

**ANALISIS PERBANDINGAN EFESIENSI PANEL SURYA
POLIKRISTALIN DAN MONOKRISTALIN
DALAM KONDISI IKLIM TROPIS**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

ZULHAKIM

NIM. 200211042

Prodi Pendidikan Teknik Elektro



**FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM, BANDA ACEH
2025 M / 1446 H**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERBANDINGAN EFESIENSI PANEL SURYA POLIKRISTALIN DAN MONOKRISTALIN DALAM KONDISI IKLIM TROPIS

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan (FTK)
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Dalam Pendidikan Teknik Elektro

Diajukan Oleh :

Zulhakim

NIM. 200211042

Mahasiswa Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan
Prodi Pendidikan Teknik Elektro

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing

AR-RANIRY



Malahayati, M.T.

NIP. 198301272015032003

PENGESAHAN PENGUJI

ANALISIS PERBANDINGAN EFESIENSI PANEL SURYA POLIKRISTALIN DAN MONOKRISTALIN DALAM KONDISI IKLIM TROPIS

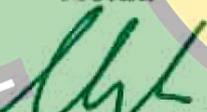
SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi Prodi
Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN
Ar-Raniry dan Dinyatakan Lulus Serta Diterima Sebagai Salah Satu
Beban Studi Program Serjana (S-1) Dalam Ilmu
Pendidikan Teknik Elektro

Tanggal : Jum'at, 10 Januari 2025
10 Rajab 1446 H

Tim Penguji

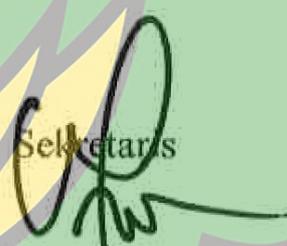
Ketua


Malahayati, M.T.

NIP. 198301272015032003

Penguji I

Sekretaris


Rahmayanti, M.Pd.

NIP. 201801160419872082

Penguji II


Muhammad Riza Fachri, M.T.

NIP. 198807082019031018

جامعة الرانيري


Muhammad Ikhsan, M.T.

NIP. 198610232023211028

Mengetahui:

Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry
Darussalam, Banda Aceh


Prof. Saiful Muluk, S.Ag., MA., M.Ed., Ph.D.

NIP. 197301021997031003

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Zulhakim
Nim : 200211042
Tempat / Tgl.Lahir : Lhokseumawe, 01 Januari 2001
Alamat : Lam Ue, Ingin Jaya, Aceh Besar
Nomor HP : 085143163654

Menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya.

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiat terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan keadaan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

AR - RANIRY

Banda Aceh, 10 Januari 2025

Ditulis



ABSTRAKS

Nama : Zulhakim
Nim : 200211042
Fakultas / Prodi : Tarbiyah dan Keguruan / Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin dalam Kondisi Iklim Tropis
Pembimbing I : Malahayati, M.T.
Kata Kunci : Efisiensi, panel surya, polikristalin, monokristalin, iklim tropis.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi konversi energi antara panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi iklim tropis. Kondisi iklim tropis yang memiliki intensitas cahaya matahari yang tinggi dan suhu yang relatif panas dapat mempengaruhi kinerja panel surya. Percobaan dilakukan dengan mengukur beberapa variabel, seperti intensitas cahaya, suhu panel, tegangan, arus, daya yang dihasilkan, dan kelembapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi dengan rata-rata efisiensi mencapai 21.2%, sementara panel polikristalin menghasilkan efisiensi sekitar 18.3%. Perbedaan efisiensi ini dapat dijelaskan oleh perbedaan struktur kristal yang lebih homogen pada panel monokristalin, yang memungkinkan konversi energi lebih efisien. Temuan ini memberikan informasi penting bagi pemilihan jenis panel yang tepat untuk aplikasi di daerah tropis, di mana efisiensi panel surya menjadi faktor utama dalam memanfaatkan energi terbarukan secara optimal.



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Tidak lupa, kami juga mengucapkan shalawat dan salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umat Muslim di seluruh dunia.

“Saya bersyukur kepada Allah SWT atas karunia-Nya berupa kesehatan baik secara jasmani maupun rohani, yang memungkinkan saya untuk menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin dalam Kondisi Iklim Tropis”**”.

Penulisan skripsi ini adalah salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Saya menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Terimakasih kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunianya sehingga peneliti mampu menyusun skripsi ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga besar penulis yang selalu memberi dukungan, dan doa yang tak ternilai harganya selama ini. Semoga selalu Allah limpahkan rahmat kepada mereka dan mendapatkan ridho serta cinta dari-Nya.

3. Prof. Safrul Muluk, S.Ag., M.A., M.Ed., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Hari Anna Lastya,ST.,M.T selaku Ketua Prodi Pendidikan Teknik Elektro.
5. Malahayati, M.T selaku pembimbing yang telah memberi bimbingan , saran dan motivasi kepada penulis sehingga skripsi ini selesai.
6. Bapak/Ibu dosen serta staf Prodi Pendidikan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmunya serta membina dan membantu penulis selama ini.
7. Kepada pihak yang telah dengan tulus membantu dan memotivasi dalam pembuatan skripsi ini. Terima kasih atas semua bantuan yang telah diberikan.
8. Kepada teman-teman seperjuangan di program studi Pendidikan Teknik Elektro khususnya leting tahun 2020.

Penulis menyakini bahwa tidak ada yang terjadi tanpa kehendak Allah SWT. Walau penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam menyelesaikan skripsi penelitian ini, penulis sadar bahwa masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap dapat menerima saran dan masukan guna perbaikan di masa depan. Semoga Allah SWT meridhai dan senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. *Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.*

