

SKRIPSI**PERBANDINGAN DAYA *OUTPUT ACTUAL & PREDICTION* PADA
PANEL SURYA YANG MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* DENGAN
METODE *DECISION TREE***

Disusun dan diajukan oleh:

**A.MUHAMMAD HILMI HANIF
D041 17 1321**

**Disusun dan diseminarkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERBANDINGAN DAYA *OUTPUT ACTUAL & PREDICTION* PADA PANEL SURYA YANG MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* DENGAN METODE *DECISION TREE*

Disusun dan diajukan oleh

A. Muhammad Hilmi Hanif
D041 17 1321

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 9 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T.
NIP. 19601106 198601 2 001

Pembimbing Pendamping,

Ir. Gassing, M.T.
NIP. 19600720 198702 1 001

Ketua Program Studi,

Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. IPM
NIP. 19691026 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :
Nama : A. Muhammad Hilmi Hanif
NIM : D041 17 1321
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PERBANDINGAN DAYA *OUTPUT ACTUAL & PREDICTION* PADA
PANEL SURYA YANG MENGGUNAKAN *SOLAR TRACKER* DENGAN
*METODE DECISION TREE***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 9 Januari 2024

Yang Menyatakan



A. Muhammad Hilmi Hanif



ABSTRAK

A. MUHAMMAD HILMI HANIF. Perbandingan Daya *Output Actual & Prediction* Pada Panel Surya Yang Menggunakan *Solar Tracker* Dengan Metode *Decision Tree* (dibimbing oleh Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. dan Ir. Gassing M.T.).

Berdasarkan peta insolasi matahari, wilayah Indonesia memiliki intensitas radiasi harian matahari sebesar $4,69 \text{ kW/m}^2$ per hari. Intensitas matahari tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui panel surya. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat diprediksi menggunakan algoritma *decision tree* dengan mengumpulkan data sekunder dari penelitian sebelumnya (Matongan, 2021). Penelitian terdahulu menggunakan pembangkit listrik tenaga surya dengan *solar tracker* dan pembangkit listrik tenaga surya tanpa menggunakan *solar tracker*. Dari data penelitian sebelumnya diperoleh kenaikan energi sebesar 20,32 Watt atau 58,94% menggunakan *solar tracker*. Data tersebut digunakan untuk mencari *formula* pada algoritma *decision tree* untuk dapat memprediksi daya *output* yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya tersebut. Dari penelitian yang dilakukan memperoleh nilai daya *output actual* pada PLTS yang menggunakan *solar tracker* adalah sebesar 15,23 Watt sedangkan nilai daya *output prediction* pada PLTS yang menggunakan *solar tracker* adalah sebesar 16,91 Watt. Selisih keduanya adalah sebesar 1,68 Watt pada hari ke-1. Dengan persentase kesalahan sebesar 11,07%. Sesuai dengan *MAPE range* maka algoritma *decision tree* berada dalam kategori kemampuan prediksi yang baik sehingga layak digunakan untuk memprediksi daya *output* pada PLTS yang menggunakan *solar tracker*.

Kata Kunci: PLTS, *Solar Tracker*, *Decision Tree*, Tingkat Akurasi, *MAPE*



ABSTRACT

A.MUHAMMAD HILMI HANIF. *Comparison of Actual & Prediction Output Power Plants Using a Solar Tracker by the Decision Tree Method* (supervised by Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. and Ir. Gassing M.T.)

Based on the solar insolation map, Indonesia has a daily solar radiation intensity of 4.69 kW/m² per day. This solar intensity can be used to produce electrical energy through solar panels. The electrical energy produced by solar panels can be predicted using a decision tree algorithm by collecting secondary data from previous research (Matongan, 2021). Previous research used solar power plants with solar trackers and solar power plants without using solar trackers. From previous research data, an energy increase of 20.32 Watts or 58.94% was obtained using a solar tracker. These data is used to find a formula for the decision tree algorithm to predict the output power produced by the solar power plant. From the research carried out, the actual output power value for PLTS that uses a solar tracker is 15.23 Watts, while the predicted output power value for PLTS that uses a solar tracker is 16.91 Watts. The difference between the two is 1.68 Watts on day 1. With an error percentage of 11.07%. In accordance with the MAPE range, the decision tree algorithm is in the category of good predictive ability so it is suitable to be used to predict output power in PLTS that uses a solar tracker..

Keywords: PLTS, Solar tracker, Decision tree, Accuracy Level, MAPE



DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	1
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	4
ABSTRACT	5
DAFTAR ISI	6
DAFTAR GAMBAR	8
DAFTAR TABEL	9
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	10
DAFTAR LAMPIRAN	11
KATA PENGANTAR	12
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang.....	13
1.2 Rumusan Masalah	14
1.3 Tujuan Penelitian.....	14
1.4 Manfaat Penelitian.....	14
1.5 Ruang Lingkup	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1 Potensi Energi Matahari di Tempat Pengambilan Data	16
2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	18
2.2.1 Komponen – komponen PLTS	18
2.1.2 Prinsip Kerja PLTS	22
ritma Posisi Matahari	23
Koordinat Bola Langit	24



