

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dasar teori, tinjauan kepustakaan, atau tinjauan teoritis tujuannya sama yaitu menguraikan teori-teori keilmuan, prinsip, rumus atau hukum yang digunakan dalam penulisan skripsi ini, yang sesuai permasalahan yang diajukan. Sesuai dengan topik yang diangkat maka tinjauan pustaka ini akan membahas dan memfokuskan pada estimasi, sistem regresi sederhana linier, geometri matahari, radiasi langsung dari matahari, beserta rumus-rumus yang terkait pada pokok bahasan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan landasan yang dapat direalisasikan pada saat estimasi potensi radiasi matahari sebagai pembangkit listrik alternatif sehingga dapat menjadi referensi dalam pembahasan data hasil penelitian.

2.1 Radiasi Matahari

2.1.1 Radiasi

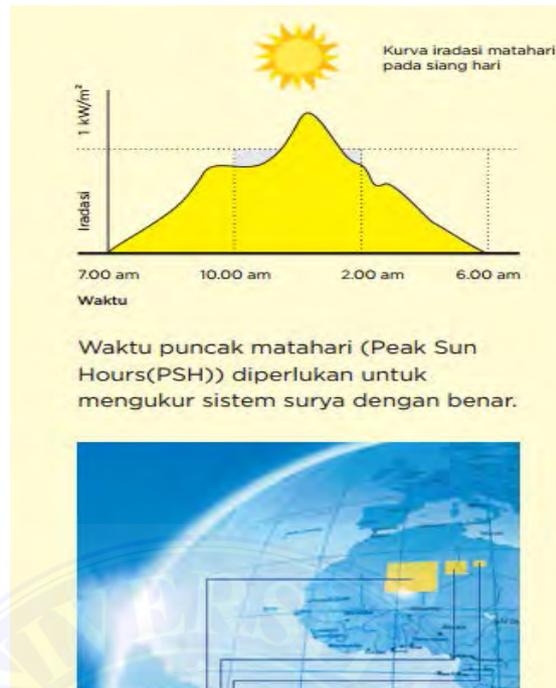
Radiasi adalah sebuah mekanisme perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan benda ke permukaan lain tanpa adanya material (medium) yang membawa panas, perpindahan panas terjadi dengan gelombang elektromagnetik dan dapat menempati ruang hampa (vakum).

Radiasi surya (*solar radiation*) merupakan suatu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang yang khusus. Intensitasnya sangat bergantung dari kondisi atmosfer, saat dalam tahun, dan sudut-timpa (*angle of incidence*) sinar matahari di permukaan bumi. Pada batas luar atmosfer, iradiasi surya total ialah 1395 W/m^2 bilamana bumi berada pada jarak rata-ratanya dari matahari. Angka ini disebut *konstanta surya* (*solar constant*), dan mungkin akan berubah bila data eksperimental yang lebih teliti sudah ada.

Tidak seluruh energi yang disebutkan dalam konstanta surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer. Radiasi surya yang menimpa di permukaan bumi juga bergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya dalam atmosfer. Energi surya yang maksimum akan mencapai permukaan bumi bilamana berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi karena terdapat bidang pandang yang lebih luas terhadap fluks surya yang datang dan berkas sinar surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer, sehingga mengalami absorpsi lebih sedikit daripada jika sudut timpanya miring terhadap normal. Iradiasi dan Radiasi Jumlah tenaga surya tersedia per satuan luas disebut radiasi. Jika ini terjadi selama periode waktu tertentu maka disebut *iradiasi* atau "*insolation*". Radiasi matahari adalah integrasi atau penjumlahan penyinaran matahari selama periode waktu.

- Simbol = I
- Unit kW/m^2 = atau Watt/m^2
- Mengukur device = pyranometer atau berdasarkan referensi sel surya
- Nilai Puncak = $1 \text{ kW/m}^2 (=1000\text{W/m}^2)$
- Nilai nominal = 0.8 kW/m^2

Waktu puncak matahari Iradiasi harian disebut waktu puncak matahari. Jumlah waktu puncak matahari puncak untuk hari adalah jumlah waktu dimana energi pada tingkat 1 kW/m^2 memberikan sebuah jumlah yang ekuivalen untuk total energi hari tersebut.



Gambar 2.1.1 Waktu puncak matahari (*Peak Sun Hours (PSH)*) Sumber: Bernd Melchior, Bluenergi AG (Buku Paduan Energi yang Terbarukan, Contaned Energi Indonesia www.containedenergi.com)

2.1.2 Geometri Matahari

Besaran-besaran yang harus diketahui dalam menghitung sudut datang adalah; garis lintang tempat yang bersangkutan, sudut jam, deklinasi matahari, sudut permukaan terhadap horizontal, dan arah kompas mana permukaan menghadap.

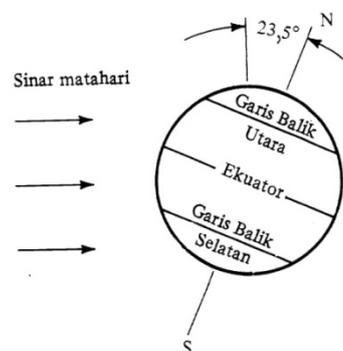
Garis lintang L adalah jarak sudut (angular) sebuah titik di atas bumi diukur arah utara atau selatan ekuator. Sudut jam H adalah sudut yang harus dijalani bumi (diedari bumi) untuk menghasilkan meridian titik tersebut secara langsung segaris dengan sinar matahari. Sudut jam menunjukkan waktu-hari yang dihitung dari tengah hari. Satu jam waktu sama dengan $360^\circ/24$ atau 15° sudut jam. Ada perbedaan antara waktu arloji dan waktu matahari karena waktu matahari berubah-ubah setiap saat bergantung pada pergerakan timur-barat. Sebaliknya waktu arloji serba sama diseluruh bagian dari zona waktu yang mungkin terentang lebih dari 1000km dalam arah timur-barat. Pada bab ini menggunakan kata waktu, yang berarti

menyatakan waktu matahari. Berikut ini adalah gambar 2.1.2.(a) peredaran bumi mengitari matahari.

Gambar 2.1.2.(a).Peredaran bumi mengitari matahari (Refrigerasi dan Pengkondisian Udara)

Deklinasi matahari yaitu jarak sudut sinar matahari ke arah utara atau selatan. Selain berputar pada sumbunya sendiri, yang menyebabkan malam dan siang, bumi juga beredar sekali setahun mengelilingi matahari. Adanya musim-musim disebabkan oleh kemiringan sumbu bumi relatif terhadap bidang datar orbit mengelilingi bumi ini. Gambar 2.1.2(b) memperlihatkan posisi bumi pada awal tiap-tiap musim. Gambar 2.1.2(c) menunjukkan posisi bumi pada titik balik musim dingin, yang memperlihatkan bahwa matahari menyinari belahan bumi sebelah utara kurang langsung daripada belahan bumi selatan.