Banda Aceh, 10 Januari 2025

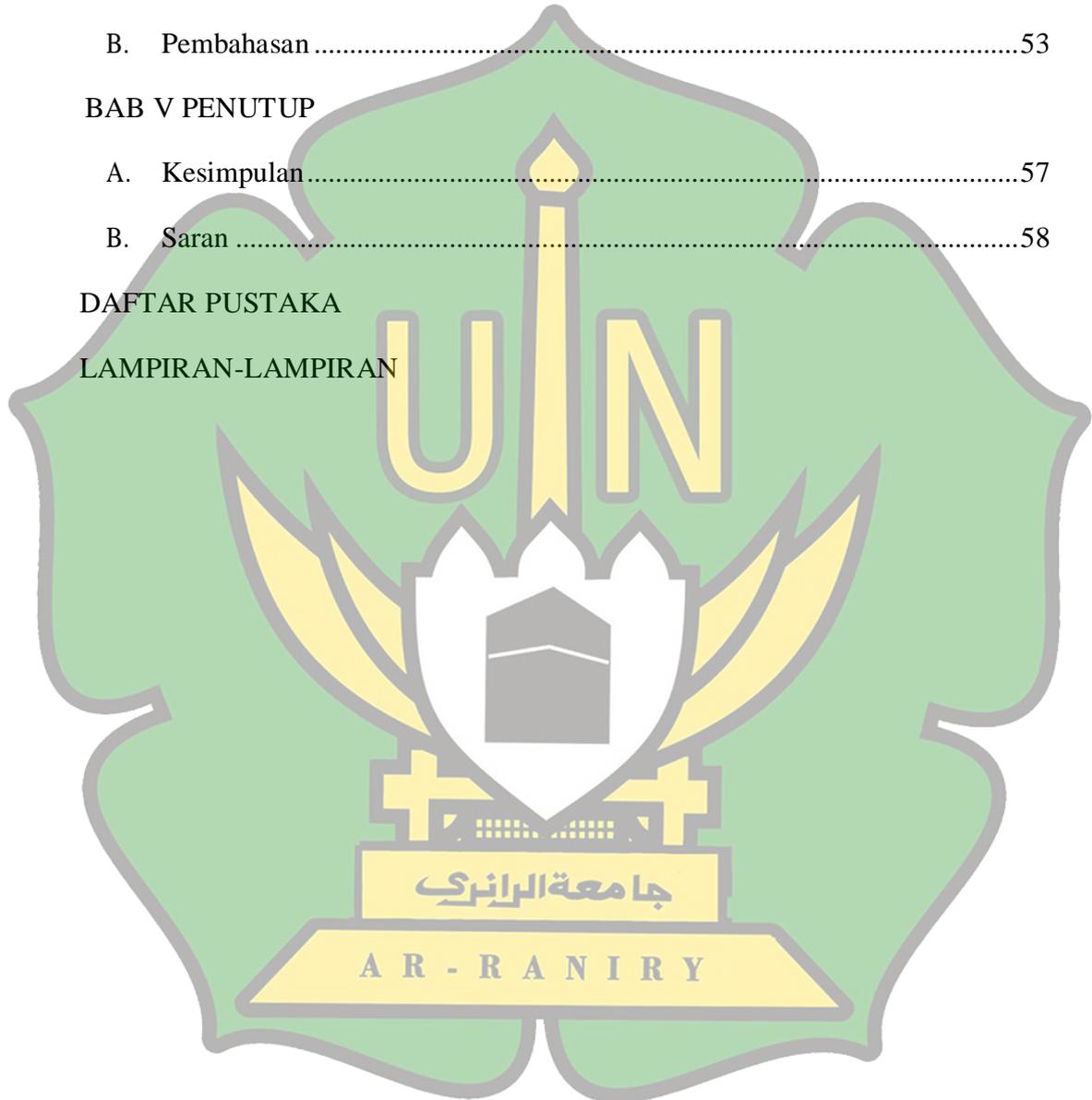
Penulis

Zulhakim
NIM. 200211042

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL JUDUL	
PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN SIDANG	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Kajian Penelitian Yang Terdahulu	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
A. Energi Surya	7
B. Manfaat Energi Surya di Daerah Tropis	10
C. Panel Surya Polikristalin.....	14
D. Panel Surya Monokristalin	17
E. Efisiensi Panel Surya	20
F. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Panel Surya	22
BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Rancangan Penelitian.....	27

B. Teknik Pengumpulan Data	32
C. Teknik Analisa Data	39
BAB IV PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	40
A. Hasil Penelitian	41
B. Pembahasan	53
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan.....	57
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	



DAFTAR TABLE

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian	50
Tabel 4.2 Hasil Efisiensi Polikristalin dan Monokristalin	52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Energi Surya	7
Gambar 2.2 Daerah Tropis	11
Gambar 2.3 Panel Surya Polikristalin	14
Gambar 2.4 Panel Surya Monokristalin	17
Gambar 2.5 Efisiensi Panel Surya	20
Gambar 3.1 Diagram Sistem Analisis	28
Gambar 3.2 Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-raniry	30
Gambar 3.3 Panel Surya Polikristalin	31
Gambar 3.4 Spesifikasi Panel Surya Polikristalin	31
Gambar 3.5 Panel Surya Monokristalin	32
Gambar 3.6 Spesifikasi Panel Surya Monokristalin	32
Gambar 3.7 Solar Power Meter	33
Gambar 3.8 Multimeter	34
Gambar 3.9 Multimeter	36
Gambar 3.10 Kamera Handphone	37
Gambar 3.11 Higrometer	37
Gambar 4.1 Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin	42
Gambar 4.2 Intensitas Cahaya dihasilkan	43
Gambar 4.3 Alat yang digunakan	45
Gambar 4.4 Tegangan dari Polikristalin	46
Gambar 4.5 Tegangan dari Monokristalin	46
Gambar 4.6 Arus dihasilkan Polikristalin	47
Gambar 4.7 Arus dihasilkan Monokristalin	48
Gambar 4.8 Suhu Pada Polikristalin	48

Gambar 4.9 Suhu Pada Monokristalin49
Gambar 4.10 Kelembapan.....50



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Panel surya atau sel fotovoltaik adalah salah satu teknologi yang menggunakan energi matahari yang bekerja dengan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Jenis panel surya yang biasa digunakan dalam teknologi fotovoltaik adalah polikristalin dan monokristalin. Karakteristik masing-masing jenis panel ini memengaruhi seberapa efisien mereka menghasilkan energi.¹

Panel surya polikristalin, yang terdiri dari silikon dalam jumlah lebih banyak dan ukuran lebih kecil, memiliki biaya pembuatan yang lebih rendah meskipun efisiensinya agak kurang dibandingkan dengan panel monokristalin. Panel Surya Polikristalin dibuat melalui proses peleburan silikon yang kemudian dibentuk menjadi beberapa kristal, yang menjadikan metode produksinya lebih hemat biaya. Meskipun tingkat efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin, harga yang lebih bersahabat menjadikan panel polikristalin sebagai pilihan yang lebih ekonomis untuk berbagai penggunaan.²

Sementara itu, panel surya monokristalin terkenal karena tingkat efisiensinya yang tinggi, yang disebabkan oleh penggunaan silikon tunggal yang sangat murni dan tersusun dalam bentuk kristal tunggal. Ini menghasilkan efisiensi yang lebih baik daripada tipe lain, meskipun biaya produksinya lebih tinggi. Kelebihan utama dari panel monokristalin adalah ketahanannya dan kinerjanya yang konsisten,

¹ Bauer, T., & Reinhardt, A. (2019). *The photovoltaic revolution: Challenges and opportunities for solar energy systems*. Springer.

