

Analisis Albedo Terhadap Radiasi Matahari pada Plts *Bifacial* Menggunakan *Decision Making* Di PT Indonesia Power UBP GRATI

Rizki Ilham Ramadhan Anwar¹, Unit Three Kartini², Lilik Anifah³, Tri Wrahatnolo⁴

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Email: Rizki.21061@mhs.unesa.ac.id, unitthree@unesa.ac.id, lilikanifah@unesa.ac.id, triwrahatnolo@unesa.ac.id

Abstract (English)

This study analyzes the impact of albedo on solar radiation in bifacial Solar Power Plants (PLTS) at PT. Indonesia Power UBP Grati using a decision-making method. The approach employs the Analytic Hierarchy Process (AHP) to assign weights to various criteria and alternatives affecting the performance of the solar power plant. Albedo, which represents the reflectivity level of a surface, plays a significant role in improving the efficiency of bifacial panels by influencing the amount of radiation reflected back to the rear side of the solar panels. This research examines different surface types, such as gravel, vegetation, dry soil, and wet soil, to determine their influence on the increased solar radiation received by the panels, as well as their impact on the current and voltage generated. The results of the study indicate that gravel, with its high albedo, provides the best efficiency improvement compared to other surfaces. This finding offers strategic recommendations for selecting surface materials to optimize the performance of bifacial solar power plants

Article History

Submitted: 15 January 2025

Accepted: 24 January 2025

Published: 25 January 2025

Key Words

Albedo, PLTS Bifacial, Analytic Hierarchy Process (AHP).

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini menganalisis pengaruh albedo terhadap radiasi matahari pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bifacial di PT Indonesia Power UBP Grati menggunakan metode decision making. Metode ini menerapkan pendekatan Analytic Hierarchy Process (AHP) untuk memberikan bobot pada berbagai kriteria dan alternatif yang mempengaruhi kinerja PLTS. Albedo, yang menggambarkan tingkat reflektivitas permukaan, berperan penting dalam meningkatkan efisiensi panel bifacial, karena mempengaruhi jumlah radiasi yang dipantulkan kembali ke bagian belakang panel surya. Dalam penelitian ini, beberapa jenis permukaan seperti batu kerikil, tumbuhan, tanah kering, dan tanah basah dianalisis untuk menentukan pengaruhnya terhadap peningkatan radiasi matahari yang diterima oleh panel, serta dampaknya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batu kerikil, dengan albedo tinggi, memberikan peningkatan efisiensi terbaik dibandingkan permukaan lainnya. Temuan ini memberikan rekomendasi strategis dalam pemilihan material permukaan untuk optimalisasi kinerja PLTS bifacial.

Sejarah Artikel

Submitted: 15 January 2025

Accepted: 24 January 2025

Published: 25 January 2025

Kata Kunci

Albedo, PLTS Bifacial, Analytic Hierarchy Process (AHP).

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya energi yang sangat melimpah. Indonesia terletak tepat di garis khatulistiwa, sehingga terdapat 10 hingga 12 jam sinar matahari setiap harinya. Indonesia sebagai negara tropis menawarkan peluang besar untuk mengembangkan dan memanfaatkan energi surya sebagai alternatif konversi energi terbarukan. Sistem ini bisa menjadi solusi berkurangnya cadangan bahan bakar fosil. Menurut laporan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan dan Pengembangan Energi tahun 1997, kapasitas terpasang energi surya di Indonesia diperkirakan sebesar 0,88 MW, dengan total potensi $1,2 \times 10^9$ MW.

Sel surya monokristalin adalah modul yang paling efisien dan memberikan daya tertinggi per area. Efisiensi hingga 15%. Kekurangan dari panel jenis ini adalah tidak berfungsi dengan baik pada area yang kurang mendapat sinar matahari (teduh), dan efisiensinya berkurang secara signifikan dalam cuaca mendung. Pantulan kaca bervariasi sehingga masukan cahaya sel surya sangat dipengaruhi oleh

orientasinya terhadap matahari.

Di Indonesia Power Grati memiliki pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang menjadi tempat distribusi di wilayah kantor pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU) Grati yang mempunyai kemungkinan untuk mengembangkan dan memanfaatkan energi surya sebagai sistem konversi energi surya.