Berdasarkan buku “Refrigerasi dan Pengkondisian Udara”, sudut deklinasi δ berharga nol pada ekuinoks musim semi dan musim gugur, $+23,5^\circ$ pada titik balik musim panas (tanggal 21 Juni), dan $-23,5^\circ$, pada titik balik musim dingin (tanggal 21 Desember) pada belahan bumi sebelah utara.



Gambar 2.1.2.(b)Posisi relatif sinar matahari dan sumbu bumi pada titik balik musim dingin (Refrigerasi dan Pengkondisian Udara).

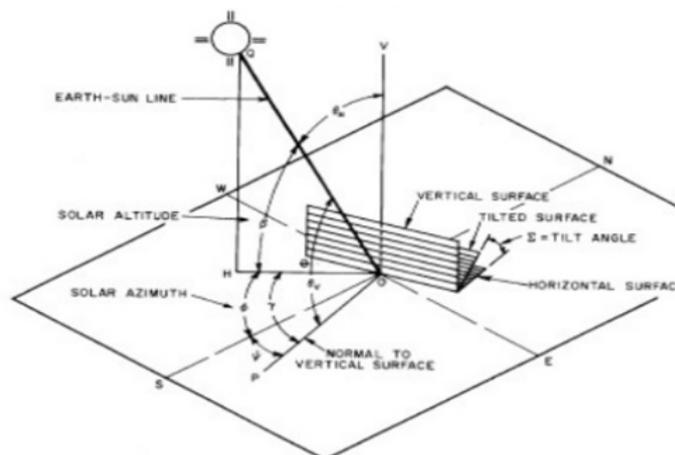
Pada periode-periode waktu dalam setiap tahun δ dapat didekati dengan suatu variasi sinusoidal:

Persamaan Cooper (1969)

$$\delta = 23,47 \sin \frac{360(284+N)}{365} \quad (1)$$

dimana N adalah ‘hari keberapa’ dalam setahun dihitung dari tanggal 1 Januari. Dalam menghitung beban matahari didefinisikan dua sudut ketinggian matahari β , yaitu sudut yang diukur dari suatu bidang datar di bumi hingga matahari, dan sudut azimuth matahari Φ , yaitu sudut antara sinar matahari dan arah selatan. Sudut-sudut ini diperlihatkan pada Gambar 2.1.2 (c).

Gambar 2.1.2.(c). Ketinggian matahari β dan azimuth matahari Φ (Refrigerasi dan Pengkondisian Udara)



Gambar 2.1.3 Definisi sudut-sudut matahari (www.slideshare.com)

Persamaan untuk menghitung β dan Φ adalah:

$$\sin \beta = \cos L \cos H \cos \delta + \sin L \sin \delta \quad (2)$$

$$\sin \Phi = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta} \text{ untuk } \Phi \leq 90^\circ \quad (3)$$

β = Sudut arah radiasi terhadap bidang datar/sudut altitude

Φ = Sudut azimuth

δ = Sudut deklinasi matahari

L = sudut Lintang °LS (-), °LU(+)

H = sudut jam matahari

2.1.3 Radiasi Langsung Dari Matahari [I_{DN}]

Intensitas langsung sinar matahari yang sampai di permukaan bumi relatif konstan yaitu 1353 W/m^2 . Sebelum sinar ini sampai di bumi, intensitasnya berkurang karena penyerapan (absorpsi) oleh ozon, uap air, dan CO_2 yang ada di atmosfer, bahkan di hari-hari tak mendung sekalipun. Sudut lintasan melalui atmosfer juga mempengaruhi derajat penyerapan, sehingga ketinggian matahari β pun mempengaruhi I_{DN} . Persamaan untuk I_{DN} yaitu:

$$I_{DN} = \frac{A}{\exp(B/\sin \beta)} \quad (4)$$

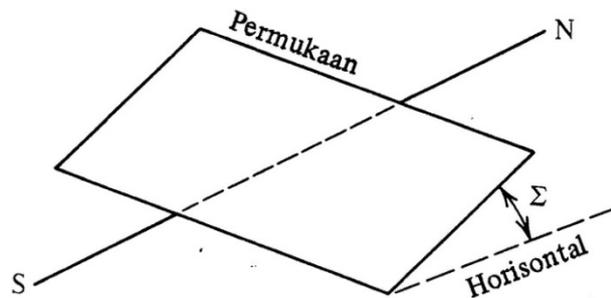
dengan

A = irradiansi nyata matahari (W/m^2)

B = koefisien pemadaman atmosfer (tak berdimensi)

Harga-harga A dan B bergantung pada bulannya. Berdasarkan buku “Refrigerasi dan Pengkondisian Udara”, harga-harga A kurang lebih 1230 W/m^2 dalam bulan Desember dan Januari, dan 1080 W/m^2 pada pertengahan musim panas. Harga B berkisar dari 0,14 pada

musim dingin hingga 0,21 pada musim panas. Radiasi tegak lurus langsung maksimum pada permukaan bumi berorde 970 W/m^2 .



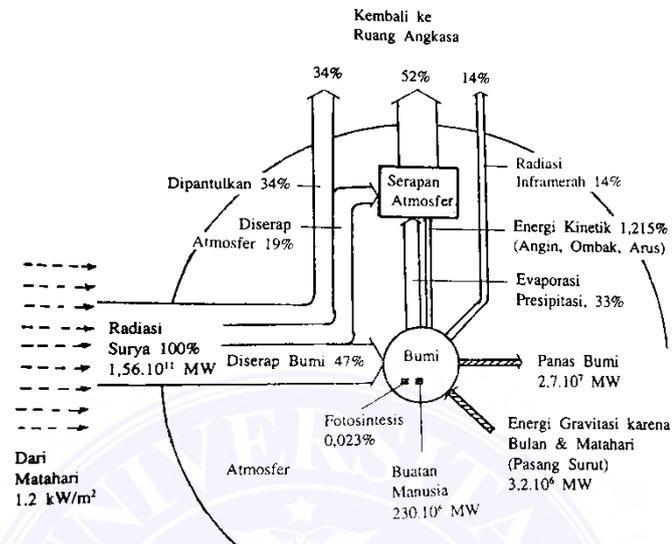
Gambar 2.1.3. Sudut kemiringan Σ suatu permukaan (Refrigerasi dan Pengkondisian Udara)

2.1.4 Arus Energi Surya

Energi surya yang memasuki atmosfer dengan kepadatan yang diperkirakan sebesar antara 1 sampai $1,4 \text{ kW/m}^2$ dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar. Dari jumlah tersebut 34% dipantulkan kembali ke ruang angkasa. Sebagian yang diperkirakan sebesar 19%, diserap atmosfer, yaitu oleh komponen-komponen yang tersapat di udara seperti karbon dioksida, debu, dan awan. Energi surya selebihnya yaitu lebih-kurang 47%, diserap oleh bumi. Bilamana kepadatan radiasi surya yang memasuki atmosfer itu diperkirakan sebesar $1,2 \text{ kW/m}^2$ (yaitu rata-rata antara 1 dan $1,4 \text{ kW/m}^2$) maka jumlah energi yang diserap oleh bumi adalah 47% dari kepadatan tersebut (atau $0,564 \text{ kW/m}^2$) dikali luas bumi, secara tegak lurus ($1,3 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ atau $1,3 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ atau setara daya $7,3 \cdot 10^{10} \text{ MW}$).