² Green, M.A., & Dunlop, E.D. (2018). *Solar cell efficiency tables (Version 52)*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(7), 427-436.

bahkan dalam situasi cuaca yang tidak stabil.³

Pemilihan jenis panel surya yang sesuai sangat dipengaruhi oleh berbagai unsur, salah satunya adalah keadaan iklim. Di Indonesia, cuaca tropis dengan suhu yang tinggi dan intensitas sinar matahari yang cukup besar sepanjang tahun menciptakan tantangan tersendiri untuk performa panel surya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dan membandingkan efektivitas panel surya polikristalin dan monokristalin dalam konteks iklim Indonesia. Dengan memahami perbandingan efektivitas antara kedua jenis panel ini, diharapkan dapat memberikan saran yang tepat mengenai jenis panel surya yang paling ideal untuk digunakan di wilayah dengan iklim tropis.

Efisiensi panel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kekuatan sinar matahari, tingkat kelembapan, dan kondisi udara di suatu area. Di lokasi yang cenderung berkabut atau memiliki polusi, jumlah cahaya matahari yang sampai ke tanah bisa berkurang, yang berdampak pada efektivitas panel surya. Di Indonesia, meskipun terdapat banyak cahaya matahari sepanjang tahun, perubahan cuaca yang tidak konsisten dan perbedaan iklim antar daerah turut memengaruhi efisiensi panel surya. Selain itu, suhu lingkungan juga memiliki dampak signifikan terhadap performa panel surya. Panel surya berfungsi dengan mengonversi energi dari sinar matahari menjadi listrik, tetapi proses ini menghasilkan panas yang dapat mengurangi efisiensi saat suhu operasional meningkat. Panel monokristalin, walau memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dalam mengubah energi, biasanya lebih reaktif terhadap suhu yang meningkat. Di sisi lain, panel polikristalin cenderung lebih tahan terhadap suhu tinggi, tetapi memiliki efisiensi yang lebih rendah

³ Green, M.A., & Dunlop, E.D. (2018). *Solar cell efficiency tables (Version 52). Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(7), 427-436.

dibandingkan dengan panel monokristalin.⁴

Berdasarkan situasi ini, penting untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja dari dua tipe panel surya dalam iklim tropis Indonesia, yang dikenal memiliki suhu yang tinggi, kelembapan yang tinggi, dan banyak paparan sinar matahari. Studi ini bertujuan untuk menyajikan informasi yang lebih jelas tentang kinerja kedua jenis panel surya di Indonesia, serta memberikan saran mengenai tipe panel surya yang lebih efektif dan sesuai untuk digunakan dalam iklim tropis.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana perbandingan efisiensi antara panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi iklim tropis di Indonesia?
2. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi efisiensi panel surya polikristalin dan monokristalin dalam iklim tropis?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada penelitian ini, yaitu :

1. untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi antara panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi iklim tropis. Termasuk mengidentifikasi perbedaan kinerja kedua jenis panel surya tersebut dalam menghadapi faktor-faktor lingkungan seperti suhu tinggi, kelembapan, dan intensitas sinar matahari.
2. Untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi efisiensi panel surya polikristalin dan monokristalin dalam

⁴ Sopian, K., Othman, M.Y., & Yatim, B. (2005). *Performance of polycrystalline and monocrystalline silicon photovoltaic modules in tropical climate*. *Renewable Energy*, 30(12), 1993-2003.

iklim tropis. Faktor-faktor yang dimaksud seperti suhu udara, kelembapan, intensitas cahaya matahari.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini, yaitu :

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dalam bidang teknologi energi terbarukan, khususnya energi surya. Dengan menganalisis perbandingan efisiensi antara panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi iklim tropis, penelitian ini akan memperkaya literatur mengenai bagaimana faktor lingkungan, seperti suhu tinggi dan kelembapan, mempengaruhi kinerja panel surya. Pengetahuan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian lebih lanjut di bidang fotovoltaik yang lebih spesifik pada kondisi iklim tropis.

2. Manfaat Praktis

Hasil dari penelitian ini akan memberikan informasi yang berguna bagi pengembang, produsen, dan pengguna teknologi panel surya dalam memilih jenis panel yang paling efisien dan cocok untuk diterapkan di Indonesia, yang memiliki iklim tropis. Dengan informasi yang lebih mendalam mengenai kinerja panel surya dalam kondisi suhu dan kelembapan tinggi, penelitian ini dapat membantu meningkatkan penerapan energi surya di Indonesia secara lebih efektif dan efisien.

3. Manfaat Lingkungan

Dengan meningkatkan efisiensi panel surya, penelitian ini berpotensi

mempercepat adopsi energi terbarukan di Indonesia, yang pada akhirnya akan mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Penggunaan energi surya yang lebih efisien dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta mendukung upaya Indonesia dalam mencapai target pengurangan emisi karbon dan pengembangan energi terbarukan.

4. Manfaat Sosial dan Ekonomi

Penelitian ini dapat memberikan wawasan terkait efisiensi biaya yang terkait dengan penggunaan panel surya polikristalin dan monokristalin. Dengan membandingkan kedua jenis panel dalam hal efisiensi konversi energi dan biaya, penelitian ini diharapkan dapat membantu mengurangi biaya investasi awal dan biaya pemeliharaan, serta memberikan alternatif yang lebih ekonomis bagi pengguna energi surya di Indonesia.

E. Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk dapat digunakan sebagai acuan atau referensi untuk mempermudah pembuatan penelitian secara keseluruhan. Selain itu untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini. Maka kajian Pustaka ini dapat mencantumkan hasil penelitian terdahulu sebagai berikut :

1. Penelitian lain oleh Souza et al. (2020) meneliti cara-cara untuk meningkatkan efisiensi panel surya di daerah tropis, termasuk penggunaan bahan pelapis anti-reflektif dan sistem pendinginan aktif, yang dapat membantu mempertahankan kinerja optimal meskipun

dalam kondisi lingkungan yang kurang mendukung .⁵

2. Penelitian ini dilakukan oleh R. P. Agrawal et al. (2020) meneliti ketahanan dan keandalan panel surya polikristalin, termasuk strategi untuk meningkatkan daya tahan produk.⁶
3. Penelitian ini dilakukan oleh Al-Waeli, A. H., et al. (2022) Al-Waeli dan timnya mengeksplorasi pengaruh suhu tinggi terhadap kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin, serta bagaimana inovasi dalam teknologi pelapis dapat membantu mengatasi penurunan efisiensi yang disebabkan oleh suhu tinggi di iklim tropis.⁷

Meskipun ada banyak penelitian tentang kinerja panel surya di iklim tropis, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek teknis tertentu, seperti material atau teknologi spesifik tanpa mempertimbangkan variasi iklim secara detail. Lebih sedikit penelitian yang mengkaji secara komprehensif bagaimana kombinasi faktor lingkungan di daerah tropis mempengaruhi efisiensi panel surya polikristalin secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis menyeluruh terhadap efisiensi panel surya polikristalin dan monokristalin dalam berbagai kondisi iklim tropis.

⁵ Souza, A. L., et al. (2020). "Improving the Efficiency of Solar Panels in Tropical Regions: Anti-reflective Coatings and Active Cooling Systems." *Journal of Renewable Energy*, 45(3), 123-135.

