,1	0,855468	2,651951
21	3,2	0,855738	2,738362
22	3,4	0,855467	2,908588
23	3,5	0,855399	2,993897
24	3,6	0,855111	3,0784
25	3,7	0,855355	3,164814
26	3,8	0,855767	3,251915
27	3,9	0,855354	3,335881

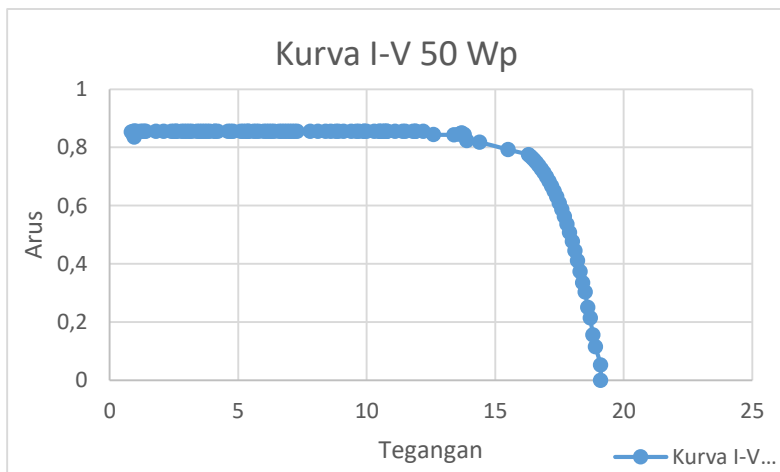
28	4,1	0,855223	3,506414
29	4,1	0,855008	3,505533
30	4,2	0,855123	3,591517
31	4,6	0,855653	3,936004
32	4,8	0,855276	4,105325
33	4,7	0,855876	4,022617
34	5,1	0,855875	4,364963
35	5,2	0,855097	4,446504
36	5,3	0,855537	4,534346
37	5,4	0,855097	4,617524
38	5,4	0,855245	4,618323
39	5,6	0,855579	4,791242
40	5,7	0,855324	4,875347
41	5,8	0,855469	4,96172
42	6	0,855887	5,135322
43	6,1	0,855924	5,221136
44	6,2	0,855086	5,301533
45	6,3	0,855129	5,387313
46	6,4	0,855237	5,473517
47	6,7	0,855297	5,73049
48	6,6	0,855455	5,646003
49	6,8	0,855766	5,819209
50	6,9	0,855889	5,905634
51	7	0,855906	5,991342
52	7,1	0,855324	6,0728
53	7,2	0,855897	6,162458
54	7,3	0,855253	6,243347
55	7,8	0,855777	6,675061
56	8,1	0,855335	6,928214
57	8,4	0,855096	7,182806

58	8,6	0,855159	7,354367
59	8,8	0,855552	7,528853
60	8,9	0,855989	7,618299
61	9,1	0,855975	7,789376
62	9,4	0,855457	8,041294
63	9,6	0,855204	8,209961
64	9,7	0,855485	8,298204
65	9,9	0,85569	8,471328
66	9,9	0,855387	8,468329
67	10	0,855238	8,552377
68	10,3	0,855898	8,815748
69	10,5	0,855459	8,982318
70	10,6	0,855789	9,071362
71	10,7	0,855447	9,153278
72	10,8	0,855897	9,243682
73	10,5	0,855455	8,982273
74	10,7	0,855468	9,153504
75	10,8	0,855387	9,238184
76	11,1	0,855997	9,501571
77	11,4	0,855375	9,751273
78	11,5	0,855409	9,837202
79	11,8	0,855303	10,09258
80	11,9	0,855027	10,17482
81	11,9	0,855346	10,17861
82	12,2	0,855461	10,43662
83	12,6	0,844566	10,64153
84	13,4	0,843456	11,3023
85	13,6	0,845576	11,49983
86	13,7	0,849986	11,6448
87	13,8	0,844576	11,65514

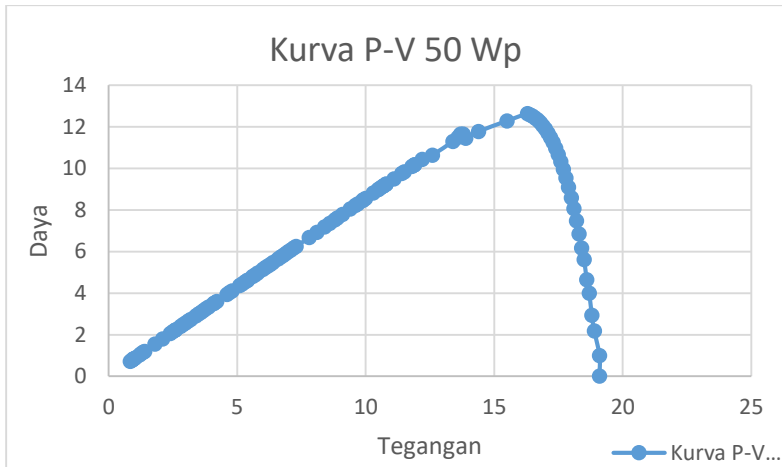
88	13,9	0,823456	11,44603
89	14,4	0,817855	11,77711
90	15,5	0,792494	12,28366
91	16,3	0,775154	12,63501
92	16,4	0,767085	12,58019
93	16,5	0,758224	12,51069
94	16,6	0,748503	12,42515
95	16,7	0,737851	12,3221
96	16,8	0,726192	12,20003
97	16,9	0,713449	12,05729
98	17	0,69954	11,89218
99	17,1	0,684381	11,70292
100	17,2	0,667886	11,48764
101	17,3	0,649968	11,24444
102	17,4	0,630538	10,97135
103	17,5	0,609507	10,66638
104	17,6	0,586789	10,32749
105	17,7	0,562298	9,952673
106	17,8	0,53595	9,539906
107	17,9	0,507665	9,087211
108	18	0,47737	8,592651
109	18,1	0,444992	8,054362
110	18,2	0,41047	7,470559
111	18,3	0,373746	6,839557
112	18,4	0,334771	6,159783
113	18,5	0,303502	5,614793
114	18,6	0,249907	4,648274
115	18,7	0,21396	4,001058
116	18,8	0,155645	2,926124
117	18,9	0,114952	2,172598

118	19,1	0,051882	0,990946
119	19,1	0	0

Dari Tabel 4.1 tersebut didapatkan nilai I_{mpp} sebesar 0,775 Ampere dan V_{mpp} sebesar 16,3 Volt. Maka Daya maksimum (Mpp) Modul uji photovoltaic adalah sebesar 12,635 Watt. Gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan grafik kurva $I - V$ dan grafik kurva $P - V$ dari modul referensi 50 Wp :