Pada panel surya sendiri membutuhkan energi matahari, sehingga kini semakin sering digunakan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga surya karena biaya energi yang terus meningkat. Hal ini mendorong industri dan rumah tangga untuk mengadopsi panel surya sebagai alternatif energi. Untuk memastikan pembangkit listrik tenaga surya tetap beroperasi di malam hari, diperlukan baterai untuk menyimpan energi, yang diatur oleh inverter dan pengontrol pengisian solar. Dalam pengujian, modul panel surya menunjukkan hasil dengan daya mencapai

38,24 watt dan arus 2,49A, yang dimungkinkan karena panel surya yang dapat mengikuti arah matahari, memaksimalkan penerimaan sinar matahari dari penelitian yang dilakukan oleh Fikri menjelaskan optimasi daya keluaran PLTS. Di Indonesia, permintaan energi listrik yang terus meningkat menjadi tantangan ketika pasokan tidak memenuhi kebutuhan. Salah satunya panel surya adalah panel surya bifacial.

Panel surya bifacial mempunyai kelebihan yang salah satunya adalah peningkatan efisiensi energi dengan kemampuan untuk memanfaatkan sinar matahari yang dipantulkan dari permukaan di sekitarnya. Permukaan seperti tanah berwarna terang, salju, air, atau bahkan atap bangunan dengan albedo tinggi dapat memantulkan cahaya matahari kembali ke bagian belakang panel, meningkatkan total energi yang diserap, kelebihan lainnya dapat meningkatkan daya output dengan penurunan suhu kerja dan kemampuan menangkap lebih banyak cahaya yang dapat mampu menghasilkan lebih banyak daya yang dihasilkan. Panel surya bifacial (BPV) merupakan teknologi yang berkembang pesat yang dapat meningkatkan produksi listrik dengan memanfaatkan iradiasi cahaya dari kedua sisi panel. Pemasangan BPV vertikal timur-barat menghasilkan dua puncak produksi dan bukan satu puncak yang menonjol di siang hari. Pemasangan BPV secara vertikal menghasilkan kesesuaian yang lebih dekat dengan profil beban pada umumnya dan meningkatkan konsumsi sendiri produksi BPV untuk sistem rumah tangga dan lingkungan. Meningkatkan konsumsi mandiri sistem PV skala kecil sangat penting karena hal ini akan meningkatkan profitabilitas ekonomi dan mengurangi kebutuhan interaksi jaringan listrik.

Pemanfaatan energi listrik baru terbarukan dapat dilakukan dengan mengkonversi langsung intensitas cahaya menjadi energi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik (PV). Sistem fotovoltaik dapat beroperasi secara optimal bila terdapat cukup cahaya untuk menghasilkan energi listrik. PV sendiri merupakan alat yang mengubah energi matahari berupa foton menjadi arus searah. Pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), komponen utama yang digunakan adalah panel surya (PV), inverter dan baterai. Namun PLTS tidak menghasilkan listrik secara terus menerus (off-capacity generation system) karena produksi listrik bergantung pada tingkat radiasi matahari yang terus berubah.

Energi yang dipancarkan oleh matahari disebut radiasi matahari. Radiasi matahari merambat dari matahari menuju permukaan bumi dalam bentuk pancaran gelombang radiasi melalui ruang hampa dengan jarak sekitar 1.5×10^{11} meter. Ketika mencapai atmosfer bumi, radiasi mengalami proses pembauran dengan adanya awan dan partikel-partikel lainnya. Setelah melewati atmosfer, radiasi matahari mencapai permukaan bumi dan laut, di mana mereka diserap dan dipantulkan. Proses penyerapan radiasi matahari oleh bumi inilah yang menyebabkan peningkatan suhu atau temperatur di permukaan bumi. Hal ini dicapai melalui desain yang memanfaatkan radiasi yang dipantulkan oleh permukaan di bawah panel, yang dikenal sebagai albedo.

Albedo yang merupakan ukuran reflektivitas suatu permukaan, memainkan peran penting dalam menentukan jumlah energi matahari yang dapat dimanfaatkan oleh sistem PLTS. Permukaan dengan albedo tinggi, seperti pasir putih atau salju, dapat

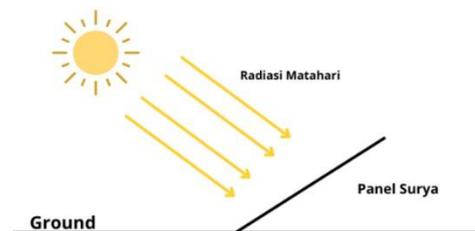
meningkatkan efisiensi PLTS bifacial dengan memantulkan lebih banyak cahaya ke sisi belakang panel. Sebaliknya, permukaan dengan albedo rendah, seperti aspal atau tanah, mungkin tidak memberikan peningkatan yang signifikan, penelitian ini dapat menggunakan metode decision making.