2.3.1 Tata Koordinat Horizon (Alt-Azimuth).....	25
2.3.2 Tata Koordinat Ekuatorial.....	26
2.3.3 Transformasi Koordinat Horizon – Ekuator.....	27
2.4 <i>Solar tracker</i>	28
2.5 <i>Decision tree</i>	30
2.6 Persentase Kesalahan (MAPE).....	31
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Lokasi Penelitian.....	33
3.2 Benda Uji dan Alat.....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Gambaran Umum.....	38
4.2 <i>Decision tree</i>	38
4.3 Perbandingan <i>Daya Output Actual & Prediction</i> pada PLTS yang menggunakan <i>Solar Tracker</i>	41
4.4 Pengujian Tingkat Akurasi Pada <i>Training Data</i>	44
4.4 Pengujian Tingkat Akurasi Pada <i>Validasi Data</i>	45
4.5 Pengujian Tingkat Akurasi Pada <i>Test Data</i>	46
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Simpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Peta Rata-Rata Jangka Panjang (dari tahun 2007 hingga 2018) Potensi Pembangkitan Energi Surya di Indoonesia (Global Solar Atlas, 2021).	16
Gambar 2	Peta Rata-Rata Jangka Panjang Potensi Pembangkitan Energi Surya Tahunan di Sekitar Lokasi Pengambilan Data (Global Solar Atlas, 2021).	17
Gambar 3	Struktur Sel Surya <i>Monocrystalline</i> (Sørensen et al., 2004)	19
Gambar 4	Struktur Sel Surya Polycrystalline (Sørensen et al., 2004).	20
Gambar 5	Proses energi matahari di ubah menjadi energi Listrik	23
Gambar 6	Bola Langit (Gautama, 2010)	24
Gambar 7	Tata Koordinat Horizon (Roy & Clarke, 2003)	25
Gambar 8	Tata Koordinat Ekuatorial (Roy & Clarke, 2003)	26
Gambar 9	Segitiga Bola (Roy & Clarke, 2003)	28
Gambar 10	Segitiga Bola (Roy & Clarke, 2003)	29
Gambar 11	Jenis-Jenis Sistem <i>Solar tracker</i> . (Kalogirou, 2014)	30
Gambar 12	Lokasi penelitian lokasi penelitian pada Gedung Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, Gowa	33
Gambar 13	Tampak Atas Panel Surya Venus Polycrystalline 100 Wp Model VG-100-18-P	33
Gambar 14	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 15	Diagram Alir <i>decision tree</i>	36
Gambar 16	Input Data	39
Gambar 17	<i>Source Code</i> untuk menjalankan perintah <i>Filtering Data</i>	39
Gambar 18	<i>Filtering data</i> pada prediksi daya <i>output</i> PLTS yang menggunakan <i>solar tracker</i>	40
Gambar 19	<i>Filtering data</i> pada prediksi daya <i>output</i> PLTS menggunakan <i>solar tracker</i>	40
Gambar 20	<i>Source code</i> untuk menjalankan perintah <i>Train-Valid-Test Data</i>	40
Gambar 21	<i>Tree</i> yang terbentuk	41
Gambar 22	Contoh <i>vizualitaion</i> yang diperoleh	41
Gambar 23	Prediksi daya <i>output</i> PLTS yang menggunakan <i>solar tracker</i> hari ke-1	43
Gambar 24	Grafik <i>training data</i> hari ke-1	45
Gambar 25	Grafik <i>validasi data</i> hari ke-21	46
Gambar 26	Grafik <i>test data</i> hari ke-1	47



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data radiasi matahari di lokasi pengamatan Gambar 2	17
Tabel 2 <i>Range</i> nilai MAPE	32
Tabel 3 Spesifikasi Panel Surya Venus Polycrystalline 100 Wp Model VG-100-18-P	34
Tabel 4 Daya <i>output</i> pada hari ke-1 dan hari ke-28	41
Tabel 5 Nilai <i>actual</i> dan nilai prediksi yang diperoleh untuk daya <i>output</i> PLTS yang menggunakan <i>solar tracker</i>	43
Tabel 6 Hasil pengujian tingkat akurasi pada <i>training data</i>	44
Tabel 7 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi pada <i>Validasi Data</i>	45
Tabel 8 Hasil Pengujian tingkat akurasi pada <i>test data</i>	46



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
PE	Persentase <i>Error</i>
X_t	Data prediksi
F_t	Data <i>Actual</i>
n	Banyaknya Data
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
DC	<i>Direct Current</i> (Arus Listrik Searah)
AC	<i>Alternating Current</i> (Arus Bolak Balik)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Prototipe PLTS menggunakan <i>tracker</i> (kiri) dan PLTS tanpa menggunakan <i>tracker</i> (kanan)	52
Lampiran 2 Spesifikasi Panel Surya Venus Polycrystalline 100 Wp Model VG-100-18-P.....	53
Lampiran 3 Daya <i>output</i> PLTS menggunakan <i>solar tracker</i> & PLTS tanpa (Data sekunder).....	54



KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Perbandingan Daya *Output Actual & Prediction* Pada Panel Surya Yang Menggunakan *Solar Tracker* Dengan Metode *Decision Tree*”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Pada penulisan skripsi ini, penulis banyak dihadapkan dengan berbagai hambatan, akan tetapi berkat adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Olehnya itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan penghargaan dan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah senantiasa memberikan kesempatan, berkat, akal budi, pengetahuan, dan segala yang tak terhitung jumlahnya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Etta dan Mama atas segala doa, jasa, motivasi dan dukungan yang telah diberikan dan yang senantiasa mengingatkan penulis untuk menyelesaikan skripsi secepatnya.
3. Kakak-kakak tercinta dan seluruh keluarga penulis atas segala semangat, nasehat dan bantuan yang telah diberikan.
4. Bu Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T , selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Gassing M.T. selaku pembimbing II serta Bapak Prof. Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T, M.T selaku penguji I dan Bapak Yusril Syam Akil S.T, M.T, Ph.D selaku penguji II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan tugas akhir.
5. Seluruh Dosen dan Staf Akademik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas pengabdianya.
6. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Makassar, 9 Januari 2024
Penulis

A.Muhammad Hilmi Hanif



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik semakin menjadi kebutuhan pokok setiap manusia. Manusia memerlukan peningkatan jumlah energi untuk industri, komersial dan domestik. Kebutuhan energi listrik yang ada saat ini, sebagian besar terpenuhi dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam. Namun persediaan energi yang ada saat ini semakin berkurang. Jika tak segera ditangani, kemungkinan tak terhindarkan lagi adanya krisis energi. Untuk itu inovasi tentang energi alternatif, terutama dari sumber daya yang tak terbatas, sangatlah diperlukan seiring perkembangan teknologi untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat di masa yang akan datang. Agar dapat memberikan pelayanan yang baik, otomatis akan membutuhkan energi listrik yang cukup secara kontinu. Pemanfaatan tenaga surya dapat dimulai dari penggunaannya dengan memanfaatkan sistem PLTS *rooftop*.

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di daerah ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bumi menjadi bagian utara dan selatan. Posisi ini menyebabkan sepanjang tahunnya Indonesia memiliki cuaca yang relatif cerah kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan peta insolasi matahari, wilayah Indonesia memiliki intensitas radiasi harian matahari sebesar 4,69 kW/m² per hari. Potensi radiasi matahari sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dan merupakan penghasil sumber energi yang paling menjanjikan dimasa mendatang, dimana energi yang dihasilkan matahari tidak terbatas dibandingkan sumber energi fosil yang semakin menipis. Dua dekade terakhir sudah banyak pakar energi yang bersaing untuk menemukan penemuan baru tentang sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya yaitu sel surya, walaupun secara efisiensi saat ini masih perlu pengembangan lebih lanjut.