Gambar 4.6 : Kurva $I - V$ modul referensi 50 Wp



Gambar 4.7 : Kurva P – V modul referensi 50 Wp

Tabel 4.2: Tabel hasil pengukuran modul photovoltaic uji 100 Wp menggunakan Sun-simulator

no	tegangan	arus	daya
1	2,12	1,821451	3,861476
2	2,32	1,821354	4,225541
3	2,56	1,821305	4,662541
4	2,8	1,821257	5,099518
5	2,88	1,821208	5,245079
6	3,2	1,821159	5,827709
7	3,6	1,821111	6,555998
8	4,04	1,821062	7,35709
9	4,08	1,821013	7,429734
10	4,2	1,830965	7,690051
11	4,2	1,820916	7,647847
12	4,28	1,790867	7,664912
13	4,32	1,820819	7,865936
14	4,36	1,82077	7,938557

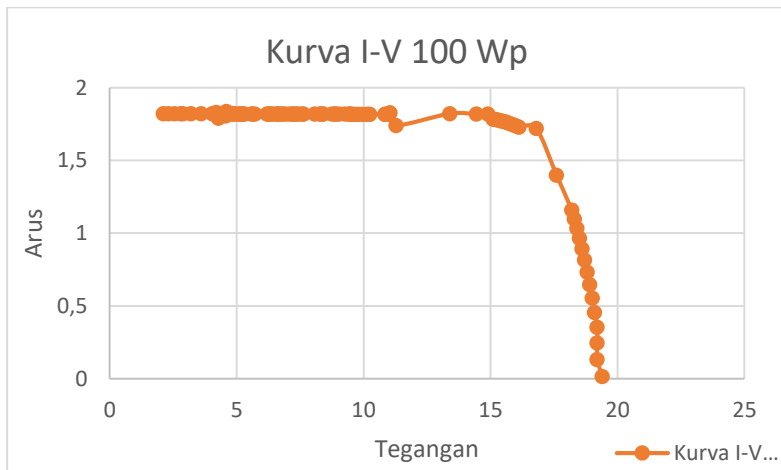
15	4,4	1,820721	8,011173
16	4,56	1,806725	8,238666
17	4,6	1,836239	8,446699
18	4,64	1,820575	8,447468
19	4,76	1,820526	8,665706
20	4,76	1,820478	8,665474
21	4,88	1,820429	8,883694
22	4,88	1,82038	8,883456
23	4,92	1,820332	8,956031
24	5,08	1,820283	9,247037
25	5,12	1,820234	9,319599
26	5,12	1,820185	9,319349
27	5,16	1,820137	9,391904
28	5,16	1,820088	9,391653
29	5,24	1,820039	9,537004
30	5,24	1,81999	9,536749
31	5,32	1,819942	9,682089
32	5,6	1,819893	10,1914
33	5,6	1,819844	10,19113
34	5,72	1,819795	10,40923
35	6,2	1,819746	11,28243
36	6,24	1,819698	11,35491
37	6,32	1,819649	11,50018
38	6,32	1,8196	11,49987
39	6,36	1,819551	11,57234
40	6,48	1,819502	11,79037
41	6,6	1,819453	12,00839
42	6,6	1,819404	12,00807
43	6,68	1,819355	12,15329
44	6,72	1,819307	12,22574

45	6,84	1,819258	12,44372
46	6,88	1,819209	12,51616
47	7,04	1,81916	12,80688
48	7,2	1,819111	13,0976
49	7,2	1,819062	13,09724
50	7,32	1,819013	13,31517
51	7,36	1,818964	13,38757
52	7,48	1,818915	13,60548
53	7,6	1,818865	13,82338
54	7,64	1,818816	13,89576
55	8,08	1,818767	14,69564
56	8,28	1,818718	15,05899
57	8,32	1,818669	15,13132
58	8,4	1,81862	15,2764
59	8,4	1,81857	15,27599
60	8,76	1,818521	15,93024
61	8,88	1,818472	16,14803
62	8,88	1,818422	16,14759
63	9,04	1,818373	16,43809
64	9,28	1,818324	16,87404
65	9,44	1,818274	17,16451
66	9,48	1,818224	17,23677
67	9,48	1,818175	17,2363
68	9,56	1,818125	17,38128
69	9,64	1,818075	17,52624
70	9,76	1,818025	17,74393
71	9,96	1,817975	18,10703
72	10,12	1,817925	18,3974
73	10,2	1,817875	18,54233
74	10,24	1,817825	18,61453

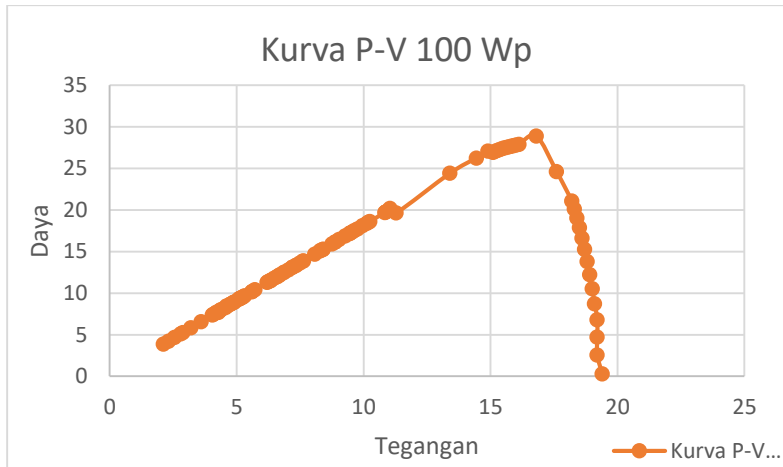
75	10,84	1,817775	19,70468
76	10,88	1,817724	19,77684
77	10,88	1,817673	19,77629
78	11	1,817622	19,99385
79	11,04	1,827432	20,17485
80	11,28	1,740813	19,63637
81	13,4	1,822533	24,42195
82	14,44	1,818324	26,25659
83	14,9	1,818274	27,09228
84	15,1	1,784406	26,94452
85	15,2	1,781074	27,07233
86	15,3	1,777383	27,19395
87	15,4	1,773292	27,30869
88	15,5	1,768759	27,41576
89	15,6	1,763738	27,51431
90	15,7	1,758176	27,60337
91	15,8	1,752019	27,6819
92	15,9	1,745202	27,74872
93	16	1,73766	27,80256
94	16,12	1,729317	27,87659
95	16,8	1,720094	28,89758
96	17,6	1,399022	24,62279
97	18,2	1,158232	21,07982
98	18,3	1,098658	20,10544
99	18,4	1,034769	19,03974
100	18,5	0,96641	17,87858
101	18,6	0,89344	16,61798
102	18,7	0,815733	15,25421
103	18,8	0,73318	13,78379
104	18,9	0,645688	12,20351