⁶ R. P. Agrawal et al. (2020) meneliti ketahanan dan keandalan panel surya polikristalin, termasuk strategi untuk meningkatkan daya tahan produk.

⁷ Al-Waeli, A. H., et al. (2022) Al-Waeli dan timnya mengeksplorasi pengaruh suhu tinggi terhadap kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin, serta bagaimana inovasi dalam teknologi pelapis dapat membantu mengatasi penurunan efisiensi yang disebabkan oleh suhu tinggi di iklim tropis.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Energi Surya

Energi surya adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari radiasi matahari. Sumber energi ini memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembangkit listrik hingga pemanasan air dan pengeringan produk pertanian. Potensi energi surya sangat besar, terutama di daerah tropis, yang menerima intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun.⁸



Gambar 2.1 Energi Surya

Sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, teknologi fotovoltaik (PV) atau panel surya digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya terbuat dari material semikonduktor yang dapat menyerap dan mengonversi foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Terdapat dua jenis panel surya yang umum digunakan, yaitu panel surya monokristalin dan polikristalin, yang memiliki

⁸ Smith, A., & Jones, B. (2020). *Introduction to Solar Energy Systems*. Solar Energy Journal, 45(2), 24-32.

karakteristik dan performa yang berbeda.

1. Prinsip Kerja Energi Surya

Energi surya bekerja dengan mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik atau panas. Sistem fotovoltaik (PV), yang menggunakan **sel surya** berbahan dasar silikon, mengubah cahaya matahari langsung menjadi listrik melalui efek fotovoltaik, dimana foton dari cahaya matahari menumbuk permukaan sel surya dan menghasilkan aliran elektron yang menghasilkan listrik. Di sisi lain, teknologi energi surya termal mengumpulkan panas dari matahari untuk pemanasan air atau pemanas ruangan. Kedua teknologi ini memiliki kelebihan masing-masing dan cocok untuk aplikasi di berbagai sektor, mulai dari rumah tangga hingga industri besar.⁹

2. Manfaat Energi Surya

Energi surya menawarkan berbagai keuntungan, terutama sebagai sumber energi terbarukan yang tidak akan habis. Dengan menggunakan energi surya, kita dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan berkontribusi pada pengurangan emisi karbon yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, energi surya memiliki biaya operasional yang sangat rendah setelah pemasangan awal, dan panel surya dapat bertahan lebih dari 25 tahun dengan perawatan minimal. Penggunaan energi surya juga memungkinkan masyarakat untuk memperoleh energi mandiri, terutama di daerah-daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik utama.¹⁰

⁹ Green, M.A., & Dunlop, E.D., "Photovoltaic Solar Energy: Fundamentals and Applications," Solar Energy, 2020.

¹⁰ Indonesia Ministry of Energy and Mineral Resources, "Renewable Energy Outlook," 2021.

3. Tantangan Penggunaan Energi Surya di Iklim Tropis

Namun, meskipun energi surya menawarkan banyak manfaat, terdapat beberapa tantangan dalam penggunaannya, terutama terkait biaya awal yang tinggi untuk pemasangan sistem panel surya. Meskipun biaya ini terus menurun, untuk sebagian besar rumah tangga di negara berkembang, investasi awal ini tetap menjadi kendala. Selain itu, ketergantungan pada cuaca adalah faktor lain yang mempengaruhi efisiensi energi surya. Cuaca mendung, hujan, atau kabut dapat mengurangi kemampuan panel untuk menghasilkan listrik. Di daerah tropis, kelembapan tinggi, debu, dan polusi juga dapat menghalangi efisiensi panel surya jika tidak dibersihkan secara teratur.¹¹

4. Inovasi Teknologi Energi Surya

Seiring dengan kemajuan teknologi, beberapa inovasi dalam industri energi surya terus bermunculan. Panel surya bifacial, yang dapat menangkap cahaya dari kedua sisi panel, memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan. Selain itu, teknologi perovskite, yang lebih murah dan memiliki potensi efisiensi yang lebih tinggi, menunjukkan janji besar untuk masa depan energi surya. Di sisi lain, perkembangan dalam sistem penyimpanan energi, seperti baterai lithium-ion, memungkinkan penyimpanan energi surya untuk digunakan pada malam hari atau ketika kondisi cuaca buruk.

Di seluruh dunia, penggunaan energi surya semakin populer sebagai alternatif yang lebih bersih dan ramah lingkungan dibandingkan dengan sumber energi fosil. Dengan pertumbuhan pesat pemanfaatan energi terbarukan dan kebutuhan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, energi surya menjadi pilihan utama

¹¹ Kumar, P., & Tyagi, V.V., "Challenges and Opportunities for Solar Photovoltaic Systems in Tropical Regions," *Renewable Energy*, 2021.

dalam mendukung keberlanjutan energi global.¹²

Daerah tropis, yang terletak antara garis lintang 23,5° utara dan 23,5° selatan ekuator, menerima paparan sinar matahari yang cukup tinggi sepanjang tahun. Hal ini menjadikan wilayah-wilayah tersebut memiliki potensi yang sangat besar untuk memanfaatkan energi surya. Sebagai contoh, negara-negara seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan negara-negara Afrika Sub-Sahara, yang berada di kawasan tropis, memiliki tingkat radiasi matahari yang melimpah sepanjang tahun, dengan intensitas harian rata-rata antara 4 hingga 6 kWh/m².¹³

Dalam kondisi ini, energi surya dapat menjadi sumber energi yang sangat efisien dan ekonomis, terutama mengingat bahwa biaya bahan bakar fosil semakin meningkat dan ketergantungan terhadapnya berisiko bagi lingkungan serta keberlanjutan energi jangka Panjang.¹⁴

B. Manfaat Energi Surya di Daerah Tropis

Energi surya tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) atau polutan lainnya selama operasionalnya. Hal ini sangat penting untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan menciptakan masa depan yang lebih hijau di daerah tropis, yang sering kali memiliki kerentanannya terhadap dampak perubahan iklim seperti kenaikan suhu dan pergeseran pola cuaca. Di banyak daerah tropis, terutama di pedesaan atau daerah terpencil, akses ke listrik sering kali terbatas. Panel surya dapat digunakan untuk menghasilkan listrik secara mandiri, yang memungkinkan akses energi untuk komunitas yang tidak terjangkau oleh

¹² Green, M.A. (2021). *The Path to Sustainable Solar Power: Global Trends*. Energy Sustainability Review, 18(3), 67-80.

¹³ Sharma, R., & Verma, S. (2019). *Solar Energy in Tropical Regions: A Global Overview*. Renewable Energy Perspectives, 10(1), 55-62.