p Gedung Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
angun beberapa PLTS yang salah satunya merupakan objek penelitian dari

salah satu mahasiswa Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Adanya PLTS tersebut juga dapat membantu untuk mengetahui potensi daerah Departemen Elektro Universitas Hasanuddin sebelum membangun PLTS yang lebih besar. Berkaitan dengan penelitian ini yang akan berfokus pada perbandingan daya *output actual* dan daya *output prediction* pada PLTS menggunakan *solar tracker*. Daya *output* PLTS tersebut diprediksi menggunakan algoritma *decision tree*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa tingkat akurasi penggunaan algoritma *decision tree* dalam memprediksi daya *output* pada PLTS yang menggunakan *solar tracker* ?
2. Berapa perbandingan antara daya *output actual* dan daya *output prediction* pada PLTS yang menggunakan *solar tracker* menggunakan metode *decision tree* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat akurasi penggunaan algoritma *decision tree* dalam memprediksi daya *output* PLTS yang menggunakan *solar tracker*.
2. Mengetahui perbandingan daya *output actual* dan *prediction* pada PLTS yang menggunakan *solar tracker* dengan metode *decision tree*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini sebagai berikut :

1. Membuka wawasan penulis maupun pembaca mengenai karakteristik PLTS.
2. Mendorong pembaca untuk semakin mengembangkan potensi yang dapat meningkatkan daya *output* pada PLTS.



nbuka wawasan pembaca bahwa terdapat cara untuk dapat memprediksi daya *output* PLTS.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mendapatkan hasil akhir yang lebih terperinci dan terfokus, maka permasalahan yang akan dibahas akan dibatasi dengan ketentuan berikut:

1. Data diperoleh dari prototipe PLTS yang ada di *Rooftop* Gedung Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
2. Dua panel surya yang digunakan adalah Venus Polycrystalline 100 Wp dimana salah satunya dipasang *solar tracker*.
3. Menggunakan *decision tree* untuk memprediksi daya *output* PLTS *solar tracker*.
4. *Software* yang digunakan yaitu *Anaconda Prompt*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Energi Matahari di Tempat Pengambilan Data

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Pada Gambar 1 diperlihatkan gambar peta potensi pembangkitan energi surya Indonesia yang diakses dari *website* Global Solar Atlas. Pada gambar terlihat bahwa Indonesia memiliki potensi energi surya berkisar antara sekitar 3,0 hingga 4,6 kWh/m² per hari atau 1.095 hingga 1.680 kWh/m² per tahun (Baharuddin & Ishak, 2012). Sinar matahari sampai ke permukaan dalam bentuk radiasi. Radiasi adalah sebuah bentuk energi yang dipancarkan oleh setiap benda yang mempunyai suhu diatas nol mutlak dan merupakan satu-satunya bentuk energi yang dapat menjalar di dalam vakum luar angkasa sedangkan radiasi matahari adalah radiasi elektromagnetik yang terdiri atas medan listrik dan medan magnet (Pradiwardoyo, 1996). Radiasi matahari sampai ke permukaan bumi melalui tiga cara yaitu radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi hambur (*diffuse radiation*), dan radiasi total (*global radiation*). Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung 4 - 5 jam per hari.



Gambar 1. Peta Rata-Rata Jangka Panjang (dari tahun 2007 hingga 2018) Potensi Pembangkitan Energi Surya di Indonesia (Global Solar Atlas, 2021).



Pengambilan data dilakukan di atap Gedung Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang berada di Desa Borongloe, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia dengan koordinat - 5013'58" LS 119030'12" BT. Pada Gambar 2 kita dapat melihat peta rata-rata jangka panjang potensi energi surya di sekitar wilayah pengambilan data.



Gambar 2 Peta Rata-Rata Jangka Panjang Potensi Pembangkitan Energi Surya Tahunan di Sekitar Lokasi Pengambilan Data (Global Solar Atlas, 2021).

Tabel 1 Data radiasi matahari di lokasi pengamatan Gambar 2

Variable	By Day Data	By Year Data
<i>Direct Normal Irradiation (DNI)</i>	4,004 kWh/m ² /day	1461,4 kWh/m ² /year
<i>Global Horizontal Irradiation (GHI)</i>	5,062 kWh/m ² /day	1847,8 kWh/m ² /year
<i>Diffuse Horizontal Irradiation (DIF)</i>	2,184 kWh/m ² /day	797,0 kWh/m ² /year
<i>Global Tilted Irradiation at Optimum Angle (GTI_{opta})</i>	5,130 kWh/m ² /day	1872,4 kWh/m ² /year
<i>Optimum Tilt of PV Modules</i>	10 / 0°	
<i>Air Temperature</i>	27,5° C	
<i>Terrain Elevation</i>		22



2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.1 Komponen – komponen PLTS

Komponen-komponen dalam sebuah PLTS terdiri dari :

1. Sel *Photovoltaic* / Panel Surya

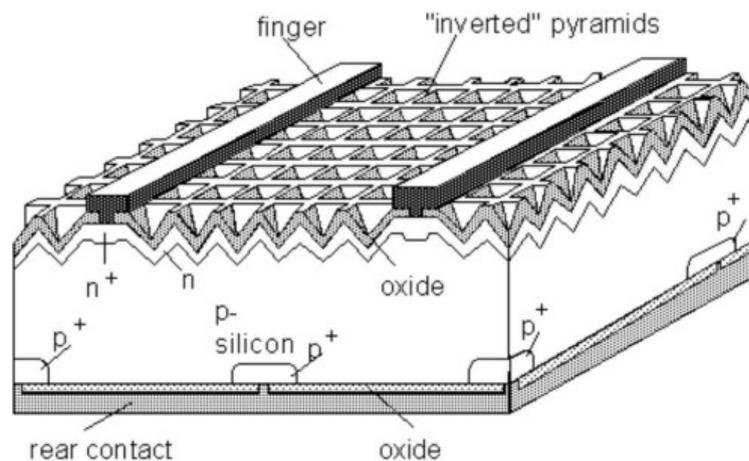
Komponen utama dari PLTS adalah panel surya atau modul surya. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya silikon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Panel surya adalah alat utama yang berfungsi sebagai penangkap, pengubah, dan penghasil listrik. Alat ini dirangkai menjadi beberapa susunan sel surya - disebut sebagai panel surya - sesuai besar daya yang diinginkan. Alat ini menghasilkan energi listrik DC. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah sel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel (Baharuddin & Ishak,2012).

Photovoltaic atau solar panel atau juga disebut modul surya merupakan sebuah piranti yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Terdiri dari kumpulan sel surya yang dipasang secara seri. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya adalah listrik arus searah murni (DC), pada umumnya dengan tegangan 12V untuk panel surya ukuran kecil $\leq 130\text{Wp}$ dan untuk tegangan 24V untuk ukuran yang standar $>130\text{Wp}$. *Wattpeak* atau disingkat Wp ialah daya yang dihasilkan oleh panel surya dalam keadaan optimum.