105	19	0,553182	10,51047
106	19,1	0,455607	8,702096
107	19,2	0,352925	6,77615
108	19,2	0,245115	4,706216
109	19,2	0,132178	2,537818
110	19,4	0,014128	0,274077
111	19,9	0	0

Dari Tabel 4.2 tersebut didapatkan nilai I_{mpp} sebesar 1,72 Ampere dan V_{mpp} sebesar 16,8 Volt. Maka Daya maksimum (M_{pp}) Modul uji photovoltaic adalah sebesar 28,9 Watt. Gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan grafik kurva I – V dan grafik kurva P – V dari modul uji 100Wp :



Gambar 4.8 : Kurva I –V modul uji 100 Wp



Gambar 4.9 : Kurva I –V modul uji 100 Wp

Untuk mendapatkan nilai daya sesungguhnya dari modul uji photovoltaic, dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut

$$P_{mpp\ ref} = V_{mpp\ ref} \times I_{mpp\ ref} \quad (4.1)$$

$$P_{mpp\ uji} = V_{mpp\ uji} \times I_{mpp\ uji} \quad (4.2)$$

$$P_{aktual} = (P_{mpp\ ref} / P_{mpp\ uji}) \times P_{ideal\ ref} \quad (4.3)$$

Dimana

$V_{mpp\ ref} = 16,3$ Volt

$I_{mpp\ ref} = 0,775$ Ampere

$P_{mpp\ ref} = 12,635$ Watt.

$V_{mpp\ uji} = 16,8$ Volt

$I_{mpp\ uji} = 1,72$ Ampere

$P_{mpp\ uji} = 28,9$ Watt

$P_{mpp\ ideal\ ref} = 53,25$ Watt

$V_{mpp\ ideal\ ref} = 16,57$ Volt

$I_{mpp\ ideal\ ref} = 3,21$ Ampere

Dimana $P_{mpp\ ideal\ ref}$ merupakan daya maksimum sesungguhnya dari modul referensi, didapatkan dari penelitian sebelumnya

Sehingga nilai daya sesungguhnya dari modul uji didapatkan

$$12,635 \text{ Watt} = 16,3 \text{ Volt} \times 0,775 \text{ Ampere}$$

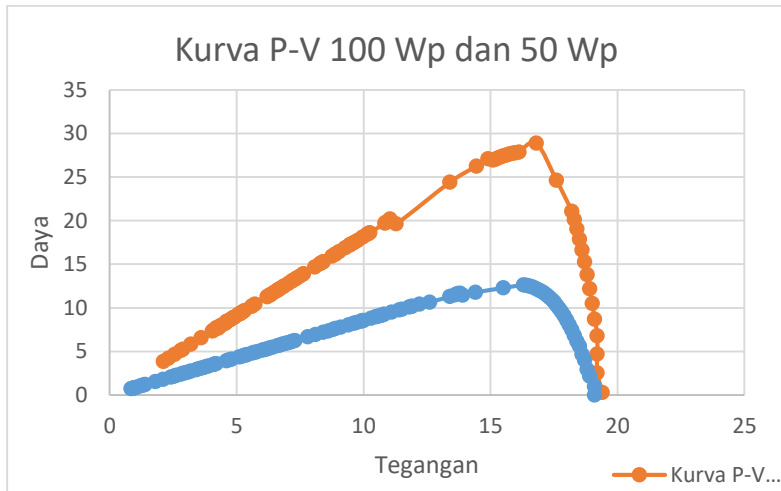
$$28,9 \text{ Watt} = 16,8 \text{ Volt} \times 1,72 \text{ Ampere}$$

$$P_{\text{aktual}} = (28,9 \text{ Watt} / 12,63 \text{ Watt}) \times 53,25 \text{ watt}$$

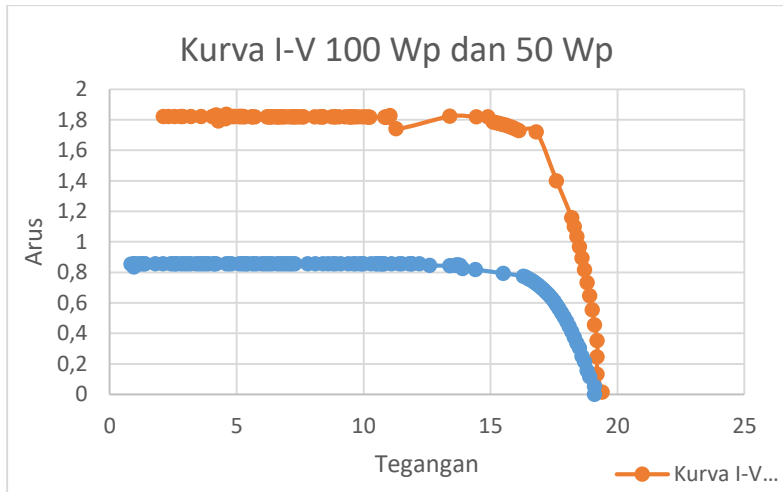
$$P_{\text{aktual}} = 121,79 \text{ Watt}$$

Daya yang tertera pada spesifikasi alat menunjukkan 100 Watt, sementara pada pengujian didapatkan 121,7886 Watt. Ada perbedaan pada daya puncak (Wp) antara spesifikasi dan pengujian sebesar 21,7886 Watt.

Gambar 4.6 dan gambar 4.7 menunjukkan karakteristik antara kurva I – V dan kurva P –V antara modul referensi 50 Wp dan modul uji 100Wp



Gambar 4.10 : Kurva I –V modul uji dan Kurva I – V modul referensi



Gambar 4.11 : Kurva P –V modul uji dan Kurva P – V modul referensi

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari Tugas Akhir yang telah dilaksanakan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada modul photovoltaik referensi, melalui pengujian secara indoor dengan penyinaran menggunakan *Sun-Simulator* didapatkan nilai I_{mpp} sebesar 0,775 Ampere dan V_{mpp} sebesar 16,3 Volt.
2. Pada modul photovoltaik uji, melalui pengujian secara indoor dengan penyinaran menggunakan *Sun-Simulator* didapatkan nilai I_{mpp} sebesar 1,72 Ampere dan V_{mpp} sebesar 16,8 Volt.
3. Daya puncak (Wp) suatu modul referensi setelah diuji dengan Sun-simulator didapatkan sebesar 12,635 Watt.
4. Daya puncak (Wp) suatu modul photovoltaik uji setelah diuji dengan Sun-simulator didapatkan sebesar 28,9 Watt
5. Daya sebenarnya modul yang diuji diperoleh dengan cara membandingkan terhadap daya maksimum modul referensi didapatkan 121,78 Watt. Nilai daya yang didapatkan berbeda dengan nilai daya yang ada pada spesifikasi alat, yaitu sebesar 100 Watt. Sehingga dapat dikatakan, dengan pengujian didapatkan nilai yang sebenarnya dari daya modul photovoltaic yang akan diuji.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat kami berikan untuk penelitian berikutnya, yaitu perlunya kajian antara penggunaan lampu halogen dan lampu jenis lainnya pada *Sun-Simulator*, agar didapatkan perbandingan, sehingga dapat menjadi bahan referensi untuk fabrikasi dari *Sun-Simulator*.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkans

DAFTAR PUSTAKA

- Irwan, Y. M. (2015). Indoor Test Performance of PV Panel through Water Cooling Method. *ELSEVIER*, 604-611.
- Bentley, J. P. (2005). *Principles of Measurement System 4th Edition*. London: Prentice Hal.
- Betcke, J. (2018, January 1). Diambil kembali dari Researchgate: https://www.researchgate.net/post/How_does_a_thin_film_solar_module_perform_well_under_low_radiation_diffused_radiation
- Lam, J. (2018, January 12). Diambil kembali dari Measuring the Spectral Characteristics of a Light Therapy Lamp: <http://justinmklam.com/posts/2018/01/sad-lamp/>
- National Instruments*. (2018). Diambil kembali dari National Instruments: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11913>
- Projects of Solar Energy*. (2018, January 1). Diambil kembali dari Projects of Solar Energy: <http://www.pse.de/test-equipment/photovoltaic-modules/solar-simulator-for-modules/soras-pl/>
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding Renewable Energy Systems*. London: Earthscan.
- Shatat, M., & Riffat, S. (2013). Experimental testing method for solar light simulator with an attached evacuated solar collector. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY AND ENVIRONMENT*, 219-230.

- (2005). *Standard Specification for Solar Simulation for Photovoltaic Testing*. West Conshohocken: ASTM Committee E44 on Solar, Geothermal and Other Alternative Energy Sources.
- Wadud, A. M., & Zaman, M. T. (2013). Renewable Energy: An Ideal Solution of Energy Crisis and Economic Development in Bangladesh. *Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering*, 18-28.
- Wang, W. (2014). *Simulate a 'Sun' for Solar Research: A Literature Review of Solar Simulator Technology*. Stockholm, Sweden: Department of Energy Technology Division of Heat and Power Technology Royal Institute of Technology.
- Wikipedia. (2017, Nopember 27). Diambil kembali dari Labwindows/CVI:
<https://en.wikipedia.org/wiki/LabWindows/CVI>
- Wikipedia. (2018, January 9). Diambil kembali dari Lux:
https://en.wikipedia.org/wiki/Lux#Relationship_between_illuminance_and_irradiance

LAMPIRAN A

Source Code Labwindows/CVI

```
#include <utility.h>
#include <ansi_c.h>
#include <stdlib.h>
#include <cvirte.h>
#include <userint.h>
#include <formatio.h>
#include <math.h>
#include <DAQmxIOctrl.h>
#include "PV Indoor Handrew.h"
#include "C:\Users\DeskTop\Documents\NI CVI
Library\include\NIDAQmx.h"
// #include "C:\Program Files (x86)\National Instruments\NI-
DAQ\DAQmx ANSI C Dev\include\NIDAQmx.h"

#define DAQmxErrChk(functionCall) if(
DAQmxFailed(error=(functionCall)) ) goto Error; else

static int panelHandle;
static int plotColors[12] = { VAL_RED, VAL_GREEN, VAL_BLUE,
VAL_CYAN, VAL_MAGENTA,

VAL_YELLOW, VAL_DK_RED, VAL_DK_BLUE,
VAL_DK_GREEN,
VAL_DK_CYAN, VAL_DK_MAGENTA,
VAL_DK_YELLOW };

struct tmn {
    int tm_sec; int tm_min; int tm_hour; int tm_mday; int tm_mon;
    int tm_year; int tm_wday; int tm_yday; int tm_isdst; } tmn001;

unsigned int year, month, day, hour, mmin, sec, weekDay;
double m_sec;
```

```

char    buffer[512];
static const char * DaysOfWeek[] = { "Sun", "Mon", "Tue", "Wed",
"Thu", "Fri", "Sat" };

```

```

int      Nc,Nn;
FILE     *streame;
int32    error=0;
TaskHandle taskHandle=0;
char     chan[256],chanV[256];
float64  min,max,rate;
uInt32   sampsPerChan;
int32    numRead;
uInt32   numChannels;
float64  *data=NULL;
// int    log;
char     errBuff[2048]={'\0'};
uInt32   i;
float64  numberV;
char     *n_m[25],*un[25], *n_mV[4];
char     *n_bln[15], *tl[32], *bl[15];
double   Vdata;
float    numberVV;

int       ii,nLoop;
char
file_name[MAX_PATHNAME_LEN],Nama_file[MAX_PATHNAME_
LEN];
char      pvfile1[MAX_PATHNAME_LEN],*exit_dir;
char      Awal_folder[MAX_PATHNAME_LEN] ;

// int     tanda_save,
int        Tanda_folder;

// int     Chn_code,Tanda_AI,Tanda_AO;
float      dataf;
char       Folder000[MAX_PATHNAME_LEN];

static int  gExiting = 0;  /* flag to indicate user is exiting */
int         NGetdir;

