



**TUGAS AKHIR TF 141581**

**ANALISA PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA MELALUI RANCANG BANGUN  
SERTA PENGUKURAN DENGAN SENSOR SOLAR  
IRRADIANCE DAN TEMPERATUR**

**ADAM SATRIYO ADI  
NRP 2414.106.022**

**Dosen Pembimbing :  
Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.  
Ir. Roekmono, M.T**

**Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT TF 141581**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR POWER  
PLANT THROUGH DESIGN AND METERING WITH  
SOLAR IRRADIANCE AND TEMPERATURE SENSORS**

**ADAM SATRIYO ADI**  
**NRP 2413.106.022**

*Advisor Lecturer :*  
**Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.**  
**Ir. Roekmono, M.T**

*Department of Engineering Physics*  
*Faculty of Industrial Technology*  
*Sepuluh Nopember Institute of Technology*  
*Surabaya 2016*

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA MELALUI RANCANG BANGUN  
SERTA PENGUKURAN DENGAN SENSOR SOLAR  
IRRADIANCE DAN TEMPERATUR**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**Adam Satriyo Adi**

**NRP : 2414.106.022**

**Pembimbing I**



**Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T**

**NIP. 19761223 200501 1 001**

**Pembimbing II**



**Ir. Roekmono, M.T**

**NIP. 19580908 198601 1 001**



**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**

**Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D**

**NIP: 19780902 200312 1 002**

**ANALISA PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA MELALUI RANCANG BANGUN  
SERTA PENGUKURAN DENGAN SENSOR SOLAR  
IRRADIANCE DAN TEMPERATUR**






**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi S-1 Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**Adam Satriyo Adi**  
**NRP : 2414.106.022**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T..... (Pembimbing I)
2. Ir. Roekmono, M.T..... (Pembimbing II)
3. Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT, Ph.D..... (Penguji I)
4. Nur Laila Hamidah S.T, MSc..... (Penguji II)
5. Dyah Sawitri, ST, MT..... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**JANUARI, 2017**

# ANALISA PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA MELALUI RANCANG BANGUN SERTA PENGUKURAN DENGAN SENSOR *SOLAR IRRADIANCE* DAN TEMPERATUR

NAMA : ADAM SATRIYO ADI  
NRP : 2414. 106. 022  
JURUSAN : TEKNIK FISIKA, FTI-ITS  
DOSEN PEMBIMBING I : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T  
DOSEN PEMBIMBING II : Ir. Roekmono, M.T

## ABSTRAK

Salah satu alternatif sumber energi listrik terbarukan adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Kinerja PLTS sendiri sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter lingkungan dari *photovoltaic array* diantaranya adalah, suhu permukaan *photovoltaic array*, suhu lingkungan, dan *solar irradiance*. Penelitian ini menggunakan rancang bangun sensor *solar irradiance* berbasis sel *photovoltaic* sebagai pengganti *pyranometer*, sensor DS18B20 sebagai sensor suhu permukaan dan DHT11 sebagai sensor suhu lingkungan. Dari hasil data yang didapat efisiensi tertinggi yaitu 14,1% didapat saat *solar irradiance* sebesar 374,337 W/m<sup>2</sup>, suhu lingkungan sebesar 31°C dan suhu permukaan sebesar 33,35°C. Efisiensi terendah sebesar 6,45% didapat saat *solar irradiance* sebesar 454,593 W/m<sup>2</sup>, suhu lingkungan sebesar 32°C dan suhu permukaan sebesar 42,8°C. Efisiensi dari *photovoltaic array* ini sangat dipengaruhi oleh suhu permukaan dan suhu lingkungan, semakin tinggi suhu permukaan dan lingkungan maka semakin rendah efisiensi dari *photovoltaic array*. Sedangkan *solar irradiance* mempunyai pengaruh yang tidak langsung, karena saat nilai *solar irradiance* naik, maka suhu permukaan dan suhu lingkungan juga naik.

**Kata Kunci** : *Solar Irradiance*, Suhu *Photovoltaic*, Efisiensi *Photovoltaic Array*, sel *Photovoltaic*, *Pyranometer*, PLTS.

**PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT  
THROUGH DESIGN AND METERING WITH SOLAR  
IRRADIANCE AND TEMPERATURE SENSORS**

**NAME** : ADAM SATRIYO ADI  
**NRP** : 2414. 106. 022  
**DEPARTEMEN**: ENGINEERING PHYSICS, FTI-ITS  
**SUPERVISOR I** : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T  
**SUPERVISOR II** : Ir. Roekmono, M.T

**ABSTRACT**

*One alternative source of renewable electrical energy is solar power plant. Solar power plant performance is greatly influenced by environmental parameters including the photovoltaic array surface temperature, ambient temperature, and solar irradiance. This study uses solar irradiance sensor based on photovoltaic cells as a replacement of pyranometer, sensor DS18B20 as a surface temperature sensor and DHT11 as the ambient temperature sensor. The results of obtained data, the highest efficiency is 14.2% acquired at 374,337 W/m<sup>2</sup> for solar irradiance, 31°C for ambient temperature and 33,35°C for surface temperature. The lowest efficiency is 6.45% acquired in solar irradiance at 454.593 W / m<sup>2</sup>, ambient temperature at 32°C, and the surface temperature at 42,8°C. Efficiency of photovoltaic array is highly influenced by its surface temperature and ambient temperature, the increasing of surface temperature and ambient temperature make the efficiency of photovoltaic array decreased. Whereas solar irradiance had indirect effects, because when solar irradiance is increasing then the surface temperature and ambient temperature increase.*

**Keywords:** *Solar Irradiance, temperature of Photovoltaic, Efficiency of Photovoltaic Array, Photovoltaic cell, Pyranometer, Solar Power Plant.*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan berkahnya yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Melalui Rancang Bangun Serta Pengukuran Dengan Sensor *Solar Irradiance* Dan Temperatur”**.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala hidayahnya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Kedua orang tua dan saudara yang selama ini memberi dukungan, baik moril maupun materil.
3. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat, nasehat dan juga motivasi.
4. Bapak Ir. Roekmono, M.T selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir ini dan selaku dosen wali yang selalu memberikan semangat, nasehat dan juga motivasi.
5. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, Msi, Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Fisika ITS
6. Bapak Dr.Gunawan Nugroho, S.T, P.hD selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika-ITS.
7. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di jurusan Teknik Fisika - ITS.
8. Rusdan, Riyan dan Okky selaku partner dalam mengerjakan tugas akhir ini yang selalu memberikan semangat.
9. Teman-teman LJ Genap 2014 Teknik Fisika yang selalu pengertian.

10. Teman-teman D3 EB 2011 yang telah banyak memberikan saran dan dukungan.
11. Segenap keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa karya yang sempurna hanya ada pada Allah SWT. Oleh sebab itu, penulis sangat berterimakasih atas segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik dari sebelumnya. Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya,24 Desember 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Permasalahan .....	3
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Solar Irradiance</i> .....	5
2.2 <i>Efek Photovoltaic</i> .....	7
2.3 <i>Pyranometer</i> .....	7
2.4 Temperatur .....	9
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	12
2.5.1 Modul Sel Surya.....	14
2.6 Mikrokontroler .....	16
2.7 Efisiensi Sel Surya .....	17
2.8 Karakteristik Alat Ukur .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Perumusan Masalah.....	22
3.2 Studi Literatur .....	22
3.3 Perancangan dan Pembuatan Sistem .....	22
3.4 Pembacaan <i>Solar Irradiance</i> oleh Sel <i>Photovoltaic</i> ..	27
a. PV-A Mode 1.....	34
b. PV-A Mode 2 .....	35

c.PV-A Mode 3.....	36
d.PV-B Mode 1.....	37
e.PV-B Mode 2.....	37
f.PV-B Mode 3 .....	38
3.5Pengaruh Sudut Terhadap Pembacaan Sel <i>Photovoltaic</i> .....	39
3.6Pengambilan Data <i>Solar Irradiance</i> .....	42
3.7Pengambilan Data Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i> <i>Array</i> .....	43
3.8Pengambilan Data Suhu Lingkungan PLTS.....	44
3.9Pengambilan Data <i>OutputPhotovoltaic Array</i> .....	44
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>47</b>
4.1 Analisa <i>Error</i> Kalibrasi Sel <i>Photovoltaic</i> .....	47
4.2 Analisa Pengaruh <i>Solar Irradiance</i> Terhadap daya <i>outputPhotovoltaic Array</i> .....	49
4.3 Analisa Pengaruh Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i> <i>Array</i> Terhadap Efisiensi <i>Photovoltaic Array</i> .....	51
4.5Analisa Pengaruh Suhu Lingkungan <i>Photovoltaic</i> <i>Array</i> Terhadap Efisiensi <i>Photovoltaic Array</i> .....	52
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN A</b> .....	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN B</b> .....	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN C</b> .....	<b>76</b>
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	<b>79</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta potensi dari <i>Solar Irradiance</i> di ASEAN .....	5
Gambar 2.2 Variasi jumlah titik sejak tahun 1950 .....	6
Gambar 2.3 Skema sederhana dari PV .....	7
Gambar 2.4 <i>Pyranometer</i> .....	8
Gambar 2.5 <i>Photodiode-based pyranometer</i> .....	9
Gambar 2.6 <i>DHT 11</i> .....	10
Gambar 2.7 sensor temperatur DS18B20.....	11
Gambar 2.8. PLTS menggunakan <i>photovoltaic</i> .....	13
Gambar 2.9 Kurva I-V : (a) Pemasangan Paralel, (b) Pemasangan Seri, dan (c) Pemasangan Seri Paralel .....	15
Gambar 2.10 Kurva I-V dengan temperatur <i>photovoltaic</i> .....	16
Gambar 2.11. Minimum sistem mikrokontroler.....	17
Gambar 2.12. kurva karakteristik I-V pada sel surya.....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	21
Gambar 3.2 Mode 1, mode 2 dan mode 3 .....	23
Gambar 3.3 Rangkaian Resistor shunt skematik dan rangkaian .	24
Gambar 3.4 Sensor DS18B20 .....	24
Gambar 3.5 Rangkaian <i>pull-up</i> sensor DS18B20.....	25
Gambar 3.6 Rangkaian pull-up DHT11 dan skematik .....	25
Gambar 3.7 Diagram blok Mikrokontroler Atmega 16.....	26
Gambar 3.8 Skematik dan rangkaian Mikrokontroler Atmega 16 .....	26
Gambar 3.9 Box sistem monitoring .....	27
Gambar 3.10 Pengambilan data kalibrasi .....	27
Gambar 3.11 Pyranometer yang digunakan .....	28
Gambar 3.12 Grafik perbandingan PV-A mode-1 dengan <i>pyranometer</i> .....	34

Gambar 3.13 Grafik perbandingan PV-A mode-2 dengan <i>pyranometer</i> .....	35
Gambar 3.14 Grafik perbandingan PV-A mode-3 dengan <i>pyranometer</i> .....	36
Gambar 3.15 Grafik perbandingan PV-B mode-1 dengan <i>pyranometer</i> .....	37
Gambar 3.16 Grafik perbandingan PV-B mode-2 dengan <i>pyranometer</i> .....	38
Gambar 3.17 Grafik perbandingan PV-B mode-3 VS <i>pyranometer</i> .....	39
Gambar 3.18 pengambilan data pengaruh sudut .....	40
Gambar 3.19 Perbandingan faktor pengkali dibanding perubahan sudut .....	42
Gambar 3.20 Sel surya sebagai sensor <i>solar irradiance</i> .....	43
Gambar 3.21 Sensor suhu DS18B20.....	44
Gambar 3.22 Sensor suhu DHT11 .....	44
Gambar 3.23 Pengambilan data <i>outputphotovoltaic array</i> .....	45
Gambar 4.1 Grafik <i>error</i> PV-A dengan nilai <i>irradiance</i> .....	47
Gambar 4.2 Grafik <i>error</i> PV-B dengan nilai <i>irradiance</i> .....	48
Gambar 4.3 Perbandingan <i>outputphotovoltaic</i> dan <i>solar irradiance</i> .....	50
Gambar 4.4 Perbandingan efisiensi <i>photovoltaic</i> dengan suhu permukaan .....	51
Gambar 4.5 Perbandingan efisiensi <i>photovoltaic</i> dengan suhu lingkungan.....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jenis <i>photovoltaic</i> .....	22
Tabel 3.2 Perubahan sudut terhadap pembacaan <i>solar irradiance</i> . .....	41



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu alternatif sumber energi listrik adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Faktor pemilihan PLTS sebagai sumber energi listrik alternatif adalah karena Indonesia mempunyai sumber energi matahari yang sangat memadai, dimana rata-rata terkecil sumber energi matahari di Indonesia adalah 4,53-4,57 kWh/m<sup>2</sup>/hari (Nurliyanti, 2012). Untuk mendukung penggunaan jenis pembangkit ini, maka diperlukan monitoring performansi secara berkala. Monitoring ini akan sulit dilakukan jika SDM kurang memadai serta sulitnya akses menuju PLTS. Sehingga perlu dibuat sebuah sistem yang memudahkan monitoring performansi dari PLTS. Sistem ini mengukur kondisi PLTS dan parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja PLTS. Parameter-parameter tersebut adalah tegangan *photovoltaic*, arus *photovoltaic*, suhu permukaan *photovoltaic*, suhu lingkungan PLTS dan *solar irradiance*.

Efisiensi dari *photovoltaic*(PV) sangat bergantung pada temperatur dari *photovoltaic*, dan *overheating* menyebabkan penurunan konversi energi dari *photovoltaic*(F. Zaoui dkk). Sehingga untuk memonitoring performa dari PV maka perlu sensor *Pyranometer* dan suhu. Sedangkan harga dari sensor *Pyranometer* sendiri terhitung mahal, sehingga dapat mempengaruhi biaya investasi awal PLTS. Salah satu metode untuk mengukur *solar irradiance* adalah menggunakan cell *photovoltaic* yang sudah dikalibrasi. Lawrence Dunn dkk melakukan studi untuk membandingkan *Pyranometer* dengan *photovoltaic* yang telah terkalibrasi. Hasil studi ini menunjukkan tingkat ketidakpastian dari PV lebih kecil dari *pyranometer*. Pada waktu pengukuran menggunakan PV menunjukkan tingkat ketidakpastian sebesar +/-2.4% sedangkan untuk *Pyranometer* +/-5% (Lawrence Dunn, 2012). Sehingga Lawrence Dunn dkk menyimpulkan bahwa untuk penggunaan pengukuran *solar*

*irradiance* yang bertujuan untuk memonitoring performansi dari PLTS, cell PV yang terkalibrasi lebih baik daripada *pyranometer*.

Sistim monitoring ini akan memantau parameter-parameter yang mempengaruhi performansi dari PLTS. Salah satunya adalah *solar irradiance* dan temperature lingkungan maupun permukaan PV. Untuk memantau *solar irradiance* menggunakan cell PV yang telah terkalibrasi oleh *pyranometer*. Sedangkan untuk memantau temperature digunakan sensor DHT 11. Hasil pengukuran ini nantinya akan dapat dipantau secara online. Sehingga memudahkan untuk melakukan monitoring performansi dari PLTS. Sistim ini juga mempermudah proses tindakan jika PLTS mengalami gangguan.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang di angkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membangun *photovoltaic* menjadi sensor *solar irradiance* dengan dikalibrasi oleh alat Pyranometer yang akurat dan terjangkau?
2. Bagaimana merancang dan membangun sistem pengukuran temperatur pada PLTS?
3. Bagaimana pengaruh temperatur dan *solar irradiance* terhadap efisiensi dari *photovoltaic array*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun sebuah alat pengganti *Pyranometer* berbasis *cell photovoltaic* yang akurat dan terjangkau.
2. Merancang dan membangun sistem pengukuran temperatur pada *photovoltaic array*.
3. Menganalisa performansi *photovoltaic array* terhadap perubahan *solar irradiance* dan temperature.



#### **1.4 Batasan Permasalahan**

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

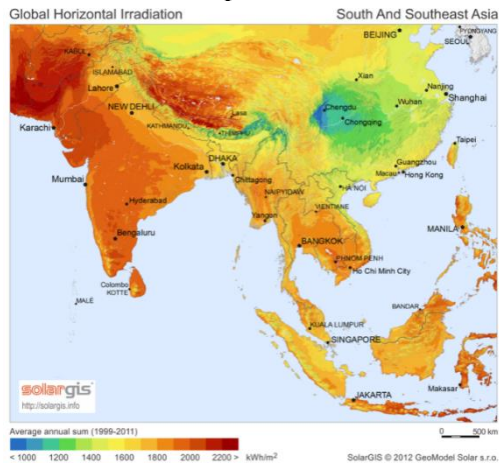
1. Alat pengganti *Pyranometer* terdiri dari *cell photovoltaic*.
2. Jumlah *cell photovoltaic* divariasikan 1, 2, 3 buah.
3. Suhu yang diukur adalah suhu lingkungan dan permukaan *photovoltaic*.
4. PLTS yang dimonitor adalah PLTS yang berada pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri ITS

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1. *Solar Irradiance*

*Solar irradiance* adalah daya per luasan area yang diterima dari matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik dengan satuan  $W/m^2$ . *Solar irradiance* dapat diukur setelah penyerapan dan penghamburan oleh atmosfer, dengan cara tegak lurus terhadap sinar yang masuk. *Irradiance* sendiri adalah fungsi jarak matahari, siklus matahari, dan perubahan lintasan siklus matahari.

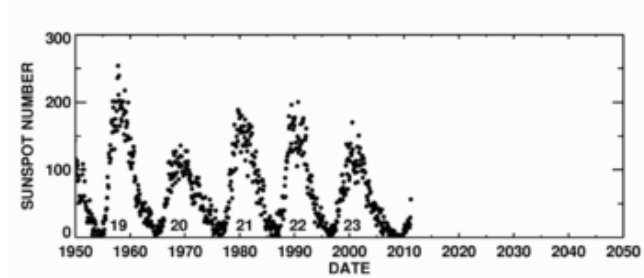


**Gambar 2.1**Peta potensi dari *Solar Irradiance* di ASEAN

Beberapa faktor yang mempengaruhi intensitas dari *solar irradiance*.