Energi yang diserap bumi ini akhirnya dikembalikan ke atmosfer melalui berbagai proses seperti penguapan (33%), energikinetik berupa ombak, arus laut dan angin (0,215%) dan berupa radiasi inframerah (14%). Hanya sebagian yang kecil sekali (diperkirakan 0,023%) dipergunakan di bumi untuk proses fotosintesis, keperluan manusia untuk metabolisme

maupun-maupun keperluan lain seperti pemanasan, mobilitas, dan mekanisme seperti yang terlihat pada gambar 2.1.4 dibawah.



Gambar 2.1.4. Arus Energi Bumi (Abdul Kadir, Energi)

2.1.5 Lama Penyinaran Matahari

Lama penyinaran matahari (sunshine duration) adalah lamanya matahari bersinar sampai permukaan bumi dalam periode satu hari yang diukur dalam jam. Periode satu hari disebut panjang hari (jangka waktu matahari berada di atas horizon). Lama matahari bersinar ini dalam periode harian adalah bervariasi dari bulan ke bulan. Pengukuran durasi sinar matahari merupakan jenis pengukuran radiasi yang tertua, tetapi meskipun demikian, penyinaran matahari tetap bermanfaat karena dua hal. Pertama, durasi penyinaran adalah salah satu parameter yang penting dari iklim suatu tempat (lokasi). Penggunaan data ini misalnya dalam bidang pertanian, perkebunan, karena durasi sinar matahari berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Kedua, dari data durasi penyinaran matahari dapat diturunkan fluksi total dari radiasi matahari yang jatuh pada permukaan horizontal dari suatu lokasi.

Beberapa penelitian menunjukkan adanya korelasi yang erat antara radiasi global dan durasi sinar matahari. Sehingga data durasi sinar matahari merupakan data yang penting dan

diperlukan bagi usaha pemanfaatan energi matahari. Pengamatan durasi sinar matahari dilakukan antara jam 08.00 sampai dengan 16.00 waktu setempat sesuai dengan standar yang dipakai di Indonesia. Maksimum durasi sinar matahari harian rata-rata terdapat pada bulan-bulan Juli dan Agustus. Bulan-bulan ini merupakan pertengahan atau maksimum monsun timur di mana jumlah perawanan minimum. Minimum terdapat pada bulan Januari, ini disebabkan bulan Januari merupakan pertengahan atau maksimum monsun barat di mana jumlah perawanannya besar. Pancaran sinar matahari secara umum dapat dinyatakan dalam jam-jam penyinaran yang diterima selama satu hari(n), sedang panjang selama satu hari yang secara astronomis menyatakan lamanyamatahari bersinar dinyatakan dalam N. Lama penyinaran matahari yang terukur dituliskan :

$$\frac{n}{N} \times 100 \% \quad (5)$$

Jam-jam penyinaran tersebut terukur oleh stasiun klimatologi Semarang diukur dari jam 06.00 sampai 18.00 (N=12 jam). Penyinaran tersebut diukur dengan kertas pias yang diletakkan di dalam alat perekam sinar matahari tipe *Campbell-Stokes*. Prosentase penyinaran yang telah dihitung menyatakan jam-jam penyinaran matahari sebenarnya. Tujuan dari alat perekam sinar matahari ini adalah untuk memperoleh catatan penyinaran matahari secara terus-menerus, oleh karena itu alat *Campbell-Stokes* harus ditempatkan pada suatu tempat yang tidak pernah terlindung sedikitpun dari sinar matahari sepanjang tahun oleh penghalang-penghalang seperti pohon atau gedung di sekitarnya. Kertas pias yang digunakan terbuat dari bahan terpilih yang tidak mekar bila basah dan dicetak dalam warna menyerap radiasi matahari.

Kertas pias *Campbell-Stokes* ada tiga macam :

1. Kertas pias lengkung panjang, digunakan selama periode musim panas;
2. Kertas pias lurus, digunakan selama periode *equinox* setempat;
3. Kertas pias lengkung pendek, digunakan selama periode musim dingin.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.1 Sel Surya Photovoltaik

Sel surya Photovoltaik merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut merupakan suatu diode semikonduktor yang bekerja menurut suatu proses khusus yang dinamakan proses tidak seimbang (*non-equilibrium process*) dan berlandaskan efek (*photovoltaic effect*). Dalam proses ini sebuah sel surya menghasilkan tegangan antara 0,5 sampai 1 volt, tergantung intensitas cahaya dan zat semikonduktor yang dipakai. Daya guna konversi energiradiasi matahari menjadi energi listrik berdasarkan efek photovoltaik pada saat ini sudah mencapai 25%. Ada beberapa bentuk panel surya :

1. Panel surya berbentuk Parabola



Gambar 2.2.1a. Pembangkit tenaga Surya Berbentuk Parabola, (www.solarthermalmagazine.com)

2. Panel Surya berbentuk Datar



Gambar 2.2.(b). Pembangkit tenaga Surya Berbentuk Datar, (www.solarthermalmagazine.com)

3. Panel Surya berbentuk Setengah Pipa



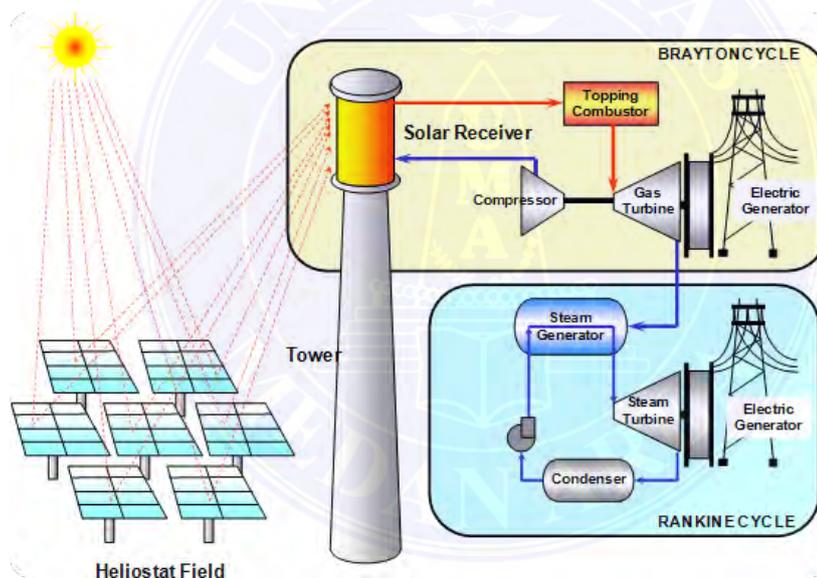
Gambar 2.2.1(c).Pembangkit tenaga Surya Berbentuk setengah pipa (www.solarthermalmagazine.com)