Jenis panel surya yang terjadi di pasaran saat ini, antara lain adalah :

- a. Monokristal Silikon (*Mono-crystalline*) Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Sel surya *monocrystalline* merupakan sel surya yang dibangun dari kristal silikon (Si) tunggal yang biasanya berbentuk batangan yang diiris menjadi beberapa sel. Berbagai macam peningkatan telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel *monocrystalline* hingga mencapai 20%. Adapun struktur dari sel *monocrystalline* dapat dilihat pada Gambar 3.





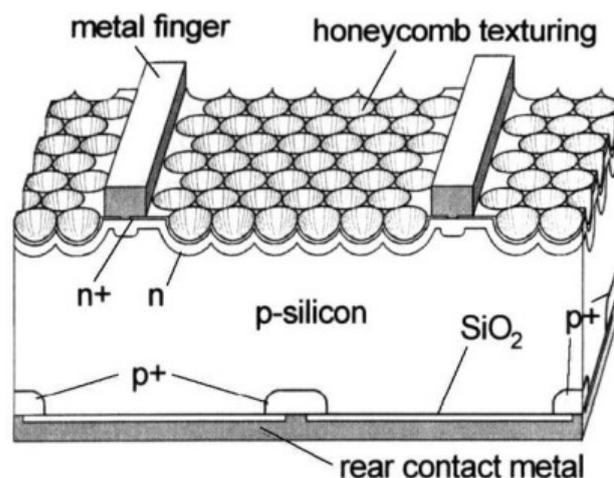
Gambar 3 Struktur Sel Surya *Monocrystalline* (Sørensen et al., 2004)

Pada Gambar 3 terlihat bahwa struktur yang *inverted pyramid* menyerupai perangkat dapat meminimalisir pantulan ke arah lain yang tidak menguntungkan sehingga dapat meningkatkan penangkapan cahaya. Selain itu, terdapat juga wilayah *back-side reflecting* yang dapat memantulkan cahaya kembali ke daerah aktif. Derajat *doping* kemudian diubah di dekat elektroda (area n^+ dan p^+), dan lapisan oksida tipis selanjutnya membantu mencegah elektron mencapai permukaan (proses ini disebut "pasivasi"). Selanjutnya, elektroda atas dapat dikubur agar tidak menghasilkan efek bayangan untuk cahaya yang masuk (Sorensen,2004).

b. Polikristal (*Poly-crystalline*) Merupakan panel surya/*solar cell* yang memiliki susunan kristal acak. Type Polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Teknologi lain untuk memproduksi sel surya ialah dengan menggunakan bahan *multicrystalline* (biasa disebut *polycrystalline*), terdiri dari butiran bahan kristal yang berorientasi acak relatif satu sama lain. Butir kristal dalam sel surya *polycrystalline* mempertahankan konduktivitas dengan cara yang sama seperti sel *monocrystalline*, namun pengangkutan elektron yang melintasi batas-batas antar kristal mengurangi konduktivitas sehingga sel menjadi kurang efisien. Namun di sisi lain sel jenis ini

produksi dengan metode yang lebih sederhana dibanding panel *stalline*. Adapun struktur dari sel surya *polycrystalline* dapat dilihat pada





Gambar 4 Struktur Sel Surya Polycrystalline (Sørensen et al., 2004).

Struktur sel *polycrystalline* berbentuk sarang lebah seperti pada Gambar 4 telah membawa efisiensi hingga 20% pada sel *polycrystalline*. Teknik pembuatan panel surya dengan bahan multikristalin jauh lebih cocok untuk produksi massal karena adanya pengurangan harga. Selain itu, keuntungan sel surya multikristalin *polycrystalline* dibandingkan sel surya *monocrystalline* tampaknya dapat mengkompensasi perbedaan efisiensi 5% (Sorensen,2004).

c. Silikon amorf (a-Si) adalah tipe panel dengan harga yang paling murah akan tetapi efisiensinya paling rendah. Di Dundee, Skotlandia, Walter Spear dan Peter LeComber pada tahun 1973 menemukan silikon amorf yang dibuat menggunakan "glow discharge" dalam gas silane (SiH_4) memiliki sifat konduktif tak biasa. *Glow discharge* merupakan ide dasar dari lampu neon, dimana dalam kondisi tertentu, tegangan listrik yang diterapkan pada gas dapat menginduksi arus listrik yang signifikan melalui gas. Silikon amorphous diendapkan sebagai film tipis pada substrat yang dimasukkan ke dalam pelepasan gas silane. Konduktivitas bahan silikon amorf dapat ditingkatkan secara signifikan dengan mencampurkan beberapa gas phosphine (PH_3) atau beberapa gas diborane (B_2H_6) dengan gas silane. Sama seperti sel surya silikon kristal, doping fosfor dari silikon amorf telah menginduksi konduktivitas yang terkait dengan elektron yang bergerak (pada bahan tipe-n), dan oron telah menginduksi konduktivitas yang terkait dengan holes yang (pada bahan tipe-p).



Pengoperasian maksimum panel surya sangat tergantung pada hal sebagai berikut :

a. Temperatur

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap pada temperature 25°C . Jika kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal akan melemahkan tegangan yang dihasilkan. Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap pada temperatur 25°C . Jika kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal akan melemahkan tegangan yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C (dari 25°C) akan mengakibatkan berkurang total daya yang dihasilkan sekitar 0.5%.

b. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari akan berpengaruh pada daya keluaran panel surya. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka arus akan semakin rendah. Hal ini membuat titik *Maksimum Power Point* berada pada titik yang semakin rendah. Orientasi Panel Surya dari rangkaian pada panel surya ke arah matahari adalah penting, agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimal.

Sudut Kemiringan Panel Surya Sudut kemiringan memberikan dampak yang besar terhadap radiasi matahari di permukaan panel surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi.

c. *Controller*

Berfungsi untuk rnengatur besar tegangan sebelum dicatu ke beban, serta berfungsi sebagai charger untuk mengisi baterai dengan memanfaatkan energi berlebih dari PLTS.

d. Inverter

Alat ini berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Alat ini sangat penting karena sel surya menghasilkan energi listrik yang berupa DC.