- Siklus Matahari adalah siklus sebelas tahun sekali ketika jumlah bintik matahari bervariasi. Pada periode teraktif, atau *solar* maksimum, jumlah bintik Matahari bertambah hingga puncaknya, sementara pada periode dengan aktivitas terendah, atau *solar* minimum, jumlah bintik Matahari berkurang hingga titik terendahnya. Periode *solar* Maksimum terakhir berlangsung pada tahun

2001. Siklus Matahari tidak selalu persis sebelas tahun sekali; siklus ini dapat muncul paling cepat dalam 9 tahun, dan paling lambat dalam 14 tahun.



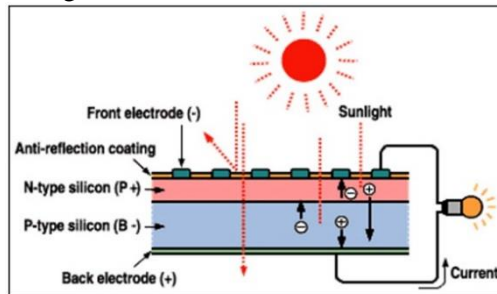
**Gambar 2.2** Variasi jumlah titik sejak tahun 1950

- b. Absorpsi dan refleksi, sebagian dari *solar* irradiasi yang mencapai bumi akan diserap dan sisanya dipantulkan oleh atmosfer. Biasanya radiasi yang diserap diubah menjadi energi panas, dan menyebabkan meningkatnya suhu lingkungan. Tetapi PLTS atau alam, dapat mengkonversi radiasi yang diserap ke dalam bentuk lain seperti listrik atau ikatan kimia, seperti pada efek sel *photovoltaic* atau fotosintesis pada tanaman.
- c. Atmosfer adalah lapisan gas yang melingkupi sebuah planet, termasuk bumi, dari permukaan planet tersebut sampai jauh di luar angkasa. Di Bumi, atmosfer terdapat dari ketinggian 0 m di atas permukaan tanah, sampai dengan sekitar 560 km dari atas permukaan Bumi. Atmosfer tersusun atas beberapa lapisan, yang dinamai menurut fenomena yang terjadi di lapisan tersebut. Transisi antara lapisan yang satu dengan yang lain berlangsung bertahap. Atmosfer Bumi terdiri atas nitrogen (78.17%) dan oksigen (20.97%), dengan sedikit argon (0.9%), karbondioksida (variabel, tetapi sekitar 0.0357%), uap air, dan gas lainnya. Atmosfer melindungi

kehidupan di bumi dengan menyerap radiasi sinar ultraviolet dari Matahari dan mengurangi suhu ekstrem di antara siang dan malam. 75% dari atmosfer ada dalam 11 km dari permukaan planet.

## 2.2. Efek Photovoltaic

*Photovoltaic* adalah suatu alat semikonduktor yang mengkonversi *foton* (cahaya) ke dalam listrik. Konversi ini disebut efek *photovoltaic*, dengan kata lain efek *photovoltaics* adalah energi potensial listrik yang terbangun antara dua material yang berbeda ketika hubungan bahan yang sejenis (*common junction*) diterangi oleh radiasi foton.



**Gambar 2.3** Skema sederhana dari PV

*Solar Irradiance* terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi inilah yang menentukan panjang gelombang spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan sel PV, maka foton tersebut dapat dibiarkan, atau diserap diteruskan menembus sel PV. Foton yang terserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik.

## 2.3. Pyranometer

*Pyranometer* adalah salah satu jenis aktinometer yang digunakan untuk mengukur iradiasi matahari pada bidang datar. *Pyranometer* memiliki sensor yang dapat mengukur densitas fluks radiasi matahari dalam satuan *watt* per meter persegi. Istilah

piranometer berasal dari bahasa Yunani, "pyr -  $\pi\upsilon\rho$ " yang berarti "api" and "ano -  $\alpha\nu\omega$ " yang berarti "di atas, di langit". *Pyranometer* umumnya tidak membutuhkan daya untuk bekerja.



**Gambar 2.4** *Pyranometer*

#### Jenis-jenis *Pyranometer*

- a *Thermopile pyranometers*. *Thermopile Pyranometers* adalah sensor yang dirancang untuk mengukur kepadatan fluks radiasi matahari dengan sudut ukur  $180^\circ$ . Generasi pertama dari *pyranometer thermopile* memiliki bagian aktif dari sensor yang dibagi sama rata dalam bidang hitam dan putih. *Irradiance* dapat dihitung dari mengukur perbedaan antara suhu sektor hitam (terkena sinar matahari) dan suhu sektor putih, sektor (tidak terkena sinar matahari). Dalam semua teknologi thermopile, radiasi sebanding dengan perbedaan antara suhu daerah yang terkena sinar matahari dan suhu daerah yang gelap.
- b *Photodiode-based pyranometer*, *Pyranometer* yang berbasis photodiode terdiri oleh kubah housing, dioda, dan diffuser atau filter optik. Arus yang dihasilkan oleh photodiode sebanding dengan *irradiance*. *Output* biasanya pada orde milivolt, sama seperti piranometer jenis thermopile. *Pyranometer* jenis ini banyak diimplementasikan untuk menghitung *Irradiance* yang memiliki panjang gelombang tertentu seperti *ultraviolet* dan *infrared*. Hal ini dapat dilakukan dengan mengganti dioda yang spesifik terhadap panjang gelombang tersebut.



**Gambar 2.5** *Photodiode-based pyranometer*

## 2.4 Temperatur

Temperatur adalah derajat tingkat panas suatu benda terhadap benda lain atau lingkungan. Temperatur diukur dengan alat ukur yang di sebut Termometer, terdapat beberapa jenis termometer. Salah satunya adalah termometer dengan prinsip Mekanik, yaitu Termometer Bimetal. Termometer Bimetal sesuai namanya terdiri dari dua lempeng logam yang berbeda sifat muainya yang dililit berbentuk gulungan melingkar. Apabila satu ujungnya diberi panas maka gulungan itu akan cenderung membuka gulungannya, sedangkan bila diberi dingin akan bersifat sebaliknya. Karakteristik gulungan tersebut kemudian dihubungkan dengan pointer skala yang dapat dibaca setelah di kalibrasi. Termometer lainnya adalah Termometer Tekanan Uap yang terdiri dari sebuah tabung logam yang dihubungkan dengan pengukur Tekanan Bourdon yang dikalibrasi. Dengan Temperatur fluida yang berada didalam tabung logam adalah fluida yang mudah menguap. Yang mengisi sebagian didalam tabung. Pada saat tabung logam kontak dengan fluida luar yang dingin diukur temperturnya akan terjadi perpindahan panas yang akan menghasilkan tekanan yang mengisi pipa Bourdon pada bagian pengukur tekanan diatas. Karena tekanan telah dikalibrasi dengan temperatur. Pembacaan yang terbaca adalah temperatur fluida yang ingin diukur.

Metode-metode elektrik untuk pengukuran suhu sangat baik karena memberikan sinyal yang mudah di deteksi yang banyak dipergunakan untuk pengendalian. Beberapa alat yang dapat digunakan untuk mengukur temperature.

## 1. DHT11

DHT11 adalah sensor Suhu dan Kelembaban, dia memiliki keluaran sinyal digital yang dikalibrasi dengan sensor suhu dan kelembaban yang kompleks. Teknologi ini memastikan keandalan tinggi dan sangat baik stabilitasnya dalam jangka panjang, mikrokontroler terhubung pada kinerja tinggi sebesar 8 bit. Sensor ini termasuk elemen resistif dan perangkat pengukur suhu NTC. Memiliki kualitas yang sangat baik, respon cepat, kemampuan anti-gangguan dan keuntungan biaya tinggi kinerja.

Setiap sensor DHT11 memiliki fitur kalibrasi yang sangat akurat dari kelembaban di ruang kalibrasi. Koefisien kalibrasi yang disimpan dalam memori program OTP, sensor internal mendeteksi sinyal dalam proses, disebut koefisien kalibrasi. Sistem antarmuka tunggal-kabel serial terintegrasi sehingga menjadi cepat dan mudah. Berukuran kecil, daya rendah, sinyal transmisi jarak hingga 20 meter, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Produk ini mempunyai 4-pin.



**Gambar 2.6**DHT 11

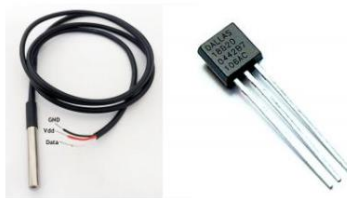
Spesifikasi dari DHT 11

- Pasokan Voltage: 5 V
- Rentang temperatur :0-50 ° C kesalahan  $\pm 2$  ° C
- Kelembaban :20-90% RH  $\pm 5\%$  RH *error*
- Interface: Digital



## 2. DS18B20

DS18B20 adalah sensor suhu digital seri terbaru dari Maxim IC (dulu yang buat adalah Dallas Semiconductor, lalu diambil alih oleh Maxim Integrated Products). Sensor ini mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12-bit, rentang  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $125^{\circ}\text{C}$  dengan ketelitian  $(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ . Setiap sensor yang diproduksi memiliki kode unik sebesar 64-Bit yang disematkan pada masing-masing chip, sehingga memungkinkan penggunaan sensor dalam jumlah besar hanya melalui satu kabel saja (single wire data bus/1-wire protocol).



**Gambar 2.7**sensor temperatur DS18B20

Fitur dari DS18B20 adalah sebagai berikut:

1. Antarmuka hanya menggunakan satu kabel sebagai komunikasi (menggunakan protokol Unique 1-Wire)
2. Setiap sensor memiliki kode pengenalan unik 64-bit yang tertanam di onboard ROM
3. Kemampuan multidrop yang menyederhanakan aplikasi penginderaan suhu terdistribusi
4. Tidak memerlukan komponen tambahan
5. Juga bisa diumpankan daya melalui jalur datanya. Rentang dayanya adalah 3.0V hingga 5.5V
6. Bisa mengukur temperatur mulai dari  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $+125^{\circ}\text{C}$
7. Memiliki akurasi  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  pada rentang  $-10^{\circ}\text{C}$  hingga  $+85^{\circ}\text{C}$
8. Resolusi sensor bisa dipilih mulai dari 9 hingga 12 bit

9. Bisa mengkonversi data suhu ke 12-bit digital word hanya dalam 750 milidetik (maksimal)
10. Memiliki konfigurasi alarm yang bisa disetel (nonvolatile)
11. Bisa digunakan untuk fitur pencari alarm dan alamat sensor yang temperaturnya diluar batas (temperature alarm condition)
12. Penggunaannya bisa dalam lingkungan kendali termostatis, sistem industri, produk rumahan, termometer, atau sistem apapun yang memerlukan pembacaan suhu.

## 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan *photovoltaic* dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. *Photovoltaic* mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

Pemusatan energi surya (*concentrated solar power, CSP*) menggunakan lensa atau cermin dan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari dari luasan area tertentu ke satu titik. Panas yang terkonsentrasikan lalu digunakan sebagai sumber panas untuk pembangkitan listrik biasa yang memanfaatkan panas untuk menggerakkan generator. Sistem cermin parabola, lensa reflektor Fresnel, dan menara surya adalah teknologi yang paling banyak digunakan. Fluida kerja yang dipanaskan bisa digunakan untuk menggerakkan generator (turbin uap konvensional hingga mesin *Stirling*) atau menjadi media penyimpan panas.

*Photovoltaic* (Sel surya) adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Dibuat pertama kali pada tahun 1880 oleh Charles Fritts.

Pembangkit listrik tenaga surya tipe *photovoltaic* adalah pembangkit listrik yang menggunakan perbedaan tegangan akibat efek fotoelektrik untuk menghasilkan listrik. *Solar panel* terdiri dari 3 lapisan, lapisan panel P di bagian atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N di bagian bawah. Efek fotoelektrik adalah saat sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P terlepas, sehingga hal ini menyebabkan *proton* mengalir ke lapisan panel N di bagian bawah dan perpindahan arus proton ini adalah arus listrik.



**Gambar 2.8.** PLTS menggunakan *photovoltaic*

Di Indonesia, PLTS terbesar pertama dengan kapasitas  $2 \times 1$  MW terletak di Pulau Bali, tepatnya di daerah Karangasem dan Bangli. Pemerintah mempersilakan siapa saja untuk meniru dan membuatnya di daerah lain karena PLTS ini bersifat *opensource* atau tidak didaftarkan dalam hak cipta. Selain di Pulau Bali, Indonesia juga telah mengembangkan di Kabupaten Luwu Timur, Makasar dan kepulauan Sumbawa, NTB. PLTS ini ditujukan kepada wilayah terpencil yang sulit dijangkau oleh PT. PLN. Selain itu ada beberapa aplikasi pembangkit kecil seperti PLTS SHS, SEHEN, atau PJUTS. Kesemua pembangkit ini memiliki fungsi yang sama, yaitu menghasilkan energi listrik untuk mendukung aktivitas manusia. Saat ini, pemerintah mulai membuat peraturan untuk penggunaan PLTS di rumah tangga, yang terkoneksi dengan PLN (*Grid Tie residential*). Kebijakan penggunaan yang diatur menggunakan aplikasi net metering.

PLTS pada umumnya terdiri dari beberapa susunan *photovoltaic* (panel surya). Daya yang dihasilkan oleh PLTS

dalam satu hari dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_{el} = H_0 \frac{P_{peak25}}{k \cdot I_0} \eta_b \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m \cdot \eta_{bcu}$$

Dimana :

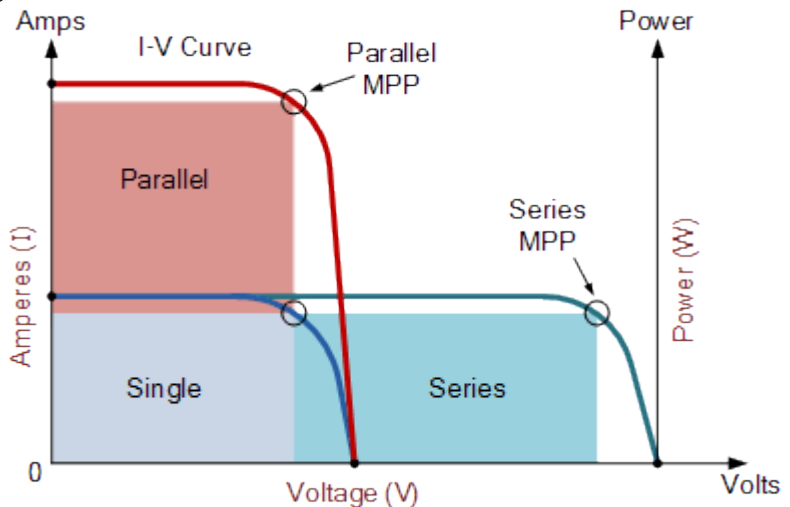
- $P_{peak}$  = daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh sebuah panel surya dalam temperatur 25°C (Wp)
- $P_{peak}$  = energi yang didapatkan oleh panel surya dalam satu hari (kWh/hari)
- $I_0$  = irradiansi standar, yaitu 1 kWh/m<sup>2</sup>
- $H_0$  = energi radiasi matahari total dalam satu hari (kWh/m<sup>2</sup>/hari)
- $k$  = koreksi
- $\eta_b$  = efisiensi battery
- $\eta_{inv}$  = Efisiensi inverter
- $\eta_M$  = *matching* efisiensi
- $\eta_{BCU}$  = efisiensi BCU (*Battery Control Unit*)

### 2.5.1 Modul Sel Surya

*Photovoltaic* merupakan sumber baru terbarukan yang dapat menghasilkan energi listrik tanpa menghasilkan polusi ataupun merusak lingkungan, karena *photovoltaic* langsung mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Cara kerja *photovoltaic* mirip dengan piranti semikonduktor dioda p-n *junction* yang memiliki 2 buah bahan semikonduktor, tipe-p dan tipe-n. Dengan menggunakan *photo-electric effect* dari bahan semikonduktor yang pada umumnya terbuat dari silikon (Si) dan Germanium (Ge), *photovoltaic* dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Bila *photovoltaic* itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan *hole*. Elektron-elektron dan *hole-hole* yang timbul di sekitar pn *junction* bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan

ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi *pn junction*, timbul beda potensial pada kedua ujung *photovoltaic*. Jika pada kedua ujung *photovoltaic* diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban.