Decision making merupakan suatu proses pemilihan suatu tindakan sebagai upaya penyelesaian masalah yang ada. Adanya penelitian ini yang melalui Analisis Albedo Terhadap Radiasi Matahari Pada PLTS Bifacial Menggunakan Metode Decision Making di PT. INDONESIA POWER UBP GRATI. Penelitian ini dapat mewujudkan peningkatan kinerja pada PLTS Bifacial dan pengembangan terhadap PLTS Bifacial.

KAJIAN PUSTAKA

A. Energi Matahari

Matahari adalah sumber energi yang menghasilkan radiasi melalui proses fusi nuklir di inti matahari. Dalam proses ini, atom-atom hidrogen bergabung membentuk helium, dan sebagian massa hidrogen dikonversi menjadi energi. Dengan demikian, matahari berperan sebagai reaktor fusi nuklir raksasa yang memiliki masa kira-kira $4,5 \times 10^9$ tahun. Karena letaknya yang jauh dari Bumi, hanya sebagian kecil radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Radiasi matahari yang diterima diklasifikasikan menjadi beberapa jenis: radiasi langsung, radiasi hamburan, radiasi pantulan, dan radiasi total. Gambar 1 menunjukkan distribusi berbagai jenis radiasi matahari.



Gambar 1. Penyebaran Radiasi Matahari

Radiasi matahari yang mencapai atmosfer bumi bervariasi sesuai dengan jarak antara matahari dan bumi, berkisar antara $1,47 \times 10^8$ km hingga $1,52 \times 10^8$ km sepanjang tahun. Karena perubahan jarak ini, radiasi matahari bervariasi antara 1325 w/m^2 dan 1412 w/m^2 . intensitas radiasi matahari rata-rata ditetapkan sebesar 1367 w/m^2 . namun, karena pengaruh atmosfer, yang memantulkan, menyerap (melalui ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), dan menyebarkan (melalui molekul udara, partikel debu, dan polutan), nilai ini tidak mencapai seluruh permukaan bumi. sangat sedikit yang dapat dilakukan. pada siang hari, kondisi langit cerah, intensitas radiasi matahari di permukaan bumi dapat mencapai 1000 w/m^2 , tetapi nilai ini dipengaruhi oleh lokasi geografis.

B. Panel Surya Bifacial

Panel surya bifacial merupakan inovasi

teknologi yang memungkinkan penyerapan cahaya matahari dari kedua sisi, baik sisi depan maupun belakang, sehingga mampu meningkatkan efisiensi konversi energi. Dengan menggunakan bahan fotovoltaik yang ditempatkan pada lapisan transparan di kedua sisi, panel ini tidak hanya mengandalkan cahaya langsung dari matahari tetapi juga memanfaatkan cahaya yang dipantulkan dari permukaan di bawahnya, seperti tanah, pasir, salju, atau atap reflektif. Peningkatan produksi listrik yang dihasilkan bisa mencapai 10-30% lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya konvensional (monofacial), bergantung pada kondisi pemasangan dan reflektivitas permukaan. Panel surya bifacial biasanya dipasang pada struktur yang memungkinkan sisi belakang mendapatkan cahaya pantulan secara maksimal, menjadikannya ideal untuk penggunaan di area terbuka dengan permukaan reflektif tinggi atau ladang surya dengan rangka pelacak matahari untuk meningkatkan efisiensinya sepanjang hari.

C. Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya bifacial bekerja dengan prinsip penyerapan cahaya dari dua arah, yaitu dari sisi depan dan belakang panel. Sisi depan panel menyerap radiasi langsung dari matahari, sementara sisi belakang memanfaatkan radiasi pantulan yang berasal dari permukaan di bawah panel, seperti tanah, pasir, salju, atau permukaan reflektif lainnya. Proses konversi energi dimulai ketika foton dari sinar matahari atau pantulan mengenai lapisan semikonduktor di dalam sel fotovoltaik, seperti silikon. Foton tersebut mengeksitasi elektron di dalam semikonduktor, menciptakan pasangan elektron-lubang. Pasangan ini kemudian dipisahkan oleh medan listrik yang terbentuk di dalam sel, sehingga menghasilkan arus listrik yang bisa dialirkan sebagai energi listrik.