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Ada dua jenis sistem energi surya: pasif dan aktif. Sistem pasif tidak memerlukan peralatan, seperti ketika panas menumpuk di dalam mobil ketika diparkir di bawah sinar matahari. Sedangkan sistem yang aktif memerlukan beberapa cara untuk menyerap dan mengumpulkan radiasi matahari dan kemudian menyimpannya. Pembangkit listrik termal tenaga surya adalah sistem aktif. Ada beberapa kesamaan dasar dari beberapa jenis pembangkit tenaga surya yakni: Cermin memantulkan dan mengkonsentrasikan sinar matahari, dan penerima mengumpulkan energi matahari serta mengubahnya menjadi energi panas. Sebuah generator kemudian digunakan untuk menghasilkan listrik dari energi panas ini. Pada prinsipnya, pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari sekelompok foto sel yang mengubah sinar matahari menjadi gaya gerak listrik (GGL) untuk mengisi baterai aki (B). Dari baterai aki (B), energi listrik dialirkan ke pemakai. Pada waktu banyak sinar matahari (siang hari), baterai aki (B) diisi oleh foto sel. Tetapi pada saat malam hari, foto sel tidak menghasilkan energi listrik, maka energi listrik diambil dari baterai aki (B) tersebut. Berikut ini gambar 2.2.2 yaitu gambar foto sel dan baterai aki.

Gambar 2.2.2. Foto sel dan baterai aki (B) sebagai sumber energi listrik bagi pemakain dimana foto sel mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang disimpan di baterai aki (B) untuk kemudian digunakan pemakai.

2.2.3 Komponen Pendukung Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2.2.3 Diagram Prinsip Kerja Sistem Tenaga Surya (www.pre.ethz.ch)

1. Cermin

Cermin dibentuk seperti setengah pipa dan linear, berbentuk reflektor parabola ditutupi dengan lebih dari 900.000 cermin dari utara-selatan secara sejajar dan mempunyai poros putaran mengikuti matahari ketika bergerak dari timur ke barat di siang hari. Karena bentuknya, jenis pembangkit ini bisa mencapai suhu operasi sekitar 750 derajat F (400 derajat C), mengkonsentrasikan sinar matahari pada 30 sampai 100 kali

intensitas normal perpindahan panas-cairan atau air/uap pipa. Cairan panas yang digunakan untuk menghasilkan uap, dan uap kemudian memutar turbin sebagai generator untuk menghasilkan listrik.

2. Menara/Tower

Menara listrik bergantung pada ribuan heliostats, yang besar, cermin datar matahari sebagai pelacakan, untuk fokus dan mengkonsentrasikan radiasi matahari ke penerima menara tunggal. Seperti halnya pada palung cermin parabola, transfer cairan panas atau uap dipanaskan dalam receiver (menara yang mampu mengkonsentrasikan energi matahari sebanyak 1.500 kali), kemudian diubah menjadi uap dan digunakan untuk menghasilkan listrik dengan turbin dan Generator. Desain menara listrik masih dalam pengembangan, akan tetapi suatu hari nanti bisa direalisasikan sebagai pembangkit listrik *grid-connected* memproduksi sekitar 200 megawatt listrik per tower.

3. Mesin

Dibandingkan cermin parabola dan menara listrik, sistem mesin adalah produsen kecil (sekitar 3 sampai 25 kilowatt). Ada dua komponen utama: konsentrator surya dan unit konversi daya (mesin / genset). Mesin ini menunjuk dan melacak matahari dan mengumpulkan energi matahari, serta mampu mengkonsentrasikan energi sekitar 2.000 kali. Sebuah penerima termal, serangkaian tabung diisi dengan cairan pendingin (seperti hidrogen atau helium), berada di antara piring dan mesin. Hal ini bertujuan untuk menyerap energi surya terkonsentrasi dari piringan, kemudian mengkonversi panas dan mengirimkan panas ke mesin di mana berubah menjadi listrik.

4. Penyimpanan Energi Panas(Baterai).

Sistem panas matahari adalah solusi energi terbarukan yang menjanjikan karena matahari adalah sumber daya yang melimpah. Kecuali di malam hari. Atau saat matahari terhalang oleh awan. Sistem penyimpanan energi panas tekanan tinggi pada tangki penyimpanan

cairan digunakan bersama dengan sistem panas matahari untuk memungkinkan pembangkit menyimpan energi potensial listrik. Penyimpanan *off-peak* adalah komponen penting untuk efektivitas pembangkit listrik panas matahari. Tiga teknologi *TES* (*Thermal Energi Storage*) primer telah diuji sejak 1980-an ketika pembangkit listrik termal pertama dibangun dengan sistem langsung dua-tangki, sistem tidak langsung dua-tank dan sistem termoklin tunggal-tank. Dalam sistem langsung dua-tangki, energi panas matahari disimpan tepat di tempat yang sama dengan transfer cairan panas yang dikumpulkan. Cairan ini dibagi menjadi dua tank, satu tangki penyimpanan pada suhu rendah dan yang lain pada suhu tinggi. Cairan yang disimpan dalam tangki suhu rendah berjalan melalui kolektor surya pembangkit listrik di mana dipanaskan dan dikirim ke tangki suhu tinggi. Cairan disimpan pada suhu tinggi dikirim melalui penukar panas yang menghasilkan uap, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan listrik di generator. Dan setelah melalui penukar panas, cairan kemudian kembali ke tangki suhu rendah. Sebuah sistem tidak langsung dua-tangki berfungsi pada dasarnya sama dengan sistem langsung kecuali bekerja dengan berbagai jenis transfer panas cairan, biasanya dengan harga yang mahal atau tidak dimaksudkan untuk digunakan sebagai cairan penyimpanan. Untuk mengatasi hal ini, sistem tidak langsung melewati cairan suhu rendah melalui penukar panas tambahan. Berbeda dengan sistem dua tangki, sistem termoklin tunggal-tank menyimpan energi panas sebagai padatan, biasanya berbentuk pasir silika. Di dalam sebuah tangki tunggal, bagian padat disimpan dari suhu rendah ke suhu tinggi, dalam gradien suhu, tergantung pada aliran cairan. Untuk tujuan penyimpanan, transfer cairan panas mengalir ke bagian atas tangki dan mendingin karena perjalanan ke bawah, keluar sebagai cairan suhu rendah. Untuk menghasilkan uap dan menghasilkan listrik, proses dibalik. Sistem panas matahari yang menggunakan minyak mineral atau garam cair sebagai media transfer panas yang utama untuk TES, tapi

sayangnya tanpa penelitian lebih lanjut, sistem yang berjalan di atas air/uap tidak dapat menyimpan energi panas.