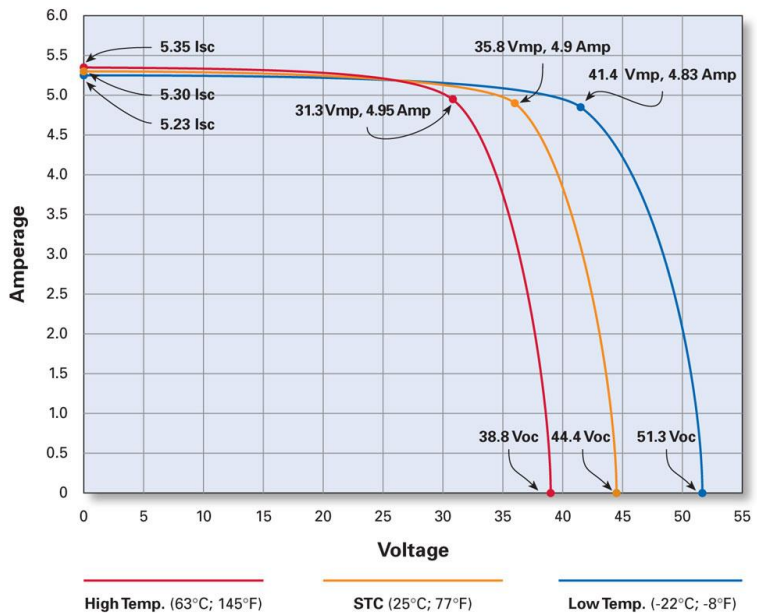
Untuk meningkatkan *output* daya, sel *photovoltaic* digabungkan dalam paket yang disebut modul *photovoltaic*. Modul-modul ini kemudian dihubungkan secara serial dan / atau parallel satu sama lain, ke dalam apa yang disebut *array photovoltaic* untuk menciptakan tegangan yang diinginkan dan arus keluaran yang diperlukan. Ilustrasi penggambaran dari rangkaian seri parallel antara dua buah *photovoltaic* adalah seperti gambar 2.9. Pemasangan *photovoltaic* dengan menghubungkan secara seri akan meningkatkan besar nilai tegangan, sedangkan pemasangan secara parallel akan meningkatkan besar arus [8]. Kurva I-V *photovoltaic* dengan pasangan seri ataupun parallel dapat dilihat pada gambar.



**Gambar 2.9** Kurva I-V : (a) Pemasangan Paralel, (b) Pemasangan Seri, dan (c) Pemasangan Seri Paralel

Daya yang dikeluarkan *photovoltaic* sangat terpengaruh oleh temperatur. Kenaikan temperatur pada *photovoltaic* dapat menyebabkan penurunan *rating photovoltaic*, atau yang biasa disebut *derating*. *Derating* mengurangi daya *output* yang seharusnya dikeluarkan *photovoltaic*.

Dapat dilihat pada gambar 2. , *Isc* atau arus short circuit pada *photovoltaic* akan sedikit bertambah dengan bertambahnya temperatur permukaan *photovoltaic* sedangkan *Voc* atau tegangan *open circuit* akan berkurang drastis. Sehingga daya maksimal dari *photovoltaic* akan berkurang jika temperatur bertambah.



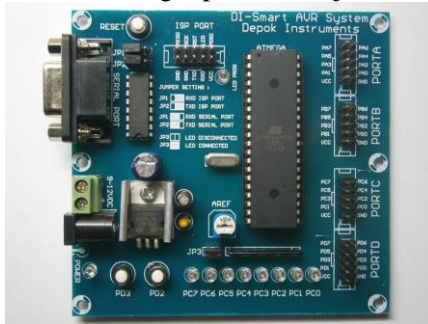
**Gambar 2.10** Kurva I-V dengan temperatur *photovoltaic*

## 2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O tertentu dan unit

pendukung seperti *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya.

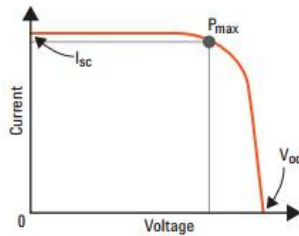
Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran board mikrokontroler menjadi sangat ringkas. Mikrokontroler digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis, seperti sistem kontrol mesin, *remote controls*, mesin kantor, peralatan rumah tangga, alat berat, dan mainan. Dengan mengurangi ukuran, biaya, dan konsumsi tenaga dibandingkan dengan mendesain menggunakan mikroprosesor memori, dan alat *input/output* yang terpisah, kehadiran mikrokontroler membuat kontrol elektrik untuk berbagai proses menjadi lebih ekonomis.



**Gambar 2.11.** Minimum sistem mikrokontroler

## 2.7 Efisiensi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini dapat direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V).



**Gambar 2.12.** kurva karakteristik I-V pada sel surya

Ketika sel dalam kondisi short circuit, arus maksimum atau arus short circuit ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum. Disebut tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP).

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}}$$

Efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ( $P_{MAX}$ ) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{Cahaya}$ ). Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (*Input*), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas PV module dengan persamaan, (Muchammad,2010)

$$P_{in} = I_r \times A$$

Dimana  $P_{in}$  adalah daya *input* akibat *Irradiance* matahari,  $I_r$  adalah intensitas matahari ( $\text{watt/m}^2$ ) dan  $A$  adalah luasan area permukaan *photovoltaic* modul ( $\text{m}^2$ ). Sedangkan untuk besarnya daya solar cell ( $P_{out}$ ) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), dan Fill Factor (FF) yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$



Dimana  $P_{out}$  daya yang dibangkitkan oleh solar cell (watt),  $V_{oc}$  tegangan rangkaian terbuka solar cell (volt),  $I_{sc}$  arus hubung singkat pada solar cell (A) dan FF adalah fill factor. Nilai FF dapat diperoleh dari persamaan :

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1}$$

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi *input* yang diperoleh dari *irradiance* matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

## 2.8 Karakteristik Alat Ukur

Setiap Instrumen ukur mempunyai karakteristik yang melekat padanya. Karakteristik instrumen merupakan hubungan antara *output* sebuah elemen (instrumen) dengan *inputnya* ketika *inputnya* konstan maupun berubah perlahan. Karakteristik statis tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik adalah *range*, *span*, *resolusi*, *akurasi*, *error*, ketepatan.

### a. *Range*

*Range* adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. *Range* terdiri dari *rangeinput* dan *output*. Misalnya termocouple mempunyai *rangeinput* 0° C - 250° C dan *outputrange* 5-20 mV.

### b. *Span*

*Span* merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. *Span* terdiri dari *span input* dan *span output*. Contoh, *termocouple* yang mempunyai *rangeinput* 0° C- 250° C dan *rangeoutput* 5-20 mV *span inputnya* 250° C, *span outputnya* 15 mV.

c. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan terbesar dari *input* yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan pada *output*. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil. Misalkan, alat ukur yang mampu mengukur perubahan dalam mV mempunyai resolusi yang lebih tinggi dibanding alat ukur yang mengukur perubahan dalam skala volt.

d. Akurasi

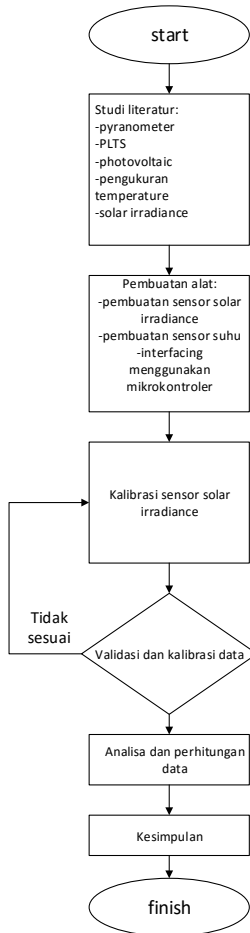
Akurasi merupakan ketepatan alat ukur untuk memberikan nilai pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Karena pada eksperimen nilai sebenarnya tidak pernah diketahui oleh sebab itu diganti dengan suatu nilai standar yang diakui secara konvensional. Contohnya termometer dengan skala  $0^{\circ}$ - $150^{\circ}\text{C}$  mempunyai akurasi  $1^{\circ}\text{C}$ , ini berarti jika termometer menunjukkan nilai  $80^{\circ}\text{C}$  maka nilai sebenarnya adalah  $79^{\circ}\text{C}$ - $81^{\circ}\text{C}$ .

e. Error

Error adalah selisih dari pembacaan alat ukur dengan alat ukur yang dianggap standart. Nilai error ini berupa persentase selisih dengan nilai standar

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang harus dikerjakan yaitu sesuai diagram alir seperti gambar 3.1 di bawah ini :



**Gambar 3.1**Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pengerjaan tugas akhir. Perumusan masalah bertujuan menentukan permasalahan yang diangkat dengan topik mengenai pengaruh *solar irradiance* dan perubahan temperatur terhadap performansi PLTS. Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan menentukan bagaimana melakukan pembacaan *solar irradiance* menggunakan sel *photovoltaic* yang telah terkalibrasi dengan *pyranometer*. Serta menentukan sensor suhu lingkungan dan permukaan dari *photovoltaic*.

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pembelajaran tentang berbagai literatur baik dari jurnal, buku dan internet yang berfungsi untuk menunjang dalam pembuatan sistem dan analisa pengaruh *solar irradiance* dan suhu terhadap performansi PLTS

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Sistem

Perancangan sistem dimaksudkan untuk merancang sebuah sistem pembacaan *solar irradiance*, suhu permukaan PLTS dan suhu lingkungan PLTS. Sistem ini terdiri dari beberapa sub-sistem.

#### a. Pembacaan Solar Irradiance

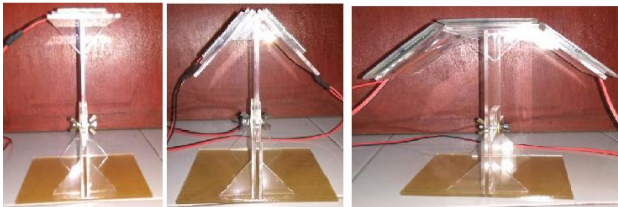
Terdapat 2 jenis *photovoltaic* dan 3 mode, sehingga terdapat 6 variasi yang akan dibandingkan. Pembacaan *solar irradiance* yang paling baik diantara 6 variasi tersebut dibandingkan dengan *pyranometer* yang kemudian akan digunakan sebagai sensor *solar irradiance*.

**Tabel 3.1**Jenis *photovoltaic*

Nama	Deskripsi	Dimensi	Output
Sell PV A	<i>photovoltaic polycrystalin</i> tanpa lapisan	50 x 100 x 3mm	5 V dan 100 mA
Sell PV B	<i>photovoltaic polycrystalin</i> dengan lapisan lilin	120 x 65 x 4mm	5 V dan 220 mA

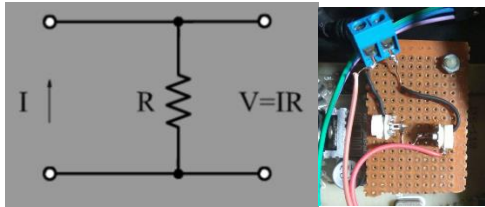
Variasi ini bertujuan untuk mengetahui jenis sell *photovoltaic* yang mempunyai hasil data yang paling cocok dengan *output* dari *pyranometer* sebagai sensor pembanding. Terdapat 3 variasi jumlah sell *photovoltaic* untuk tiap jenis sell *photovoltaic* yang digunakan yaitu:

1. Mode 1, menggunakan 1 buah *photovoltaic* yang tegak lurus terhadap sudut altitude  $90^\circ$
2. Mode 2, menggunakan 2 buah sell *photovoltaic* dengan posisi tegak lurus terhadap sudut altitude  $45^\circ$  menghadap arah timur dan barat.
3. Mode 3, menggunakan 3 buah sell *photovoltaic* dengan posisi 1 buah sell *photovoltaic* tegak lurus terhadap sudut altitude  $90^\circ$ , sedangkan 2 sell *photovoltaic* lainnya menghadap timur dan barat dengan selisih  $40^\circ$  terhadap sell *photovoltaic* yang pertama.



**Gambar 3.2** Mode 1, mode 2 dan mode 3

Variasi ini bertujuan untuk mengetahui mode mana yang mempunyai hasil data yang paling cocok dengan *output* dari *pyranometer* sebagai sensor pembanding. Untuk membaca *output* dari tiap-tiap variasi yang berupa arus maka perlu dikonversi ke tegangan 0-5V. *Range* tegangan ini dipilih karena mikrokontroler hanya dapat membaca tegangan antara 0-5V sebagai tegangan ADC-nya. Berikut merupakan rangkaian konverter arus ke tegangan menggunakan prinsip *shunt-resistor*.



**Gambar 3.3** Rangkaian Resistor shunt skematik dan rangkaian

Karena arus maksimal dari variasi sel *photovoltaic* adalah sebesar 330 mA, digenapkan menjadi 350mA, maka nilai dari *shunt* resistor adalah sebesar 14,23 Ohm. Untuk mendapatkan nilai resistansi sebesar ini maka digunakan variabel resistor yang dipararel.

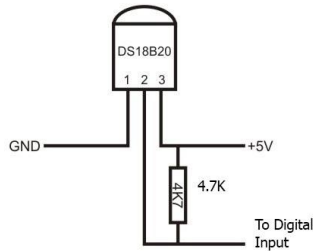
#### b. Pembacaan Temperatur Permukaan PLTS

Sistim ini digunakan untuk mengetahui temperatur permukaan dari *photovoltaicarray* yang akan dimonitor. Sistem ini menggunakan sensor suhu DS18B20 yang akan ditempelkan pada permukaan *photovoltaic* bagian bawah. Sensor ditempatkan pada posisi yang paling mewakili temperatur *photovoltaicarray*.



**Gambar 3.4** Sensor DS18B20

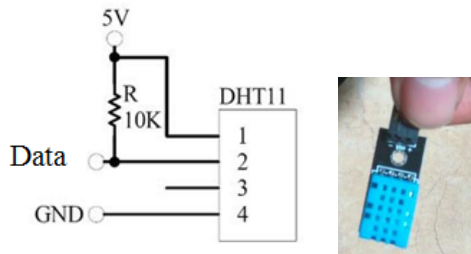
DS18B20 mempunyai *output* data digital yang menggunakan komunikasi *1-wire*. *Source code* dari sensor ini sendiri sudah terdapat dalam fitur CV-AVR sehingga hanya perlu *define* pin yang akan digunakan. Untuk dapat dibaca sebelumnya sensor ini perlu diberi rangkaian *pull-up* yaitu berupa resistor yang terhubung antara Vin dan Data.



**Gambar 3.5**Rangkaian *pull-up* sensor DS18B20

### c. Pembacaan Temperatur Lingkungan

Pembacaan suhu lingkungan menggunakan sensor suhu DHT11. Sensor ini diletakan dibawah *photovoltaicarray* agar terlindung dari hujan.

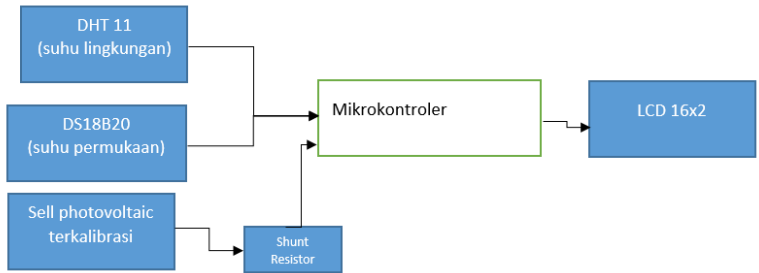


**Gambar 3.6**Rangkaian pull-up DHT11 dan skematik

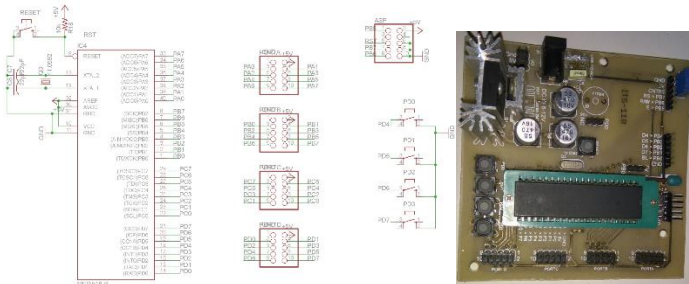
Sensor DHT11 memerlukan resistor 10K pada kaki VCC dan data untuk menghindari arus langsung yang masuk ke sensor sebelum masuk ke mikrokontroler.

### d. Interfacing Microcontroler

Sistim interfacing ini digunakan untuk menampilkan nilai pembacaan dari sell *photovoltaic*, sensor suhu permukaan dan sensor suhu lingkungan. Sistim ini terdiri dari mikrokontroler atmega16 dan LCD 16x2.



**Gambar 3.7** Diagram blok Mikrokontroler Atmega 16 Dengan menggunakan *software eagle* maka dibuat skematik dari atmega 16.



**Gambar 3.8** Skematik dan rangkaian Mikrokontroler Atmega 16

Setelah dibuat rangkaian mikrokontroler maka selanjutnya adalah menggabungkannya dengan *input-input* seperti pada gambar blok diagram. Agar mikrokontroler dapat membaca sensor-sensor yang terpasang, maka perlu diberi program. Untuk membuat program maka digunakan *software CV-AVR*. Program dapat dilihat pada lampiran.





**Gambar 3.9**Box sistem monitoring

Diatas merupakan gambar box dari sistem interfacing yang telah dibuat. Pada *LCD* ditampilkan secara berurutan adalah temperatur lingkungan, kelembapan, temperatur permukaan *photovoltaicarray* dan *solar irradiance*.

### 3.4 Pembacaan *Solar Irradiance* oleh Sel *Photovoltaic*

Kalibrasi dari sel *photovoltaic* dilakukan dengan mengkonversi terlebih dahulu *outputphotovoltaic* yang berupa arus ke dalam *solar irradiance*. Setelah dilakukan konversi maka hasil pembacaan sel *photovoltaic* tersebut dibandingkan dengan hasil pembacaan dengan *pyranometer* sebagai alat standart. Pada proses kalibrasi ini juga ditentukan *range*, *span*, resolusi, akurasi *errordan* ketepatan.



**Gambar 3.10**Pengambilan data kalibrasi

Hasil kalibrasi yang berupa kurva pembacaan oleh *pyranometer* dibanding pembacaan oleh sel *photovoltaic*. Dari kurva pembacaan ini akan dilihat manakah hasil pembacaan yang paling mendekati pembacaan *pyranometer* sebagai alat ukur standart.