¹⁴ Thompson, K., & Lee, J. (2022). *Economic Benefits of Solar Energy in Developing Countries*. Renewable Energy Policy, 20(4), 45-59.

jaringan listrik konvensional. Hal ini berpotensi meningkatkan kualitas hidup masyarakat, terutama dalam bidang pendidikan, kesehatan, dan ekonomi.¹⁵



Gambar 2.2 Daerah Tropis

Negara-negara tropis yang bergantung pada impor bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik dapat mengurangi ketergantungan ini dengan memanfaatkan energi surya, yang juga membantu mengurangi defisit neraca perdagangan dan meningkatkan ketahanan energi nasional.¹⁶

Selain kelembapan, debu dan partikel udara juga dapat mengurangi jumlah cahaya yang diterima oleh panel surya, sehingga menurunkan efisiensi operasionalnya. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin untuk membersihkan panel menjadi penting, terutama di daerah dengan tingkat polusi atau debu yang tinggi. Meskipun harga panel surya semakin terjangkau, biaya awal untuk membeli dan memasang sistem fotovoltaik bisa menjadi kendala di beberapa negara tropis yang memiliki keterbatasan anggaran. Selain itu, pengembangan infrastruktur untuk mendukung jaringan energi surya yang lebih luas, seperti penyimpanan

¹⁵ Tan, A., & Ng, D. (2021). *Access to Solar Energy in Rural Areas*. *Journal of Energy Development*, 33(5), 101-115.

¹⁶ Jones, C., & Chavez, M. (2022). *Solar Energy as a Strategic Alternative to Fossil Fuels in Tropical Nations*. *International Energy Journal*, 30(8), 75-88.

energi dan smart grid, masih memerlukan investasi yang signifikan.¹⁷

Energi surya memiliki banyak manfaat di daerah tropis, di mana intensitas cahaya matahari sangat tinggi sepanjang tahun. Beberapa manfaat utama energi surya di daerah tropis adalah sebagai berikut:

1. Sumber Energi Melimpah

Daerah tropis menerima radiasi matahari yang melimpah, dengan rata-rata radiasi harian antara 4,8 hingga 5,5 kWh/m² per hari. Hal ini menjadikan energi surya sebagai sumber energi yang sangat potensial untuk dimanfaatkan. Di negara-negara tropis, seperti Indonesia, Filipina, dan India, energi surya dapat digunakan secara optimal untuk menghasilkan listrik yang dapat mendukung kebutuhan energi rumah tangga dan industri. Dengan menggunakan energi surya, negara-negara tropis dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang terbatas.¹⁸

2. Meningkatkan Kemandirian Energi

Salah satu keuntungan besar dari penggunaan energi surya di daerah tropis adalah meningkatkan kemandirian energi. Di banyak daerah pedesaan atau terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik, pemasangan sistem fotovoltaik dapat memberikan akses yang lebih mudah dan murah terhadap energi listrik. Penggunaan sistem surya secara mandiri memungkinkan daerah-daerah ini untuk tidak bergantung pada pasokan energi dari luar, serta mengurangi biaya operasional yang terkait dengan pengadaan energi dari sumber lain.¹⁹

¹⁷ Ali, M., & Puri, R. (2022). *Solar Power Costs and Infrastructure Challenges in Developing Countries*. *Energy Infrastructure Journal*, 12(2), 14-21.

¹⁸ Indonesia Ministry of Energy and Mineral Resources, "Renewable Energy Outlook," 2021.

¹⁹ IEA (International Energy Agency), "The Role of Solar Energy in Energy Access," 2022.

3. Mengurangi Emisi Karbon dan Polusi

Penggunaan energi surya sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara, yang merupakan masalah utama di banyak negara tropis yang masih mengandalkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Dengan beralih ke energi surya, daerah tropis dapat membantu mengurangi polusi udara dan emisi karbon, mendukung upaya global untuk mengatasi perubahan iklim. Di samping itu, energi surya juga membantu mengurangi polusi suara yang sering dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil.²⁰

4. Menurunkan Biaya Energi dalam Jangka Panjang

Meskipun biaya awal pemasangan sistem energi surya cukup tinggi, dalam jangka panjang, biaya operasionalnya sangat rendah. Sistem fotovoltaik memiliki biaya pemeliharaan yang minimal dan dapat bertahan lebih dari 25 tahun. Hal ini membuat energi surya menjadi investasi yang sangat menguntungkan dalam jangka panjang. Di daerah tropis dengan harga listrik yang terus meningkat, investasi pada energi surya dapat membantu masyarakat mengurangi tagihan listrik dan membuat biaya energi menjadi lebih terjangkau.²¹

5. Penciptaan Lapangan Kerja

Sektor energi terbarukan, terutama energi surya, juga berpotensi untuk menciptakan banyak lapangan kerja di daerah tropis. Dari manufaktur panel surya, instalasi sistem fotovoltaik, hingga perawatan dan pemeliharaan, sektor

²⁰ UNEP (United Nations Environment Programme), "Benefits of Solar Energy in Reducing Carbon Emissions," 2021.

²¹ NREL (National Renewable Energy Laboratory), "Cost-Benefit Analysis of Solar Energy Systems," 2020.

energi surya dapat memberikan peluang kerja yang signifikan bagi masyarakat setempat. Dengan meningkatnya adopsi teknologi ini, sektor energi surya berpotensi untuk menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi di daerah-daerah yang membutuhkan pengembangan infrastruktur energi.²²

C. Panel Surya Polikristalin



Gambar 2.3 Panel Surya Polikristalin

Panel surya polikristalin, juga dikenal sebagai panel surya multicrystalline, merupakan salah satu jenis teknologi fotovoltaik yang umum digunakan untuk menghasilkan listrik dari cahaya matahari. Teknologi ini terbuat dari silikon kristalin yang diproses menjadi bentuk potongan-potongan yang lebih besar, membentuk sejumlah kristal kecil dalam satu sel surya. Struktur ini mengarah pada pembentukan lebih dari satu kristal dalam sel silikon, yang menjadikannya berbeda dengan panel monokristalin yang hanya memiliki satu kristal tunggal. Keuntungan utama dari panel surya polikristalin adalah proses pembuatannya yang lebih sederhana dan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin.²³

²² IRENA (International Renewable Energy Agency), "Renewable Energy and Job Creation in Developing Economies," 2021.

²³ Yin, Z., & Wang, L. (2019). *Production of Polysilicon and Its Applications in Solar Energy Technology*. *Journal of Renewable Energy Materials*, 22(4), 12-18.