Efisiensi panel bifacial dapat meningkat secara signifikan dibandingkan dengan panel monofacial karena jumlah total radiasi yang diterima oleh kedua sisi lebih besar. Panel ini juga memanfaatkan efek reflektivitas permukaan di bawahnya, yang bervariasi tergantung pada jenis material permukaan dan kondisi lingkungan. Misalnya, permukaan putih atau berpasir dapat memantulkan lebih banyak cahaya ke sisi belakang panel dibandingkan dengan permukaan gelap atau kurang reflektif. Peningkatan efisiensi panel bifacial dapat mencapai 30%, terutama jika dipasang di lingkungan yang mendukung pantulan cahaya optimal dan menggunakan sistem pelacak matahari (solar tracker) yang menyesuaikan sudut panel sepanjang hari agar selalu menghadap posisi matahari yang terbaik. Selain itu, dalam kondisi cuaca yang tidak optimal, seperti berawan, panel bifacial masih dapat menghasilkan energi tambahan dari sisi belakang karena mampu memanfaatkan radiasi difus atau pantulan dari permukaan di bawahnya.

D. Jenis Panel Surya

Panel surya berfungsi mengonversi intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik, yang kemudian digunakan untuk mengisi daya baterai.

Panel ini terdiri dari sel photovoltaic yang menghasilkan listrik berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya. Ketika intensitas cahaya berkurang akibat kondisi cuaca seperti mendung, berawan, atau hujan, arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Untuk meningkatkan efisiensi konversi energi dari sinar matahari menjadi listrik, ukuran panel surya dapat diperbesar. Secara umum, panel surya dengan ukuran tertentu mampu menghasilkan daya listrik yang sebanding dengan ukurannya. Sebagai contoh, panel surya berukuran a cm x b cm mampu menghasilkan listrik arus searah (DC) sebesar x watt per jam. Berikut merupakan jenis panel surya :

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Panel surya ini termasuk salah satu yang paling efisien karena mampu menghasilkan daya listrik tinggi per satuan luas dengan tingkat efisiensi hingga 15%, sehingga memiliki kinerja yang optimal. Meskipun demikian, kelemahan utamanya terletak pada keterbatasan performa di lokasi yang kurang mendapatkan paparan sinar matahari langsung atau berada dalam kondisi teduh. Selain itu, stabilitas daya keluaran panel ini cenderung menurun secara signifikan saat cuaca berawan.

2. Polikristal (*Poly-crystalline*)

Panel surya polikristal memiliki struktur kristal yang tidak teratur, sehingga memengaruhi efisiensinya. Dibandingkan dengan panel monokristal, jenis polikristal memerlukan area permukaan yang lebih luas untuk menghasilkan daya listrik yang setara. Namun, keunggulan utama panel polikristal adalah kemampuannya untuk tetap menghasilkan listrik meskipun dalam kondisi cuaca berawan, menjadikannya pilihan yang lebih fleksibel untuk lokasi dengan intensitas sinar matahari yang bervariasi.

3. Film tipis (*Thin Film*)

Panel surya film tipis adalah teknologi fotovoltaik yang menggunakan lapisan semikonduktor sangat tipis untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Berbeda dengan panel surya berbasis silikon monokristalin dan polikristalin, yang menggunakan sel-sel silikon tebal, panel film tipis biasanya memanfaatkan bahan semikonduktor seperti CIGS (Copper Indium Gallium Selenide), CdTe (Cadmium Telluride), atau amorphous silicon. Teknologi ini memungkinkan desain yang lebih ringan dan fleksibel, sehingga cocok untuk aplikasi di berbagai permukaan.

E. Albedo

Nilai albedo merupakan nilai pantulan rata-rata atau reflektivitas. Nilai reflektivitas rendah pada

permukaan gelap (Albedo rendah) dan nilai reflektivitas tinggi pada permukaan terang (Albedo tinggi). Pada tabel 1 merupakan nilai albedo pada macam-macam jenis permukaan.

F. Metode Decision Making Analisis Hierarki Proses (AHP)

Analisis Hierarki Proses (AHP) merupakan metode yang dipakai buat memecahkan perkara kompleks, pada mana masih ada poly aspek yg perlu dipertimbangkan. Kompleksitas yang ditimbulkan struktur perkara yang jelas, ketidakpastian pada persepsi pengambil keputusan, dan keterbatasan atau bahkan ketiadaan data statistik yg akurat.

Metode AHP memudahkan menyelesaikan masalah kompleks dengan membangun hierarki yang didasarkan pada kriteria serta tujuan yang ingin dicapai.. Proses ini melibatkan pertimbangan berbagai faktor untuk menentukan bobot atau prioritas, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih terstruktur dan sistematis.