**Gambar 3.11**Pyranometer yang digunakan

Untuk mendapatkan *output* dari *pyranometer* maka perlu dilakukan perhitungan sesuai dengan *datasheet* dari *pyranometer*. Dengan mendapatkan nilai *output* dari *pyranometer* berupa tegangan dan mendapatkan nilai sensitifitasnya yang dapat dilihat pada gambar 3.11, maka dapat diketahui nilai *solar irradiance* yang dibaca oleh *pyranometer*. Persamaan nilai pembacaan *solar irradiance* oleh *pyranometer*:

$$E_{solar} = \frac{\text{Output Voltage}}{\text{Sensitivitas}}$$

Dengan *Esolar* adalah *solar irradiance* yang terbaca, *Output Voltage* adalah tegangan *output* dari *pyranometer*. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *solar irradiance* yang terbaca oleh sel *photovoltaic* maka digunakan persamaan:

$$I_c = \frac{I_{g,ideal} \cdot I_{cell}}{I_{cell,ideal}}$$

Dimana:

$I_c$  = nilai *solar irradiance* yang terbaca oleh sel *photovoltaic*

$I_{g,ideal}$  = *solar irradiance* ideal (saat maksimal)

$I_{cell}$  = arus yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic*

$I_{cell,ideal}$  = arus ideal yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* (saat maksimal)

Setelah diketahui nilai pembacaan *solar irradiance* oleh *photovoltaic* maka pada mode 2 dan mode 3 akan dilakukan pendekatan nilai *solar irradiance* pada kedua mode tersebut, mengingat mode 2 dan mode 3 menggunakan lebih dari 1 sel *photovoltaic* dengan posisi yang berbeda-beda.

Pada mode 2 pendekatan nilai *solar irradiance* yang terbaca dilakukan dengan menambahkan nilai *solar irradiance* pada kedua sel *photovoltaic* dan mengkalinya dengan  $\cos 45^\circ$ . Pada mode 3 pendekatan dilakukan dengan merata-rata hasil pembacaan oleh sel *photovoltaic* yang menghadap timur dan barat kemudian mengalikannya  $2 \times \cos 40^\circ$ . Kemudian hasilnya dirata-rata dengan sel yang menghadap atas. Hasil pembacaan oleh ketiga mode ini dibandingkan dengan *pyranometer* untuk mengetahui nilai eror yang ditimbulkan oleh pembacaan sel *photovoltaic*. Setelah didapat nilai *solar irradiance* oleh sel *photovoltaic* maka akan dicari karakteristik alat ukurnya.

Berikut merupakan perhitungan yang dilakukan pada sel *photovoltaic* A.

### Mode 1

Perhitungan pembacaan *solar irradiance* oleh *pyranometer* pada jam 10.30 / saat *solar irradiance* maksimal.

$$E_{solar} = \frac{13,6 \text{ mV}}{0,01436} = 947,075 \text{ Watt/m}^2$$

Hasil pembacaan ini dianggap ideal. Sehingga dapat digunakan pada persamaan nilai *solar irradiance* terhadap sel *photovoltaic*. Perhitungan pembacaan *solar irradiance* oleh sel *photovoltaic* pada jam 10.30 / saat *solar irradiance* maksimal. Setelah mengetahui nilai pembacaan maksimal dan minimal dari pyranometer maka dapat dicari nilai pembacaan maksimal dan minimal dari sel *photovoltaic*. Berikut perhitungan nilai pembacaan maksimal dari sel *photovoltaic*.

$$Esolar = \frac{947,075 \text{ Watt/m}^2 \times 105,2 \text{ mA}}{100 \text{ mA}}$$

$$Esolar \text{ pv} = 996,323 \text{ Watt/m}^2$$

Untuk mendapatkan nilai minimal pembacaan oleh sel *photovoltaic*, maka digunakan perbandingan.

$$\frac{Esolar \text{ max}}{Esolar \text{ min}} = \frac{Esolar \text{ pv max}}{Esolar \text{ pv min}}$$

$$Esolar \text{ pv min} = \frac{Esolar \text{ pv max} \times Esolar \text{ min}}{Esolar \text{ max}}$$

$$Esolar \text{ pv min} = \frac{996,323 \text{ Watt/m}^2 \times 6,9637 \text{ Watt/m}^2}{947,075 \text{ Watt/m}^2}$$

$$Esolar \text{ pv min} = 7,325 \text{ Watt/m}^2$$

Dari hasil perbandingan diatas maka dicari persamaan garis dari grafik hubungan antara arus sel *photovoltaic* dengan nilai pembacaan *solar irradiance*, sehingga didapat persamaan Esolar sel *photovoltaic* = (9,1495 x Ipv) - 15,425.

### Mode 2

Perhitungan pembacaan *solar irradiance* oleh pyranometer pada jam 10.30 / saat *solar irradiance* maksimal.

$$Esolar = \frac{13,6 \text{ mV}}{0,01436} = 947,075 \text{ Watt/m}^2$$

Hasil pembacaan ini dianggap ideal. Sehingga dapat digunakan pada persamaan nilai *solar irradiance* terhadap sel *photovoltaic*. Pada mode 2 perhitungan nilai *solar irradiance* oleh sel *photovoltaic* dilakukan dengan menambahkan hasil pembacaan tiap-tiap sel *photovoltaic*. Terdapat 2 sel *photovoltaic* yaitu sel *photovoltaic* barat dan timur. Kemudian hasil penambahan tersebut dikalikan dengan  $\cos 45^\circ$  karena sudut masing-masing sel *photovoltaic* sebesar  $45^\circ$  terhadap bidang horizontal. Berikut merupakan perhitungan mode 2 saat nilai *solar irradiance* maksimal atau pada jam 11.30.

$$Esolar\ pv\ timur = \frac{947,075\ \text{Watt/m}^2 \times 70,8\ \text{mA}}{100\ \text{mA}}$$

$$Esolar\ pv\ timur = 670,52\ \text{Watt/m}^2$$

$$Esolar\ pv\ barat = \frac{947,075\ \text{Watt/m}^2 \times 82\ \text{mA}}{100\ \text{mA}}$$

$$Esolar\ pv\ barat = 776,6\ \text{Watt/m}^2$$

$$Esolar\ pv = (Esolar\ pv\ timur + Esolar\ pv\ barat)\cos 45$$

$$Esolar\ pv = (670,52\ \text{Watt/m}^2 + 776,6\ \text{Watt/m}^2)\cos 45$$

$$Esolar\ pv = (670,52\ \text{Watt/m}^2 + 776,6\ \text{Watt/m}^2)\cos 45$$

$$Esolar\ pv = 1023,266\ \text{Watt/m}^2$$

Setelah itu dicari nilai pembacaan minimal dari mode 2 dengan melakukan perbandingan seperti pada mode 1.

$$Esolar\ pv\ min = \frac{Esolar\ pv\ max \times Esolar\ min}{Esolar\ max}$$

$$Esolar\ pv\ min = \frac{1023,266\ \text{Watt/m}^2 \times 7,499\ \text{Watt/m}^2}{947,075\ \text{Watt/m}^2}$$

$$Esolar\ pv\ min = 8,102\ \text{Watt/m}^2$$

Dari hasil perbandingan diatas maka dicari persamaan garis dari grafik hubungan antara arus sel *photovoltaic* dengan nilai pembacaan *solar irradiance*, sehingga didapat persamaan  $Esolar\ sel\ photovoltaic = 6,8204 \times (Ipv\ total) - 22,237$ , dengan I pada satuan milli amper.

### Mode 3

Perhitungan pembacaan *solar irradiance* oleh pyranometer pada jam 10.30 / saat *solar irradiance* maksimal.

$$Esolar = \frac{13,2\ mV}{0,01436} = 919,22\ \text{Watt/m}^2$$

Pada mode 3 terdapat 3 sel *photovoltaic* yang digunakan, untuk mendapatkan nilai pembacaan *solar irradiance* dari ketiga sel *photovoltaic* tersebut maka sel *photovoltaic* yang menghadap timur dan barat hasil pembacaanya akan dirata-rata kemudian dikalikan dengan  $2x\cos\ 40^\circ$ . Setelah itu hasil pembacaan tersebut dirata-rata lagi dengan hasil pembacaan sel *photovoltaic* yang menghadap atas.

$$Esolar\ pv\ timur = \frac{919,22\ \text{Watt/m}^2 \times \cos 40 \times 88,9\ mA}{100mA}$$

$$Esolar\ pv\ timur = 625,96\ \text{Watt/m}^2$$

$$Esolar\ pv\ barat = \frac{919,22\ \text{Watt/m}^2 \times \cos 40 \times 71,6\ mA}{100mA}$$

$$Esolar\ pv\ barat = 504,151\ \text{Watt/m}^2$$

$$Esolar\ pv\ tengah = \frac{919,22\ \text{Watt/m}^2 \times 102,9\ mA}{100mA}$$

$$Esolar\ pv\ tengah = 945,877\ \text{Watt/m}^2$$

$$Esolar\ pv = \frac{((timur + barat) \times \cos 40) + tengah}{3}$$

$$Esolar\ pv = \frac{((625,96 + 504,151) \times \cos 40) + 945,877}{3}$$

$$Esolar\ pv = 905,77\ \text{Watt/m}^2$$

Setelah itu dicari nilai pembacaan minimal dari mode 3 dengan melakukan perbandingan seperti pada mode 1.

$$Esolar\ pv\ min = \frac{Esolar\ pv\ max \times Esolar\ min}{Esolar\ max}$$

$$Esolar\ pv\ min = \frac{905,77\ \text{Watt/m}^2 \times 6,963\ \text{Watt/m}^2}{919,22\ \text{Watt/m}^2}$$

$$Esolar\ pv\ min = 6,861\ \text{Watt/m}^2$$

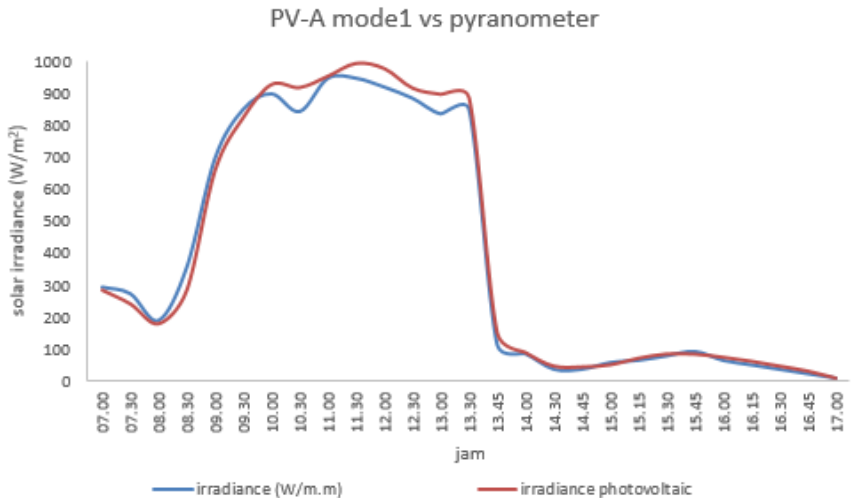
Dari hasil perbandingan diatas maka dicari persamaan garis dari grafik hubungan antara arus sel *photovoltaic* dengan nilai pembacaan *solar irradiance*, sehingga didapat persamaan  $Esolar\ sel\ photovoltaic = (3,5433 \times I_{pv}) - 27,544$ , dengan I pada satuan mili amper.

Dengan cara perhitungan yang sama maka untuk variasi sel *photovoltaic* B dapat dicari. Kemudian hasil pembacaan *solar irradiance* sel *photovoltaic* dibandingkan dengan hasil pembacaan pyranometer.

Berikut hasil kalibrasi *photovoltaic* pada tiap-tiap variasi yang digunakan dibandingkan dengan pembacaan oleh pyranometer:

### a. PV-A Mode 1

Pengambilan data ini dilakukan tanggal 19 November 2016. Tabel hasil pengambilan data dapat dilihat pada lampiran, berikut data yang diperoleh berupa grafik:



**Gambar 3.12** Grafik perbandingan PV-A mode-1 dengan *pyranometer*

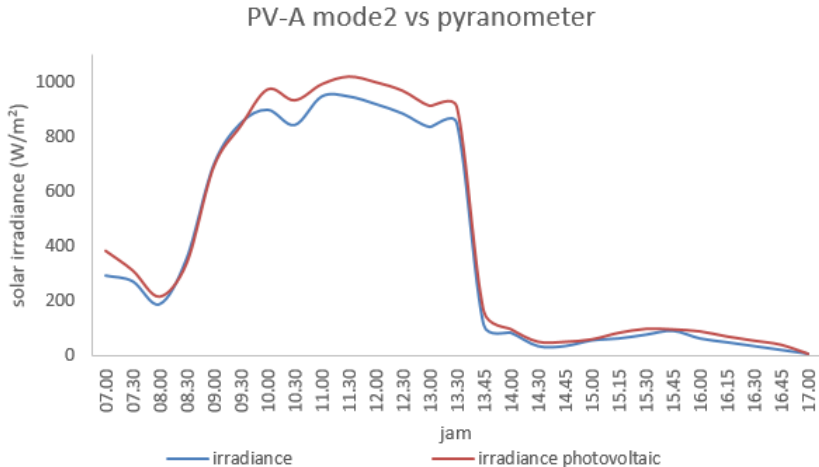
Pada mode ini didapatkan *error* persen rata-rata sebesar 12,9% dengan *errormaksimal* sebesar 41,5%. *Errormaksimal* ini terjadi pada jam 16.45 dimana pada saat pengukuran kondisi cuaca sedang berawan, sehingga pembacaan oleh *photovoltaic* menjadi terganggu. Dari data yang diperoleh maka didapat nilai karakteristik alat ukur berdasarkan tabel pada lampiran:

- a. *Range* : 0-947,075 W/m<sup>2</sup> / 0-105 mA
- b. *Span* : 947,075 W/m<sup>2</sup> / 105 mA
- c. Resolusi : 9,019
- d. Akurasi rata-rata : 89,6%
- e. *Error* rata-rata : 9,7%
- f. Ketepatan : ±5,1%



### b. PV-A Mode 2

Pengambilan data ini dilakukan tanggal 19 November 2016. Tabel hasil pengambilan data dapat dilihat pada lampiran, berikut data yang diperoleh berupa grafik:



**Gambar 3.13** Grafik perbandingan PV-A mode-2 dengan *pyranometer*

Pada variasi PV-A mode 2 *error* rata-rata yang terjadi sebesar 23% sedangkan *error* maksimalnya adalah 92,6%. *Error* terbesar terjadi pada jam 16.45, dimana nilai *solar irradiance* sudah terlalu kecil untuk dapat dibaca dengan baik oleh sel *photovoltaic*. Pada mode ini *error* dibawah 10% terjadi saat nilai *irradiance* yang dibaca oleh *pyranometer* berada diantara 355 W/m<sup>2</sup> sampai 947 W/m<sup>2</sup>. sehingga dapat dikatakan PV-A mode 2 ini hanya mampu mengukur dengan baik pada *range* tersebut. Dari data yang diperoleh maka didapat nilai karakteristik alat ukur berdasarkan tabel pada lampiran:

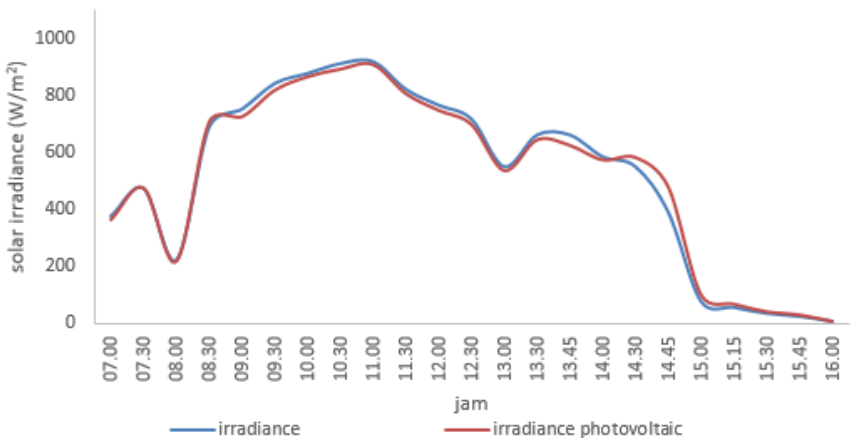
- a. *Range* : 0-947,075 W/m<sup>2</sup> / 0-152,8 mA
- b. *Span* : 947,075 W/m<sup>2</sup> / 152,8 mA
- c. *Resolusi* : 6,19
- d. *Akurasi* rata-rata : 77,4%
- e. *Error* rata-rata : 23,7%

f. Ketepatan :  $\pm 8,9\%$

### c. PV-A Mode 3

Pengambilan data ini dilakukan tanggal 20 November 2016. Tabel hasil pengambilan data dapat dilihat pada lampiran, berikut data yang diperoleh berupa grafik:

PV-A mode3 vs pyranometer



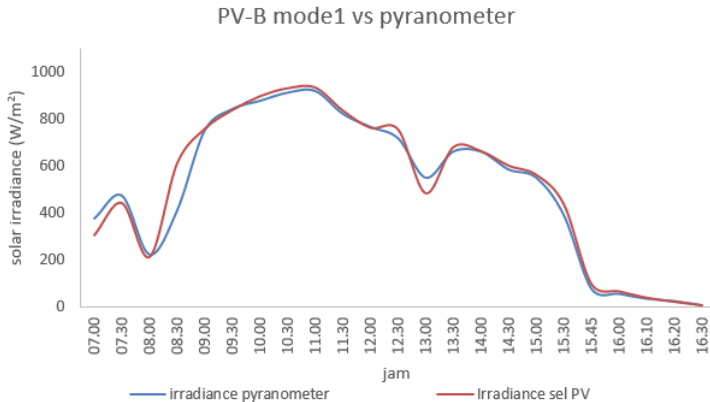
**Gambar 3.14** Grafik perbandingan PV-A mode-3 dengan *pyranometer*

Pada variasi ini *errorrata-rata* sebesar 6,3% sedangkan *errormaksimal* sebesar 29,3%. Rata-rata *errordiatas* 10% yang muncul adalah saat nilai *solar irradiance* dibawah 100W/m<sup>2</sup>. Dari data yang diperoleh maka didapat nilai karakteristik alat ukur berdasarkan tabel pada lampiran:

- Range* : 0-919,22 W/m<sup>2</sup> / 0-263,4 mA
- Span* : 919,22 W/m<sup>2</sup> / 263,4 mA
- Resolusi* : 3,5
- Akurasi rata-rata* : 93,7%
- Errorrata-rata* : 6,3%
- Ketepatan* :  $\pm 3,4\%$

#### d. PV-B Mode 1

Pengambilan data ini dilakukan tanggal 20 November 2016. Tabel hasil pengambilan data dapat dilihat pada lampiran, berikut data yang diperoleh berupa grafik:



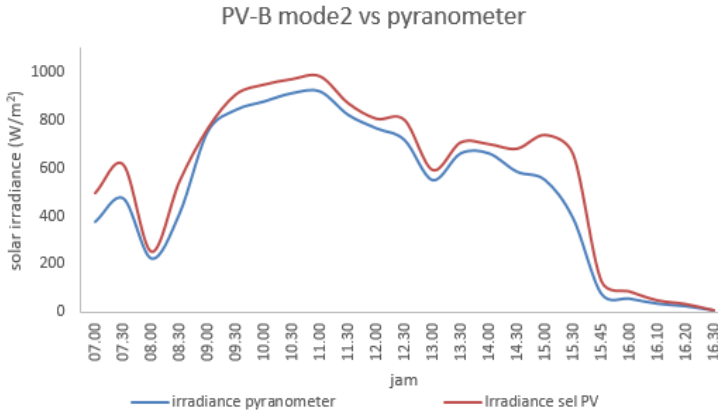
**Gambar 3.15** Grafik perbandingan PV-B mode-1 dengan *pyranometer*

Pada variasi ini *errorrata-rata* yang terjadi sebesar 8,3% sedangkan *errormaksimalnya* 48%. Dengan *errorrata-rata* kurang dari 10% maka variasi ini dianggap layak sebagai pengganti *pyranometer*. Dari data yang diperoleh maka didapat nilai karakteristik alat ukur berdasarkan tabel pada lampiran:

- a. *Range* : 0-919,22 W/m<sup>2</sup> / 0-222,7 mA
- b. *Span* : 919,22 W/m<sup>2</sup> / 222,7 mA
- c. *Resolusi* : 4,13
- d. *Akurasi rata-rata* : 91,7%
- e. *Errorrata-rata* : 8,3%
- f. *Ketepatan* : ±5,2 %

#### e. PV-B Mode 2

Pengambilan data ini dilakukan tanggal 20 November 2016. Tabel hasil pengambilan data dapat dilihat pada lampiran, berikut data yang diperoleh berupa grafik:



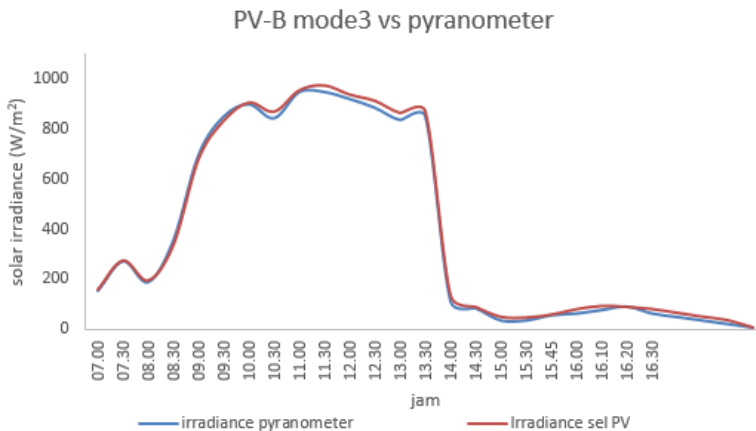
**Gambar 3.16** Grafik perbandingan PV-B mode-2 dengan *pyranometer*

Pada variasi ini *errorrata-rata* yang muncul sebesar 21,4% sedangkan *errormaksimalnya* sebesar 68,5%. Pada jam 9.00 sampai jam 14.00 *erroryang* terjadi dibawah 10% hal ini menunjukkan bahwa variasi ini dapat mengukur dengan baik diantara range 661 W/m<sup>2</sup> sampai 920 W/m<sup>2</sup>. Diatas atau dibawah data tersebut, pengukuran yang dilakukan oleh variasi ini mempunyai *erroryang* tinggi. Dari data yang diperoleh maka didapat nilai karakteristik alat ukur berdasarkan tabel pada lampiran:

- a. *Range* : 0-919,22 W/m<sup>2</sup> / 0-331,7 mA
- b. *Span* : 919,22 W/m<sup>2</sup> / 331,7 mA
- c. *Resolusi* : 2,77
- d. *Akurasi rata-rata* : 78,6%
- e. *Errorrata-rata* : 21,4%
- f. *Ketepatan* : ±13,8 %

#### f. PV-B Mode 3

Pengambilan data ini dilakukan tanggal 19 November 2016. Tabel hasil pengambilan data dapat dilihat pada lampiran, berikut data yang diperoleh berupa grafik:



**Gambar 3.17** Grafik perbandingan PV-B mode-3 VS *pyranometer*

Pada variasi mode diatas didapatkan nilai *errorrata-rata* sebesar 16% denagn *errormaksimal* sebesar 75,5%. *Errordibawah* 10% terjadi pada waktu nilai *irradiance* diantara 188 W/m<sup>2</sup> sampai dengan 957 W/m<sup>2</sup> hal ini menunjukkan bahwa pada variasi mode ini dapat mengukur dengan baik pada 188-957 W/m<sup>2</sup>. Dari data yang diperoleh maka didapat nilai karakteristik alat ukur berdasarkan tabel pada lampiran:

- a. *Range* : 0-947,075W/m<sup>2</sup> / 0-605mA
- b. *Span* : 919,22 W/m<sup>2</sup> / 605mA
- c. *Resolusi* : 1,52
- d. *Akurasi rata-rata* : 84%
- e. *Errorrata-rata* : 16%
- f. *Ketepatan* : ±3,7 %

### 3.5 Pengaruh Sudut Terhadap Pembacaan Sel *Photovoltaic*

Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui pegraruh sudut terhadap pembacaan *photovoltaic*. Hal ini dilakukan karena peredaran matahari yang berubah setiap 3

bulan. Sehingga diperlukanya koreksi pembacaan *solar irradiance* terhadap perubahan garis edar matahari.



**Gambar 3.18** pengambilan data pengaruh sudut

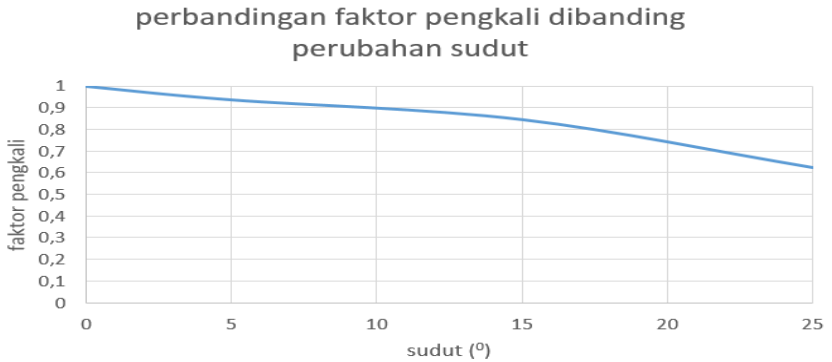
Data ini diambil dengan menggunakan tiruan matahari, berupa rangkain lampu bohlam 100 watt sebanyak 8 buah dan divariasikan jumlah lampu bohlam yang dinyalakan sebanyak 3, 6, 8 buah. Tiap variasi dibaca intensitas radiasinya menggunakan sell *photovoltaic* yang telah terkalibrasi dan yang paling baik diantara semua variasi mode dan jenis sel *photovoltaic* . Pembacaan dilakukan 4 kali dengan perubahan sudut, dengan sudut sebesar  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $15^\circ$  dan  $25^\circ$ . Variasi sudut ini digunakan karena perubahan garis edar matahari di Indonesia berubah sebesar  $23,5^\circ$  tiap 3 bulan. Sehingga dapat diketahui perubahan sudut datang matahari yang disebabkan oleh garis edar terhadap pembacaan sel *photovoltaic* dan dilakukan koreksi terhadap pembacaan sel *photovoltaic*. Hasil dari pengambilan data ini kemudian akan diolah megggunakan *software Microsoft Excel* agar dapat dilihat trend, sehingga didapat faktor koreksi tiap-tiap sudut.

Data ini diambil dengan menggunakan PV-A mode 3, karena variasi ini yang dipilih untuk memonitoring *solar irradiance*. Pengaruh sudut ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut edar matahari terhadap pembacaan nilai *solar irradiance* oleh sel *photovoltaic*. Hasil pengambilan data berupa tabel.

**Tabel 3. 2**Perubahan sudut terhadap pembacaan *solar irradiance*.

lampu (watt)	sudut ( $^{\circ}$ )	<i>irradiance</i> ( $W/m^2$ )	faktor pengkali
800	0	160,96	1,00000
	5	151,04	0,93836
	15	138,57	0,86087
	25	106,22	0,65989
600	0	116,14	1,00000
	5	105,97	0,91244
	15	94,77	0,81603
	25	67,70	0,58293
300	0	49,74	1,00000
	5	47,86	0,96224
	15	42,83	0,86108
	25	31,24	0,62811

Dari data diatas kemudian dicari faktor pengkalinya dengan membagi *irradiance* saat diberi variasi sudut dengan *irradiance* tanpa sudut ( $0^{\circ}$ ) kemudian dirata-rata dan dijadikan grafik untuk mengetahui hubungan antara perubahan sudut terhadap pembacaan solat *irradiance*.



**Gambar 3.19**Perbandingan faktor pengkali dibanding perubahan sudut

Dengan menggunakan software excel maka dicari persamaan garis sehingga didapat persamaan sebagai berikut

$$y = -0,0004x^2 - 0,0044x + 0,9895$$

Dengan x adalah perubahan sudut dan y adalah faktor pengkali pembacaan *irradiance*. Dari hasil yang didapat sudut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pembacaan *solar irradiance* oleh sel *photovoltaic*. Semakin besar beda sudut sel *photovoltaic* terhadap bidang horisontal maka semakin kecil nilai *solar irradiance* yang ditangkap.

### 3.6 Pengambilan Data *Solar Irradiance*.

Pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan sel *photovoltaic* yang telah terkalibrasi dan mempunyai nilai eror rata-rata paling kecil. Data ini digunakan untuk mengetahui pengaruh *solar irradiance* terhadap performansi PLTS. Data ini digunakan untuk melihat pengaruh *solar irradiance* dalam performansi PLTS dalam mengkonversi energi.





**Gambar 3.20** Sel surya sebagai sensor *solar irradiance*

Data yang diambil adalah *solar irradiance*, tegangan dan arus *photovoltaicarray*. Setelah diketahui nilai *solar irradiance* maka akan dikalikan dengan luasan dari *photovoltaicarray*. Berikut perhitungannya luasan *photovoltaicarray*.

Luas tiap sel *photovoltaic* dalam *photovoltaicarray*:

$$A = 0,125 \times 0,125 = 0,015625\text{m}^2$$

Dengan jumlah *cell* per modul adalah 72 maka:

$$A = 0,015625\text{m}^2 \times 72 = 1,125 \text{ m}^2$$

Terdapat 6 modul sehingga:

$$A = 6 \times 1,125\text{m}^2 \times 6 = 6,75 \text{ m}^2$$

Setelah diketahui luasan *photovoltaicarray* maka dicari *output* ideal dari *photovoltaicarray* dengan efisiensi 14,13%. Dengan persamaan:

$$P_{(pv \text{ array})} = \text{Irradiance} \times \text{luas pv} \times \text{efisiensi}$$

*Output* ideal ini kemudian dibandingkan dengan *output* sebenarnya dari *photovoltaicarray*.

### 3.7 Pengambilan Data Suhu Permukaan *PhotovoltaicArray*

Pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan sensor DS18B20 dengan interfacing berupa mikrokontroler dan LCD 16x2. Sensor diletakkan dibagian bawah permukaan *photovoltaicarray*. Pengambilan data dilakukan dari pagi sampai sore hari, atau saat PLTS mengkonversi energi dari matahari. Data ini nantinya akan digunakan untuk melihat pengaruh suhu

permukaan terhadap performa dari PLTS dalam mengkonversi energi.



**Gambar 3.21** Sensor suhu DS18B20

### **3.8 Pengambilan Data Suhu Lingkungan PLTS**

Pengambilan data ini dilakukan dengan sensor DHT 11. dengan menggunakan mikrokontroler dan LCD 16x2 sebagai interfacingnya. Pengambilan data dilakukan pada pagi sampai sore hari saat PLTS mengkonversi energi matahari. Data ini nantinya akan digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu lingkungan terhadap performansi PLTS dalam mengkonversi energi.



**Gambar 3.22** Sensor suhu DHT11

### **3.9 Pengambilan Data *Output Photovoltaic Array***

Pengambilan data ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan data suhu permukaan *photovoltaic array*, suhu lingkungan *photovoltaic array* dan *solar irradiance*. Pengambilan secara bersamaan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu

permukaan *photovoltaicarray*, suhu lingkungan *photovoltaicarray* dan *solar irradiance* terhadap performansi PLTS dalam mengkonversi energi.



**Gambar 3.23** Pengambilan data  
*outputphotovoltaicarray*

Hasil dari pengambilan data ini berupa tegangan dan arus dari pembacaan oleh *shunt* resistor. Sehingga perlu dikonversi agar mendapatkan nilai tegangan dan arus yang sebenarnya. Shunt resistor yang digunakan sebesar 50A/75mV sehingga untuk menghitung nilai resistansinya adalah:

$$R_{shunt} = 75\text{mV}/50\text{A} = 0,0015 \text{ Ohm}$$

Hasil pengukuran pada resistor shunt kemudian dibagi dengan nilai resistansinya untuk mendapatkan nilai arus yang sebenarnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

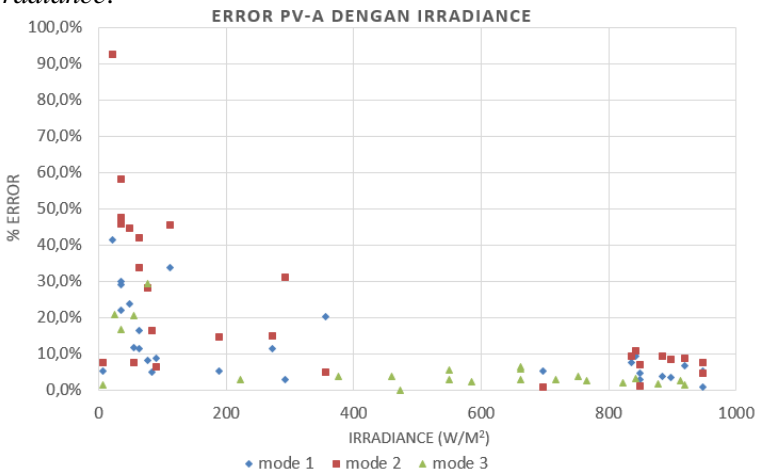
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dan pembahasan dari analisa pengaruh *solar irradiance*, suhu permukaan *photovoltaicarray*, suhu lingkungan *photovoltaicarray* terhadap performansi PLTS.

### 4.1 Analisa Error Kalibrasi Sel Photovoltaic

Untuk mengetahui mode dan jenis sel *photovoltaic* manakah yang paling sesuai dari keenam variasi di atas maka perlu melihat nilai *error* rata-rata pada setiap variasi. Setelah itu ditentukan manakah variasi yang mempunyai nilai *error* rata-rata terkecil dan mempunyai *range* pengukuran paling luas.

Dengan membandingkan antara *error* persen pada nilai *irradiance* yang terukur dapat diketahui mana variasi yang paling baik dan layak digunakan sebagai pengganti dari *pyranometer*. Berikut merupakan grafik *error* dibandingkan nilai *solar irradiance*.

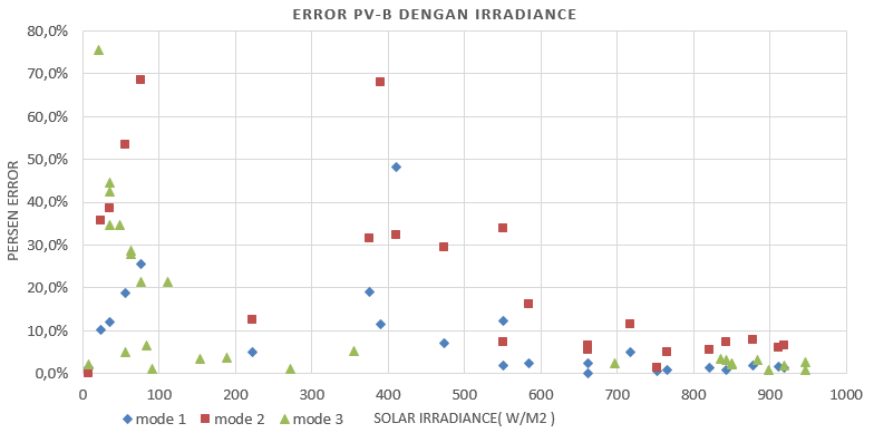


**Gambar 4.1** Grafik *error* PV-A dengan nilai *irradiance*

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai persen *errortertinggi* terdapat pada mode 2. Pada mode ini hanya digunakan 2 sel *photovoltaic* yang masing-masing mempunyai sudut  $45^\circ$  terhadap bidang horisontal. Sehingga saat matahari berada titik tertinggi nilai pembacaan *solar irradiance* oleh variasi ini menjadi kurang akurat.