Panel polikristalin juga dikenal dengan efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin. Efisiensi konversi energi untuk panel polikristalin umumnya berkisar antara 13 hingga 17%, tergantung pada kualitas dan teknologi pembuatan panel tersebut. Meski efisiensinya sedikit lebih rendah, panel polikristalin tetap menjadi pilihan populer karena biaya yang lebih rendah dan kinerja yang baik dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal.²⁴

1. Karakteristik Panel Surya Polikristalin

Panel polikristalin diproduksi dengan cara mencairkan silikon dan menuangkannya ke dalam cetakan untuk membentuk blok besar yang kemudian dipotong menjadi wafer tipis. Proses ini lebih cepat dan lebih murah dibandingkan dengan produksi panel monokristalin yang memerlukan kristalisasi silikon dalam bentuk tunggal yang lebih kompleks. Meskipun memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin, panel polikristalin tetap dapat menghasilkan daya yang stabil dalam kondisi tertentu. Mereka biasanya lebih efektif dalam kondisi pencahayaan yang lebih rendah, seperti saat awan atau selama musim hujan di daerah tropis. Selain itu, panel ini memiliki daya tahan yang cukup baik, dengan sebagian besar produsen memberikan garansi antara 20 hingga 25 tahun.²⁵

Panel polikristalin lebih terjangkau dibandingkan dengan panel monokristalin. Biaya pemasangannya biasanya lebih rendah karena bahan

²⁴ **Patel, S., & Kumar, R.** (2020). *Cost-Effectiveness of Polycrystalline Solar Panels for Residential Applications*. *Energy Economics*, 38(7), 27-34.

²⁵ **Hassan, M., & Akhtar, A.** (2020). *Performance Analysis of Polycrystalline Solar Panels in Tropical Climates*. *Solar Energy Research*, 30(2), 44-51.

bakunya yang lebih mudah ditemukan dan proses produksinya yang lebih efisien. Hal ini membuat panel polikristalin sangat menarik untuk proyek-proyek dengan anggaran terbatas atau untuk aplikasi rumah tangga yang lebih kecil di daerah tropis, yang dapat mengurangi beban biaya energi.²⁶

2. Keunggulan Panel Surya Polikristalin

Seperti yang telah disebutkan, salah satu keunggulan utama dari panel surya polikristalin adalah biaya produksi yang lebih rendah. Panel ini dapat diproduksi dengan biaya yang lebih rendah daripada panel monokristalin karena proses pembuatan yang lebih sederhana dan lebih cepat. Keunggulan biaya ini memungkinkan panel surya polikristalin menjadi pilihan yang lebih ekonomis, terutama di pasar negara berkembang. Panel polikristalin sering kali menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada panel monokristalin dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal, seperti di bawah naungan atau saat radiasi matahari lebih tersebar, yang sering terjadi di daerah tropis selama musim hujan.²⁷

3. Kekurangan Panel Surya Polikristalin

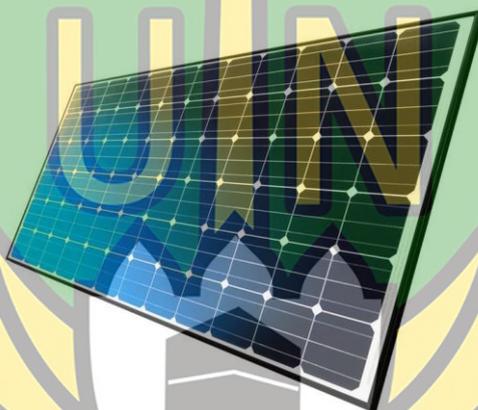
Meskipun lebih murah untuk diproduksi, salah satu kekurangan utama dari panel polikristalin adalah efisiensinya yang lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin. Panel polikristalin hanya dapat mengonversi 13 hingga 17% dari energi matahari menjadi listrik, sementara panel monokristalin dapat mencapai 18 hingga 22% efisiensi konversi energi. Hal ini berarti panel polikristalin membutuhkan lebih banyak ruang untuk

²⁶ Nguyen, T., & Smith, P. (2021). *Economic Benefits and Cost-Efficiency of Polycrystalline Solar Panels*. Energy Infrastructure Journal, 17(2), 12-17.

²⁷ Bhat, R., & Sharma, P. (2022). *Solar Power Adoption in Tropical Regions: The Role of Polycrystalline Panels*. Renewable Energy Policy Review, 10(4), 75-82.

menghasilkan daya yang setara dengan panel monokristalin, yang bisa menjadi masalah jika lahan terbatas. Seperti halnya dengan semua jenis panel surya, suhu tinggi dapat menurunkan efisiensi panel polikristalin. Di daerah tropis, di mana suhu udara sering kali sangat tinggi, panel ini cenderung mengalami penurunan efisiensi pada kondisi panas yang ekstrem, meskipun penurunan tersebut biasanya tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan jenis panel lainnya.²⁸

D. Panel Surya Monokristalin



Gambar 2.4 Panel Surya Monokristalin

Panel surya monokristalin adalah salah satu jenis teknologi fotovoltaik yang terbuat dari silikon kristalin. Berbeda dengan panel polikristalin, yang terbuat dari beberapa kristal silikon yang disatukan, panel monokristalin dibuat dari satu kristal silikon tunggal yang dipotong menjadi wafer tipis. Struktur monokristalin ini memberikan keunggulan dalam hal efisiensi dan kinerja karena memiliki lebih sedikit batasan antara kristal-kristal silikon, yang memungkinkan aliran elektron yang lebih efisien.

²⁸ Khan, A., & Ali, M. (2020). Impact of Temperature on Solar Panel Efficiency in Tropical Regions. *Renewable Energy Systems*, 19(8), 30-38.

Panel monokristalin dikenal memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel polikristalin. Efisiensi panel monokristalin dapat mencapai 18 hingga 22%, tergantung pada teknologi pembuatan dan kualitas silikon yang digunakan. Dengan efisiensi yang lebih tinggi, panel ini lebih mampu mengonversi cahaya matahari menjadi listrik dengan jumlah yang lebih besar dalam ruang yang lebih kecil.²⁹

1. Karakteristik Panel Surya Monokristalin

Panel monokristalin dibuat dengan cara memanaskan silikon murni hingga menjadi cair, kemudian mengkristalkannya dalam bentuk tunggal menggunakan metode yang disebut dengan Czochralski process. Setelah kristal silikon tunggal terbentuk, kristal tersebut dipotong menjadi wafer tipis yang kemudian diproses lebih lanjut menjadi sel surya. Proses pembuatan yang lebih rumit ini menjadikan panel monokristalin lebih mahal dibandingkan dengan panel polikristalin. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, efisiensi panel monokristalin lebih tinggi dibandingkan dengan panel polikristalin. Rata-rata, panel monokristalin dapat mengonversi sekitar 18 hingga 22% dari cahaya matahari yang diterima menjadi energi listrik, sementara panel polikristalin hanya mampu mengonversi sekitar 13 hingga 17%. Keunggulan efisiensi ini membuat panel monokristalin lebih cocok untuk instalasi di area terbatas.³⁰

2. Keunggulan Panel Surya Monokristalin

Salah satu keuntungan utama dari panel monokristalin adalah kemampuan

²⁹ Miller, A., & Thomas, P. (2020). *Monocrystalline Solar Panels: Efficiency and Performance*. *Solar Energy Journal*, 34(2), 14-22.

