

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ALBEDO WARNA PERMUKAAN TERHADAP DAYA DIHASILKAN PANEL SURYA BIFASIAL

Afra Laska Eltitan Wurangian¹, Ayong Hiendro², Kho Hie Khwee³

d1021221086@student.untan.ac.id¹, ayong.hiendro@ee.untan.ac.id²,

khohiekhwee@untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi nasional mendorong pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Panel surya bifasial menawarkan keunggulan dengan memanfaatkan radiasi dari sisi depan dan belakang. Albedo permukaan menjadi faktor penting untuk memantulkan radiasi menuju sisi belakang panel. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi albedo permukaan, biru, hijau, dan putih, terhadap daya dan energi yang dihasilkan panel surya bifasial. Metode eksperimen dilakukan melalui pengukuran tegangan dan arus setiap 10 menit selama 10 jam menggunakan panel surya bifasial berkapasitas 40 Wp yang dipasangkan dengan media pantul berwarna biru, hijau, dan putih. Daya dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus, sedangkan energi diperoleh dari akumulasi daya terhadap waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi nilai albedo berdampak signifikan terhadap keluaran panel. Permukaan putih menghasilkan total energi tertinggi sebesar 109,4 Wh, disusul hijau sebesar 102,5 Wh, dan biru sebesar 100,2 Wh. Temuan ini menegaskan bahwa semakin tinggi nilai albedo permukaan, maka semakin besar peningkatan daya dan energi panel surya bifasial, sehingga pemilihan warna permukaan menjadi strategi penting dalam optimasi sistem.

Kata Kunci: Albedo, Panel Surya Bifasial, Radiasi Pantul, Daya Keluaran, Energi Surya.

PENDAHULUAN

Energi telah menjadi kebutuhan utama masyarakat di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan energi nasional terus mengalami peningkatan. Energi berperan penting sebagai penopang berbagai sektor kehidupan, seperti pertanian, pendidikan, kesehatan, transportasi, dan ekonomi. Namun, hingga saat ini Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi tidak terbarukan, khususnya bahan bakar minyak yang berasal dari fosil. Disisi lain ketersediaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik juga semakin menipis, sehingga pemanfaatan sumber energi alternatif perlu segera dilakukan [1].

Energi surya merupakan salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan karena ketersediaannya melimpah serta tingkat pencemaran yang lebih rendah dibandingkan pembangkit listrik yang bersumber dari energi fosil [2]. Pemerintah Indonesia juga telah menetapkan energi surya sebagai bagian dari program nasional penyediaan energi baru terbarukan. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar karena letak geografisnya yang berada di garis khatulistiwa, sehingga menerima intensitas radiasi matahari yang relatif stabil sepanjang tahun [3].

Pemanfaatan panel surya sebagai teknologi konversi energi matahari menjadi energi listrik semakin luas karena kemudahan instalasi dan efisiensinya. Namun demikian, performa panel surya di Indonesia masih menghadapi kendala. Kondisi cuaca yang sering berawan, curah hujan yang tinggi, serta suhu lingkungan yang relatif panas menyebabkan efisiensi panel surya menurun [4].

Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi adalah dengan menggunakan panel surya bifasial. Teknologi ini mampu menyerap radiasi matahari dari

sisi depan dan sisi belakang, termasuk radiasi yang dipantulkan oleh permukaan di bawah panel. Dengan demikian, panel surya bifasial dapat menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan panel surya monofasial pada konfigurasi pemasangan yang sama.

Selain efisiensi, keterbatasan lahan untuk pemasangan panel surya juga menjadi tantangan, terutama di kawasan perkotaan. Panel surya bifasial menawarkan solusi karena mampu meningkatkan output daya tanpa memerlukan area instalasi tambahan. Kinerja panel ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik permukaan di bawah modul, khususnya kemampuan reflektif permukaan tersebut. Dengan nilai albedo tinggi, daya keluaran panel surya bifasial dapat dioptimalkan secara signifikan.

Albedo adalah ukuran kemampuan suatu permukaan untuk memantulkan radiasi matahari yang mengenainya. Albedo merupakan parameter penting yang secara langsung memengaruhi bifasial gain atau tambahan energi yang dihasilkan panel surya bifasial dibandingkan panel monofasial. Peningkatan albedo permukaan bawah akan meningkatkan radiasi yang diterima sisi belakang dan berkontribusi pada peningkatan total daya keluaran [5].

Namun, kajian eksperimental mengenai pengaruh variasi albedo khususnya warna permukaan terhadap kinerja panel surya bifasial masih relatif terbatas. Di sisi lain, aspek ini sangat penting dalam menentukan strategi desain instalasi yang lebih optimal untuk memperoleh keluaran daya maksimum, khususnya pada lokasi dengan keterbatasan ruang.