Sedangkan pada mode 1 nilai *erroryang* tinggi banyak terjadi pada saat *irradiance* berada dibawah  $400 \text{ W/m}^2$ . Mode ini menggunakan 1 sel *photovoltaic* yang sejajar dengan bidang horisontal. Sehingga saat pagi dan sore hari/ saat matahari berada di ufuk timur/barat nilai pembacaan oleh variasi menghasilkan *erroryang* tinggi. Tetapi saat matahari berada diatas atau saat *solar irradiance* bernilai maksimal pembacaan oleh mode ini menjadi lebih akurat.

Pada mode 3 nilai *error* kecil dan hasil pembacaan merata pada semua nilai *irradiance*. Mode ini menggunakan 3 sel *photovoltaic* sehingga pengukuran saat sore maupun pagi hari juga lebih akurat.



**Gambar 4.2** Grafik *error* PV-B dengan nilai *irradiance*

Pada *photovoltaic* jenis B nilai *erroryang* didapat lebih besar. Serta hampir didapati nilai *error* lebih dari 10% pada tiap

nilai *solar irradiance*. Hal ini menunjukkan pengaruh dari lapisan lilin yang terdapat pada *photovoltaic* jenis B terhadap pembacaan *solar irradiance*. Dapat dikatakan lapisan ini mengurangi intensitas radiasi yang diterima oleh sel *photovoltaic*. Dapat dilihat dari grafik bahwa *photovoltaic* jenis B hanya mampu membaca dengan baik *solar irradiance* pada range 600-950 W/m<sup>2</sup>.

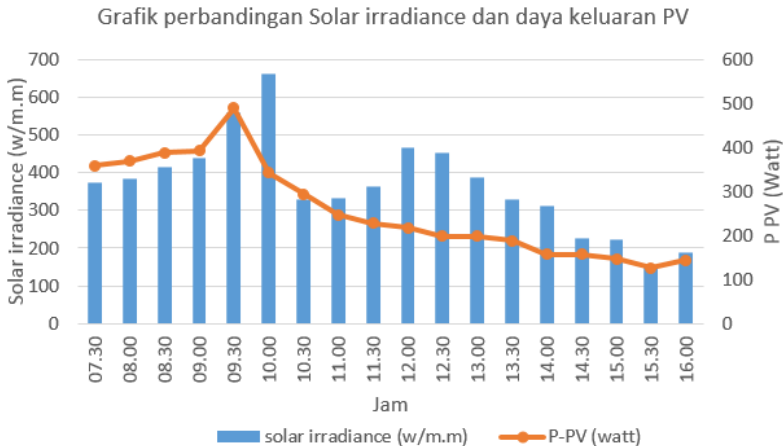
Pada mode 1 *error* banyak terjadi pada tingkat *solar irradiance* 0-600 W/m<sup>2</sup>. Variasi ini hanya dapat membaca dengan baik pada *solar irradiance* diatas 600 W/m<sup>2</sup>. Sehingga variasi ini dianggap tidak layak karena *range* pembacaan yang sempit dan tidak mewakili *solar irradiance* yang terukur di plant.

Pada mode 2 hasil yang didapat hampir sama seperti mode 1. Variasi ini hanya dapat membaca dengan baik *solar irradiance* 600 W/m<sup>2</sup>. Tetapi dengan *error* yang lebih besar pada nilai *solar irradiance* kurang dari 600 W/m<sup>2</sup>. Pada mode 3 pembacaan *solar irradiance* dilakukan dengan baik pada nilai *solar irradiance* diatas 170 W/m<sup>2</sup>.

Dari hasil yang didapat dapat dilihat bahwa variasi yang mempunyai nilai *error* rata-rata paling kecil adalah PV-A mode 3. *Error* pembacaan ini disebabkan karena pengaruh suhu permukaan sel *photovoltaic*, dimana semakin tinggi suhu, arus yang dihasilkan semakin besar. Sedangkan suhu ideal pada sel *photovoltaic* adalah pada 25° C, pada suhu tersebut *output photovoltaic* tidak dipengaruhi oleh suhu. Variasi ini akan digunakan sebagai pengganti *pyranometer* pada plant PLTS.

#### **4.2 Analisa Pengaruh Solar Irradiance Terhadap daya output Photovoltaic Array**

Data ini diambil pada tanggal 10 desember 2016. Hasil pengambilan data adalah nilai *solar irradiance*, tegangan dan arus dari *photovoltaic array*. Dari pengukuran tersebut maka diperoleh *output photovoltaic array* berupa daya dari *photovoltaic array* dan *solar irradiance*. Hasil pengambilan data berupa tabel dapat dilihat pada lampiran. Berikut grafik perbandingannya.



**Gambar 4.3** Perbandingan *output photovoltaic* dan *solar irradiance*

Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan pada jam 09.30 didapat daya tertinggi sebesar 489,94 Watt dengan nilai *solar irradiance* sebesar 535,06  $W/m^2$ . Pada saat pengambilan data nilai *solar irradiance* maksimal yang didapat pada hari itu sebesar 632,39  $W/m^2$ . Sedangkan pada waktu normal *solar irradiance* yang didapat mencapai kurang lebih 950  $W/m^2$ . Hal ini disebabkan karena waktu pengambilan data cuaca sedang berawan dan cenderung mendung, sehingga sinar matahari terhalangi oleh mendung.

Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan pada jam 7.30-9.30 kenaikan *output* dari *solar irradiance* yang diiringi oleh kenaikan *output* dari daya keluaran photovoltaic array. Dan pada jam 12.30-16.00 terjadi penurunan *solar irradiance* dan diiringi juga oleh penurunan daya dari *output photovoltaic*. Kenaikan dan penurunan ini tidak linier karena daya *output* dari photovoltaic tidak hanya dipengaruhi oleh *solar irradiance* tetapi juga dari banyak hal seperti suhu lingkungan, suhu permukaan, kecepatan angin dan fill factor dari photovoltaic array. Hal ini dapat dibuktikan pada jam 10.00-10.30, pada jam tersebut nilai *output* dari photovoltaic array tidak sebanding dengan penambahan nilai

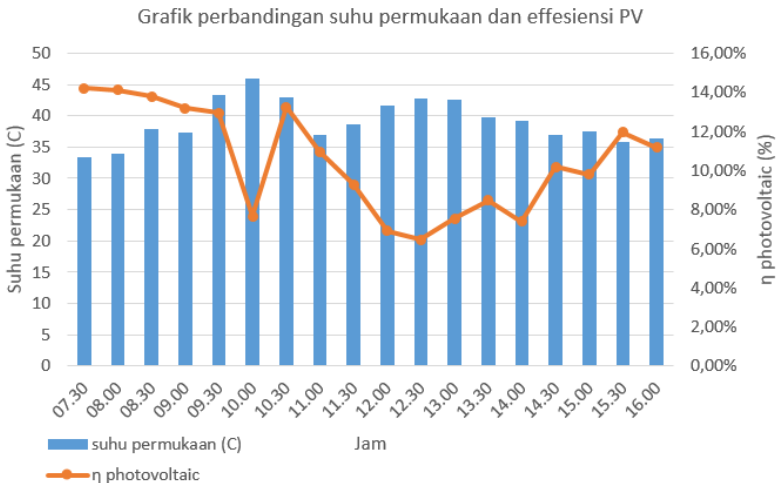


dari *solarirradiance*. Karena pada jam tersebut *solarirradiance* bertambah tinggi tetapi suhu permukaan dan lingkungan juga bertambah.

Dari grafik pada gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa kenaikan *solar irradiance* mempengaruhi produksi daya dari *photovoltaicarray*. Semakin besar nilai *solar irradiance* maka semakin besar pula produksi daya dari *photovoltaicarray*. Sebaliknya semakin kecil nilai *solar irradiance* maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic array*.

### 4.3 Analisa Pengaruh Suhu Permukaan *PhotovoltaicArray* Terhadap Efisiensi *PhotovoltaicArray*

Data ini diambil pada 10 desember 2016. Data yang diambil berupa data efisiensi *photovoltaic* dan suhu permukaan *photovoltaic*. Hasil pengambilan data berupa tabel dapat dilihat pada lampiran. Berikut data yang telah diambil berupa grafik.



**Gambar 4.4** Perbandingan efisiensi *photovoltaic* dengan suhu permukaan

Dapat dilihat pada grafik di gambar 4.4 pada jam 07.30-08.30 penambahan suhu permukaan *photovoltaic array* diiringi dengan penurunan dari efisiensi *photovoltaic array*. Hal ini juga

terjadi pada jam 10.30-13.30. Pada jam tersebut efisiensi turun dari jam 10.30 sampai jam 12.30 dimana saat itu juga suhu permukaan naik. Pada jam 13.00 efisiensi mulai naik diikuti dengan turunnya suhu permukaan sampai pada jam 13.30. hal ini membuktikan bahwa suhu permukaan berbanding terbalik dengan efisiensi dari photovoltaic array. Naik dan turunnya efisiensi dari photovoltaic array tidak linier dengan suhu permukaan.

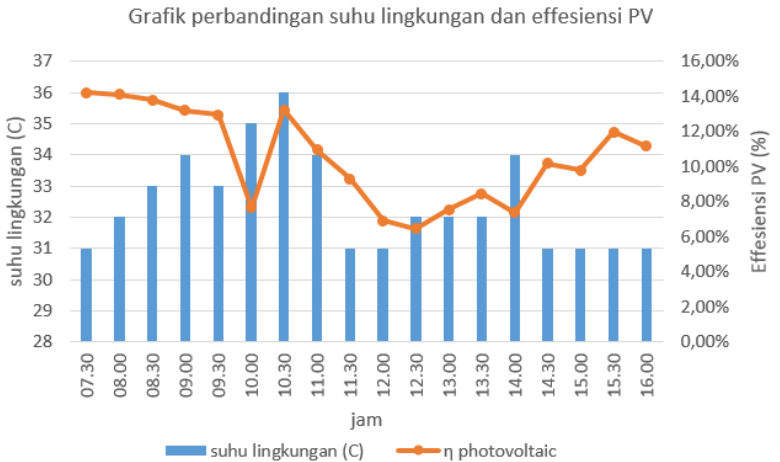
Saat jam 9.00 dimana seharusnya efisiensi naik karena suhu permukaan turun, tetapi dari data yang diambil efisiensi justru naik. hal yang sama juga terjadi pada jam 14.00 dimana seharusnya efisiensi naik karena suhu permukaan turun. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat faktor lain yang mempengaruhi efisiensi selain suhu permukaan. Diantaranya adalah suhu lingkungan dan kecepatan angin. Kecepatan angin disini berfungsi untuk mendinginkan suhu permukaan *photovoltaic array*. Semakin tinggi kecepatan angin maka nilai efisiensi dari *photovoltaic array* akan semakin baik.

Nilai efisiensi yang paling tinggi didapat pada jam 07.30 dengan suhu permukaan sebesar 33,35 °C. Hal ini dikarenakan pada jam tersebut *photovoltaicarray* belum lama mendapatkan penyinaran matahari, sehingga suhu permukaan *photovoltaicarray* relatif dingin. Pada jam berikutnya waktu penyinaran bertambah lama dan menyebabkan suhu permukaan naik. Efisiensi terendah terjadi pada jam 12.30 sebesar 6,45% dengan suhu *photovoltaicarray* saat itu adalah 42,8 °C. Dari data yang telah diambil suhu permukaan *photovoltaicarray* berbanding terbalik dengan effesiensinya dalam menghasilkan energi, semakin tinggi suhu permukaan maka semakin rendah effisiensi dari *photovoltaicarray*.

#### **4.5 Analisa Pengaruh Suhu Lingkungan *PhotovoltaicArray* Terhadap Efisiensi *PhotovoltaicArray***

Data ini diambil pada tanggal 10 desember 2016. Data yang diambil adalah suhu lingkungan *photovoltaic* dan efisiensi dari *photovoltaicarray*. Hasil pengambilan data berupa tabel

dapat dilihat pada lampiran. Berikut data yang telah diambil berupa grafik.



**Gambar 4.5** Perbandingan efisiensi *photovoltaic* dengan suhu lingkungan

Dari grafik pada gambar 4.5 dapat dilihat efisiensi tertinggi diperoleh pada jam 07.30 sebesar 14,2% dengan suhu lingkungan sebesar 31°C. Sedangkan nilai efisiensi terendah didapat saat suhu lingkungan pada 32°C. Data yang telah diambil menunjukkan kenaikan suhu lingkungan mempunyai pengaruh terhadap efisiensi *photovoltaic array*. Pada jam 14.30-16.00 suhu lingkungan mulai stabil, sehingga efisiensi dari *photovoltaic* mulai naik.

Pada jam 07.30 sampai jam 9.00 efisiensi turun dengan diikuti naiknya suhu lingkungan tetapi pada jam 09.30 efisiensi justru turun tetapi dengan suhu lingkungan yang turun juga. Setelah itu pada jam 10.00 efisiensi turun drastis dengan naiknya suhu lingkungan secara drastis juga. Hal ini menunjukkan bahwa suhu lingkungan mempunyai pengaruh terhadap efisiensi dari *photovoltaic* tetapi secara tidak langsung. Hal ini disebabkan karena banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi dari *photovoltaic array* selain suhu lingkungan. Pengaruh suhu lingkungan pada *photovoltaic array* disebabkan oleh banyak hal.

Seperti nilai *solar irradiance* dan kecepatan angin. Semakin tinggi nilai *solar irradiance* maka semakin tinggi pula suhu lingkungan. Kecepatan angin disini berpengaruh pada proses pendinginan *photovoltaic array* secara alami. Semakin tinggi kecepatan angin dan semakin rendah suhu lingkungan, maka semakin rendah pula suhu permukaan dari *photovoltaic array*. Saat suhu permukaan dari *photovoltaic array* rendah maka efisiensi dari *photovoltaic array* bertambah. Sehingga dapat dikatakan bahwa suhu lingkungan berpengaruh secara tidak langsung terhadap nilai efisiensi dari *photovoltaic array*. Semakin rendah suhu lingkungan maka semakin tinggi nilai efisiensi dari *photovoltaic array*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisis yang telah dilakukan sebelumnya maka akan dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Telah dilakukan perancangan dan pembuatan sensor *solar irradiance* berbasis sel *photovoltaic* serta suhu permukaan dan lingkungan.
2. Sensor *solar irradiance* berbasis *photovoltaic* yang telah dibuat mempunyai *range* pengukuran 0-919,22 W/m<sup>2</sup> dengan akurasi sebesar 93,7%.
3. *Solar irradiance* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap daya yang dapat dihasilkan dari *photovoltaicarray*. Dari pengambilan data yang telah dilakukan daya tertinggi yang dapat dihasilkan *photovoltaicarray* pada tanggal 10 Desember 2016 sebesar 489,94 Watt dengan *solar irradiance* sebesar 535,06 W/m<sup>2</sup>.
4. Semakin tinggi suhu permukaan *photovoltaicarray* maka semakin rendah efisiensi dari *photovoltaicarray* dan sebaliknya. Pengaruh dari suhu permukaan *photovoltaicarray* terhadap efisiensi tidak linier. Efisiensi tertinggi yang diperoleh adalah pada jam 07.30 sebesar 14,1% dengan suhu permukaan 33,3 °C.
5. Suhu lingkungan berpengaruh tidak langsung pada efisiensi dari *photovoltaicarray* semakin tinggi suhu lingkungan semakin rendah efisiensi dari *photovoltaicarray*.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah.

1. Penambahan sensor kecepatan angin sebagai salah satu parameter yang mempengaruhi suhu lingkungan dan suhu permukaan.
2. Penambahan jumlah sel *photovoltaic* yang digunakan sebagai sensor *solar irradiance* untuk pengukuran yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Vetri Nurliyanti, Marlina Pandin, dan Bono Pranoto, 2012, **“PEMBUATAN PETA POTENSI ENERGI SURYA”**, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalstrikan, Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.
- F. Zaoui, A.Titaouine, M. Becherif, M. Emziane, and A. Aboubou, 2015, **“A combined experimental and simulation study on the effects of irradiance and temperature on photovoltaic modules”**, The 7<sup>th</sup> Science Direct Energy Procedia 75 ( 2015 ) 373 – 380 International Conference on Applied Energy – ICAE 2015.
- Lawrence Dunn, 2012, **“Comparison of Pyranometers vs. PV Reference Cells for Evaluation of PV Array Performance”**, Atonometrics, Inc., Austin, TX 78757, USA.
- Juan-Carlos Baltazar, 2015, **“Improved Methodology To Evaluate Clear-Sky Direct Normal Irradiance With A Multi-Pyranometer Array”**, Energy Systems Laboratory, Texas A&M Engineering Experiment Station, The Texas A&M University System, College Station, TX 77845, USA.
- S.C. Kaushik, Rahul Rawat dan S. Manikandan, 2016, **“An Innovative Thermodynamic Model For Performance Evaluation Of Photovoltaic Systems: Effect Of Wind Speed And Cell Temperature”**, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi 110016, India.
- Dr. Daniel Cotfas, **Measurement of Solar Radiation; Calibration of PV cells**, The Physics department, Transilvania University of Brasov.

