

Sistem Penjejak Matahari Menggunakan Metode Pengukuran Titik Koordinat Lokasi untuk Optimalisasi Perolehan Data Pengukuran oleh Sunphotometer

¹Anggie Patria Pramagusta*), ¹Hariyanto & ²Bowo Prakoso

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

anggiepatria1408@gmail.com*)

Abstrak

Sistem penjejak matahari dimanfaatkan untuk mengoptimalkan perolehan data intensitas radiasi matahari oleh Sunphotometer.

Besaran intensitas radiasi matahari dapat digunakan sebagai bahan analisis *Aerosol Optical Depth* (AOD), sehingga pada spektrum tertentu dapat dihitung ketebalan optiknya menggunakan Sunphotometer. Sistem penjejak matahari memainkan peranan yang sangat penting karena dengan keakuratannya akan memastikan perolehan data yang optimal.

Sistem penjejak ini dapat menentukan posisi matahari secara akurat dengan mengetahui informasi titik koordinat dan waktu pada lokasi pengamatan sehingga dapat dirumuskan ke dalam waktu matahari (solar time) dan menghasilkan besaran sudut azimut dan elevasi yang akan menggerakkan sunphotometer menghadap matahari.

Hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan koreksi nilai rata-rata Azimut sebesar $\pm 0,06^\circ$ dan elevasi sebesar $\pm 0,02^\circ$. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem penjejak dengan metode pengukuran titik koordinat lokasi ini sangat baik digunakan dalam mengikuti pergerakan matahari.

Kata Kunci : penjejak matahari, koordinat, sunphotometer, aerosol optical depth, intensitas radiasi matahari, meteorologi

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang letak wilayahnya dilewati oleh garis khatulistiwa yang berarti wilayah Indonesia selalu berada dalam garis lintasan matahari. Hal itu menyebabkan Indonesia akan selalu mendapatkan suplai penyinaran matahari secara merata sepanjang tahun. Sunphotometer merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari secara langsung yang kemudian hasil pengukurannya dimanfaatkan untuk bahan analisis kedalaman optik aerosol (AOD).

Pengukuran intensitas radiasi matahari maksimum dapat diukur dengan menggunakan sistem penjejak Matahari. Sistem ini berfungsi untuk mengikuti pergerakan matahari secara kontinu. Sistem penjejak matahari terdiri dari 2 (dua) metode. Metode pertama, sistem penjejak matahari menggunakan 4 buah sensor cahaya

sebagai pendeteksi cahaya matahari. Metode kedua, sistem penjejak matahari menggunakan perhitungan gerak matahari berdasarkan pengukuran titik koordinat lokasi.

Metode sensor cahaya masih memiliki beberapa kekurangan yakni dalam hal sensitivitas sensor cahaya dalam mendeteksi cahaya matahari. Kekurangan ini tentunya berdampak cukup signifikan karena tidak didapatkan pengukuran intensitas radiasi matahari maksimum. Jika metode ini diterapkan pada sunphotometer maka cahaya matahari yang datang tidak akan tegak lurus mengenai permukaan sunphotometer. Metode pengukuran titik koordinat lokasi sebagai sistem penjejak dapat menutupi kekurangan sistem penjejak menggunakan sensor cahaya. Metode ini tidak memiliki ketergantungan terhadap sensor cahaya dalam melakukan penjejakkan matahari.

Sistem penjejak matahari menggunakan pengukuran titik koordinat lokasi bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sunphotometer dalam melakukan pengukuran intensitas radiasi langsung secara kontinu. Optimalisasi ini bermanfaat untuk memfokuskan radiasi matahari tegak lurus mengenai sensor sunphotometer. Hasil pengukuran yang optimal akan menghasilkan analisis kedalaman optik aerosol secara akurat.

2. Metode Penelitian

Orbit Bumi adalah elips bukan lingkaran, maka jarak antara Bumi dan Matahari bervariasi sepanjang tahun, yang mengarah ke nilai-nilai radiasi matahari sepanjang tahun diperkirakan dengan[1]:

$$I_0 = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{N}{365} \times 360^\circ \right) \right] \quad (1)$$

Titik terdekat Bumi (sekitar 146 juta km) ke matahari disebut perihelion dan terjadi sekitar 3 Januari. Titik terjauh bumi (sekitar 156 juta km) ke matahari disebut aphelion dan terjadi sekitar tanggal 4 Juli.