1 Instalasi

1 yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik tenaga surya adalah

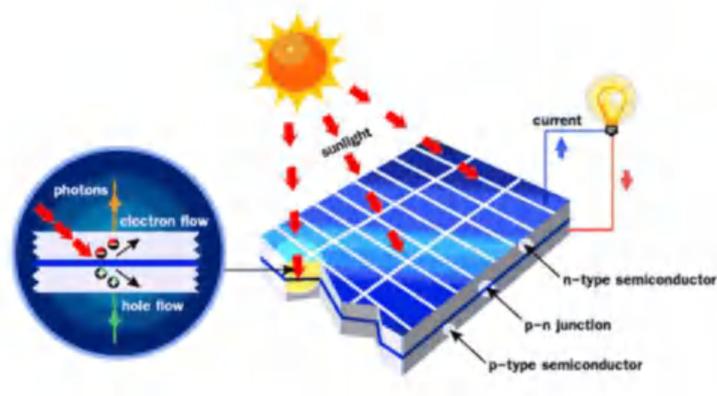
kabel khusus yang dapat mengurangi loss (kehilangan/rugi-rugi) daya, pemanasan pada kabel, dan kerusakan pada perangkat PLTS.

2.1.2 Prinsip Kerja PLTS

Pembangkit listrik yang menggunakan panel tenaga matahari ini melakukan konversi energi sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung. Keberadaan dari teknologi ini bekerja dengan menggunakan konsep *photovoltaic*. Konsep *photovoltaic* merupakan sebuah konsep dimana cahaya matahari akan dikonversi secara langsung menjadi listrik melalui sel surya. Pada konsep *photovoltaic*, sel surya nantinya digunakan untuk menangkap cahaya, cahaya yang berasal dari matahari ini mengandung foton. Foton adalah satuan terkecil dari tenaga surya yang bisa ditangkap oleh sel surya. Foton yang menabrak akan mengalami proses yang pada akhirnya menyebabkan munculnya aliran listrik pada sel surya tersebut. Pembangkit listrik tenaga surya yang didapatkan dari panel surya melakukan proses seperti berikut ini. Pertama-tama foton yang terkandung di dalam cahaya matahari akan menghantam bahan semikonduktor pada sel surya. Pada proses penghantaran ini elektron akan terpisah dari atom bahan semikonduktor .

Elektron yang terpisah ini dapat bergerak dengan bebas sehingga bisa diarahkan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, elektron ini memiliki muatan negatif sedangkan atom yang memiliki proton akan bermuatan positif. Adanya pelepasan elektron ini menyebabkan bahan semikonduktor pada akhirnya mengelompok menjadi dua daerah, yaitu daerah bermuatan positif dan daerah bermuatan negatif. Kedua daerah yang dibentuk melalui pemisahan elektron ini nantinya akan bergerak berlawanan arah. Pergerakan daerah bermuatan positif dan daerah bermuatan negatif yang berlainan arah ini nanti akan menyebabkan munculnya arus listrik.





Gambar 5 Proses energi matahari di ubah menjadi energi Listrik

2.2 Algoritma Posisi Matahari

Setiap sistem pelacakan matahari yang andal harus dapat melacak matahari pada sudut yang tepat, bahkan selama matahari tertutup oleh awan. Berbagai jenis desain pelacakan matahari telah diusulkan untuk meningkatkan kinerja pemanfaatan energi surya (Prinsloo & Dobson, 2015). Ada empat kategori utama elemen kontrol yang perlu dipertimbangkan dalam kontrol rangkaian terbuka dan loop untuk memenuhi kriteria desain algoritma posisi matahari sebagai berikut:

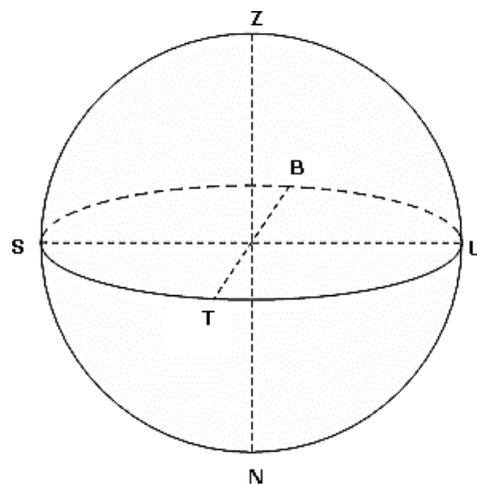
1. Posisi matahari digunakan untuk menentukan vektor matahari dari lokasi aktual matahari ke sistem yang dirancang.
2. Sistem penggerak yang efektif digunakan untuk dapat menentukan struktur secara efisien sehingga mengarah langsung ke matahari.
3. Input kontrol yang digunakan adalah jenis input kontrol yang digunakan, misalnya algoritma vektor matahari, foto-dioda atau kamera.
4. Sistem kontrol yang digunakan untuk mengontrol pergerakan motor.



2.3 Tata Koordinat Bola Langit

Benda langit tidaklah memiliki kedudukan yang tetap, melainkan bergeser secara teratur. Dalam memudahkan penentuan lokasi benda langit, dibuatlah suatu koordinat yang dikenal sebagai tata koordinat bola langit seperti pada Gambar 6. Bola langit adalah suatu bola imajiner dimana seluruh bidang langit terproyeksi pada permukaannya, dengan pengamat sebagai pusat (E. Gautama S,2010)

Pada Gambar 6. terlihat bahwa pada bola langit terdapat titik-titik, yaitu titik Zenith (Z) yaitu titik yang berada tepat di atas pengamat, titik Nadir (N) yaitu titik yang berada tepat di bawah pengamat dan empat arah mata angin yaitu titik Utara (N), Selatan (S), Timur (E) dan Barat (W). Bola langit terdiri dari 2 lingkaran besar, yaitu Meridian dan Horizon. Lingkaran Meridian merupakan lingkaran yang menghubungkan titik Utara, Zenith, Selatan, dan Nadir. Lingkaran Horizon adalah lingkaran yang menghubungkan empat titik mata angin, yaitu Utara, Timur, Selatan dan Barat. Benda langit yang berada di atas horizon dapat diamati oleh pengamat dan begitupun sebaliknya. Terdapat dua jenis tata koordinat bola langit yang paling sering digunakan, yaitu Tata Koordinat Horizon (Alt-Azimuth) dan Tata Koordinat Equatorial (Prinsloo & Dobson, 2015).