Penelitian ini dirancang dengan skenario pengujian menggunakan tiga jenis warna permukaan, yaitu biru, hijau, dan putih, yang masing-masing merepresentasikan kondisi alami tertentu. Warna biru dipilih karena merepresentasikan karakteristik permukaan air, warna hijau merepresentasikan vegetasi seperti rumput, sedangkan warna putih merepresentasikan kondisi permukaan seperti salju. Variasi warna ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh albedo permukaan terhadap daya keluaran panel surya bifasial.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji secara eksperimental pengaruh variasi warna permukaan terhadap daya keluaran panel surya bifasial. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi pemanfaatan energi surya yang lebih efektif serta menjadi referensi bagi perancangan sistem panel surya bifasial di masa mendatang..

METODOLOGI

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektroteknika Dasar (Lab Eldas), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang ditunjukkan pada Gambar Lokasi beralamat di Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Bansir Laut, Kecamatan Pontianak Tenggara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat 78124



Gambar Lab Elektroteknika Dasar

2. Studi Literatur

Mencari teori-teori yang dibutuhkan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini yang berasal dari buku, jurnal, dokumen, dan skripsi berkaitan dengan energi surya, modul surya bifasial, albedo permukaan setra penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang sedang diteliti.

3. Observasi Lapangan

Melakukan pengamatan langsung pada objek penelitian yang menggunakan panel surya dengan skala kecil. Observasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi nyata dan pengaruh warna permukaan terhadap output daya panel surya bifasial.

4. Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung tegangan (V) dan arus (I), serta menghitung daya keluaran pada tiga kondisi warna permukaan pantul yang berbeda.

5. Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan akan diperoleh melalui analisis perbandingan antara ketiga skenario yang dilakukan, yaitu antara permukaan pantul berwarna biru, hijau, dan putih yang diposisikan dibawah panel surya bifasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Albedo Permukaan Biru Terhadap Daya Yang Dihasilkan Panel Surya Bifasial

Bagian ini akan membahas tentang seberapa besar pengaruh albedo permukaan biru terhadap daya yang dihasilkan panel surya bifasial. Pengukuran yang dilakukan pada albedo permukaan biru ini dimulai pada pukul 07.00 hingga 17.00 WIB dengan interval pengukuran dilakukan setiap 10 menit, dengan meletakkan modul panel surya bifasial pada frame dengan ketinggian kurang lebih satu meter diatas albedo permukaan biru. Kemudian modul panel surya diberikan beban sebesar 27 ohm guna mengetahui arus yang dihasilkan panel pada kondisi tersebut, dan dipasang juga alat ukur arus dan tegangan yang telah disiapkan, setelah semua komponen dirakit dan sesuai pada posisinya maka pengukuran dapat dilaksanakan sesuai prosedur.

Data hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh tercatat dan disajikan pada Tabel 4.1. yang dapat menjadi gambaran performa panel surya bifasial pada albedo permukaan biru.

Tabel 4.1. Data Kinerja Panel Surya Bifasial Pada Albedo Permukaan Biru.

Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
07:00	14	0,51	7,14	12:10	17,9	0,68	12,17
07:10	14	0,51	7,14	12:20	17,5	0,65	11,38
07:20	14,3	0,52	7,44	12:30	17,9	0,68	12,17
07:30	14,3	0,52	7,44	12:40	17,4	0,65	11,31
07:40	15	0,55	8,25	12:50	17,5	0,63	11,03
07:50	15	0,55	8,25	13:00	17,8	0,66	11,75
08:00	15,5	0,57	8,84	13:10	17,4	0,62	10,79
08:10	16	0,59	9,44	13:20	17	0,6	10,2
08:20	16	0,59	9,44	13:30	17,9	0,66	11,81
08:30	16,2	0,62	10,04	13:40	17,9	0,66	11,81

08:40	16,6	0,62	10,29	13:50	17,5	0,64	11,2
08:50	16,7	0,62	10,35	14:00	17,5	0,62	10,85
09:00	16,2	0,62	10,04	14:10	17,5	0,6	10,5
09:10	16,6	0,62	10,29	14:20	17,1	0,65	11,12
09:20	16,6	0,62	10,29	14:30	17,2	0,64	11,01
09:30	16,7	0,62	10,35	14:40	17	0,63	10,71
09:40	16,8	0,62	10,42	14:50	16,6	0,61	10,13
09:50	16,9	0,65	10,99	15:00	17	0,63	10,71
10:00	17	0,65	11,05	15:10	16,2	0,6	9,72
10:10	17	0,65	11,05	15:20	16,5	0,61	10,07
10:20	17	0,62	10,54	15:30	16	0,59	9,44
10:30	11	0,4	4,4	15:40	16	0,59	9,44
10:40	17,9	0,68	12,17	15:50	16,2	0,6	9,72
10:50	17,9	0,68	12,17	16:00	15,7	0,58	9,11
11:00	17,5	0,65	11,38	16:10	15,6	0,58	9,05
11:10	17	0,6	10,2	16:20	15,4	0,57	8,78
11:20	17,3	0,65	11,25	16:30	15,5	0,57	8,84
11:30	17	0,6	10,2	16:40	15	0,56	8,4
11:40	17,5	0,62	10,85	16:50	14,2	0,53	7,53
11:50	17,5	0,6	10,5	17:00	14	0,5	7
12:00	17,1	0,65	11,12	Daya rata-rata 10,02 Watt			