## LAMPIRAN A

Hasil kalibrasi variasi sel *photovoltaic* terhadap pyranometer

MODE A- PV A					
nomer	waktu	irr pv	irr pyrano	selisih	%err
1	07.00	283,957107	292,4791086	8,522002	2,91%
2	07.30	240,450751	271,5877437	31,13699	11,46%
3	08.00	178,17506	188,0222841	9,847224	5,24%
4	08.30	283,764601	355,1532033	71,3886	20,10%
5	09.00	659,44006	696,3788301	36,93877	5,30%
6	09.30	825,95775	849,5821727	23,62442	2,78%
7	10.00	929,91099	898,3286908	31,5823	3,52%
8	10.30	920,28569	842,6183844	77,66731	9,22%
9	11.00	955,8993	947,0752089	8,824091	0,93%
10	11.30	996,32556	947,0752089	49,25035	5,20%
11	12.00	979,96255	919,2200557	60,74249	6,61%
12	12.30	918,36063	884,4011142	33,95952	3,84%
13	13.00	899,11003	835,6545961	63,45543	7,59%
14	13.30	889,48473	849,5821727	39,90256	4,70%
15	13.45	149,106654	111,4206128	37,68604	33,82%
16	14.00	87,69724	83,56545961	4,13178	4,94%
17	14.30	45,249667	34,8189415	10,43073	29,96%
18	14.45	42,45833	34,8189415	7,639388	21,94%
19	15.00	49,19604	55,71030641	6,514266	11,69%
20	15.15	69,794182	62,67409471	7,120087	11,36%
21	15.30	82,980843	76,60167131	6,379172	8,33%
22	15.45	82,692084	90,52924791	7,837164	8,66%
23	16.00	72,874278	62,67409471	10,20018	16,27%
24	16.15	60,361388	48,74651811	11,61487	23,83%
25	16.30	44,960908	34,8189415	10,14197	29,13%



26	16.45	29,560428	20,8913649	8,669063	41,50%
<b>MODE 2-PV A</b>					
<b>nomer</b>	<b>waktu</b>	<b>irr-pv</b>	<b>irr pyrano</b>	<b>selisih</b>	<b>%err</b>
1	07.00	383,372188	292,4791086	90,89308	31,1%
2	07.30	311,9626	271,5877437	40,37486	14,9%
3	08.00	215,79496	188,0222841	27,77268	14,8%
4	08.30	337,88012	355,1532033	17,27308	4,9%
5	09.00	689,81276	696,3788301	6,56607	0,9%
6	09.30	839,52054	849,5821727	10,06163	1,2%
7	10.00	973,5414	898,3286908	75,21271	8,4%
8	10.30	933,30104	842,6183844	90,68266	10,8%
9	11.00	991,95648	947,0752089	44,88127	4,7%
10	11.30	1019,92012	947,0752089	72,84491	7,7%
11	12.00	999,45892	919,2200557	80,23886	8,7%
12	12.30	968,08508	884,4011142	83,68397	9,5%
13	13.00	913,18086	835,6545961	77,52626	9,3%
14	13.30	909,497844	849,5821727	59,91567	7,1%
15	13.45	162,25482	111,4206128	50,83421	45,6%
16	14.00	97,392816	83,56545961	13,82736	16,5%
17	14.30	51,355116	34,8189415	16,53617	47,5%
18	14.45	50,74128	34,8189415	15,92234	45,7%
19	15.00	59,94882	55,71030641	4,238514	7,6%
20	15.15	83,752016	62,67409471	21,07792	33,6%
21	15.30	98,14306	76,60167131	21,54139	28,1%
22	15.45	96,43796	90,52924791	5,908712	6,5%
23	16.00	89,071928	62,67409471	26,39783	42,1%
24	16.15	70,452236	48,74651811	21,70572	44,5%
25	16.30	55,106336	34,8189415	20,28739	58,3%
26	16.45	40,237864	20,8913649	19,3465	92,6%
27	17.00	7,499944	6,963788301	0,536156	7,7%

<b>MODE 3-PV A</b>					
<b>nomer</b>	<b>waktu</b>	<b>irr-pv</b>	<b>irr pyrano</b>	<b>selisih</b>	<b>%err</b>
1	07.00	362,219	376,0446	13,82557	3,7%
2	07.30	473,2306	473,5376	0,307015	0,1%
3	08.00	216,6248	222,8412	6,216423	2,8%
4	08.30	704,8561	410,8635	293,9926	71,6%
5	09.00	723,2813	752,0891	28,80787	3,8%
6	09.30	816,1157	842,6184	26,50265	3,1%
7	10.00	863,596	877,4373	13,84138	1,6%
8	10.30	889,8164	912,2563	22,4399	2,5%
9	11.00	905,7612	919,2201	13,45884	1,5%
10	11.30	804,0685	821,727	17,65851	2,1%
11	12.00	745,6041	766,0167	20,41265	2,7%
12	12.30	695,9979	717,2702	21,27233	3,0%
13	13.00	534,7777	550,1393	15,36157	2,8%
14	13.30	642,6712	661,5599	18,88869	2,9%
15	13.45	623,1476	661,5599	38,41228	5,8%
16	14.00	572,1241	584,9582	12,83413	2,2%
17	14.30	580,7343	550,1393	30,59504	5,6%
18	14.45	477,1637	389,9721	87,19151	22,4%
19	15.00	99,05811	76,60167	22,45644	29,3%
20	15.15	67,20384	55,71031	11,49354	20,6%
21	15.30	40,59366	34,81894	5,774717	16,6%
22	15.45	29,43226	24,37326	5,059005	20,8%
23	16.00	6,861443	6,963788	0,102345	1,5%

<b>MODE 1-PV B</b>					
<b>nomer</b>	<b>waktu</b>	<b>irr-pv</b>	<b>irr pyrano</b>	<b>selisih</b>	<b>%err</b>
1	07.00	304,0793	376,0446	71,96524	19,1%
2	07.30	440,4622	473,5376	33,07536	7,0%
3	08.00	211,5799	222,8412	11,26135	5,1%
4	08.30	609,1124	410,8635	198,2489	48,3%
5	09.00	755,3906	752,0891	3,301464	0,4%
6	09.30	834,9832	842,6184	7,635234	0,9%
7	10.00	893,9247	877,4373	16,48733	1,9%
8	10.30	927,4826	912,2563	15,22633	1,7%
9	11.00	930,4942	919,2201	11,27415	1,2%
10	11.30	832,832	821,727	11,10498	1,4%
11	12.00	759,6929	766,0167	6,323813	0,8%
12	12.30	752,379	717,2702	35,1088	4,9%
13	13.00	482,1946	550,1393	67,94473	12,4%
14	13.30	677,9492	661,5599	16,38931	2,5%
15	14.00	660,74	661,5599	0,819889	0,1%
16	14.30	599,2171	584,9582	14,25889	2,4%
17	15.00	560,4964	550,1393	10,35713	1,9%
18	15.30	434,8693	389,9721	44,89711	11,5%
19	15.45	96,27824	76,60167	19,67657	25,7%
20	16.00	66,16214	55,71031	10,45183	18,8%
21	16.10	39,01463	34,81894	4,195685	12,1%
22	16.20	21,89147	24,37326	2,481786	10,2%
23	16.30	7,048538	6,963788	0,08475	1,2%

<b>MODE 2-PV B</b>					
<b>nomer</b>	<b>waktu</b>	<b>irr-pv</b>	<b>irr pyrano</b>	<b>selisih</b>	<b>%err</b>
1	07.00	494,9118	376,0446	118,8672	31,6%
2	07.30	612,5074	473,5376	138,9698	29,3%
3	08.00	250,7102	222,8412	27,86893	12,5%
4	08.30	543,9305	410,8635	133,067	32,4%
5	09.00	762,2697	752,0891	10,18054	1,4%
6	09.30	904,6514	842,6184	62,03306	7,4%
7	10.00	945,5516	877,4373	68,11427	7,8%
8	10.30	968,3081	912,2563	56,05181	6,1%
9	11.00	979,9938	919,2201	60,77378	6,6%
10	11.30	868,0566	821,727	46,32954	5,6%
11	12.00	803,7849	766,0167	37,76817	4,9%
12	12.30	798,8646	717,2702	81,59437	11,4%
13	13.00	590,6735	550,1393	40,53424	7,4%
14	13.30	705,3785	661,5599	43,81859	6,6%
15	14.00	698,121	661,5599	36,56112	5,5%
16	14.30	679,0855	584,9582	94,1273	16,1%
17	15.00	736,1305	550,1393	185,9912	33,8%
18	15.30	655,714	389,9721	265,7419	68,1%
19	15.45	129,0552	76,60167	52,45358	68,5%
20	16.00	85,51042	55,71031	29,80011	53,5%
21	16.10	48,3005	34,81894	13,48155	38,7%
22	16.20	33,10901	24,37326	8,735749	35,8%
23	16.30	6,969808	6,963788	0,00602	0,1%

<b>MODE 3-PV B</b>					
<b>nomer</b>	<b>waktu</b>	<b>irr-pv</b>	<b>irr pyrano</b>	<b>selisih</b>	<b>%err</b>
1	07.00	158,5353	292,4791	133,9438	45,8%
2	07.30	274,3521	271,5877	2,764376	1,0%
3	08.00	195,0419	188,0223	7,019592	3,7%
4	08.30	336,5049	355,1532	18,64828	5,3%
5	09.00	679,8174	696,3788	16,56147	2,4%
6	09.30	832,4188	849,5822	17,16333	2,0%
7	10.00	905,0395	898,3287	6,710789	0,7%
8	10.30	868,7292	842,6184	26,11078	3,1%
9	11.00	954,271	947,0752	7,195831	0,8%
10	11.30	973,244	947,0752	26,16879	2,8%
11	12.00	936,7701	919,2201	17,55006	1,9%
12	12.30	911,909	884,4011	27,50789	3,1%
13	13.00	863,9859	835,6546	28,33132	3,4%
14	13.30	869,0563	849,5822	19,47411	2,3%
15	13.45	135,2443	111,4206	23,82373	21,4%
16	14.00	89,13678	83,56546	5,571316	6,7%
17	14.30	49,57161	34,81894	14,75267	42,4%
18	14.45	46,9383	34,81894	12,11935	34,8%
19	15.00	58,50199	55,71031	2,791682	5,0%
20	15.15	80,23911	62,67409	17,56502	28,0%
21	15.30	92,96408	76,60167	16,36241	21,4%
22	15.45	89,64381	90,52925	0,885436	1,0%
23	16.00	80,72979	62,67409	18,0557	28,8%
24	16.15	65,68227	48,74652	16,93575	34,7%
25	16.30	50,32399	34,81894	15,50505	44,5%
26	16.45	36,66673	20,89136	15,77536	75,5%

27	17.00	7,111436	6,963788	0,147648	2,1%
----	-------	----------	----------	----------	------

Pengambilan data 10 desember 2016

Waktu	Esolar (w/m.m)	pv out			
		v	i	FF	P-PV (watt)
07.30	374,337	63,240	6,167	0,920	358,804
08.00	386,597	63,240	6,333	0,920	368,502
08.30	416,325	63,240	6,667	0,920	387,896
09.00	440,384	63,860	6,667	0,921	391,960
09.30	560,998	63,860	8,333	0,921	489,950
10.00	663,045	63,860	5,833	0,921	342,965
10.30	329,089	63,860	5,000	0,921	293,970
11.00	334,369	64,480	4,167	0,921	247,515
11.30	363,282	64,480	3,833	0,921	227,714
12.00	466,392	64,480	3,667	0,921	217,813
12.30	454,593	64,480	3,333	0,921	198,012
13.00	388,794	64,480	3,333	0,921	198,012
13.30	329,160	64,480	3,167	0,921	188,111
14.00	314,349	63,860	2,667	0,921	156,784
14.30	228,211	63,860	2,667	0,921	156,784
15.00	222,152	63,860	2,500	0,921	146,985
15.30	156,247	63,240	2,167	0,920	126,066
16.00	190,794	62,620	2,500	0,919	143,938

Waktu	suhu permukaan (C)	$\eta$ photovoltaic	suhu lingkungan (C)
07.30	33,35	14,20%	31
08.00	33,9	14,12%	32
08.30	37,85	13,80%	33
09.00	37,3	13,19%	34
09.30	43,25	12,94%	33
10.00	45,95	7,66%	35
10.30	43	13,23%	36
11.00	36,85	10,97%	34
11.30	38,55	9,29%	31
12.00	41,6	6,92%	31
12.30	42,8	6,45%	32
13.00	42,6	7,55%	32
13.30	39,7	8,47%	32
14.00	39,15	7,39%	34
14.30	37	10,18%	31
15.00	37,6	9,80%	31
15.30	35,9	11,95%	31
16.00	36,4	11,18%	31

## LAMPIRAN B

Pada lampiran ini tercantum kodingpada atmega 16 yang digunakan sebagai monitoring

```

/*****
*****/

```

```

Chip type           : ATmega16
Program type        : Application
AVR Core Clock frequency: 11.059200 MHz
Memory model        : Small
External RAM size   : 0
Data Stack size     : 256

```

```

*****/

```

```

*****/

```

```

#include <mega16.h>
#include <math.h>
//#include <dht11.h>
#define _DHT11_H_
// 1 Wire Bus interface functions
#include <1wire.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>
unsigned int ave=0,toggle=0;
int dht11,sementara;
static char tmp[16];
static char tmp2[16];
static unsigned char x[33],y[33];
float suhu_dht11,kelembaban_dht11;
int suhu_sekarang,kelembaban_sekarang;
unsigned int data_suhu;
unsigned char lcd_buffer[30];

#define ADC_VREF_TYPE 0x40

```



```

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
  ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
  // Delay needed for the stabilization of the ADC input
  voltage
  delay_us(10);
  // Start the AD conversion
  ADCSRA|=0x40;
  // Wait for the AD conversion to complete
  while ((ADCSRA & 0x10)==0);
  ADCSRA|=0x10;
  return ADCW;
}
// Timer1 output compare A interrupt service routine
interrupt [TIM1_COMPA] void timer1_compa_isr(void)
{
  // Place your code here
  toggle=1;
}
void init_dht11(void);
int baca_dht11(float* suhu, float* kelembaban);
// DS1820 Temperature Sensor functions
#include <ds1820.h>
#include <stdlib.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#include <alcd.h>
#define MAX_DS1820 8

// Declare your global variables here
// Sesuaikan dengan pin koneksi DHT-11
#ifndef PIN_DHT11
#define PIN_DHT11    PIND.6
#define PORT_DHT11  PORTD.6

```

```

#define DIR_DHT11    DDRD.6
#endif
// Syarat ... PIN_DHT11 harus dilengkapi pull-up

void init_dht11(void)
{
    PORT_DHT11=1;           // set pull-up
    DIR_DHT11=0;           // set sebagai input
    delay_ms(2000);        // tunggu satu detik untuk start-
up
}
unsigned char data_DHT11[5];

unsigned char ds1820_devices;
unsigned char ds1820_rom_codes[MAX_DS1820][9];
char str[33];
int baca_dht11(float* suhu, float* kelembaban)
{
    unsigned char cs, i, n;
    unsigned char TO;

    DIR_DHT11=1;           // set sebagai output
    PORT_DHT11=0;         // kirim start
    delay_ms(18);         // delay 18 ms agar DHT11
tahu
    PORT_DHT11=1;         // set pull-up
    DIR_DHT11=0;         // set sebagai input
    TO=200;
    while(PIN_DHT11==1&&--TO); // tunggu respon
DHT11 sekitar 20-40 us
    if(TO==0) return 1;
    TO=200;
}

```

```

while(PIN_DHT11==0&&--TO); // respon
DHT11=0 sekitar 80 us
if(TO==0) return 2;
TO=200;
while(PIN_DHT11==1&&--TO); // respon
DHT11=1 sekitar 80 us
if(TO==0) return 3;
for(n=0;n<5;n++) // ambil 5 byte data dari
DHT11
for(i=0;i<8;i++) // masing-masing byte ambil
8 bit data
{
TO=200;
while(PIN_DHT11==0&&--TO); // awal 1 bit
respon DHT11=0 sekitar 50 us
if(TO==0) return 4;
delay_us(50); // bit=0 jika panjang respon
DHT11=1 sekitar 26-28 us
// bit=1 jika panjang respon
DHT11=1 sekitar 70 us
data_DHT11[n]<<=1; // bit pertama adalah
MSB
data_DHT11[n]=PIN_DHT11; // masukkan respon
DHT11 sebagai data bit
TO=200;
while(PIN_DHT11==1&&--TO); // tunggu selama
respon DHT11=1
if(TO==0) return 5;
}

cs=data_DHT11[0]+data_DHT11[1]+data_DHT11[2]+data
_DHT11[3];
if(data_DHT11[4]==cs)

```

```
{
    *suhu=(float)data_DHT11[2];
    *kelembaban=(float)data_DHT11[0];
    return 0;
}
else
{
    *suhu=-99;
    *kelembaban=-99;
    return 99;
}
}
```

```
float baca_suhu()
{
    return data_DHT11[2];
}
```

```
float baca_kelembaban()
{
    return data_DHT11[0];
}
```

```
void main(void)
{
    // Declare your local variables here
    unsigned char i,u;
    int temp;
    float irr,ipa,ipb,ipc,ipv;
    w1_init();
    ds1820_devices=w1_search(0xf0,ds1820_rom_codes);
    lcd_init(16);
    lcd_clear();
    //lcd_putsf(" Sensor DS1820 ");
}
```

```
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
```

```
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 10,800 kHz
// Mode: CTC top=OCR1A
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: On
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x0D;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0xD2;
OCR1AL=0xEF;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
```

```
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
```

```
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x10;

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1:
Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 691,200 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// ADC Auto Trigger Source: Free Running
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0xA4;
```

```
SFIOR&=0x1F;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

// 1 Wire Bus initialization
// 1 Wire Data port: PORTD
// 1 Wire Data bit: 7
// Note: 1 Wire port settings must be specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|1 Wire IDE menu.
w1_init();

init_dht11();

// Alphanumeric LCD initialization
lcd_init(16);
ds1820_devices=w1_search(0xf0,ds1820_rom_codes);

// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
{

dht11=baca_dht11(&suhu_dht11,&kelembaban_dht11);
    suhu_sekarang = baca_suhu();
    kelembaban_sekarang = baca_kelembaban();
    ipv=read_adc(7)*0.270772238514;
    irr=(ipv*3.544)-27.544;
```



```
//lcd_clear();
sprintf(str,"Irr:%7.3fW/m.m",irr);

lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(str);
for (i=0;i);
{

temp=ds1820_temperature_10(&ds1820_rom_codes[i][0]);
temp=temp/8,87;

sprintf(str,"T:%2dH:%2dTP=%i.%uC",suhu_sekarang,
kelembaban_sekarang,temp/10,temp%10);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(str);
delay_ms(500);
}
}}
```

# LAMPIRAN C

Pada lampiran ini akan diberikan spesifikasi dari pyranometer yang digunakan.