2.3 Estimasi

2.3.1 Estimate

Estimate (hasil estimasi) adalah sebuah nilai spesifik atau kuantitas dari suatu statistik seperti nilai mean sampel, presentase sampel, atau varians sampel.

2.3.2 Estimator

Estimator adalah setiap statistik (mean sampel, persentase sampel, varians sampel, dan lain-lain) yang digunakan untuk mengestimasi sebuah parameter. Terdapat beberapa jenis estimator, meliputi estimator tak-bias (*unbiased estimator*), estimator konsisten (*consistent estimator*), estimator terbaik (*best estimator*), dan estimator yang mencukupi (*sufficient estimator*).

2.3.3 Estimasi

Estimasi adalah keseluruhan proses yang menggunakan sebuah estimator untuk menghasilkan sebuah estimate dari suatu parameter. Terdapat dua jenis estimasi, yaitu:

1. Estimasi Titik

Sebuah estimate titik (point estimate) dari sebuah parameter θ adalah suatu angka tunggal yang dapat dianggap sebagai nilai yang masuk akal bagi θ . Estimate titik diperoleh dengan memilih statistik yang tepat dan menghitung nilainya dari data sampel. Statistik yang dipilih disebut sebagai estimator titik (*point estimator*) dan proses mengestimasi dengan suatu angka tunggal disebut sebagai estimasi titik (*point estimation*).

2. Estimasi Interval

Sebuah estimate interval (interval estimate) dari sebuah parameter θ adalah suatu sebaran nilai-nilai yang digunakan untuk mengestimasi θ . Proses mengestimasi dengan suatu sebaran nilai-nilai ini disebut estimasi interval (*interval estimation*).

2.3.4 Regresi Linier Sederhana

Regresi ialah menganalisis untuk mengetahui pola relasi dalam bentuk persamaan regresinya. Dalam analisis regresi sederhana ini akan ditentukan persamaan yang menghubungkan dua variable yang dapat dinyatakan sebagai bentuk persamaan pangkat satu (persamaan linier/persamaan garis lurus). Persamaan umum garis regresi untuk regresi linier sederhana adalah:

$$\hat{y} = a + bx \quad (6)$$

dimana :

\hat{y} = nilai estimate variable terikat

a = titik potong garis regresi pada sumbu y atau nilai estimate \hat{y} bila $x=0$

b = gradien garis regresi (perubahan nilai estimate \hat{Y} per satuan perubahan nilai x)

x = nilai variabel bebas.

Hubungan-hubungan untuk mendapatkan nilai-nilai konstanta a dan b pada persamaan garis regresi, yang hasilnya sebagai berikut:

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (7)$$

$$a = \frac{(\sum y) (\sum x^2) - (\sum x) (\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (8)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (9)$$

Dimana :

n = jumlah titik (pasangan pengamatan (x,y))

x = variable bebas

y = variable terikat

\bar{x} = nilai rata-rata/ mean dari variabel x

\bar{y} = nilai rata-rata/mean dari variabel y

Ukuran yang mengindikasikan derajat variasi sebaran data di sekitar garis regresi dapat menunjukkan seberapa besar derajat keterikatan perkiraan yang diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi tersebut. Ukuran ini dinamakan sebagai standard error estimasi. Dalam definisi yang lebih tepat standard error estimasi ($s_{y,x}$) adalah deviasi standard yang memberikan ukuran penyebaran nilai-nilai yang teramati di sekitar garis regresi, dirumuskan sebagai berikut:

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum(y-\hat{y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum(y^2) - a(\sum y) - b(\sum xy)}{n-2}} \quad (10)$$

2.4 Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

2.4.1 Sejarah BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika)

Sejarah pengamatan meteorologi dan geofisika di Indonesia dimulai pada tahun 1841 diawali dengan pengamatan yang dilakukan secara perorangan oleh Dr. Onnen, Kepala Rumah Sakit di Bogor. Tahun demi tahun kegiatannya berkembang sesuai dengan semakin diperlukannya data hasil pengamatan cuaca dan geofisika. Pada tahun 1866, kegiatan pengamatan perorangan tersebut oleh Pemerintah Hindia Belanda diresmikan menjadi instansi pemerintah dengan nama Magnetisch en Meteorologisch Observatorium atau Observatorium Magnetik dan Meteorologi dipimpin oleh Dr. Bergsma.

Pada tahun 1879 dibangun jaringan penakar hujan sebanyak 74 stasiun pengamatan di Jawa. Pada tahun 1902 pengamatan medan magnet bumi dipindahkan dari Jakarta ke Bogor. Pengamatan gempa bumi dimulai pada tahun 1908 dengan pemasangan komponen horisontal

seismograf Wiechert di Jakarta, sedangkan pemasangan komponen vertikal dilaksanakan pada tahun 1928.

Pada tahun 1912 dilakukan reorganisasi pengamatan meteorologi dengan menambah jaringan sekunder. Sedangkan jasa meteorologi mulai digunakan untuk penerangan pada tahun 1930. Pada masa pendudukan Jepang antara tahun 1942 sampai dengan 1945, nama instansi meteorologi dan geofisika diganti menjadi Kisho Kauso Kusho. Setelah proklamasi kemerdekaan Indonesia pada tahun 1945, instansi tersebut dipecah menjadi dua: Di Yogyakarta dibentuk Biro Meteorologi yang berada di lingkungan Markas Tertinggi Tentara Rakyat Indonesia khusus untuk melayani kepentingan Angkatan Udara. Di Jakarta dibentuk Jawatan Meteorologi dan Geofisika, dibawah Kementerian Pekerjaan Umum dan Tenaga.

Pada tanggal 21 Juli 1947 Jawatan Meteorologi dan Geofisika diambil alih oleh Pemerintah Belanda dan namanya diganti menjadi Meteorologisch en Geofysische Dienst. Sementara itu, ada juga Jawatan Meteorologi dan Geofisika yang dipertahankan oleh Pemerintah Republik Indonesia, kedudukan instansi tersebut di Jl. Gondangdia, Jakarta.