Dari data hasil pengukuran yang telah terkumpul, performa terendah terjadi pada pukul 10.30, dengan nilai tegangan yang terbaca sebesar 11 Volt dan arus yang terbaca sebesar 0,4 Ampere, sehingga hanya mampu menghasilkan daya sebesar 4,4 Watt. Sedangkan untuk puncak performa didapatkan pada pukul 10.40-10.50 WIB, 12.10 dan 12.30 WIB, pada titik itu panel surya dengan albedo biru mampu mencatatkan tegangan sebesar 17,9 Volt dan mencatatkan arus sebesar 0,68 Ampere, sehingga mampu menghasilkan daya sebesar 12,17 Watt. Panel surya tersebut mampu menghasilkan daya rata rata 10,02 Watt dalam rentang waktu 10 jam pengukuran, sehingga menghasilkan energi sebesar 100,2 Wh.

Tren perubahan daya harian memperlihatkan kurva meningkat di siang hari dan perlahan menurun menjelang sore hari. Ketika pagi hari, daya yang dihasilkan masih rendah akibat dari intensitas radiasi matahari yang belum berada pada titik optimal. Di siang hari, intensitas sinar matahari yang mencapai permukaan bumi berada pada puncaknya yang membuat daya yang dihasilkan bertambah sejalan dengan kondisi tersebut. Sementara di sore hari, penurunan daya terjadi karena berkurangnya radiasi langsung dan meningkatnya pengaruh hamburan atmosfer. Sementara itu sempat terjadi penurunan daya secara signifikan pada pukul 10.30, hal tersebut disebabkan oleh tutupan awan tebal dilokasi penelitian.

Peran albedo dari permukaan berwarna biru terlihat jelas pada konsistensi nilai daya saat siang. Permukaan biru memiliki kemampuan reflektansi yang cukup untuk memantulkan sebagian radiasi matahari kembali ke sisi belakang panel. Karakteristik ini berperan dalam mengoptimalkan performa panel sehingga daya yang dihasilkan oleh panel

bifasial jauh lebih tinggi daripada panel monofasial dalam kondisi yang sama. Temuan ini mendukung argumen bahwa albedo dari permukaan memainkan peran krusial dalam meningkatkan total energi harian.

Secara umum, hasil pengukuran mengindikasikan bahwa pemanfaatan permukaan dengan albedo biru memberikan dampak positif terhadap peningkatan energi harian panel bifasial. Dengan total energi mencapai 100,2 Wh, panel menunjukkan kinerja yang stabil dan optimal, khususnya selama periode radiasi puncak. Temuan ini membangun dasar penelitian bahwa pemilihan jenis material atau warna pada permukaan bawah dapat menjadi salah satu elemen desain strategis dalam instalasi panel surya bifasial, terutama di lokasi yang memiliki reflektansi alami terbatas.

2. Pengaruh Albedo Permukaan Hijau Terhadap Daya Yang Dihasilkan Panel Surya Bifasial

Setelah sebelumnya dilakukan pembahasan tentang pengaruh albedo permukaan biru terhadap kinerja panel surya bifasial, selanjutnya pada bagian ini akan dibahas tentang penggunaan albedo permukaan berwarna hijau pada panel surya bifasial dengan harapan dapat mengoptimalkan kinerja panel.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara, kondisi dan waktu pengukuran yang sama seperti pembahasan sebelumnya yaitu pada setiap 10 menit dari pukul 07.00 WIB sampai 17.00 WIB. dengan meletakan modul panel surya bifasial pada frame dengan ketinggian kurang lebih satu meter diatas albedo permukaan hijau. Kemudian modul panel surya diberikan beban sebesar 27 ohm guna mengetahui arus yang dihasilkan panel pada kondisi tersebut, selain itu dipasang juga alat ukur arus dan tegangan yang telah disiapkan, setelah semua komponen dirakit dan sesuai pada posisinya maka pengukuran dapat dilaksanakan sesuai prosedur.