### INSTRUCTION SHEET

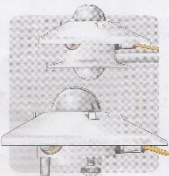

ANLEITUNG • FEUILLE D'INSTRUCTIONS • HOJA DE INSTRUCCIONES

## CMP series

Pyranometer

## CMA series

Albedometer

Kipp & Zonen B.V.  
P.O. Box 507, 2600 AM Delft  
The Netherlands  
T: +31 (0) 15 2756 210  
F: +31 (0) 15 2620 351  
info@kippzonen.com  
www.kippzonen.com

Up to 2000 W/m<sup>2</sup>

Up to 4000 W/m<sup>2</sup>

0.6 kg (Albedo 1.2 kg)

max. 80°C / 176°F  
min. -40°C / -40°F

IP 67 CE

### USER INFORMATION • ANWENDERINFORMATION • INFORMATION UTILISATEUR • INFORMACIÓN PARA EL USUARIO

**Read this document carefully before installation.**  
Warranty is 2 years from date of invoice, subject to correct installation and use. Kipp & Zonen accepts no liability for any loss or damages arising from incorrect use of the product. This device conforms to the EU 'CE' guideline 89/336/EEC 73/23/EEC. Unauthorised modifications may void the warranty and CE validity. The included CD-ROM contains additional product documentation. For the latest product support information visit our website.

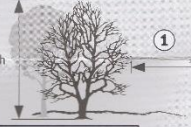
**Lesen Sie dieses Dokument sorgfältig vor der Installation.**  
Die Garantie beträgt 2 Jahre ab dem Rechnungsdatum, abhängig von korrekter Installation und Gebrauch. Kipp & Zonen übernimmt keine Haftung für mögliche Verluste oder Beschädigungen, die durch den falschen Gebrauch des Produktes entstehen. Dieses Produkt entspricht der EU 'CE' Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC. Nicht autorisierte Änderungen können die Garantie und die CE-Konformität aufheben. Die beigefügte CD-ROM enthält zusätzlich Produktinformationen. Die neuesten Produktinformationen finden Sie auf unserer Internetseite.

**Lisez ce document soigneusement avant installation.**  
La garantie est de 2 ans à dater de la facture, pour une installation et une utilisation correctes. Kipp & Zonen n'accepte aucune responsabilité quant à la perte ou dommage résultant d'une utilisation incorrecte du produit. Ce dispositif est conforme à la directive EU 'CE' 89/336/EEC 73/23/EEC. Toutes modifications non autorisées peuvent annuler la garantie et la validité CE. Le CD-ROM joint contient la documentation complémentaire du produit. Consultez notre website pour tout renseignement 'support produit'.


**Lea este documento cuidadosamente antes de la instalación.**  
La garantía es de 2 años contados desde de la fecha de adquisición y está condicionada a una instalación y utilización correctas. Kipp & Zonen no acepta ninguna responsabilidad por pérdida o daños resultantes de un uso incorrecto del producto. Este dispositivo es conforme con los directivos 89/336/EEC 73/23/EEC de 'CE' y de la EU. Las modificaciones no autorizadas pueden anular la garantía y la validez CE. El CD-ROM incluido contiene la documentación adicional del producto. Para obtener la última de la información de soporte del producto les rogamos visiten nuestro website.

© 2013 Kipp & Zonen B.V.

**ALL RIGHTS RESERVED**  
ALLE RECHTE VORBEHALTEN  
TODOS DERECHOS RESERVADOS



0362200 - V1310



Reading reduced if dome is not clean  
Messwert verringert sich, wenn Dom nicht sauber ist  
La lectura se reduce si la cúpula no está limpia

- Keep dome clean using water or alcohol  
Halten Sie den Schirm sauber mit Wasser oder Spiritus  
Mantenga la cúpula limpia utilizando agua o alcohol
- Keep instrument levelled  
Achten Sie darauf, dass der Sensor immer korrekt einjustiert  
Mantenga el instrumento nivelado
- Replace desiccant if clear  
Ersetzen Sie das Trockenmittel, wenn es farblos geworden ist  
Reemplazar el desecante si está claro  
Sustituya el desecante si está incoloro
- CMP10 desiccant will be replaced during factory recalibration  
Bei der Recalibration des CMP10 wird auch das Trockenmittel ersetzt  
El desecante del CMP10 será reemplazado lors du recalibrage en usine  
El desecante del CMP10 estará reemplazado durante la recalibración en fábrica
- Recalibrate every 2 years  
Jahren  
Actualizar los datos cada 2 años  
Recalibrar cada 2 años

### DELIVERY CONTENTS

LIEFERUMFANG • CONTENIDO DE LA LIVRACION • CONTENIDO DEL SUMINISTRO

- Pyranometer  
Piranoómetro  
Piranoómetro  
Piranoómetro
- Sun screen  
Sonnenschirm  
Ecran solaire  
Filtro solar
- Cable  
Kabel  
Cable  
Cable
- Test reports  
Messprotokolle  
Ficheros con datos  
Informe de prueba
- Instruction sheet  
Anleitung  
Folleto d'Instruccions  
Hoja de instrucciones
- Pyranometer fixing kit (CMP series)  
Fijación de piranoómetro  
Kit de fijación de piranoómetro
- 2 Desiccant bags (2x 10)  
2 Paquetes de desecante  
2 Bolsas de desecante  
2 Bolsas de desecante
- Product Documentation CD  
CD de documentación del producto  
CD de documentación del producto

Keep original packaging for recalibration  
Mantenga el empaque original para la recalibración  
Gardez l'emballage original pour le recalibrage  
Mantenga el empaque original para la recalibración

### MAINTENANCE

WARTUNG • ENTRETEN • MANTENIMIENTO

**INSTRUCTION SHEET**  
ANLEITUNG - FEUILLE D'INSTRUCTIONS - HOJA DE INSTRUCCIONES

**CMP series**  
Pyranometer

**CMA series**  
Albedometer



**KIPP & ZONEN**  
SINCE 1830

Kipp & Zonen B.V.  
P.O. Box 507, 2600 AM Delft,  
The Netherlands  
T: +31 (0) 15 2755 210  
F: +31 (0) 15 2600 351  
info@kippzonen.com  
www.kippzonen.com

CMP 6  
CMA 6  
Up to 2000 W/m<sup>2</sup>

CMP10  
CMP 11  
CMA 11  
CMP 21  
CMP 22  
Up to 4000 W/m<sup>2</sup>



0.6 kg (Albedo 1.2 kg)

max. 80°C / 176°F  
min. -40°C / -40°F

IP 67 CE

1a Pyranometer  
Pyranomètre  
Pirradiómetro  
Pirradiómetro

2 Sun screen  
Zonnenscherm  
Ecran solaire  
Pantalla solar

3 Cable  
Kabel  
Cable  
Cable

4 Test reports  
Prufterichte  
Rapports de essais  
Informes de prueba

5 Instruction sheet  
Anleitung  
Feuille d'instructions  
Hoja de instrucciones

6 Pyranometer fixing kit (CMP series)  
Pyranomètre-Bevestigingskit  
Kit de fixation para el Pirradiómetro


7 Desiccant bags (1a, 1c)  
1 Packets Trockenmittel  
2 Sacs de déshydratant  
2 Bolsas de desecante

8 Product Documentation CD  
CD mit Produktdokumentation  
CD de documentación del producto  
CD de documentación del producto

1b CMP10  
Or  
Ou  
O

1c Albedometer  
Albedomètre  
Albedómetro  
Albedómetro

Or  
Ou  
O



Keep original packaging for recalibration  
Vorhalten Sie die Originalverpackung für den Versand zur Rekalibrierung  
Gardez l'emballage original pour la recalibration  
Guarde el embalaje original para la recalibración

**DELIVERY CONTENTS**  
LIEFERUMFANG - CONTENU DE LA LIVRAISON - CONTENIDO DEL SUMINISTRO

**USER INFORMATION - ANWENDERINFORMATION -**  
INFORMATION UTILISATEUR - INFORMACIÓN PARA EL USUARIO

**Read this document carefully before installation.**  
Die Garantie beträgt 2 Jahre ab dem Rechnungsdatum, abhängig von korrekter Installation und Gebrauch. Kipp & Zonen übernimmt keine Haftung für mögliche Verluste oder Beschädigungen, die durch den falschen Gebrauch des Produktes entstehen. Dieses Produkt entspricht der EU CE Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC. Nicht autorisierte Änderungen können die Garantie und die CE-Konformität aufheben. Die beigefügte CD-ROM enthält zusätzlich Produktinformationen. Die neuesten Produktinformationen finden Sie auf unserer Internetseite.

**Lesen Sie dieses Dokument sorgfältig vor der Installation.**  
La garantie est de 2 ans à dater de la facture, pour une installation et une utilisation correctes. Kipp & Zonen n'accepte aucune responsabilité quant à la perte ou dommage résultant d'une utilisation incorrecte du produit. Ce dispositif est conforme à la directive EU "CE" 89/336/EEC 73/23/EEC. Toutes modifications non autorisées peuvent annuler la garantie et la validité CE. Le CD-ROM joint contient la documentation complémentaire du produit. Consultez notre website pour tout renseignement "support produit".

**Lea este documento cuidadosamente antes de la instalación.**  
La garantía es de 2 años contados desde de la fecha de adquisición y está condicionada a una instalación y utilización correctas. Kipp & Zonen no acepta ninguna responsabilidad por pérdida o daños resultantes de un uso incorrecto del producto. Este dispositivo es conforme con las directrices 89/336/EEC 73/23/EEC de "CE" y de la EU. Las modificaciones no autorizadas pueden anular la garantía y la validez CE. El CD-ROM incluido contiene la documentación adicional del producto. Para obtener la última de la información de soporte del producto le rogamos visiten nuestro webstte.

© 2013 Kipp & Zonen B.V.

**ALL RIGHTS RESERVED**  
ALLE RECHTE VOORBEHOLDEN  
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS  
RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

0362200 - V12310

Reading reduced if dome is not clean  
Reagenz verringert sich, wenn Dome nicht sauber ist  
La lecture est réduite si le dôme n'est pas propre  
La lectura se verá reducida si la cúpula no está limpia



1 Keep dome clean using water or alcohol  
Halten Sie den Dome regelmäßig mit Wasser oder Spiritus  
Mantenga la cúpula limpia utilizando agua o alcohol

2 Keep Instrument levelled  
Achten Sie darauf, dass der Sensor immer senkrecht montiert ist  
Mantenez l'instrument nivelado

3a Replace desiccant if clear  
Ersetzen Sie das Trockenmittel, wenn es farblos geworden ist  
Reemplaza el desecante si está transparente

3b CMP10 desiccant will be replaced during factory recalibration  
Bei der Rekalibrierung des CMP10 wird auch das Trockenmittel erneuert  
Le desiccant du CMP10 sera remplacé lors du réajustement en usine  
El desecante del CMP10 será reemplazado durante su recalibración en fábrica

4 Recalibrate every 2 years  
Lassen Sie den Sensor alle 2 Jahre recalibrieren  
Recalibrar todos 2 años





**MAINTENANCE**  
WARTUNG - ENTRETIEN - MANTENIMIENTO

### MECHANICAL

MECHANISCH • MECANIQUE • MECÁNICA

### INSTALLATION

INSTALLATION • INSTALLATION • INSTALACION

### ELECTRICAL

ELEKTRISSCH • ELECTRIQUE • ELÉCTRICA

① **Unobstructed horizon**  
Freier Horizont  
Horizon sans obstacle  
Horizonte sin obstáculo

② **Solid surface**  
Feste Oberfläche  
Surface solide  
Superficie sólida

③ **Point cable towards nearest pole**  
Kabelausrichtung zum nächsten Pol  
Puntax la cable vers le pôle le plus proche  
Orientar el cable hacia el polo más próximo

④ **Level instrument**  
Nivellierinstrument  
Instrumente de niveau  
Nivela el instrumento

⑤ **Mount with screws, washers and nuts**  
Montage mit Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben  
Montage avec des vis, arrous et écrous  
Montaje con los tornillos, arandelas y tuercas

⑥ **Mount sun screen**  
Montage des Sonnenraster  
Monte l'écran solaire  
Montar el pantalla de sol

⑦ **Albedo set-up**  
Albedonivellierung  
Tratamiento albedo  
Aislado del albedo

h = 1.5 m above cut grass  
h = 1.5 m über kurz gescherten Gras  
h = 1.5 m au dessus de l'herbe rasée  
h = 1.5 m sobre hierba segada

**Minimize interference from mounting device**  
Minimieren von Störungen durch die Montagevorrichtung  
Réduire au minimum l'interférence du dispositif de support  
Minimizar las interferencias del elemento de soporte

**Pin Layout (Instrument)**  
Steckplatzbelegung  
Sockets des connectés  
Diagrama de conexiones

**Nylon ring**  
Nylon-Unterlegscheibe  
Boucle en nylon  
Anillo de nylon

**+1 MO Impedance**  
Impedancia  
Impédance  
Impedancia

max. 100 m

0.6 mm

2 mm (2x)

65 mm

### PYRANOMETER CONNECTION

ANSCHLUSS • RACCORDEMENT • CONEXIÓN

Wire Kabel Fil Cable	Function Funktion Fonction Función	Connect with Anschluss an Raccord à Conectar con
1 Red Rot • Rouge • Rojo	+	+ (Hi)
2 Blue Blau • Bleu • Azul	-	- (Lo)
Shield Abschirmung Protection Malla		Ground Erde Terre Tierra

### ALBEDOMETER CONNECTION

ANSCHLUSS • RACCORDEMENT • CONEXIÓN

3 Green Grün • Vert • Verde	Lower Unterr Inferieur Inferior	+ (Hi)
4 Yellow Gelb • Jaune • Amarillo		- (Lo)

**Thermistor (Optional • Option • Opción • Opcional)**

Green Grün • Vert • Verde	Thermistor
Yellow Gelb • Jaune • Amarillo	

**PI-100 (Optional • Option • Opción • Opcional)**

Yellow Gelb • Jaune • Amarillo	Combined Kombiniert Combiné Combinado	PI-100
Blue Blau • Bleu • Azul		
Green Grün • Vert • Verde	Combined Kombiniert Combiné Combinado	
Grey Grau • Gris • Gris	Combined Kombiniert Combiné Combinado	

Ø150 mm  
Ø50 mm (2x)  
150 mm  
100 mm  
Ø128 mm  
Ø150 mm  
100 mm  
100 mm  
100 mm  
100 mm

\* = SENSOR HEIGHT  
SENSOR HÖHE • HAUTEUR DE CAPTEUR • ALTURA DEL SENSOR

**Typical Values**  
Typische Werte • Valores típicos • Valores típicos

**Fully cloudy**  
Bewölkt  
Très nuageux  
Totalmente Nublado

**Sunny, partly cloudy**  
Sonnig, teilw. bewölkt  
Ensoleillé, un peu nuageux  
Parcialmente nublado

**Clear and Sunny**  
Klarer Himmel mit Sonnig  
Clair et ensoleillé  
Cielo despejado

50 ... 120 W/m<sup>2</sup>      120 ... 500 W/m<sup>2</sup>      500 ... 1000 W/m<sup>2</sup>

**Calculate Irradiance**  
Berechnung der Strahlung • Cálculo de la Irradiación • Cálculo de la irradiancia

$$E_{Solar} = \frac{U_{emf}}{S}$$

$E_{Solar}$  [W/m<sup>2</sup>] = Irradiance  
Strahlungsstärke • Rayonnement • Irradiación

$U_{emf}$  [µV] = Output Voltage  
Ausgangsspannung • Sortie tension • Voltaje de salida

$S$  [µV/m<sup>2</sup>] = Sensitivity  
Empfindlichkeit • Sensibilité • Sensibilidad

**Calculate temperature**  
Temperaturberechnung • Cálculo de la temperatura • Cálculo de la temperatura

PI-100 (100 Ω @ 0°C)

$$T = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4 \cdot \beta \cdot \left(\frac{-R}{100} + 1\right)}}{2 \cdot \beta}$$

$\alpha: 3.9080 \cdot 10^{-3}$      $\beta: -5.8079 \cdot 10^{-1}$

Thermistor (10 kΩ @ 25°C)

$$T = \left( \alpha + \left[ \beta \cdot (\ln(R)) + \gamma \cdot (\ln(R))^2 \right] \right)^{-1} - 273.15$$

$\alpha: 1.0295 \cdot 10^{-3}$      $\beta: 2.391 \cdot 10^{-4}$      $\gamma: 1.568 \cdot 10^{-7}$

$T$  [°C] = Temperature  
Temperatur • Température • Temperatura

$R$  [Ω] = Resistance  
Widerstand • Résistance • Resistencia

**Temperature unit conversion**  
Temperaturumwandlung • Conversion d'unité de la température • Conversión de la unidad de la temperatura

$$T[K] = T[°C] + 273.15$$

### MEASUREMENT

MESSUNG • MESURE • MEDIDA

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Surabaya 11 November 1992. Melalui pendidikan dasarnya di SDN Gunung Anyar 273 dan lanjut di SMPN 35 Surabaya. Menempuh pendidikan sekolah menengah atas di SMA 17 Agustus 1945. Selepas SMA lanjut ke jenjang perguruan tinggi di D3 Elektronika PENS kemudian melanjutkannya di S1 Teknik Fisika ITS. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Melalui Rancang Bangun Serta Monitoring Sensor *Solar Irradiance* Dan Temperatur”.