```

```
// int      error;
struct      DataUK { float ch01,ch02,ch03,ch04,ch05,ch06,ch07,ch08,
ch09,ch10,ch11,ch12,ch13,ch14,ch15,ch16,Teg_AO; }InpV[5000];
```

```
int         k_save;
```

```
void format_filepv(void);
```

```
////////////////////////////////////
```

```
int main(int argc, char *argv[]) {
```

```
    /* Indeks Analog-Input */
```

```
        n_m[1] ="Dev3/ai0"; n_m[2] ="Dev3/ai1"; n_m[3]
="Dev3/ai2"; n_m[4] ="Dev3/ai3";
        n_m[5] ="Dev3/ai4"; n_m[6] ="Dev3/ai5"; n_m[7] ="Dev3/ai6";
n_m[8] ="Dev3/ai7";
        n_m[9] ="Dev3/ai8"; n_m[10] ="Dev3/ai9"; n_m[11]
="Dev3/ai10"; n_m[12] ="Dev3/ai11";
        n_m[13] ="Dev3/ai12"; n_m[14] ="Dev3/ai13"; n_m[15]
="Dev3/ai14"; n_m[16] ="Dev3/ai15";
```

```
    /* Indeks Analog-Output */
```

```
        n_mV[1] = "Dev3/ao0"; n_mV[2] = "Dev3/ao1";

        n_bln[1]="Jan"; n_bln[2]="Feb"; n_bln[3]="Mar";
n_bln[4]="Apr"; n_bln[5]="Mei"; n_bln[6]="Jun";
        n_bln[7]="JUL"; n_bln[8]="Agt"; n_bln[9]="Sep";
n_bln[10]="Oct"; n_bln[11]="Nov"; n_bln[12]="Dec";
```

```
        bl[0]="0"; bl[1]="1"; bl[2]="2"; bl[3]="3";
bl[4]="4";bl[5]="5"; bl[6]="6";
        bl[7]="7"; bl[8]="8"; bl[9]="9";
```

```
        tl[1]="01"; tl[2]="02"; tl[3]="03"; tl[4]="04";tl[5]="05";
tl[6]="06"; tl[7]="07"; tl[8]="08";
```

```

        tl[9]="09"; tl[10]="10"; tl[11]="11";tl[12]="12"; tl[13]="13";
tl[14]="14";tl[15]="15"; tl[16]="16";
        tl[17]="17"; tl[18]="18";tl[19]="19"; tl[20]="20";
tl[21]="21";tl[22]="22"; tl[23]="23"; tl[24]="24";
        tl[25]="25"; tl[26]="26"; tl[27]="27"; tl[28]="28"; tl[29]="29";
tl[30]="30"; tl[31]="31";

```

```

        if( InitCVIRTE(0,argv,0)==0 )
            return -1; /* out of memory */
        if( (panelHandle=LoadPanel(0,"PV Indoor
Handrew.uir",PANEL))<0 )
            return -1;
        SetCtrlAttribute(panelHandle,PANEL_DECORATION_BLUE
,ATTR_FRAME_COLOR,VAL_BLUE);
        SetCtrlAttribute(panelHandle,PANEL_DECORATION_GREE
N,ATTR_FRAME_COLOR,VAL_GREEN);

```

```

//
        NIDAQmx_NewPhysChanAICtrl(panelHandle,PANEL_CHA
NNEL,1);

```

```

//      Tanda_AI = 0;
//      Tanda_AO = 0;

```

```

        DisplayPanel(panelHandle);
        RunUserInterface();
        DiscardPanel(panelHandle);
        return 0;
    }

```

```

////////////////////////////////////
int CVICALLBACK PanelCallback(int panel, int event, void
*callbackData,
                                int eventData1, int eventData2) {

        if( event==EVENT_CLOSE ) QuitUserInterface(0);
        return 0;
    }
////////////////////////////////////

```

```

int CVICALLBACK RangeCallback(int panel, int control, int event,
void *callbackData,
                                int eventData1, int eventData2) {
    if( event==EVENT_COMMIT ) {
        double min,max;

        GetCtrlVal(panel,PANEL_MINVAL,&min);
        GetCtrlVal(panel,PANEL_MAXVAL,&max);
        if( min<max )

            SetAxisScalingMode(panel,PANEL_GRAPH,VAL_LEFT_YA
XIS,VAL_MANUAL,min,max);
            return 1;
        }
        return 0;
    }
}

```

```

////////////////////////////////////
int CVICALLBACK AcquireCallback(int panel, int control, int
event,void *callbackData,
                                int eventData1, int eventData2) {

    int      log;

    if (event == EVENT_COMMIT) {

        GetCtrlVal(panel,PANEL_MINVAL,&min);
        GetCtrlVal(panel,PANEL_MAXVAL,&max);

        GetCtrlVal(panel,PANEL_SAMPSPERCHAN,&sampsPerCha
n);

        GetCtrlVal(panel,PANEL_RATE,&rate);

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_GRAPH,ATTR_XAXIS_GAI
N,1.0/rate);
        log = (int)log10(rate);
    }
}

```

```

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_GRAPH,ATTR_XPRECISION
,log);

//          SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER,
ATTR_INTERVAL,10);

//
        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER_02,ATTR_ENABLED
,1);// mengaktifkan Timer 2

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER,ATTR_ENABLED,1);
// menghidupkan Timer 1

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER_02,ATTR_ENABLED
,1);// mengaktifkan Timer 2

/*****/
// Voltage Output (AO)
/*****/
        strcpy(chanV, n_mV[2]);
/*****/
        // DAQmx Configure Code
/*****/
//      SetWaitCursor(1);
        DAQmxErrChk
(DAQmxCreateTask("",&taskHandle));
        DAQmxErrChk
(DAQmxCreateAOVoltageChan(taskHandle,chanV,"",min,max,DAQm
x_Val_Volts,""));

/*****/
// DAQmx Start Code

/*****/
        DAQmxErrChk (DAQmxStartTask(taskHandle));

/*****/

```


Error:

```
        SetWaitCursor(0);
        if( DAQmxFailed(error) )
DAQmxGetExtendedErrorInfo(errBuff,2048);

        if( taskHandle!=0 ) {

                /***/
                // DAQmx Stop Code

                /***/
//
                taskHandle =0;

                DAQmxStopTask(taskHandle);
                DAQmxClearTask(taskHandle);

//
                SetCtrlAttribute(panel,PANEL_ACQUIRE,ATTR_DIMMED,
0); }

                taskHandle = 0;
                if( data ) { free(data); data = NULL; }
                if( DAQmxFailed(error) ) MessagePopup("DAQmx
Error",errBuff);

                SetCtrlAttribute(panel,PANEL_ACQUIRE,ATTR_DIMMED,
0); }

                return 0;
                }
                return 0;
        }

////////////////////////////////////
int CVICALLBACK TimerCall(int panel, int control, int event,void
*callbackData,
                int eventData1, int eventData2) {

//
                float64    numberV;
```

```

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER,ATTR_ENABLED,1);
// menghidupkan Timer 1 -> Start
        DeleteGraphPlot(panel,PANEL_GRAPH,-
1,VAL_IMMEDIATE_DRAW);

        Nn = Nn + 1;

        numberV = numberVV;

        strcpy(chan, n_m[Nn]);

        if(Nn==5) {

                //          numberVV = numberVV + 0.5 ;

                numberVV = 5;
                Nn=0;Nc=Nc+1; }

        switch (event) {
                case EVENT_TIMER_TICK:

                        SetCtrlVal(panel,PANEL_Num_001,Nn);
                        SetCtrlVal(panel,PANEL_Num_002,Nc);
                        SetCtrlVal(panel, PANEL_AO_01, numberV);

//          SetCtrlVal(panel, PANEL_AO_01, 0);

//          if(sec==0) Nc=0;

                /*****/
                // DAQmx Configure Code

                /*****/

//          SetWaitCursor(1);
                DAQmxErrChk
(DAQmxCreateTask("",&taskHandle));