Data hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh tercatat dan disajikan pada Tabel 4.2. yang dapat menjadi gambaran performa panel surya bifasial pada albedo permukaan hijau.

Tabel 4.2. Data Kinerja Panel Surya Bifasial Pada Albedo Permukaan Hijau.

Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
07:00	14,2	0,52	7,38	12:10	18	0,68	12,24
07:10	14,3	0,52	7,44	12:20	17,5	0,65	11,38
07:20	14,5	0,53	7,69	12:30	18	0,68	12,24
07:30	14,5	0,53	7,69	12:40	17,5	0,65	11,38
07:40	15	0,55	8,25	12:50	17,8	0,67	11,93
07:50	15,2	0,56	8,51	13:00	17,8	0,68	12,1
08:00	15,7	0,58	9,11	13:10	17,6	0,65	11,44
08:10	16,3	0,6	9,78	13:20	17,2	0,65	11,18
08:20	16,5	0,6	9,9	13:30	18	0,66	11,88
08:30	16,7	0,62	10,35	13:40	18	0,66	11,88
08:40	16,6	0,62	10,29	13:50	17,5	0,64	11,2
08:50	16,8	0,62	10,42	14:00	17,5	0,65	11,38
09:00	16,7	0,62	10,35	14:10	17,5	0,65	11,38
09:10	16,6	0,62	10,29	14:20	17,4	0,65	11,31

09:20	16,6	0,62	10,29	14:30	17,34	0,64	11,1
09:30	16,8	0,62	10,42	14:40	17,14	0,63	10,8
09:40	16,9	0,62	10,48	14:50	16,74	0,62	10,38
09:50	17	0,65	11,05	15:00	17,14	0,63	10,8
10:00	17	0,65	11,05	15:10	16,4	0,61	10
10:10	17,1	0,65	11,12	15:20	16,7	0,62	10,35
10:20	17,1	0,62	10,6	15:30	16,2	0,6	9,72
10:30	11,4	0,42	4,79	15:40	16,2	0,6	9,72
10:40	18	0,68	12,24	15:50	16,4	0,61	10
10:50	18	0,68	12,24	16:00	15,8	0,59	9,32
11:00	17,5	0,65	11,38	16:10	15,7	0,58	9,11
11:10	17	0,62	10,54	16:20	15,5	0,57	8,84
11:20	17,4	0,65	11,31	16:30	15,6	0,58	9,05
11:30	17,1	0,62	10,6	16:40	15,1	0,56	8,46
11:40	17,5	0,65	11,38	16:50	14,35	0,53	7,61
11:50	17,5	0,65	11,38	17:00	14,15	0,52	7,36
12:00	17,4	0,65	11,31	Daya rata-rata 10,25 Watt			

Dari data hasil pengukuran yang telah disajikan pada Tabel 4.2, kemampuan terendah panel bifasial dengan albedo permukaan hijau berada pada pukul 10.30, dengan nilai tegangan yang terbaca sebesar 11,4 Volt dan arus yang terbaca sebesar 0,42 Ampere, hanya mampu menghasilkan daya sebesar 4,79 Watt. Sedangkan untuk puncak performa kurang lebih sama seperti pada albedo biru yaitu pada pukul 10.40-10.50 WIB, 12.10 dan 12.30 WIB, pada titik tersebut panel surya dengan albedo hijau mampu mencatatkan tegangan sebesar 18 Volt dan mencatatkan arus sebesar 0,68 Ampere, sehingga mampu menghasilkan daya sebesar 12,24 Watt. Untuk daya rata-rata selama pengukuran sebesar 10,25 Watt, Setelah dikalkulasikan panel surya tersebut mampu menghasilkan energi sebesar 102,5 Wh dalam rentang waktu 10 jam pengukuran.

Fluktuasi daya yang dihasilkan panel surya bifasial pada albedo permukaan hijau menunjukkan tren yang identik dengan panel pada albedo biru, dimana pada awal pengukuran daya yang dihasilkan cukup kecil hanya berada pada kisaran 7 Watt dan perlahan menanjak seiring sinar matahari yang semakin terik dan mencapai puncaknya disekitar pukul 11 WIB sampai pukul 14 WIB, lalu perlahan menurun seiring matahari terbenam. Sementara itu sempat terjadi penurunan daya secara signifikan pada pukul 10.30, hal tersebut disebabkan oleh tutupan awan tebal dilokasi penelitian. Meski identik total energi yang dihasilkan sedikit berbeda dimana pada albedo permukaan hijau mampu menghasilkan lebih kurang 102,5 Wh, sedangkan untuk albedo biru hanya mampu menghasilkan energi total sebesar 100,2 Wh. Dimana selisihnya sekitar 2,3%.