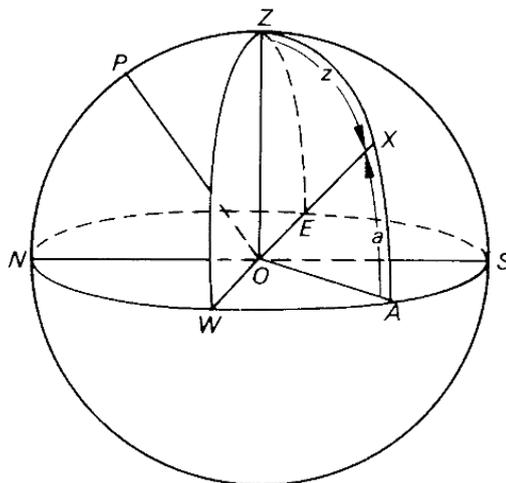


Gambar 6 Bola Langit (Gautama, 2010)



2.3.1 Tata Koordinat Horizon (Alt-Azimuth)

Pada tata koordinat horizon, pengamat berada di pusat suatu bola dengan benda-benda langit beredar di sekitaran kulit bola seperti terlihat pada Gambar 7. Kita bisa menggambarkan koordinat ini sebagai koordinat dimana pengamat yang berada di titik O pada lintang ϕ yang dibawahnya terdapat piringan yang membentang sepanjang pijakannya melewati empat titik mata angin, yakni Utara (N), Timur (E), Selatan (S) dan Barat (W). Piringan ini disebut horizon yang menjadi titik acuan pada Tata Koordinat Horizon (Roy & Clarke,2003)



Gambar 7 Tata Koordinat Horizon (Roy & Clarke, 2003)

Terdapat dua koordinat dalam tata koordinat horizon, yaitu Azimuth dan Altitude. Adapun penjelasannya sebagai berikut (Karttunen,dkk,2016) :

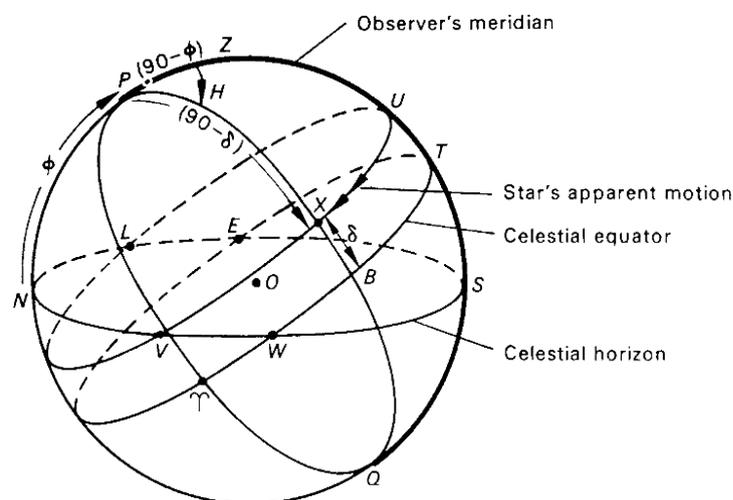
- a. Altitude (a) merupakan sudut yang diukur dari horizon sepanjang garis vertikal menuju ke bintang. Pada Gambar 7., altitude merupakan besar sudut antara titik A yang merupakan representasi bintang di bidang horizon ke titik X dimana bintang berada. Altitude bernilai $0^\circ - 90^\circ$ jika letak benda langit berada di atas horizon dan $0^\circ - -90^\circ$ jika letaknya bawah horizon.
- b. Azimuth (A) merupakan jarak sudut benda langit sepanjang bidang horizon dari suatu titik atau arah tertentu. Terdapat beberapa pendapat mengenai arah pengukuran azimuth. Azimuth kadang dihitung baik ke arah selatan maupun arah utara, baik searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam. Namun yang paling umum, azimuth diukur dari arah Selatan ke arah Barat. Pada Gambar 7, nilai azimuth merupakan besar sudut yang dibentuk antara



titik Selatan (S) ke titik A yang merupakan representasi bintang di bidang horizon.

2.3.2 Tata Koordinat Ekuatorial

Jika kita memperpanjang bidang ekuator bumi, maka bidang tersebut akan memotong bola langit pada lingkaran besar yang dikenal sebagai ekuator langit. Pada Gambar 8. bidang ekuator langit merupakan lingkaran yang memiliki titik T sebagai kulminasi atas (titik tertinggi) dan memotong bidang horizon pada titik Barat (W) dan Timur (E). Bidang inilah yang kemudian menjadi acuan dari koordinat ekuatorial. Pada kenyataannya, benda langit terbit dan terbenam pada lintasan berbentuk lingkaran kecil yang paralel dengan bidang ekuator. Pada Gambar 8. terlihat bintang X tidak terbit dan terbenam tepat di titik Timur dan Barat sesuai dengan bidang equator, melainkan sedikit bergeser dimana bintang X terbit di titik L dan terbenam di titik V (Roy & Clarke,2003).



Gambar 8 Tata Koordinat Ekuatorial (Roy & Clarke, 2003).

Terdapat dua ordinat dalam tata koordinat horizon, yaitu *Hour Angle* dan Deklinasi. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

a. Deklinasi (δ) merupakan jarak sudut benda langit dari bidang ekuator di



jang garis meridian ke arah bintang. Pada Gambar 8., deklinasi merupakan sudut antara titik B pada bidang ekuator ke titik X pada lintasan bintang sama dengan jarak antara titik T ke titik U. Deklinasi akan bernilai positif

jika benda langit berada di sebelah utara ekuator dan akan bernilai negatif jika berada di sebelah selatan bidang ekuator (Roy & Clarke,2003).

- b. Hour Angle (HA) atau biasa disebut sudut jam menunjukkan letak suatu benda langit dari titik kulminasinya, yang diukur dengan satuan jam, dimana $1h = 15^\circ$. HA diukur dari titik kulminasi atas lintasan suatu benda langit ke arah barat menuju ke benda langit tersebut. Pada Gambar 8, HA merupakan besar sudut antara titik U sebagai titik kulminasi atas lintasan bintang dan titik X dimana bintang berada. HA dapat dituliskan dengan format 24 jam (00:00–23:59) atau 12 jam (-12:00–12:00), dimana pada format 12 jam HA bernilai positif menandakan benda langit telah melewati titik kulminasi atas dan berada di belahan bumi Barat, dan sebaliknya (E. Gautama S,2010).