Pada tahun 1949, setelah penyerahan kedaulatan negara Republik Indonesia dari Belanda, Meteorologisch en Geofysische Dienst diubah menjadi Jawatan Meteorologi dan Geofisika dibawah Departemen Perhubungan dan Pekerjaan Umum. Selanjutnya, pada tahun 1950 Indonesia secara resmi masuk sebagai anggota Organisasi Meteorologi Dunia (World Meteorological Organization atau WMO) dan Kepala Jawatan Meteorologi dan Geofisika menjadi Permanent Representative of Indonesia with WMO.

Pada tahun 1955 Jawatan Meteorologi dan Geofisika diubah namanya menjadi Lembaga Meteorologi dan Geofisika di bawah Departemen Perhubungan, dan pada tahun 1960 namanya dikembalikan menjadi Jawatan Meteorologi dan Geofisika di bawah Departemen Perhubungan Udara. Pada tahun 1965, namanya diubah menjadi Direktorat Meteorologi dan Geofisika, kedudukannya tetap di bawah Departemen Perhubungan Udara.

Pada tahun 1972, Direktorat Meteorologi dan Geofisika diganti namanya menjadi Pusat Meteorologi dan Geofisika, suatu instansi setingkat eselon II di bawah Departemen Perhubungan, dan pada tahun 1980 statusnya dinaikkan menjadi suatu instansi setingkat eselon I dengan nama Badan Meteorologi dan Geofisika, dengan kedudukan tetap berada di bawah Departemen Perhubungan. Pada tahun 2002, dengan keputusan Presiden RI Nomor 46 dan 48 tahun 2002, struktur organisasinya diubah menjadi Lembaga Pemerintah Non Departemen (LPND) dengan nama tetap Badan Meteorologi dan Geofisika. Terakhir, melalui Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2008, Badan Meteorologi dan Geofisika berganti nama menjadi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dengan status tetap sebagai Lembaga Pemerintah Non Departemen.

Pada tanggal 1 Oktober 2009 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika disahkan oleh Presiden Republik Indonesia, Susilo Bambang Yudhoyono. (unduh Penjelasan UU RI Nomor 31 Tahun 2009) BMKG mempunyai status sebuah Lembaga Pemerintah Non Departemen (LPND), dipimpin oleh seorang Kepala Badan.

2.4.2 Tugas dan Fungsi BMKG

BMKG mempunyai tugas : melaksanakan tugas pemerintahan di bidang Meteorologi, Klimatologi, Kualitas Udara dan Geofisika sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud diatas, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika menyelenggarakan fungsi :

1. Perumusan kebijakan nasional dan kebijakan umum di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
2. Perumusan kebijakan teknis di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;

3. Koordinasi kebijakan, perencanaan dan program di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
4. Pelaksanaan, pembinaan dan pengendalian observasi, dan pengolahan data dan informasi di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
5. Pelayanan data dan informasi di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
6. Penyampaian informasi kepada instansi dan pihak terkait serta masyarakat berkenaan dengan perubahan iklim;
7. Penyampaian informasi dan peringatan dini kepada instansi dan pihak terkait serta masyarakat berkenaan dengan bencana karena factor meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
8. Pelaksanaan kerja sama internasional di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
9. Pelaksanaan penelitian, pengkajian, dan pengembangan di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
10. Pelaksanaan, pembinaan, dan pengendalian instrumentasi, kalibrasi, dan jaringan komunikasi di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
11. Koordinasi dan kerja sama instrumentasi, kalibrasi, dan jaringan komunikasi di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
12. Pelaksanaan pendidikan dan pelatihan keahlian dan manajemen pemerintahan di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
13. Pelaksanaan pendidikan profesional di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
14. Pelaksanaan manajemen data di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika;
15. Pembinaan dan koordinasi pelaksanaan tugas administrasi di lingkungan BMKG;
16. Pengelolaan barang milik/kekayaan negara yang menjadi tanggung jawab BMKG;
17. Pengawasan atas pelaksanaan tugas di lingkungan BMKG;

18. Penyampaian laporan, saran, dan pertimbangan di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika.

Dalam melaksanakan tugas dan fungsinya BMKG dikoordinasikan oleh Menteri yang bertanggung jawab di bidang perhubungan.

2.4.3 Alat Ukur Lama Penyinaran Matahari dan Intensitas Radiasi Matahari

Adapun alat yang digunakan untuk mengukur lama penyinaran matahari adalah Campbell Stokes dan alat yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari adalah Actinograph. Berikut ini merupakan pengertian, prinsip kerja dan cara pemasangan alat-alat tersebut.

2.4.4 *Campbell-Stokes*

Alat untuk mengukur lamanya penyinaran matahari ada beberapa jenis diantaranya : tipe *Campbell-Stokes*, tipe *Yordan*, tipe *Marvindan* tipe *Foster*. Untuk Indonesia yang banyak dipakai adalah tipe *Yordan* dan *Campbell-Stokes*, sekarang tipe *Campbell-Stokes* yang paling luas penggunaannya karena lebih teliti dan mudah.

Gambar 2.6.1 Alat perekam *Campbell-Stokes* (<http://lib.unnes.ac.id/2141/1/4258.pdf>)

2.4.5 Fungsi dan Struktur Alat Perekam *Campbell-Stokes*

Campbell-Stokes secara khusus digunakan untuk mengukur waktu dan lama matahari bersinar dalam satu hari dimana alat tersebut dipasang. *Campbell-Stokes* terdiri atas beberapa bagian yaitu :

1. Plat logam berbentuk mangkuk, sisi bagian dalamnya bercelah- celah sesuai tempat kartu pencatat dan penyanggah bola kaca pejal dilengkapi skala dalam derajat yang sesuai dengan derajat lintang bumi;
2. Bola kaca pejal (umumnya berdiameter 96 mm);
3. Bagian pendiri (stand);
4. Bagian dasar terbuat dari logam yang dapat menunjukkan nilai level dari intensitas;
5. Kertas pias terdiri atas tiga jenis menurut letak matahari;

2.4.6 Prinsip Kerja *Campbell-Stokes*

Sinar matahari yang datang menuju permukaan bumi, khususnya yang tepat jatuh pada sekeliling permukaan bola kaca pejal akan difokuskan ke atas permukaan kertas pias yang telah dimasukkan ke celah mangkuk dan meninggalkan jejak bakar sesuai posisi matahari saat itu. Jumlah kumulatif titik bakar inilah yang disebut sebagai lamanya matahari bersinar dalam satu hari (satuan jam/menit).