1. Prinsip Kerja AHP

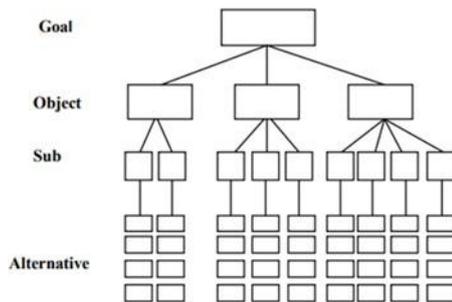
Prinsip kerja AHP yaitu menyederhanakan persoalan yang kompleks, tidak terstruktur, dan dinamis menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana, kemudian menyusunnya dalam sebuah hierarki. Setelah itu, tingkat kepentingan masing-masing variabel dibandingkan dan diberi nilai relatif terhadap variabel lainnya. Berdasarkan perbandingan dan pertimbangan tersebut, dilakukan sintesis untuk menentukan variabel yang mempunyai prioritas tinggi, yang selanjutnya memiliki peran dalam mempengaruhi hasil dalam sistem yang dianalisis.

2. Prinsip dasar AHP

Pada dasarnya langkah-langkah pada metode AHP sebagai berikut :

a. Membuat hierarki

Masalah yang melibatkan berbagai kriteria dan alternatif disederhanakan dengan memecahnya menjadi elemen-elemen yang lebih kecil, kemudian diorganisasi dalam bentuk struktur hierarki seperti Gambar 2.



Gambar 2. Membuat Hierarki

b. Penilaian Perbandingan Berpasangan

Penilaian perbandingan berpasangan jika suatu elemen dalam matriks dibandingkan dengan dirinya sendiri, hasil perbandingannya diberi nilai 1. Skala 9

telah terbukti valid dan mampu menggambarkan perbedaan intensitas antar elemen. Hasil perbandingan ini kemudian dimasukkan ke dalam sel yang sesuai dengan elemen terkait, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 skala berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua Elemen Sama Pentingnya
3	Elemen Yang Satu Sedikit Lebih Penting D daripada Elemen Yang Lainnya
5	Elemen Yang Satu Lebih Penting D daripada Elemen Yang Lainnya
7	Elemen Yang Satu Jelas Lebih Mutlak Penting D daripada Elemen Yang Lainnya
9	Satu Elemen Mutlak Penting D daripada Elemen Lainnya
2,4,6,8	Nilai-Nilai Antara Dua Nilai Pertimbangan- Pertimbangan Yang Berdekatan

METODE

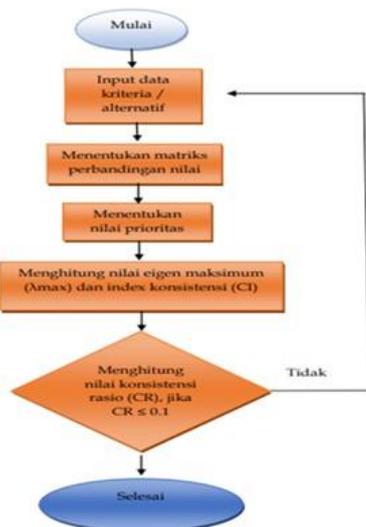
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yang menekankan pada pengumpulan dan analisis data numerik untuk menjawab pertanyaan penelitian, menghasilkan data yang dapat diukur secara objektif untuk menarik kesimpulan berdasarkan bukti eksperimen. Penelitian ini menggunakan pengambilan keputusan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk mengambil keputusan albedo terbaik..

Rancangan penelitian adalah tahapan awal dalam pelaksanaan penelitian yang bertujuan merencanakan, menyusun, dan mengarahkan jalannya penelitian. Hal ini membantu peneliti memahami secara rinci cara mengumpulkan data, melakukan analisis, dan menyusun kesimpulan pada Gambar 3. Adapun rancangan penelitian mengenai metode *decision making*.

Teknik pengumpulan data menggunakan metode *decision making* Analisis hierarki Proses

1. Input data tahapan awal pada alur metode *decision making* menginput data kriteria dan alternatif
2. Menentukan matriks perbandingan nilai setelah data diinput kriteria dan alternatif.
3. Menentukan nilai prioritas setelah melakukan matriks perbandingan.

4. Menghitung nilai eigen maksimum dan indeks konsistensi setelah menentukan prioritas
5. Menghitung nilai konsistensi rasio (CR), jika CR melebihi $\geq 0,1$ maka melakukan pengulangan pengulangan dari input data.
6. Selesai.



Gambar 3 Teknik Alur Penelitian Decision Making

HASIL DAN PEMBAHASAN

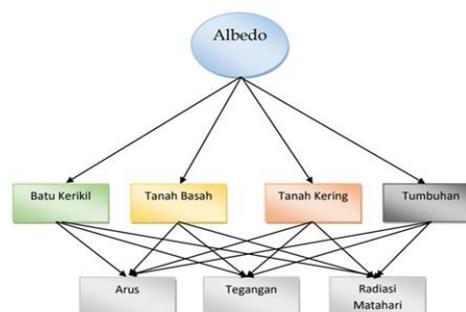
A. Tahap Analisis Hierarki Proses (AHP)

Membuat struktur hierarki yang dimulai dengan tujuan keseluruhan, diikuti dengan kriteria dan alternatif yang pilihan yang ingin dirangking.