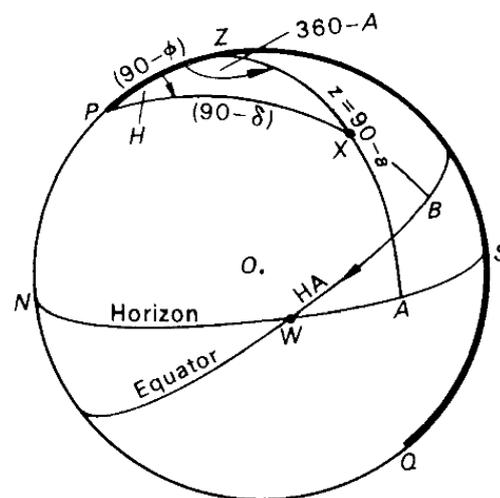
Nilai sudut jam suatu benda langit cenderung berubah tiap waktunya. Oleh karenanya di tentukanlah suatu ordinat yang cenderung konstan, yang kemudian dikenal sebagai Asensio rekta (α). Asensio rekta menunjukkan bujur suatu bintang ketika titik Aries tepat berkulminasi atas pada pukul 12.00 waktu lokal atau biasa dikenal sebagai vernal equinox. Titik aries merupakan perpotongan antara lingkaran ekliptika dan horizon yang berpotongan di rasi Aries (walau saat ini telah bergeser akibat gerak presesi bumi). Faktor gerak semu harian benda langit dikoreksi terhadap waktu lokal dan faktor gerak semu tahunan benda langit dikoreksi dengan suatu variabel yang disebut Local Sidereal Time (LST) atau waktu bintang, yang menyatakan letak titik Aries pada waktu itu.

2.3.3 Transformasi Koordinat Horizon – Ekuator

Salah satu permasalahan utama dalam koordinat bola langit ialah kadangkala kita membutuhkan posisi benda langit pada suatu sistem koordinat, namun kita hanya mengetahui koordinat benda langit pada sistem koordinat lainnya. Sebagai contoh, saat kita mengamati benda langit maka akan lebih mudah menggunakan koordinat horizon, namun karena tidak bersifat global maka seringkali informasi koordinat benda langit tersedia pada koordinat ekuatorial. Metode Transformasi Koordinat

– Ekuator atau sebaliknya yang sering digunakan ialah metode segitiga yang dapat dilihat pada Gambar 9.(Roy & Clarke,2003).





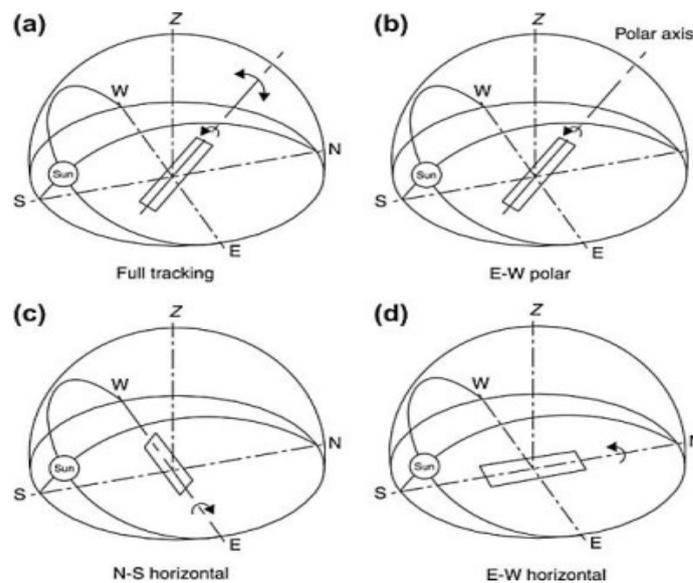
Gambar 9 Segitiga Bola (Roy & Clarke, 2003)

Pada Gambar 9. terlihat bahwa terdapat dua jenis tata koordinat bola yang digambarkan, yaitu tata koordinat Horizon dan Equatorial. Masing-masing koordinat pada kedua tata koordinat kemudian saling membentuk sebuah segitiga bola PXZ. Pada Gambar 9. terlihat bahwa masing-masing sisi segitiga mewakili besar sudut tertentu, dimana sisi PZ bernilai $90^\circ - \phi$ (lintang), PX bernilai $90^\circ - \delta$ (deklinasi), ZX bernilai $90^\circ - a$ (altitude). Sudut segitiga juga mewakili besar sudut tertentu, dimana sudut PZX mewakili $360^\circ - A$ (Azimuth) dan sudut ZPX mewakili HA (*Hours Angle*) (Roy & Clarke, 2003)

2.4 Solar Tracker

Jika Salah satu permasalahan utama dalam koordinat bola langit ialah kadangkala kita membutuhkan posisi benda langit pada suatu sistem koordinat, namun kita hanya mengetahui koordinat benda langit pada sistem koordinat lainnya. Sebagai contoh, saat kita mengamati benda langit maka akan lebih mudah menggunakan koordinat horizon, namun karena tidak bersifat global maka seringkali informasi koordinat benda langit tersedia pada koordinat ekuatorial. Metode Transformasi Koordinat Horizon – Ekuator atau sebaliknya yang sering digunakan ialah metode segitiga bola yang dapat dilihat pada Gambar 10 (Roy & Clarke,2003).





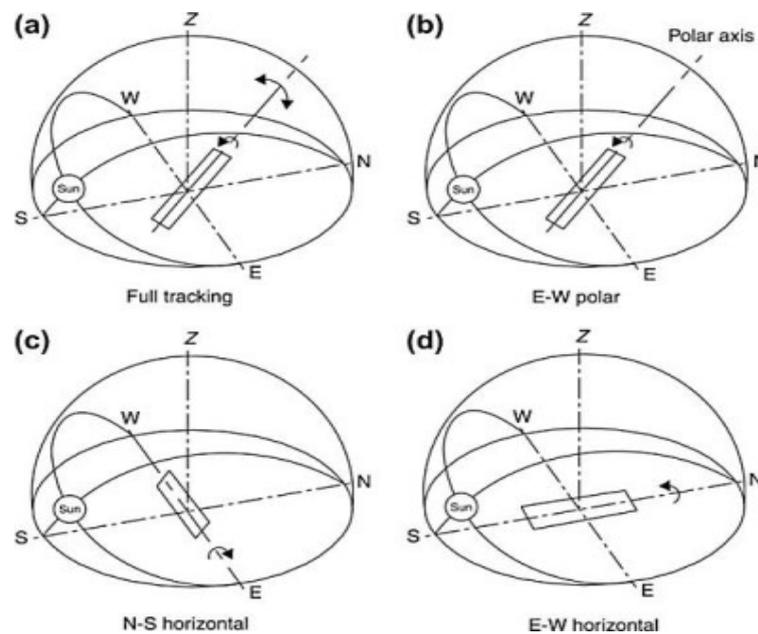
Gambar 10 Segitiga Bola (Roy & Clarke, 2003)

Pada Gambar 10 terlihat bahwa terdapat dua jenis tata koordinat bola yang digambarkan, yaitu tata koordinat Horizon dan Equatorial. Masing-masing koordinat pada kedua tata koordinat kemudian saling membentuk sebuah segitiga bola PXZ. Pada Gambar 11. terlihat bahwa masing-masing sisi segitiga mewakili besar sudut tertentu, dimana sisi PZ bernilai $90^\circ - \phi$ (lintang), PX bernilai $90^\circ - \delta$ (deklinasi), ZX bernilai $90^\circ - a$ (altitude). Sudut segitiga juga mewakili besar sudut tertentu, dimana sudut PZX mewakili $360^\circ - A$ (Azimuth) dan sudut ZPX mewakili HA (*Hours Angle*) (Roy & Clarke, 2003).