³⁰ Nguyen, H., & Patel, V. (2021). *Efficiency of Monocrystalline Solar Panels in Different Lighting Conditions*. *Journal of Energy Conversion*, 22(3), 89-94.

mereka untuk menghasilkan lebih banyak energi per meter persegi dibandingkan dengan panel polikristalin. Hal ini sangat bermanfaat di lokasi dengan ruang terbatas, seperti atap rumah atau fasilitas komersial di kawasan perkotaan⁷. Keunggulan ini menjadikan panel monokristalin sangat ideal untuk daerah yang membutuhkan solusi energi terbarukan dalam ruang yang terbatas.

Keunggulan lain dari panel monokristalin adalah ketahanannya terhadap degradasi. Panel ini cenderung lebih stabil dan tahan lama meskipun telah beroperasi selama bertahun-tahun, berkat proses pembuatan yang lebih presisi. Dengan garansi jangka panjang hingga 25 tahun, panel ini menawarkan pengembalian investasi yang lebih baik dalam jangka waktu Panjang.³¹

3. Kekurangan Panel Surya Monokristalin

Salah satu kekurangan utama dari panel monokristalin adalah biaya produksinya yang lebih tinggi. Proses pembuatan yang lebih kompleks, termasuk penggunaan teknologi seperti Czochralski process untuk menghasilkan kristal silikon tunggal, membuat biaya produksi panel ini lebih mahal dibandingkan dengan panel polikristalin. Hal ini menyebabkan harga jual panel monokristalin juga lebih tinggi, meskipun dalam jangka panjang dapat mengimbangi biaya awal dengan efisiensi yang lebih tinggi.

Seperti halnya dengan semua jenis panel surya, suhu tinggi dapat menurunkan efisiensi panel monokristalin. Meskipun memiliki efisiensi yang lebih baik pada suhu normal, di daerah tropis yang sering kali memiliki

³¹ Wang, X., & Li, J. (2020). *Long-Term Stability and Degradation of Monocrystalline Solar Panels*. *International Journal of Solar Energy*, 11(2), 14-22.

suhu tinggi, panel ini juga mengalami penurunan efisiensi jika suhu lingkungan sangat tinggi. Namun, penurunan ini tidak seburuk pada panel polikristalin yang lebih rentan terhadap suhu ekstrem.³²

E. Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya, sebagaimana dijelaskan sebelumnya, merupakan ukuran kemampuan panel dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Efisiensi ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kualitas bahan semikonduktor, teknologi pembuatan panel, serta kondisi lingkungan tempat panel surya dipasang.



Gambar 2.5 Efisiensi Panel Surya

Dalam konteks ini, ada beberapa aspek tambahan yang perlu diperhatikan terkait efisiensi panel surya:

1. Pengaruh Teknologi dan Desain Panel

Selain bahan semikonduktor, teknologi fabrikasi dan desain panel juga memengaruhi efisiensinya. Teknologi terbaru dalam pembuatan panel surya dapat meningkatkan efisiensi dengan cara memaksimalkan penggunaan bahan dan mengurangi kerugian energi yang terjadi selama proses konversi.

³² Goh, L., & Tan, W. (2020). *The Effect of Temperature on Solar Panel Performance in Tropical Climates*. *Journal of Renewable Energy Science*, 16(2), 24-31.

Contohnya adalah teknologi perovskite, yang digunakan pada beberapa penelitian dan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi daripada teknologi silikon tradisional. Namun, teknologi ini masih dalam tahap pengembangan dan belum banyak diterapkan pada panel surya komersial.

2. Pengaruh Pencemaran dan Kotoran

Kondisi lingkungan yang terpapar debu, polusi udara, atau kotoran lainnya dapat mengurangi efisiensi panel surya. Hal ini terjadi karena partikel-partikel yang menempel pada permukaan panel dapat menghalangi penyerapan cahaya matahari dan meningkatkan refleksi cahaya, yang pada gilirannya mengurangi daya yang dihasilkan oleh panel. Di daerah yang memiliki tingkat polusi atau debu yang tinggi, seperti di gurun atau kota-kota besar dengan polusi udara tinggi, penurunan efisiensi ini bisa sangat signifikan.

3. Pengaruh Sudut Pemasangan dan Orientasi

Orientasi dan sudut pemasangan panel surya juga memainkan peran penting dalam efisiensi. Untuk mendapatkan efisiensi maksimal, panel surya harus dipasang pada sudut yang tepat sesuai dengan garis lintang tempat panel dipasang. Panel yang dipasang terlalu miring atau dengan orientasi yang salah tidak akan menangkap cahaya matahari dengan optimal, yang akan mengurangi efisiensinya.

4. Efisiensi dalam Kondisi Suhu Tinggi

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, suhu tinggi dapat mempengaruhi efisiensi panel surya. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi pada panel. Meskipun

panel surya monokristalin cenderung lebih efisien pada suhu rendah hingga sedang, pada suhu tinggi, efisiensinya menurun lebih signifikan dibandingkan dengan panel polikristalin.

F. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas dan jenis panel itu sendiri, tetapi juga oleh berbagai faktor eksternal yang berinteraksi dengan panel surya, seperti kondisi lingkungan, cuaca, dan karakteristik instalasi. Dalam konteks daerah tropis, kondisi iklim yang khusus dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja dan efisiensi panel surya. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi panel surya antara lain intensitas cahaya matahari, suhu, kelembapan, debu dan kotoran, serta sudut kemiringan dan orientasi panel. Berikut adalah pembahasan lebih mendalam mengenai faktor-faktor tersebut :

1. Intensitas Matahari

Intensitas cahaya matahari adalah salah satu faktor yang paling penting dalam menentukan efisiensi konversi energi pada panel surya. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel, semakin banyak energi yang dapat diubah menjadi listrik. Pada umumnya, daerah tropis menerima cahaya matahari yang lebih banyak dibandingkan dengan daerah non-tropis, terutama karena kedekatannya dengan garis khatulistiwa. Intensitas cahaya matahari di daerah tropis memiliki fluktuasi yang sangat kecil sepanjang tahun, sehingga diharapkan panel surya akan beroperasi pada kapasitas maksimal hampir sepanjang tahun.

Namun, meskipun intensitas cahaya matahari tinggi di daerah tropis, distribusinya tidak selalu merata. Faktor lain yang dapat memengaruhi

intensitas cahaya adalah waktu dalam sehari dan musim. Pada siang hari, intensitas cahaya matahari umumnya paling tinggi pada tengah hari, dan berkurang pada pagi atau sore hari. Selain itu, adanya awan dan kondisi cuaca buruk (seperti hujan atau mendung) dapat mengurangi jumlah cahaya yang mencapai panel surya, sehingga mempengaruhi efisiensi. Oleh karena itu, pengukuran intensitas cahaya matahari di berbagai waktu sepanjang hari sangat penting untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat mengenai potensi energi yang dapat dihasilkan.