1. Menyusun struktur hierarki dimulai dengan penetapan tujuan utama, dilanjutkan dengan identifikasi kriteria yang relevan, dan diakhiri dengan alternatif-alternatif pilihan yang akan dievaluasi dan diprioritaskan.
2. Menyusun matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap tujuan atau kriteria yang ada di tingkat lebih tinggi. Perbandingan dilakukan berdasarkan penilaian atau keputusan dari pengambil keputusan melalui cara dengan membandingkan elemen satu terhadap elemen lainnya menggunakan skala yang ditetapkan oleh Saaty.
3. Konsistensi logis adalah aspek penting dalam AHP. Konsistensi dalam konteks ini mencakup dua aspek utama: pertama, kemampuan untuk mengelompokkan objek-objek serupa berdasarkan kesamaan dan relevansi; kedua, pemahaman terhadap hubungan antar objek yang ditentukan oleh kriteria tertentu.

B. Prinsip dasar analisis hierarki proses (AHP)

1. Membuat hierarki



Gambar 4. Struktur hirarki

1. Penilaian kriteria dan alternatif

Penilaian perbandingan berpasangan tujuannya untuk mendapatkan nilai terbaik pada skala 1 sampai 9 dalam perbandingan berpasangan kriteria dan alternatif pada Tabel. 2 terdapat skala

Tabel 2. Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua Elemen Sama Pentingnya
3	Elemen Yang Satu Sedikit Lebih Penting Daripada Elemen Yang Lainnya
5	Elemen Yang Satu Lebih Penting Daripada Elemen Yang Lainnya
7	Elemen Yang Satu Jelas Lebih Mutlak Penting Daripada Elemen Yang Lainnya
9	Satu Elemen Mutlak Penting Daripada Elemen Lainnya
2,4,6,8	Nilai-Nilai Antara Dua Nilai Pertimbangan- Pertimbangan Yang Berdekatan

2. Tingkat konsistensi

Tingkat konsistensi dalam model pengambilan keputusan berfungsi untuk menetapkan skala prioritas demi mendapatkan nilai optimal, dengan syarat bahwa nilai CR tidak boleh lebih dari 0,1 (atau 10%). Nilai acak konsistensi (RI) digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi tingkat konsistensi pada perbandingan berpasangan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Keterangan Konsistensi Indeks

Ukuran Matriks	Konsistensi Indeks
1.2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41

Keterangan kriteria pada jenis albedo pada Tabel di bawah:

Tabel 4. Keterangan Kriteria

Batu Kerikil	C1
Tumbuhan	C2
Tanah Kering	C3
Tanah Basah	C4

Berdasarkan Tabel. 4 merupakan data tingkat kepentingan setiap bobot kriteria, dimana kriteria albedo sangat penting untuk menentukan jenis albedo terbaik pada plts bifacial

Keterangan Alternatif pada tabel di bawah:

Tabel 5. Keterangan Alternatif

Arus	A
Tegangan	B
Radiasi Matahari	C

C. Perhitungan Matriks Pembobotan hierarki untuk Pemilihan Jenis Albedo

Penetapan prioritas elemen dilakukan melalui perbandingan berpasangan berdasarkan tingkat kepentingan relatif di antara elemen-elemen tersebut. Hasil perbandingan ini kemudian diorganisasikan dalam bentuk matriks menggunakan skala penilaian yang sesuai untuk perbandingan pasangan.

1. Perhitungan Matriks Perbandingan Kriteria.

Pada Tabel 6. menunjukkan perhitungan penjumlahan matriks.

Tabel 6. Perhitungan Penjumlahan Matriks

Kriteria	C1	C2	C3	C4
C1	1	3	3	3
C2	0.33	1	3	3
C3	0.33	0.33	1	2
C4	0.33	0.33	0.5	1
Jumlah	1.99	4.66	5.5	9

2. Setiap elemen dalam kolom dibagi dengan total nilai pada kolom yang bersangkutan, dan hasilnya disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan Matriks Pembagian Elemen dengan Jumlah perkolom

Kriteria	C1	C2	C3	C4
C1	0.50	0.64	0.54	0.33
C2	0.16	0.21	0.54	0.33
C3	0.16	0.07	0.18	0.22
C4	0.16	0.07	0.09	0.11

3. Hitung total dari masing-masing baris, lalu bagi hasilnya dengan jumlah elemen (n=4) untuk memperoleh nilai prioritas masing-masing kriteria. Kriteria Batu Kerikil memiliki prioritas tertinggi, diikuti oleh tumbuhan, tanah kering, dan tanah basah. Detail hasilnya disajikan pada Tabel 8..