Solar tracker merupakan suatu sistem yang pada umumnya dipasang baik pada *solar collector* maupun panel surya. Sistem ini memiliki fungsi untuk membuat permukaan panel surya dapat mengikuti arah datangnya pancaran matahari. Dengan demikian, nilai *Solar Incidence Angle* (θ_S), antara panel dan arah sinaran matahari dapat dijaga senantiasa minimum. Sistem *tracking* pada umumnya terdiri atas dua axis (*Dual Axis Solar tracker*) dan satu axis (*Single Axis Solar tracker*), dimana untuk sistem single axis terdapat beberapa variasi. beberapa jenis sistem

cker dapat dilihat pada Gambar 11.





Gambar 11 Jenis-Jenis Sistem *Solar tracker*. (Kalogirou, 2014)

2.5 Decision Tree

Decision tree merupakan salah satu metode klasifikasi yang menggunakan representasi struktur pohon (*tree*). *Decision tree* adalah *algoritma machine learning* yang menggunakan seperangkat aturan untuk membuat keputusan dengan struktur seperti pohon yang memodelkan kemungkinan hasil, biaya sumber daya, utilitas dan kemungkinan konsekuensi atau resiko. Konsepnya adalah dengan cara menyajikan algoritma dengan pernyataan bersyarat, yang meliputi cabang untuk mewakili langkah-langkah pengambilan keputusan yang dapat mengarah pada hasil yang menguntungkan. *Decision Tree* merupakan struktur data yang biasanya tidak kontigu, dimana sebuah *node* bisa memiliki beberapa “anak” (*child node*), dan berbeda dengan Graph, jalan menuju sebuah *child node* hanya bisa dicapai melalui maksimal 1 *node*, dimana pada Graph, dimungkinkan bahwa 1 *node* bisa dicapai dari banyak *node* lainnya. Sebuah *node* yang tidak memiliki *child node* sama sekali dinamakan *leaf node*. Menurut Yuliharyani, Metode *Decision tree* (Pohon Keputusan) merupakan bagian dari



klasifikasi yang sangat kuat dan terkenal. Metode pohon keputusan adalah fakta yang sangat besar menjadi pohon keputusan yang menyintasikan *rules*. Konsep dasar algoritma *decision tree* adalah mengubah

data menjadi pohon keputusan dan aturan-aturan keputusan (*rule*). Pembangunan *tree* dimulai dengan data pada simpul akar (*root node*) yang dilanjutkan dengan pemilihan sebuah variabel, formulasi sebuah logical test pada variabel tersebut dan pencabangan pada setiap hasil dari *test*. Langkah ini terus bergerak ke *subset* ke contoh yang memenuhi hasil dari simpul anak cabang (*internal node*) yang sesuai melalui proses rekursif pada setiap simpul anak cabang. Alur pada decision tree di telusuri dari simpul akar ke simpul daun yang memegang prediksi. Langkah-langkah tersebut diulangi hingga dahan-dahan dari *tree* memiliki contoh dari satu kelas tertentu. Kelebihan dari metode pohon keputusan adalah:

1. Daerah pengambilan keputusan yang sebelumnya kompleks dan sangat global, dapat diubah menjadi lebih simpel dan spesifik
2. Eliminasi perhitungan-perhitungan yang tidak diperlukan, karena ketika menggunakan metode pohon keputusan maka sampel diuji hanya berdasarkan kriteria.
3. Fleksibel untuk memilih fitur dari node internal yang berbeda, fitur yang terpilih akan membedakan suatu kriteria dibandingkan kriteria yang lain dalam node yang sama. Kefleksibelan metode pohon keputusan ini meningkatkan kualitas keputusan yang dihasilkan jika dibandingkan ketika menggunakan metode penghitungan satu.
4. Dalam analisis multivarian, dengan kriteria dan kelas yang jumlahnya sangat banyak, seorang penguji biasanya perlu mengestimasi baik itu distribusi dimensi tinggi ataupun parameter tertentu dari distribusi kelas tersebut. Metode pohon keputusan dapat menghindari munculnya permasalahan ini dengan menggunakan kriteria yang jumlahnya lebih sedikit pada setiap node internal tanpa banyak mengurangi kualitas keputusan yang dihasilkan.

2.6 Persentase Kesalahan (MAPE)

MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) adalah merupakan ukuran kesalahan relatif. *MAPE* menyatakan persentase kesalahan hasil peramalan terhadap nilai aktual selama periode tertentu yang akan memberikan informasi seberapa kesalahan terlalu tinggi atau rendah. *MAPE* dihitung sebagai nilai rata-



rata diferensiasi absolut antara nilai yang diramal dan data aktual, dinyatakan sebagai persentase nilai aktual (U. I. Anjani, dkk, 2020). Kelebihan dari *MAPE* menyatakan persentase kesalahan hasil peramalan terhadap penjualan aktual selama periode tertentu yang akan memberikan informasi persentase kesalahan terlalu tinggi atau rendah (Y. Astuti, dkk, 2019). Persentase *error* adalah persentase kesalahan dari suatu prediksi, yang dirumuskan dalam Persamaan 1.

$$PE_t = \left(\frac{|X_t - F_t|}{X_t} \right) \times 100 \quad (1)$$

dengan,

X_t : Data aktual pada periode t

F_t : Data ramalan pada periode t

Setelah persentase *error* didapat, maka selanjutnya mengukur ketepatan nilai dugaan model yang dinyatakan dalam bentuk rata-rata *persentase absolute* kesalahan (R.Oktaviani,2021). *MAPE* dapat dihitung dalam Persamaan 2.

$$MAPE = \frac{\sum |PE_t|}{n} \quad (2)$$

dengan,

PE_t : Persentase *error*

n : Banyaknya data hasil ramalan

Untuk *MAPE* terdapat *range* nilai yang dapat dijadikan bahan pengukuran mengenai kemampuan dari suatu model prediksi. *Range* nilai dapat dilihat pada Tabel 2 (Maricar M.A, 2019).

Tabel 2 Range nilai *MAPE*

Range <i>MAPE</i>	Keterangan
<10%	Kemampuan Prediksi sangat baik
10% - 20%	Kemampuan prediksi baik
20% - 50%	Kemampuan prediksi layak
>50%	Kemampuan prediksi buruk