Secara garis besar albedo hijau mampu menghasilkan nilai albedo yang cukup besar dan mampu mengoptimalkan kinerja panel surya bifasial, terbukti dengan daya dan energi yang dihasilkan dimasing masing interval titik pengukuran albedo hijau sedikit lebih unggul dibandingkan albedo biru. Sedangkan untuk energi total yang dapat dihasilkan dalam satu hari albedo hijau juga mengungguli albedo biru sebesar kurang lebih dua persen. Menegaskan bahwa albedo hijau mampu memantulkan radiasi matahari secara lebih optimal untuk meningkatkan kinerja sistem panel surya bifasial.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan mengindikasikan bahwa panel surya bifasial yang dipasang pada permukaan dengan albedo hijau mampu menghasilkan energi yang cukup besar bahkan dua persen lebih unggul dari albedo permukaan biru, dengan kinerja yang stabil, terutama saat radiasi mencapai puncaknya. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat reflektansi yang dihasilkan cukup signifikan untuk meningkatkan efisiensi sisi belakang panel bifasial. Hasil penelitian ini mendasari bahwa permukaan berwarna hijau bisa menjadi pilihan yang baik untuk meningkatkan kinerja panel surya bifasial.

3. Pengaruh Albedo Permukaan Putih Terhadap Daya Yang Dihasilkan Panel Surya Bifasial

Setelah sebelumnya dilakukan pembahasan tentang pengaruh albedo permukaan biru dan hijau terhadap kinerja panel surya bifasial, selanjutnya pada bagian ini akan dibahas tentang penggunaan albedo permukaan berwarna putih.

Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan cara, kondisi dan waktu pengukuran yang sama dengan kedua panel sebelumnya yaitu pada setiap 10 menit dari pukul 07.00 WIB sampai 17.00 WIB di hari yang sama, dengan memposisikan modul panel surya bifasial pada frame dengan ketinggian kurang lebih satu meter diatas albedo permukaan putih. Kemudian modul panel surya diberikan beban sebesar 27 ohm guna mengetahui arus yang dihasilkan panel pada kondisi tersebut, selain itu dipasang juga alat ukur arus dan tegangan yang telah disiapkan, setelah semua komponen dirakit dan sesuai pada posisinya maka pengukuran dapat dilaksanakan sesuai prosedur.

Data hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh akan disajikan pada Tabel 4.3. yang dapat menjadi gambaran kinerja panel surya bifasial pada albedo permukaan putih.

Tabel 4.3. Data Kinerja Panel Surya Bifasial Pada Albedo Permukaan Putih

Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
07:00	15	0,55	8,25	12:10	18,4	0,68	12,51
07:10	15	0,55	8,25	12:20	17,8	0,65	11,57
07:20	15,2	0,56	8,51	12:30	18,4	0,68	12,51
07:30	15,2	0,56	8,51	12:40	18	0,68	12,24
07:40	15,4	0,57	8,78	12:50	18,1	0,67	12,13
07:50	15,5	0,57	8,84	13:00	18,2	0,72	13,1
08:00	16	0,59	9,44	13:10	18,1	0,68	12,31
08:10	16,7	0,61	10,19	13:20	17,6	0,66	11,62
08:20	17	0,62	10,54	13:30	18,4	0,82	15,09
08:30	17,2	0,65	11,18	13:40	18,4	0,75	13,8
08:40	17,2	0,65	11,18	13:50	17,8	0,71	12,64
08:50	17,4	0,65	11,31	14:00	17,8	0,65	11,57
09:00	17,2	0,65	11,18	14:10	17,8	0,68	12,1
09:10	17	0,65	11,05	14:20	17,6	0,65	11,44
09:20	17,2	0,65	11,18	14:30	17,85	0,66	11,78
09:30	17,4	0,65	11,31	14:40	17,65	0,65	11,47
09:40	17,4	0,66	11,48	14:50	17,25	0,64	11,04
09:50	17,5	0,65	11,38	15:00	17,65	0,65	11,47

10:00	17,6	0,66	11,62	15:10	16,9	0,63	10,65
10:10	18	0,68	12,24	15:20	17,2	0,64	11,01
10:20	18	0,65	11,7	15:30	16,7	0,62	10,35
10:30	13,2	0,5	6,6	15:40	16,7	0,62	10,35
10:40	18,4	0,68	12,51	15:50	16,9	0,63	10,65
10:50	18,4	0,68	12,51	16:00	16,28	0,6	9,77
11:00	17,8	0,65	11,57	16:10	16,18	0,6	9,71
11:10	17,2	0,65	11,18	16:20	15,98	0,59	9,43
11:20	17,7	0,65	11,51	16:30	16,08	0,6	9,65
11:30	17,4	0,65	11,31	16:40	15,58	0,58	9,04
11:40	17,8	0,65	11,57	16:50	14,84	0,55	8,16
11:50	17,8	0,68	12,1	17:00	14,64	0,54	7,91
12:00	17,6	0,65	11,44	Daya rata-rata 10,94 Watt			