Tabel 8. Perhitungan Prioritas

Kriteria	C1	C2	C3	C4	Σ Baris	Prioritas
C1	0.50	0.64	0.54	0.33	2.01	0.50
C2	0.16	0.21	0.54	0.33	1.24	0.31
C3	0.16	0.07	0.18	0.22	0.63	0.15
C4	0.16	0.07	0.09	0.11	0.43	0.10

4. Menyusun Matriks Penjumlahan Setiap Baris dilakukan setelah menentukan nilai prioritas untuk masing-masing kriteria. Selanjutnya, nilai konsistensi rasio dihitung dengan mengalikan elemen-elemen dalam matriks dengan nilai prioritas yang sesuai.. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 9. nilai konsistensi.

Tabel 9. Nilai Konsistensi

Kriteria	C1	C2	C3	C4	Σ Baris
C1	0.50	0.93	0.45	0.3	2.18
C2	0.165	0.31	0.45	0.3	1.22
C3	0.165	0.102	0.15	0.2	0.61
C4	0.165	0.102	0.07	0.10	0.43

5. Masing-masing elemen pada kolom dibagi dengan total nilai pada kolom tersebut, dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 7. Selanjutnya, total setiap baris yang sudah dibagi dengan prioritas masing-masing dihitung, lalu hasil penjumlahan ini dibagi dengan jumlah elemen (n=4)..

$$\text{Rumus} = \frac{\sum \text{baris}}{n} \dots\dots\dots (1)$$

dalam memperoleh λmaks. Setelah itu dihitung indeks konsistensi (CI) dan rasio konsistensi (CR).

$$C1 = 2.18/0.50 = 4.36$$

$$C2 = 1.22/0.31 = 3.93$$

$$C3 = 0.61/0.15 = 4.06$$

$$C4 = 0.43/0.10 = 4.3$$

$$\text{Total} = 16.65$$

$$\lambda_{maks} = \text{Total}/n \dots\dots\dots (2)$$

$$\lambda_{maks} = 16.65 / 4 = 4.1625$$

$$\text{Consistency Indeks } CI = \frac{\lambda_{\text{maks}} - n}{n-1} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

CI = indeks konsistensi

λ_{maks} = nilai eigen terbesar dari matriks

n = Jumlah Kriteria

$$CI = (4.1625 - 4) / 3$$

Untuk n = 4, Random Consistency-nya adalah 0.90

$$CR = CI/RC \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

CR = rasio konsistensi

RC = random konsistensi

CI = indeks konsistensi

$$CR = 0.054 / 0.90$$

$$= 0.06$$

$$= 0,054$$

Karena $CR \leq 0,1$, maka rasio konsistensi dari perhitungan tersebut dapat diterima..

Pada Gambar 5. Hasil akhir grafik albedo menunjukkan lebih dominan batu kerikil setelah itu dilanjutkan tumbuhan, tanah kering dan tanah basah.