Bumi dimiringkan pada porosnya pada sudut 23.45° . Seiring setiap tahunnya Bumi berotasi mengelilingi matahari. Matahari melintasi

khatulistiwa sekitar 21 Maret (*vernal equinox*) dan 21 September (*autumn equinox*). Matahari mencapai garis lintang paling utara sekitar 21 Juni (titik balik matahari musim panas) dan lintang paling selatan di 21 Desember (titik balik matahari musim dingin). [2]

Deklinasi Matahari adalah jarak sudut matahari utara atau selatan khatulistiwa bumi. Sudut deklinasi δ untuk belahan bumi utara (negatif untuk sudut deklinasi belahan bumi selatan) dirumuskan [3]

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{N+284}{365} \times 360^\circ \right] \quad (2)$$

Apparent Solar Time, AST (atau waktu matahari lokal) di bujur barat dihitung dari

$$AST = LST + 4(Long - LSTM) + ET \quad (3)$$

$$LSTM = 15^\circ \times \left[\frac{Long}{15^\circ} \right] \quad (4)$$

Perbedaan antara waktu matahari sebenarnya dan perubahan waktu matahari dari hari ke hari berdasarkan siklus tahunan. Kuantitas ini dikenal sebagai persamaan waktu. *Equation of Time* (ET) dalam hitungan menit, dapat dihitung dengan formula berikut ini. [4]

$$ET = 9.87 \sin(2D) - 7.53 \cos(D) - 1.5 \sin(D) \quad (5)$$

$$D = 360^\circ \frac{(N-81)}{365} \quad (6)$$

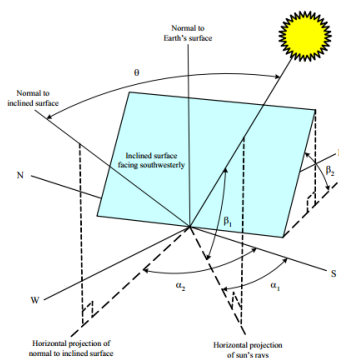
Hour Angle (H) adalah sudut azimuth sinar matahari yang disebabkan oleh rotasi bumi, dan H dapat dihitung dari [5]

$$H = \frac{AST - 720 \text{ min}}{4 \text{ min/deg}} \quad (7)$$

Hour Angle seperti yang didefinisikan di sini ialah akan bernilai negatif di pagi hari dan bernilai positif di sore hari ($H = 0^\circ$ pada siang hari).

Sudut elevasi matahari (β_1) adalah sudut antara cahaya matahari yang datang dan vertikal bumi. Sudut elevasi (β_1) dihitung oleh

$$(\beta_1) = \arcsin(\sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(H)) \quad (8)$$



Gambar 1 Sudut Matahari [5]

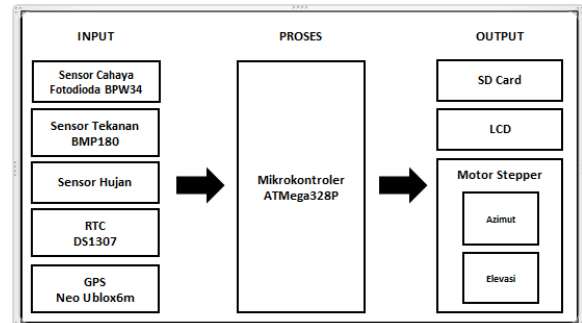
Azimut matahari, α_1 , adalah sudut jauh dari selatan (utara di belahan bumi selatan).

$$\alpha_1 = \arccos \left(\frac{\sin(\delta) \cos(L) - \cos(\delta) \sin(L) \cos(H)}{\cos(\beta_1)} \right) \quad (9)$$

Dimana α_1 positif ke arah barat (siang), dan negatif ke arah timur (pagi), dan oleh karena itu, α_1 harus sesuai dengan *hour angle*.