2.4.7 Cara Pemasangan *Campbell-Stokes*

Cara pemasangan *Campbell-Stokes* di Lapangan antara lain :

1. Alat diletakkan di atas pondasi dengan alas kayu datar dan rata, bercat putih setinggi 120 cm atau di menara atau atap gedung apabila tidak terdapat daerah yang cukup terbuka di permukaan tanah;

2. Sumbu bola mengarah Utara-Selatan sehingga letak kertas pias sejajar dengan arah Timur-Barat;
3. Alat harus pada posisi horisontal, hal ini dengan mengatur sekrup yang tersedia. Umumnya pada alas dari alat terdapat indikator (water pas);
4. Kemiringan lensa bola bersama dengan kertas pias harus disesuaikan menurut derajat lintang bumi setempat. Setelah mencapai kemiringan yang benar sekrup pengunci diputar agar kedudukan tersebut tidak berubah;
5. Lensa bola harus tepat berada ditengah, membagi jarak Timur-Barat kertas atas dua bagian yang samapanjang. Kedudukan ini biasanya sudah diatur lebih dahulu oleh pabrik pembuat alat dengan menggunakan alat khusus "Centering Gauge",
6. Memasang kertas pias sesuai dengan tanggal penggunaannya. Kertas pias tersebut terpasang pada paritnya yang benar pada jam 12.00 di kertas pias harus tepat ditanda pertengahan parit pias. Cara pemasangan yang menyimpang dari ketentuan akan menghasilkan tanda pembakaran yang tidak benar. Penggantian kertas pias dilakukan tiap hari setelah matahari terbenam. Tanggal penggunaannya harus dituliskan di balik kertas untuk memudahkan pemindahan ke dalam buku. Selama satu tahun diperlukan 365 atau 366 lembar kertas.

Berikut adalah jadwal penggunaan kertas pias adalah sebagai berikut :

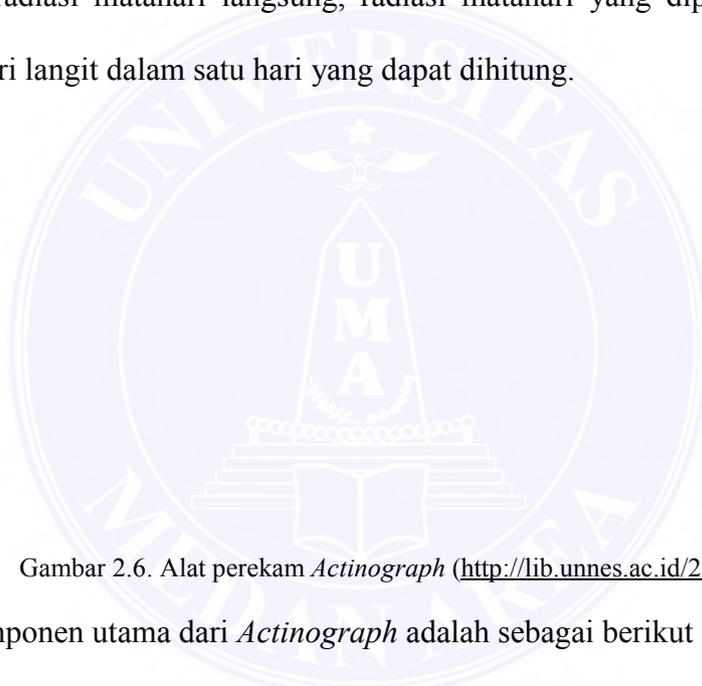
Tabel 2.1. Jadwal Penggunaan Kertas Pias

Jenis Pias	Belahan Bumi Utara atau Utara Ekuator	Belahan Bumi Selatan atau Selatan Ekuator
Lengkung Panjang Lurus	12 April s/d 2 September	15 Oktober s/d 28 Februari
Lengkung Pendek	1 Maret s/d 2 September	1 Maret s/d 2 September
	3 September s/d 14 Oktober	3 September s/d 14 Oktober
	15 Oktober s/d 28 Februari	12 April s/d 2 September

Sinar cerah yang cukup kuat meninggalkan noda hangus yang tidak melubangi kertas, hal ini terjadi di saat matahari terbit atau beberapa saat matahari terbenam atau di saat langit berawan tipis, dan beberapa saat setelah hujan lebat dimana kertas pias masih basah.

2.4.8 *Actinograph*

Alat untuk mengukur intensitas radiasi matahari bernama *Actinograph* atau kadang dikenal dengan sebutan *mechanicalPyranograph* dipergunakan untuk mengukur total intensitas dari radiasi matahari langsung, radiasi matahari yang dipantulkan atmosfer dan radiasi difusi dari langit dalam satu hari yang dapat dihitung.



Gambar 2.6. Alat perekam *Actinograph* (<http://lib.unnes.ac.id/2141/1/4258.pdf>)

Komponen-komponen utama dari *Actinograph* adalah sebagai berikut :

1. Sensor, terdiri dari masing-masing dua strip bimetal bercat putih dan hitam;
2. Glass dome;
3. Plat pengatur bimetal;
4. Mekanik pembesar;
5. Tangkai dan pena pencatat;
6. Drum clock;
7. Pengatur level (perata-rata air);
8. Kontainer silica-gel (penyerap uap air);

9. Bagian dasar;
10. Penutup/cover.

2.4.9 Prinsip Kerja *Actinograph*

Actinograph bekerja dengan prinsip perbedaan temperatur antara dua strip paralel bimetal bercat putih dan hitam. Perbedaan temperatur terjadi karena radiasi matahari yang sampai ke bimetal bercat putih akan dipantulkan maka strip ini hanya respon terhadap temperatur ambang sedangkan radiasi yang sampai ke bimetal hitam, akan diserap atau diabsorpsi sehingga strip ini akan respon terhadap temperatur ambang dan radiasi yang datang akibatnya terjadi distorsi atau menggeliat terhadap strip bimetal putih. Masing-masing satu sisi strip putih dan strip hitam dihubungkan dan sisi-sisi dari bimetal putih dihubungkan ke peti instrumen serta sisi-sisi lain bimetal hitam dihubungkan ke tangkai pena melalui sistem tuas sehingga masing-masing akan saling meniadakan kondisi ambang dengan meninggalkan keluk (*curvature*) yang merepresentasikan intensitas radiasi yang datang dan secara proporsional ditunjukkan oleh posisi pena dan kertas pias. Glass-dome akan mentransmisikan 90% energi elektromagnetik, dengan panjang gelombang antara 0,3 s.d. 3,0 micron dan silika-gel akan menyerap uap air agar tidak terjadi kondensasi pada permukaan glass-dome.

Total intensitas radiasi matahari adalah merupakan luas area yang berbeda dibawah kurva yang termasuk selama periode pengukuran. Total intensitas ini dapat dihitung dengan mengalikan faktor kalibrasi alat (K) dengan luas curva yang terbentuk.