Dari data hasil pengukuran yang telah disajikan pada Tabel 4.3, kinerja terendah panel bifasial dengan albedo permukaan putih juga berada pada pukul 10.30, dengan nilai tegangan yang terbaca hanya 13,2 Volt dan arus yang terbaca sebesar 0,5 Ampere, sehingga hanya mampu menghasilkan daya sebesar 6,6 Watt. Sedangkan untuk puncak performa kurang lebih sama seperti pada albedo hijau dan biru yaitu pada pukul 13.30, pada titik tersebut panel surya dengan albedo putih mampu menghasilkan tegangan sebesar 18,4 Volt dan menghasilkan arus sebesar 0,82 Ampere, sehingga mampu mengeluarkan daya sebesar 15,09 Watt. Untuk rata rata daya yang mampu dihasilkan selama pengukuran sebesar 10,94 watt. Setelah dikalkulasikan panel surya tersebut mampu menghasilkan energi sebesar 109,4 Wh dalam rentang waktu 10 jam pengukuran.

Kurva daya yang dihasilkan pada albedo putih ini juga hampir seirama dengan kedua albedo lainnya, hanya saja terjadi sedikit pergeseran waktu terjadinya puncak daya. Meski waktu dan kondisi pengukuran dibuat seidentik mungkin, hal ini sangat mungkin terjadi karena mungkin saja terjadi perubahan sudut pantul matahari, maupun tutupan awan, karena meski kondisi lingkungan yang sama persis tetapi peletakan panel tidak mungkin sama persis yang dimana antar panel memiliki jarak sekitar satu sampai dua meter pada saat pengukuran.

Disisi lain performa yang dihasilkan pada albedo permukaan putih ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan, dimana energi total yang dihasilkan mampu mengungguli panel dengan albedo permukaan biru sekitar 9,2%, dan mengungguli panel dengan albedo permukaan hijau sekitar 6,7%.

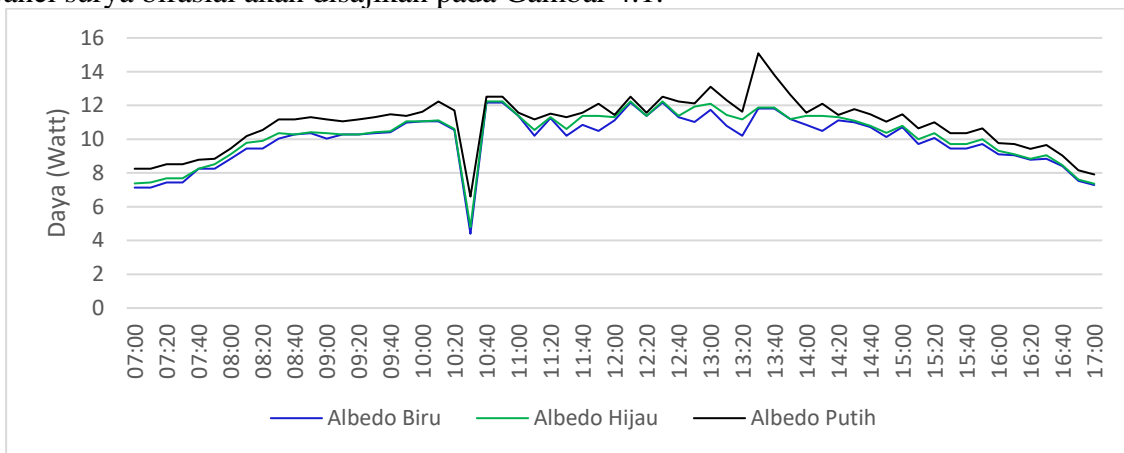
Peningkatan performa yang cukup besar pada permukaan putih disebabkan karena sifat reflektansi warna tersebut. Permukaan putih mampu memantulkan radiasi matahari dalam spektrum yang luas, sehingga sinar yang diteruskan ke sisi belakang panel bifasial menjadi lebih banyak. Akibatnya, kinerja sistem dapat menjadi sangat optimal. Selain itu, permukaan putih juga memiliki kecenderungan menyerap panas lebih sedikit dibanding permukaan berwarna gelap, yang turut membantu mengurangi kenaikan temperatur panel. Temperatur modul yang lebih rendah membantu menjaga efisiensi panel surya, sehingga kinerja panel menjadi lebih stabil dan optimal.