2.1 Perancangan Alat

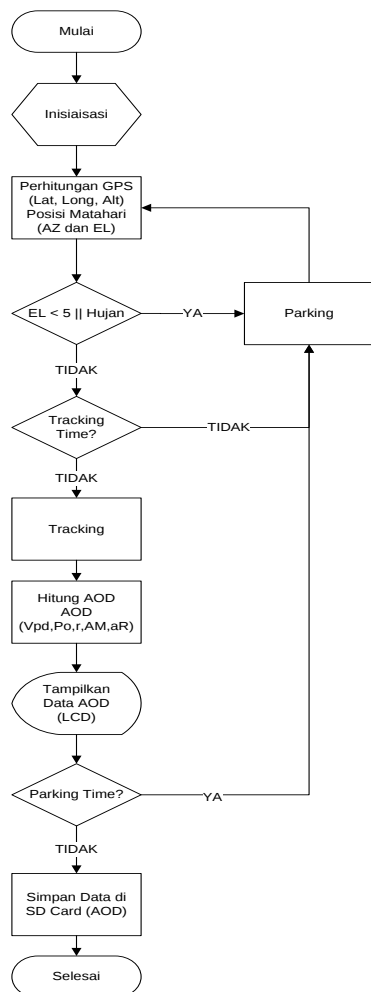
Perancangan sistem penjejak matahari menggunakan pengukuran titik koordinat lokasi terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras terdiri atas 3 (tiga) bagian utama yaitu, input, proses, dan output seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Unit input terdiri atas sensor cahaya Fotodioda BPW34, sensor tekanan BMP180, sensor hujan, RTC DS1307, dan GPS Neo Ublox6m. Unit-unit tersebut yang bekerja sebagai input pada sistem penjejak matahari adalah unit RTC, GPS, dan sensor hujan sedangkan unit sensor cahaya dan sensor tekanan berfungsi sebagai sunphotometer dalam pengukuran AOD. RTC dan GPS merupakan komponen penting dalam pembuatan sistem penjejak untuk mendapatkan informasi waktu dan koordinat lokasi sedangkan sensor hujan berfungsi sebagai penanda bahwa sedang terjadi hujan. Unit proses terdiri atas mikrokontroler Atmega328P yang berfungsi sebagai penerima input sinyal dan memprosesnya. Unit Output terdiri atas SD Card, LCD, dan aktuator Motor Stepper yang berfungsi sebagai penggerak sunphotometer berdasarkan azimuth dan elevasi matahari terhadap bumi. Motor Stepper yang digunakan ialah motor stepper jenis bipolar dengan kemampuan gerak setiap stepnya sebesar $1,8^\circ$. Resolusi ini dapat diperkecil menggunakan driver A4988 yang memiliki fitur microstepping hingga 1/32 dari resolusi motor stepper sehingga motor dapat bergerak seakurat mungkin berdasarkan input perhitungan azimuth dan elevasi matahari.



Gambar 2 Blok Diagram Sistem [6]

Perancangan perangkat lunak terdiri atas diagram alir sistem dan juga tampilan GUI (*Graphical User Interface*) untuk menampilkan data pengukuran. Diagram alir berfungsi sebagai acuan dalam

pemrograman sistem agar sistem dapat bekerja sesuai dengan tujuannya. Tampilan GUI berfungsi untuk menampilkan data pengukuran yang diperlukan dalam konteks sistem penjejak matahari maka informasi yang ditampilkan berupa data mengenai *solar time*, sudut azimuth dan elevasi matahari. Gambar menunjukkan diagram alir dan juga tampilan GUI dari sistem ini.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem [6]



Gambar 4 Tampilan GUI [6]

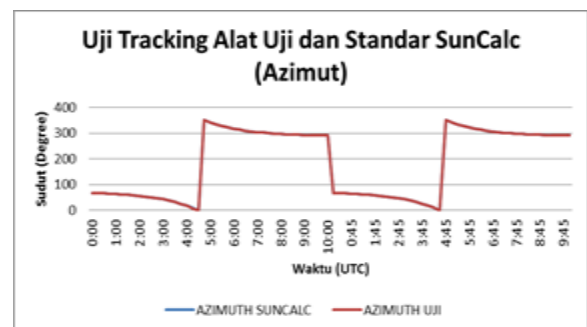
3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Uji Lapang Sistem Penjejak Matahari

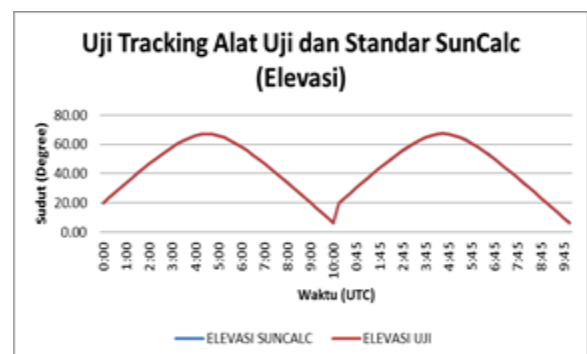


Gambar 5 Hasil perancangan sunphotometer [6]