2.4.10 Cara Pemasangan *Actinograph*

Cara pemasangan alat perekam intensitas radiasi matahari *Actinograph*:

1. Meletakkan *Actinograph* pada permukaan datar atau rata diatas permukaan tanah. Lokasi pemasangan harus bebas dari pohon maupun bangunan yang dapat menghalangi sinar matahari ke arah alat dan bebas dari bahan-bahan yang dapat memantulkan sinar kuat ke arah alat;
2. Mengatur posisi bimetal persegi-persegi searah utara-selatan dan kaca jendela ke arah timur;
3. Mengatur leveling alat melalui kaki-kaki yang dapat diatur atau diputar;
4. Kebersihan alat harus selalu diperhatikan terutama bagian glass dome;
5. Silika gel harus diganti secara periodik sesuai iklim dimana alat ditempatkan,
6. Seal karet yang terletak pada bagiasdasar secara periodik juga harus diganti terutama jika sudah kurang elastis atau rusak.

Untuk metode pengoperasiannya dimulai saat matahari terbit, kemudian membuka cover dan melepaskan drum-clock dari shaftnya. Memasang kertas pias yang terhimpit di penjemput *drum-clock*. Setelah matahari terbenam pias diambil untuk pias harian.

2.5 Galat atau Error

Galat atau biasa disebut error dalam metode numerik adalah selisih yang ditimbulkan antara nilai sebenarnya (nilai eksak) dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik yang disebut nilai hampiran (nilai *aproksimasi*). Dalam metode numerik hasil yang diperoleh tidak sama persis dengan nilai sebenarnya, akan selalu ada selisih karena hasil yang didapat dengan metode numerik merupakan hasil yang diperoleh dengan proses *iterasi (looping)* untuk mendekati nilai sebenarnya. Penyelesaian secara numerik dari suatu persamaan matematis hanya memberikan nilai perkiraan yang mendekati nilai eksak (yang benar) dari

penyelesaian analitis karena galat dapat diperoleh dengan nilai yang sangat kecil sehingga bisa dikatakan galatnya mendekati nol. Penyelesaian numerik akan memberikan kesalahan terhadap nilai eksak (nilai sebenarnya).

Ada dua macam galat yaitu :

1. Galat *absolute* (mutlak) (11)

$$|E| = Y - \hat{Y}$$

2. Galat relatif

$$|e| = \frac{E}{Y} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana: E = Galat mutlak;

e = Galat relative;

Y = nilai sebenarnya;

\hat{Y} = nilai hampiran (nilai *aproksimasi*)

2.6 Lux Meter atau Illuminometer

Radiasi matahari merupakan pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari, atau dapat dikatakan sumber utama untuk proses-proses fisika atmosfer yang menentukan keadaan cuaca dan iklim di atmosfer bumi. Radiasi surya memegang peranan penting dari berbagai sumber energi lain yang dimanfaatkan manusia. Cahaya bisa dikatakan sebagai suatu bagian yang mutlak dari kehidupan manusia. Untuk mendukung teknik pencahayaan buatan yang benar, tentu saja perlu diketahui seberapa besar intensitas cahaya yang dibutuhkan pada suatu tempat. Maka, untuk mengetahui seberapa besar intensitas cahaya tersebut dibutuhkan suatu alat ukur cahaya yang dapat digunakan untuk mengukur besarnya cahaya dalam satuan lux. Untuk mengukur intensitas cahaya digunakan sebuah alat yang bernama lux meter. Lux meter adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau tingkat

pencahayaan. Biasanya digunakan dalam ruangan. Kebutuhan pencahayaan setiap ruangan terkadang berbeda. Semuanya tergantung dan disesuaikan dengan kegiatan yang dilakukan. Untuk mengukur tingkat pencahayaan di butuhkan sebuah alat yang bisa bekerja secara otomatis mampu mengukur intensitas cahaya dan menyesuainya dengan cahaya yang dibutuhkan. Pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter yang menghasilkan nilai intensitas cahaya dengan satuan lux. Tidak ada konversi langsung antara lux dan W/m^2 itu tergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Sehingga untuk mendapatkan konversi antara lux dan W/m^2 perlu dilakukan percobaan. Namun, ada perkiraan konversi 0,0079 W/m^2 per Lux (Hossain, 2011). Jadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$1 \text{ lumen} = 1 \text{ lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2 \quad (13)$$

Penggunaan konversi antara lux dan W/m^2 diatas juga telah digunakan oleh M. A. Hossain dkk pada penelitiannya yang berjudul *Performance evaluation of 1.68 kWp DC operated Solar pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System*, Steven Chua dengan judul *Light VS Distancedan Anies Ma'rufatin* pada penelitiannya yang berjudul *Respon pertumbuhan Tanaman kentang (Solanum tuberosum L.) Varietas Atlantis dan Super Jhon Dalam Sistem Aeroponik Terhadap periode Pencahayaan*. Mereka semua menggunakan konversi 0,0079 W/m^2 per Lux.

Illuminometers digunakan untuk mengukur kecerahan dalam lux, fc atau cd / m^2 . Beberapa *illuminometers* dilengkapi dengan memori atau data internal logger untuk merekam dan menyimpan pengukuran. Pengukuran intensitas cahaya dengan illuminometer menjadi semakin penting di tempat kerja karena masalah keamanan. *PCE Instrumen ' illuminometers* dengan data logger yang sangat dihormati di industri karena perangkat ' koreksi cosinus dari sudut cahaya insiden. Banyak *illuminometers* termasuk perangkat lunak untuk analisis rinci

dan menawarkan antarmuka yang berbeda untuk mentransfer data diukur ke komputer . Fitur –fitur dalam *Illuminometer*:

- a. Tingkat akurasi pengukuran $\pm 10\%$. Luas daerah jangkauan pengukuran cahaya antara 0 sampai 5000 Lux.
- b. Kepala putarnya dapat memutar 300 derajat bila pengguna mengukur dan melihatnya dengan posisi terbaik.

■ Specifications

MODEL		Model 5200
Ranges	Low	0~1000Lux(Red Scale)
	Ordinary	0~5000Lux(Black Scale)
	High	0~50000Lux(Black Scale w/10X Slide)
Accuracy		$\pm 10\%$ (tested by a standard parallel light tungsten lamp of 2854K colour temperature)
Angle Allowance	30°	Less than -3%
	60°	Less than -10%
Correction of Slight Sensitivity		0~1000Lux: Use correction factor 0~5000Lux: Lux read directly
Dimensions		112(L)×58(W)×27(D)mm
Weight		135g approx.
Accessories		8058(10X Slide) 8059(Lumidisc for Low measurement) 8060(Lumidisc for Ordinary measurement) 9040(Carrying Case) Instruction Manual

Gambar 2.7. Spesifikasi Illuminometer model 5200