4. Pengaruh Variasi Albedo Warna Permukaan Terhadap Daya Dan Energi Yang Dihasilkan Panel Surya Bifasial

Variasi albedo dari warna permukaan memberikan dampak besar terhadap performa

panel surya bifasial, terutama dalam meningkatkan output daya dan energi melalui proses pemantulan radiasi ke belakang panel. Dalam studi ini digunakan tiga warna permukaan yang berbeda yaitu biru, hijau, dan putih, masing-masing dengan tingkat reflektansi yang variatif. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa total energi harian tertinggi dicapai pada permukaan putih sebanyak 109,4 Wh, sedangkan permukaan hijau menghasilkan 102,5 Wh, dan permukaan biru hanya 100,2 Wh. Dimana permukaan putih jauh mengungguli kedua permukaan lainnya dengan peningkatan energi total mencapai 6,7% lebih besar mengungguli permukaan hijau dan mencapai 9,2% persen mengungguli permukaan biru. Penemuan ini mengindikasikan bahwa dengan meningkatnya reflektansi permukaan, lebih banyak radiasi yang dipantulkan kembali ke sisi belakang panel, sehingga berbanding lurus pada peningkatan total energi yang dihasilkan. Daya maksimum yang dihasilkan panel juga memperlihatkan kurva yang hampir seirama, dengan 15,09 Watt untuk permukaan putih, 12,24 Watt untuk permukaan hijau, dan 12,17 Watt untuk permukaan biru. Variasi dalam angka ini menggambarkan kemampuan permukaan putih untuk memantulkan radiasi dari spektrum yang lebih luas, sehingga mengoptimalkan intensitas radiasi efektif yang diterima oleh panel selama waktu radiasi puncak.

Secara keseluruhan, temuan dari analisis tersebut menunjukkan bahwa penerapan permukaan dengan albedo tinggi dapat meningkatkan kinerja panel surya bifasial secara signifikan. Permukaan berwarna putih terbukti sebagai pilihan paling efisien, diikuti oleh jenis permukaan hijau dan biru, sehingga pemilihan bahan atau warna permukaan tidak hanya berkaitan dengan estetika, tetapi juga menjadi strategi teknis yang krusial dalam merancang sistem panel surya bifasial, terutama di area yang memiliki reflektansi alami rendah. Untuk memvisualisasikan pengaruh jenis albedo terhadap daya yang dihasilkan panel surya bifasial akan disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Pengaruh Albedo Terhadap Daya Keluaran Panel Surya Bifasial

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran daya keluaran panel surya bifasial pada albedo biru, hijau, dan putih diperoleh beberapa poin penting sebagai berikut :

1. Panel surya bifasial dengan albedo permukaan biru mampu menghasilkan energi sebesar 100,2 Wh dalam 10 jam pengukuran, untuk albedo hijau mampu menghasilkan energi sebesar 102,5 Wh, dan pada albedo putih mampu menghasilkan energi sebesar 109,4 Wh, dalam 10 jam (selama periode pengukuran).
2. Albedo permukaan putih mampu mendongkrak kinerja panel surya bifasial secara signifikan dibandingkan albedo biru dan hijau.

3. Pada albedo putih mampu menghasilkan energi 9,2 % lebih besar dari albedo biru, dan 6,7 % lebih besar daripada albedo hijau.
4. Panel surya bifasial terbukti efektif memanfaatkan cahaya pantul dari permukaan bawahnya. Semakin tinggi nilai albedo permukaan, semakin besar radiasi pantul yang dapat dimanfaatkan sisi belakang panel untuk meningkatkan output daya.
5. Pola produksi energi konsisten pada semua variasi albedo, dengan puncak produksi terjadi pada tengah hari (10.00-14.00 WIB) dan menurun seiring mengikuti intensitas matahari.
6. Pemilihan permukaan berwarna terang merupakan strategi efektif untuk mengoptimalkan produksi energi sistem panel surya bifasial tanpa memerlukan modifikasi teknis pada panel itu sendiri.

Dari hasil penelitian ini dapat membuktikan dan dapat dijadikan referensi bahwa optimisasi sederhana melalui pemilihan warna permukaan yang tepat dapat meningkatkan kinerja panel surya secara signifikan.

Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian mengenai pengaruh albedo permukaan terhadap kinerja panel surya bifasial, terdapat beberapa saran untuk pengembangan dan implementasi lebih lanjut:

1. Untuk pengaplikasian di lapangan, lantai pada bagian bawah panel surya bifasial dapat diselimuti dengan cat putih untuk meningkatkan kinerja secara ekonomis.
2. Lakukan perawatan rutin agar daya pantul albedo permukaan bawah panel surya bifasial tidak menurun akibat polutan.
3. Untuk penelitian selanjutnya gunakan variabel warna yang lebih banyak untuk mendapatkan perbandingan yang lebih variatif.
4. Selain albedo peneliti selanjutnya disarankan untuk mengamati pengaruh sudut kemiringan terhadap daya yang dihasilkan, untuk mencapai kinerja panel surya bifasial yang lebih efisien.
5. Gunakan panel surya dengan kapasitas yang lebih besar untuk mempermudah pembacaan variabel yang diukur.
6. Hasil yang diperoleh dapat dijadikan sebagai referensi, akan tetapi hasil pengukuran dapat saja berbeda pada eksperimen lain sesuai kondisi lapangan dan pembulatan perhitungan pada masing masing percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. H. A. N. Karsa, "Perbandingan Performa Panel Surya Monokristalin Dan Polikristalin Di Iklim Tropis Indonesia," *J. Tek. Indones.*, vol. 3, no. 4, 2025.
- A. Kharisma, S. Pinandita, and A. E. Jayanti, "Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 145–154, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23956.
- D. S. Braga, L. L. Kazmerski, D. A. Cassini, V. Camatta, and A. S. A. C. Diniz, "Performance of bifacial PV modules under different operating conditions in the State of Minas Gerais, Brazil," *Renew. Energy Environ. Sustain.*, vol. 8, p. 23, 2023, doi: 10.1051/rees/2023021.
- Environmental Literacy and and I. W. G. at L. University, *Albedo & Land Cover Temp Lab. Hood Collage*, 2011.
- G. Aprilyada, M. Akbar Zidan, R. Adypon Ainunisa, and W. Winarti, "Peran Kajian Pustaka Dalam Penelitian Tindakan Kelas," *J. Kreat. Mhs.*, vol. 1, no. 2, p. 2023, 2023.
- G. Widayana, "Pemanfaatan Energi Surya," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru.*, vol. 9, no. 1, Mar. 2012, doi: 10.23887/jptk.v9i1.2876.
- M. Ali, Ludiana, and Y. Ramdani, "Optimasi Sudut Pemasangan Panel Surya Bifasial di Indonesia dengan Metode Simulasi PVSyst," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1,

- pp. 137–143, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>
- M. F. R. Pratama, “Pendahuluan, Bab & Pengertian,” Article, 2022.
- N. Kurniadin et al., “Deteksi Perubahan Suhu Permukaan Tanah dan Hubungannya dengan Pengaruh Albedo dan NDVI Menggunakan Data Satelit Landsat-8 Multitemporal di Kota Palu Tahun 2013 - 2020 Pendahuluan Penginderaan Jauh adalah ilmu dan seni yang dipergunakan untuk memperoleh in,” vol. 18, no. 1, pp. 82–98, 2022.
- P. A. Damayanti, E. Saptaningrum, S. Supriyadi, B. A. Wibawa, and S. Ristanto, “Pengaruh Penggunaan Cat Reflektif Terhadap Resistensi Panas Pada Atap Genteng sebagai Upaya Mendukung Green Building,” *Media Konstr.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.33772/jmk.v10i1.104.
- R. Anggreni, M. Muliadi, and R. Adriat, “Analisis Pengaruh Tutupan Awan Terhadap Radiasi Matahari di Kota Pontianak,” *Prism. Fis.*, vol. 6, no. 3, pp. 214–219, 2018, doi: 10.26418/pf.v6i3.28896.
- R. Barokah, N. N. Suryaman, and A. Rajani, “Experimental Study of Bifacial Solar Panels with Reflective Surface Variations in Bandung , Indonesia,” vol. 10, no. 2, 2025.
- R. O. Yakubu, L. D. Mensah, D. A. Quansah, and M. S. Adaramola, “A systematic literature review of the bifacial photovoltaic module and its applications,” *J. Eng.*, vol. 2024, no. 8, pp. 1–20, 2024, doi: 10.1049/tje2.12421.
- R. Ridlo and A. Hakim, “Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Literatur Review,” *ANDASIH J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2020.
- S. Bandri, R. Andari, and F. N. Tias, “Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Panel Surya,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 106–113, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/telektro/index>
- S. Dalias, M. De Riso, P. Guerriero, I. Maticena, M. Dhimish, and V. D’Alessandro, “On the Optimal Orientation of Bifacial Solar Modules,” 2024 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion, SPEEDAM 2024, pp. 396–400, 2024, doi: 10.1109/SPEEDAM61530.2024.10609062.
- Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (ed.). Alfabeta, 2023.
- W. Rizkika, M. I. Marzuki, and S. Prayogi, “The effect of concentrator reflector design on the energy conversion efficiency of bifacial solar cells,” vol. 13, no. 1, pp. 49–56, 2026.