Pengujian secara langsung dilakukan di Stasiun Meteorologi TJilik Riwut Palangka Raya dengan koordinat lokasi -2,22799 LU dan 113,94624 BT. Uji *Tracking* dilakukan selama ± 10 jam yakni dari jam 07.00 WIB sampai 17.00 WIB. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan *SunCalc*. *SunCalc* merupakan website yang memfasilitasi perhitungan pergerakan matahari. Sistem penjejak matahari berdasarkan titik koordinat lokasi memerlukan validasi untuk memastikan bahwa sistem dapat benar-benar mengikuti pergerakan matahari.

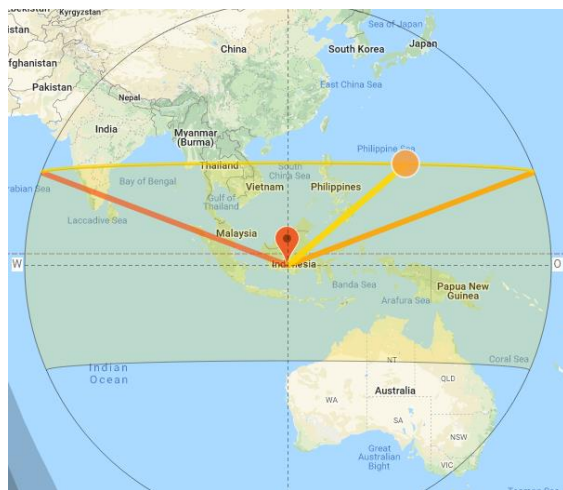


Gambar 6 Grafik pengujian sudut azimuth terhadap standar SunCalc [6]



Gambar 7 Grafik pengujian sudut elevasi terhadap standar SunCalc [6]

Terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 bahwa hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan koreksi nilai rata-rata Azimut sebesar $\pm 0,06^\circ$ dan elevasi sebesar $\pm 0,02^\circ$. Pengujian tersebut dibandingkan dengan perhitungan *SunCalc* berdasarkan data permenit. Data penjejak didapatkan dari pergerakan motor stepper azimut dan elevasi. Grafik di atas juga menunjukkan pola yang sangat mirip antara pergerakan sistem penjejak matahari dan hasil perhitungan serta simulasi *SunCalc*. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem penjejak matahari dengan metode pengukuran titik koordinat lokasi ini sangat baik digunakan dalam mengikuti pergerakan Matahari.



Gambar 7 Simulasi Pergerakan Matahari [7]

4. Kesimpulan

Pembuatan sistem penjejak berhasil dan sistem berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koreksi antara Sunphotometer dan SunCalc menunjukkan nilai koreksi azimut sebesar $\pm 0,06^\circ$ dan elevasi sebesar $\pm 0,02^\circ$.

5. Nomenklatur

δ	= Sudut Deklinasi Matahari
N	= Jumlah hari dalam 1 tahun
AST	= Apparent Solar Time
LST	= Local Solar Time
LSTM	= Local Solar Time Meridian
ET	= Equation of Time
D	= Hari dalam derajat
H	= Hour Angle
Long	= Longitude
Lat	= Latitude
β_1	= Sudut Elevasi Matahari
α_1	= Sudut Azimuth Matahari

6. Daftar Pustaka

- [1] John Wiley & Sons. (1980). Space Heating and Hot Water Systems. Solar Thermal Engineering, 62-100.
- [2] Holbert, K. E. (2007) Solar Calculations.doc
- [3] ASHRAE, HVAC Applications Handbook. (1995). Chapter 30, Solar Energy Utilization, 30.1-30.3.
- [4] Gueymard, C., 1998. Turbidity determination from broadband irradiance measurements: A detailed multicoefficient approach. J. Appl. Meteorol. 37, 414-435
- [5] A.W. Culp, Principles of Energy Conversion, 2nd ed., McGraw-Hill, 1991, pp. 98-107.
- [6] A. P. Pramagusta, Rancang Bangun Sunphotometer Untuk Pengukuran Aerosol Optical Depth (AOD) [Skripsi]. Jakarta : Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [7] SunCalc, "Sunrise, Sunset, Shadow Length, Solar eclipse, and Sun position". Diakses pada tanggal 22 Juli 2018. (<https://www.suncalc.org/>)