```

```

                                DAQmxErrChk
(DAQmxCreateAIVoltageChan(taskHandle,chan,"",DAQmx_Val_Cfg_
Default,

min,max,DAQmx_Val_Volts,NULL));
                                DAQmxErrChk
(DAQmxCfgSampClkTiming(taskHandle,"",rate,DAQmx_Val_Rising,

DAQmx_Val_FiniteSamps,sampsPerChan));
                                DAQmxErrChk
(DAQmxGetTaskAttribute(taskHandle,DAQmx_Task_NumChans,&nu
mChannels));

                                if(
(data=malloc(sampsPerChan*numChannels*sizeof(float64)))==NULL )
{
                                MessagePopup("Error","Not enough
memory");
                                goto Error;                                }

                                /*****/
                                // DAQmx Start Code

                                /*****/
//                                DAQmxErrChk (DAQmxStartTask(taskHandle));
//
//                                SetCtrlAttribute(panel,PANEL_ACQUIRE,ATTR_DIMMED,
1);
//                                ProcessDrawEvents();

                                /*****/
                                // DAQmx Read Code

                                /*****/
                                DAQmxErrChk
(DAQmxReadAnalogF64(taskHandle,sampsPerChan,10.0,DAQmx_Val
_GroupByChannel,

```

```
data,sampsPerChan*numChannels,&numRead,NULL));
```

```
//          dataf=*data; // merubah format : float64 --> float  
//          printf("Nilai data : %lf\n",*data); // atau mencetak  
numerik format : float64
```

```
    InpV[Nc].Teg_AO = numberVV;
```

```
    switch (Nn){
```

```
        case 1 : InpV[Nc].ch01= *data;  
        case 2 : InpV[Nc].ch02= *data;  
        case 3 : InpV[Nc].ch03= *data;  
        case 4 : InpV[Nc].ch04= *data;  
        case 5 : InpV[Nc].ch05= *data;  
        case 6 : InpV[Nc].ch06= *data;  
        case 7 : InpV[Nc].ch07= *data;  
        case 8 : InpV[Nc].ch08= *data;  
        case 9 : InpV[Nc].ch09= *data;  
        case 10 : InpV[Nc].ch10= *data;  
        case 11 : InpV[Nc].ch11= *data;  
        case 12 : InpV[Nc].ch12= *data;  
        case 13 : InpV[Nc].ch13= *data;  
        case 14 : InpV[Nc].ch14= *data;  
        case 15 : InpV[Nc].ch15= *data;  
        case 16 : InpV[Nc].ch16= *data;
```

```
    } // switch(Chn_code)
```

```
        SetCtrlVal(panel,PANEL_Numeric001,InpV[Nc].ch01);
```

```
        SetCtrlVal(panel,PANEL_Numeric002,InpV[Nc].ch02);
```

```
        SetCtrlVal(panel,PANEL_Numeric003,InpV[Nc].ch03);
```

```
        SetCtrlVal(panel,PANEL_Numeric004,InpV[Nc].ch04);
```

```

        if( numRead>0 )
            for(i=0;i<numChannels;i++)

                PlotY(panel,PANEL_GRAPH,&(data[i*numRead]),numRead,
VAL_DOUBLE,VAL_THIN_LINE,

VAL_EMPTY_SQUARE,VAL_SOLID,1,plotColors[i%12]);

    /***/
    // Voltage Output (AO)
    /***/

    /***/
    // DAQmx Configure Code

    /***/
//    SetWaitCursor(1);
        DAQmxErrChk
(DAQmxCreateTask("",&taskHandle));
        DAQmxErrChk
(DAQmxCreateAOVoltageChan(taskHandle,chanV","",min,max,DAQm
x_Val_Volts,""));

    /***/
    // DAQmx Start Code

    /***/
        DAQmxErrChk (DAQmxStartTask(taskHandle));

    /***/
    // DAQmx Write Code

```

```

/*****
DAQmxErrChk
(DAQmxWriteAnalogF64(taskHandle,1,1,10.0,DAQmx_Val_GroupBy
Channel,&numberV,NULL,NULL));
//          DAQmxErrChk
(DAQmxWriteAnalogF64(taskHandle,1,1,10.0,DAQmx_Val_GroupBy
Channel,&data, NULL,NULL));

/*          format_filepv(); */

//          if(numberV>=9 ) {

                if(k_save==99) {

                        SetCtrlVal(panel, PANEL_AO_01, numberV);
                        nLoop=Nc; numberV=NULL; numberVV=NULL;
Nn=NULL; Nc=0;

//          printf("Nilai nLoop : %d\n",nLoop);
//          getchar();

                        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER,ATTR_ENABLED,0);
// menghentikan sementara Timer 1 -> Pause

//          Nn=0; //Riset .....---->aawal

                        format_filepv(); // Sistem penyimpanan data pengukuran ke
dalam Hard-disk
                        k_save=0;
                } // switch (event) {

        }

// format_filepv();

```

Error:

```

        SetWaitCursor(0);
        if( DAQmxFailed(error) )
DAQmxGetExtendedErrorInfo(errBuff,2048);

        if( taskHandle!=0 ) {

            /******
            // DAQmx Stop Code

            /******
//
            taskHandle =0;

            DAQmxStopTask(taskHandle);
            DAQmxClearTask(taskHandle);

//
            SetCtrlAttribute(panel,PANEL_ACQUIRE,ATTR_DIMMED,
0); }

            taskHandle = 0;
            if( data ) { free(data); data = NULL; }
            if( DAQmxFailed(error) ) MessagePopup("DAQmx
Error",errBuff);

            SetCtrlAttribute(panel,PANEL_ACQUIRE,ATTR_DIMMED,
0); }

            return 0;

        }

////////////////////////////////////////
int CVICALLBACK Exit001(int panel, int control, int event,void
*callbackData,
                        int eventData1, int eventData2) {
    switch (event) {
        case EVENT_COMMIT:

```

```

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER_02,ATTR_ENABLED
,0);

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_COMMANDBUTTON,ATTR
_DIMMED,0);

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER,ATTR_ENABLED,0);

        SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER_02,ATTR_ENABLED
,0);

        //      DAQmxStopTask(taskHandle);
        DAQmxClearTask(taskHandle);

        QuitUserInterface(0);

                break;
        }
        return 0;
}

////////////////////////////////////
int CVICALLBACK StopCallback(int panel, int control, int event,void
*callbackData,
                int eventData1, int eventData2) {

        if( event==EVENT_COMMIT ) {

                SetCtrlAttribute(panel,PANEL_TIMER,ATTR_ENABLED,0);

//
                SetCtrlAttribute(panel,PANEL_START,ATTR_DIMMED,0);
        }
        return 0;
}
////////////////////////////////////
int CVICALLBACK Timer002(int panel, int control, int event,void
*callbackData,

```



```

        int eventData1, int eventData2) {

    time_t waktu;

    waktu = time(NULL);
    localtime(&waktu);

    CVIAbsoluteTime absTime;

    while (!gExiting)
    {
        GetCurrentCVIAbsoluteTime(&absTime);
        CVIAbsoluteTimeToLocalCalendar(absTime, &year,
&month, &day,
&hour,&mmin, &sec,
&m_sec, &weekDay);

        // Update display
        //      SetCtrlVal(panel, PANEL_Num_00, m_sec);
        SetCtrlVal(panel, PANEL_Num_01, sec);
        SetCtrlVal(panel, PANEL_Num_02, mmin);

        SetCtrlVal(panel, PANEL_Num_03, hour);

        break;
    }

    return 0;
}

//////////
void format_filepv(){
    char bagianpv[MAX_PATHNAME_LEN],pvstring[50],*pvptr;
    char *tulisan3; int pvreact;
    char name_01[MAX_PATHNAME_LEN],
name_02[MAX_PATHNAME_LEN] ;

    int pemb_ribu = 1000, pemb_ratus=100, pemb_puluh=10;

```

```

        int hsl01, hsl02, hsl03;
        int rbu,ssRts,rts, ssPlh, plh, ssIji, lAwal_folder;
        char hasil009,pjg_hrf01,pjg_hrf02, *path,
Kfd[MAX_PATHNAME_LEN]="\\PV_NTest";

        int Nsetdir,Nmakedir, *posisi;

        char
Awal_folder001[MAX_PATHNAME_LEN],*ptr_Awal_folder;

        un[0] ="Teg.AO"; un[1] ="Ch01"; un[2] ="Ch02"; un[3]
="Ch03";
        un[4] ="Ch04"; un[5] ="Ch05"; un[6] ="Ch06"; un[7]
="Ch07";
        un[8] ="Ch08"; un[9] ="Ch09"; un[10]="Ch10";
un[11]="Ch11";
        un[12]="Ch12"; un[13]="Ch13"; un[14]="Ch14";
un[15]="Ch15";
        un[16]="Ch16";

        ptr_Awal_folder=NULL;

        NGetdir = GetDir(Awal_folder);
        if(Tanda_folder ==0) strcpy(Folder000,Awal_folder);

        strcpy(Awal_folder001,Awal_folder);

        strcat(Awal_folder,"\\PV_test");
        strcpy(bagianpv,Awal_folder);

        strcpy(file_name,"PV");

        /* Years */
        hsl01=year/pemb_ribu;    strcat(file_name,bl[hsl01]);
        rbu = hsl01*pemb_ribu;    ssRts=year-rbu;
        hsl02= ssRts/pemb_ratus;
        strcat(file_name,bl[hsl02]);

```

```

rts = hsl02*pemb_ratus;  ssPlh = ssRts-rts;
hsl03 = ssPlh/pemb_puluh; strcat(file_name,bl[hsl03]);

plh = hsl03*pemb_puluh;  ssIji = ssPlh-plh;
strcat(file_name,bl[ssIji]);

/* Months */
strcpy(name_01,n_bln[month]); strcat(file_name,name_01);
strcpy(name_02,tl[day]);  strcat(file_name,name_02);

/* Hours */
strcat(file_name,"h");

hsl01=hour/pemb_puluh;      strcat(file_name,bl[hsl01]);
hsl02=hour - (hsl01*pemb_puluh);
strcat(file_name,bl[hsl02]);

/* Minute */
strcat(file_name,"m");

hsl01=mmin/pemb_puluh;      strcat(file_name,bl[hsl01]);
hsl02=mmin - (hsl01*pemb_puluh);
strcat(file_name,bl[hsl02]);

/* Seconds */
strcat(file_name,"s");
hsl01=sec/pemb_puluh;      strcat(file_name,bl[hsl01]);
hsl02=sec-(hsl01*pemb_puluh);
strcat(file_name,bl[hsl02]);

strcpy>Nama_file,file_name);  strcat>Nama_file,".test");

tulisan3=NULL; tulisan3= calloc(80,sizeof(char));
//  strcpy(pvstring,file_name);

strcpy(tulisan3,file_name);

//  printf ("tulisan3  : %s\n", tulisan3);

```

[illegible]

```

InpV[ii].ch05,InpV[ii].ch06,InpV[ii].ch07,InpV[ii].ch08,InpV[ii].ch09,
        InpV[ii].ch10,InpV[ii].ch11,InpV[ii].ch12,InpV[ii].ch13,InpV[i
i].ch14,
        InpV[ii].ch15,InpV[ii].ch16);
        //
2   3   4           5           6           7   8           9   10       1
        }

        fclose(streame);

        Tanda_folder=1; SetDir(Folder000);
    }
} // end of the subroutine "format_filepv()"

```

////////////////////////////////////

```

int CVICALLBACK Save001 (int panel, int control, int event,
        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:

            k_save =99;
            break;

    }
    return 0;
}

```


LAMPIRAN B

Tabel A-1 : Data Pengukuran Panjang Gelombang Lampu Halogen

Lamda	Power	Lamda	Power	Lamda	Power
400	1,51E-05	500	4,84E-05	600	1,07E-04
400	1,68E-05	500	4,84E-05	600	1,06E-04
400	1,81E-05	500	4,76E-05	600	1,06E-04
400	1,44E-05	500	4,75E-05	600	1,07E-04
400	1,78E-05	500	4,76E-05	600	1,06E-04
400	1,43E-05	500	4,86E-05	600	1,06E-04
400	1,80E-05	500	4,85E-05	600	1,07E-04
400	1,71E-05	500	4,79E-05	600	1,07E-04
400	1,73E-05	500	4,79E-05	600	1,07E-04
400	1,57E-05	500	4,83E-05	600	1,07E-04
410	1,41E-05	510	5,16E-05	610	1,08E-04
410	1,43E-05	510	5,18E-05	610	1,08E-04
410	1,43E-05	510	5,21E-05	610	1,08E-04
410	1,68E-05	510	5,27E-05	610	1,08E-04
410	1,56E-05	510	5,20E-05	610	1,08E-04
410	1,54E-05	510	5,27E-05	610	1,08E-04
410	1,70E-05	510	5,19E-05	610	1,08E-04
410	1,41E-05	510	5,28E-05	610	1,07E-04
410	1,42E-05	510	5,17E-05	610	1,07E-04
410	1,55E-05	510	5,25E-05	610	1,08E-04
420	1,63E-05	520	5,72E-05	620	1,10E-04
420	1,60E-05	520	5,75E-05	620	1,10E-04
420	1,83E-05	520	5,72E-05	620	1,10E-04
420	1,83E-05	520	5,74E-05	620	1,10E-04
420	1,59E-05	520	5,76E-05	620	1,10E-04