Gambar 5. Hasil Akhir Grafik Albedo

PENUTUP

A. Simpulan

Panel surya bifacial mampu memanfaatkan pantulan sinar matahari dari permukaan di bawahnya, sehingga pemilihan material dengan nilai albedo tinggi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian ini menunjukkan bahwa albedo permukaan sangat memengaruhi kinerja panel surya bifacial. Permukaan dengan albedo tinggi, seperti batu kerikil, meningkatkan efisiensi penyerapan radiasi matahari dibandingkan permukaan dengan albedo rendah, seperti tanah basah. Dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), batu kerikil terbukti menjadi pilihan terbaik untuk optimalisasi energi di PT. Indonesia Power UBP Grati.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengeksplorasi jenis permukaan lain yang memiliki albedo tinggi, termasuk material yang lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rozak, O., Tri Mulyadi, R., & Nurfadilah, H. (2023). Analysis The Effect of Solar Radiation on The Efficiency of PV Plant 50 kWp Rooftop UNPAM Viktor. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 6(02), 63–76. <https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6.no02.12181>
- Abdullah, F., Paillin, D. B., Camerling, B. J., & Tupan, J. M. (2022). Analisis Pemilihan Supplier Menggunakan Analytical Hierarchy Process (Ahp). *ALE Proceeding*, 5, 85–91. <https://doi.org/10.30598/ale.5.2022.85-91>
- Alam, M., Gul, M. S., & Muneer, T. (2023). Performance analysis and comparison between bifacial and monofacial solar photovoltaic at various ground albedo conditions. *Renewable Energy Focus*, 44, 295–316. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.01.005>
- Alamsyah, T., Terapan, M., Eletro, T., Negeri Jakarta, P., & Siwabessy, J. (n.d.). Optimasi PLTS Terhadap Listrik Penerangan Menggunakan Beban DC. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro* (Vol. 5, Issue 2020).
- Amalia, R., & Firmadani, C. (2022). Teknik Pengambilan Keputusan. *Teknik Pengambilan Keputusan*, 1–108.
- Aminulloh, H. R., & Kartini, U. T. (2020). Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Decomposition Feed Forward *Jurnal Teknik Elektro*, 09(03), 649–657. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/39262>.
- Danisworo, Yoegiantoro, D., & Thamrin, S. (2022). Pemanfaatan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLts) Di Lantamal Iii Jakarta Mendukung Pertahanan Negara Utilization of the Potential of Solar Power Plant (PLts) At Lantamal Iii Jakarta Supports State Defense. *Ketahanan Energi*, 8(2), 1–16. <https://jurnalprodi.idu.ac.id/index.php/KE/article/view/4463>.
- Fahmi, J., Windarta, J., & Wardaya, A. Y. (2021). Studi Awal Penerapan Distributed Generation untuk Optimalisasi PLTS Atap On Grid pada Pelanggan PLN Sistem Jawa Bali untuk Memenuhi Target EBT Nasional. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.10038>.
- Garrod, A., & Ghosh, A. (2023). A review of bifacial solar photovoltaic applications. *Frontiers in Energy*, 17(6), 704–726. <https://doi.org/10.1007/s11708-023-0903-7>.
- Gostein, M., Marion, B., & Stueve, B. (2020). Spectral Effects in Albedo and Rearsides Irradiance Measurement for Bifacial Performance Estimation. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2020-June(June), 0515–0519. <https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300518>.
- Gu, W., Ma, T., Ahmed, S., Zhang, Y., & Peng, J. (2020). A comprehensive review and outlook of bifacial photovoltaic (bPV) technology. *Energy Conversion and Management*, 223(August), 113283. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113283>.
- Guo, S., & Qi, Z. (2021). A Fuzzy Best-Worst Multi-Criteria Group Decision-Making Method. *IEEE Access*, 9, 118941–118952. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3106296>.

Li, Z., Zhao, Y., Luo, Y., Yang, L., Li, P., Jin, X., Jiang, J., Liu, R., & Gao, X. (2022). A comparative study on the surface radiation characteristics of photovoltaic power plant in the Gobi desert. *Renewable Energy*, 182(January), 764–771.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.054>.

Marion, B. (2020). Albedo Data Sets for Bifacial PV Systems. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2020-June, 0485–0489.

<https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300470>.

Mhaske, S., Rajesh Kumar, C. J., Lenze, A., Brahma, J., Wadgaonkar, A., Kanneganti, V., Kumar, V. D., & Majid,

M. A. (2021). Assessment of Optimum Installation and Power Injection Parameters for a Bifacial Rooftop System. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(2), 737–749.

<https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i2.11877.g8195>.

Pratama, R. J. (2023). Dampak Optimasi Pemanfaatan Plts Terhadap Ketahanan Energi Satuan Di Kodam Xii/Tpr. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 29(1), 1.

<https://doi.org/10.22146/jkn.80314>.

Pratiwi, H. (2020). Metode Analytical Hierarchy Process. *Research Gate*, May, 1–33.

<https://www.researchgate.net/publication/341767794>.

Rezky Ramadhana, R., Iqbal, M. M., Hafid, A., & Teknik Elektro, J. (2022). ANALISIS PLTS ON GRID. 14(1).

Romadhon, H., & Budiyanto, B. (2020). Pemanfaatan Intensitas Radiasi Cahaya Lampu dengan Reflektor Panel Surya sebagai Energi Harvesting. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 3(2),

45. <https://doi.org/10.24853/resistor.3.2.45-56>

Yundra, E., Kartini, U. T., Wardani, L. I., & Ardianto, D. (2020). Hybrid model combined fuzzy multi-objective decision making with feed forward neural network (F-MODM- FFNN) for very short-term load forecasting based on weather data. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(4), 182–195.

<https://doi.org/10.22266/IJIES2020.0831.16>

Zumrotun Khoiroh, S., & Winardi dan Karnoto, B. (n.d.). OPTIMASI PERENCANAAN PLTS ON GRID SYSTEM DI GOR JATIDIRI SEMARANG MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER (Vol. 8, Issue 4).