420	1,63E-05	520	5,73E-05	620	1,10E-04
420	1,69E-05	520	5,77E-05	620	1,10E-04
420	1,60E-05	520	5,81E-05	620	1,10E-04
420	1,78E-05	520	5,81E-05	620	1,10E-04
420	1,82E-05	520	5,72E-05	620	1,10E-04
430	1,79E-05	530	6,19E-05	630	1,13E-04
430	1,79E-05	530	6,22E-05	630	1,13E-04
430	1,75E-05	530	6,26E-05	630	1,13E-04
430	1,92E-05	530	6,28E-05	630	1,13E-04
430	1,92E-05	530	6,21E-05	630	1,14E-04
430	1,79E-05	530	6,23E-05	630	1,13E-04
430	1,76E-05	530	6,25E-05	630	1,13E-04
430	1,92E-05	530	6,17E-05	630	1,14E-04
430	1,92E-05	530	6,18E-05	630	1,14E-04
430	1,76E-05	530	6,24E-05	630	1,14E-04
440	2,11E-05	540	6,52E-05	640	1,15E-04
440	2,17E-05	540	6,53E-05	640	1,16E-04
440	2,11E-05	540	6,55E-05	640	1,16E-04
440	2,10E-05	540	6,56E-05	640	1,16E-04
440	2,14E-05	540	6,59E-05	640	1,16E-04
440	2,23E-05	540	6,60E-05	640	1,16E-04
440	2,22E-05	540	6,53E-05	640	1,15E-04
440	2,13E-05	540	6,55E-05	640	1,16E-04
440	2,19E-05	540	6,58E-05	640	1,16E-04
440	2,13E-05	540	6,53E-05	640	1,15E-04
450	2,54E-05	550	6,92E-05	650	1,18E-04
450	2,48E-05	550	6,95E-05	650	1,18E-04
450	2,55E-05	550	6,89E-05	650	1,18E-04
450	2,58E-05	550	6,87E-05	650	1,17E-04
450	2,56E-05	550	6,89E-05	650	1,17E-04

450	2,50E-05	550	6,96E-05	650	1,17E-04
450	2,52E-05	550	6,92E-05	650	1,17E-04
450	2,57E-05	550	6,91E-05	650	1,17E-04
450	2,50E-05	550	6,93E-05	650	1,17E-04
450	2,54E-05	550	6,94E-05	650	1,17E-04
460	2,75E-05	560	7,32E-05	660	1,17E-04
460	2,69E-05	560	7,30E-05	660	1,17E-04
460	2,74E-05	560	7,27E-05	660	1,17E-04
460	2,62E-05	560	7,32E-05	660	1,17E-04
460	2,66E-05	560	7,28E-05	660	1,17E-04
460	2,71E-05	560	7,32E-05	660	1,17E-04
460	2,63E-05	560	7,33E-05	660	1,17E-04
460	2,69E-05	560	7,25E-05	660	1,17E-04
460	2,74E-05	560	7,23E-05	660	1,16E-04
460	2,72E-05	560	7,25E-05	660	1,17E-04
470	2,99E-05	570	7,82E-05	670	1,14E-04
470	3,00E-05	570	7,82E-05	670	1,14E-04
470	2,98E-05	570	7,81E-05	670	1,13E-04
470	3,03E-05	570	7,85E-05	670	1,13E-04
470	3,05E-05	570	7,80E-05	670	1,14E-04
470	3,01E-05	570	7,81E-05	670	1,13E-04
470	2,99E-05	570	7,82E-05	670	1,13E-04
470	2,96E-05	570	7,72E-05	670	1,14E-04
470	3,08E-05	570	7,75E-05	670	1,13E-04
470	3,07E-05	570	7,77E-05	670	1,13E-04
480	3,49E-05	580	8,34E-05	680	1,07E-04
480	3,52E-05	580	8,33E-05	680	1,07E-04
480	3,56E-05	580	8,26E-05	680	1,07E-04
480	3,58E-05	580	8,36E-05	680	1,07E-04
480	3,59E-05	580	8,41E-05	680	1,07E-04

480	3,53E-05	580	8,21E-05	680	1,07E-04
480	3,49E-05	580	8,20E-05	680	1,07E-04
480	3,55E-05	580	8,30E-05	680	1,07E-04
480	3,56E-05	580	8,33E-05	680	1,06E-04
480	3,51E-05	580	8,32E-05	680	1,07E-04
490	4,12E-05	590	8,83E-05	690	1,02E-04
490	4,09E-05	590	8,84E-05	690	1,02E-04
490	4,13E-05	590	8,76E-05	690	1,02E-04
490	4,04E-05	590	8,79E-05	690	1,03E-04
490	4,12E-05	590	8,78E-05	690	1,02E-04
490	4,10E-05	590	8,77E-05	690	1,02E-04
490	4,08E-05	590	8,79E-05	690	1,03E-04
490	4,12E-05	590	8,82E-05	690	1,02E-04
490	4,00E-05	590	8,78E-05	690	1,03E-04
490	4,02E-05	590	8,68E-05	690	1,02E-04
				700	9,93E-05
				700	9,92E-05
				700	9,92E-05
				700	9,95E-05
				700	9,95E-05
				700	9,92E-05
				700	9,97E-05
				700	9,94E-05
				700	9,95E-05
				700	9,97E-05



BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis Handrew Kharisma dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 10 Juni 1995 dari ayah bernama Isman, S.E dan ibu bernama Karya Mukti, S.E. Penulis merupakan anak sulung dari 2 bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Arief Rachman Hakim No.21 Sukolilo, Surabaya. Tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 2 Sidoarjo. Dan pada tahun 2018 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA KARAKTERISTIK MODUL FOTOVOLTAIK MENGGUNAKAN DATA HASIL PENGUKURAN ARUS – TEGANGAN DENGAN *SUN – SIMULATOR*”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui kontak dibawah.

*HandrewKharisma @gmail.com/089680386890WA