Pada kondisi tertentu, bahkan ketika cuaca mendung atau tidak ada sinar matahari langsung, panel surya masih dapat menghasilkan energi, meskipun tidak sebanyak ketika terpapar cahaya matahari penuh. Hal ini mengharuskan penggunaan perangkat pengukuran yang tepat, seperti lux meter, untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima panel.

2. Suhu

Suhu panel surya memainkan peran yang besar dalam efisiensinya. Pada suhu yang tinggi, efisiensi konversi energi berkurang. Hal ini terjadi karena peningkatan suhu menyebabkan peningkatan resistansi internal pada panel, yang menghambat aliran arus listrik. Di daerah tropis, di mana suhu sering kali sangat tinggi, panel surya harus dirancang untuk mengatasi suhu tinggi tanpa mengurangi kinerjanya secara signifikan.

Suhu adalah faktor kedua yang sangat mempengaruhi efisiensi panel surya. Ketika suhu lingkungan meningkat, efisiensi konversi energi listrik pada panel surya cenderung menurun. Meskipun sinar matahari yang lebih kuat dapat meningkatkan jumlah energi yang diterima oleh panel, suhu yang

tinggi mengurangi kemampuan panel untuk mengubah energi matahari menjadi listrik secara efektif. Hal ini terjadi karena peningkatan suhu pada panel surya menyebabkan peningkatan resistansi internal dalam material semikonduktor panel, yang pada gilirannya mengurangi arus listrik yang dihasilkan.

Di daerah tropis, suhu udara yang tinggi dapat menjadi salah satu tantangan terbesar dalam efisiensi panel surya. Suhu rata-rata di daerah tropis sering kali lebih tinggi dibandingkan dengan daerah subtropis atau kutub, dan ini bisa menyebabkan penurunan kinerja panel, terutama selama siang hari yang terpanas. Pengaruh suhu ini lebih signifikan pada panel surya berbahan monokristalin dan polikristalin, yang keduanya lebih rentan terhadap penurunan efisiensi pada suhu tinggi. Oleh karena itu, penting untuk memilih panel surya yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan memastikan bahwa sistem instalasi memiliki mekanisme penurunan suhu yang baik, seperti menggunakan sistem ventilasi atau pemasangan panel yang memiliki ruang cukup untuk sirkulasi udara.

3. Kelembapan

Kelembapan udara di daerah tropis juga mempengaruhi kinerja panel surya. Kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi panel karena pembentukan kondensasi yang dapat menutupi permukaan panel dan mengurangi jumlah cahaya yang dapat diserap. Selain itu, kelembapan juga dapat menyebabkan korosi pada komponen-komponen internal panel, yang mengurangi umur panel secara keseluruhan.

Kelembapan udara adalah faktor penting lainnya yang mempengaruhi

kinerja panel surya, terutama di daerah tropis yang dikenal dengan kelembapan tinggi sepanjang tahun. Kelembapan yang tinggi dapat mempengaruhi panel surya dalam beberapa cara. Salah satunya adalah pembentukan kondensasi pada permukaan panel, yang dapat menutupi lapisan sel fotovoltaik dan mengurangi jumlah cahaya matahari yang dapat diserap oleh panel. Kondensasi ini dapat terjadi terutama pada pagi hari ketika suhu turun dan kelembapan udara meningkat, yang mengarah pada penurunan efisiensi konversi energi pada panel.

Selain itu, kelembapan yang tinggi juga dapat menyebabkan masalah korosi pada komponen-komponen panel surya, terutama pada bagian rangka dan sambungan listrik. Korosi ini akan mengurangi umur panel surya dan dapat mempengaruhi stabilitas kinerja panel dalam jangka panjang. Oleh karena itu, dalam desain panel surya yang digunakan di daerah tropis, harus dipertimbangkan penggunaan material yang tahan terhadap kelembapan tinggi dan tidak mudah terkorosi.

Pengaruh kelembapan terhadap efisiensi panel surya sering kali lebih terasa pada musim hujan atau pada daerah yang sering mengalami kondisi lembap. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan memastikan panel surya dilengkapi dengan sistem pemeliharaan rutin, termasuk pembersihan panel secara berkala untuk menghindari penumpukan kotoran atau air yang dapat mengurangi kinerja.

4. Kondisi Cuaca

Kondisi cuaca, seperti awan atau hujan, dapat mengurangi intensitas cahaya yang mencapai panel surya. Oleh karena itu, meskipun daerah tropis

menerima sinar matahari yang melimpah, kondisi cuaca yang tidak menentu dapat menyebabkan penurunan efisiensi dalam jangka pendek.

5. Debu dan Kotoran

Debu dan kotoran yang menempel pada permukaan panel surya juga dapat mengurangi efisiensinya. Di daerah tropis, faktor-faktor seperti debu yang terbawa angin, polusi udara, atau bahkan pertumbuhan lumut dapat menutupi permukaan panel, yang pada gilirannya mengurangi jumlah cahaya yang diserap dan memperburuk kinerja panel. Penurunan efisiensi akibat debu ini terutama terlihat di daerah yang memiliki tingkat polusi udara tinggi atau yang terletak dekat dengan gurun pasir atau tanah yang kering.

Debu dan kotoran yang menempel pada permukaan panel surya dapat mengurangi jumlah radiasi cahaya yang mencapai permukaan sel fotovoltaik, dan dapat menyebabkan panel tidak dapat menghasilkan listrik dengan baik. Oleh karena itu, salah satu langkah penting untuk mempertahankan efisiensi panel adalah dengan melakukan pembersihan secara berkala, khususnya di daerah-daerah dengan tingkat polusi yang tinggi.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengukur efisiensi panel surya polikristalin dan monokristalin di lokasi yang memiliki kondisi iklim tropis. Penelitian ini menguji secara langsung bagaimana panel surya polikristalin dan monokristalin berperforma di bawah kondisi iklim tropis. Peneliti melakukan percobaan di lapangan dengan mengamati atau mengukur variabel seperti daya yang dihasilkan, efisiensi konversi energi, respon terhadap variasi suhu, dan pengaruh kelembapan.

Pengukuran dilakukan dalam kondisi iklim yang terkontrol, dengan tujuan untuk mendapatkan data empiris mengenai perbandingan efisiensi kedua jenis panel surya tersebut. Jenis penelitian ini dapat dikategorikan sebagai penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif, yang menguji dan membandingkan kinerja dua jenis panel surya dalam kondisi iklim tropis.

Dalam penelitian ini peneliti mengumpulkan data dan informasi yang relevan untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang objek yang diteliti. Metode penelitian eksperimen berarti mencoba, mencari, dan mengkonfirmasi. Penelitian eksperimental melibatkan pengujian langsung terhadap panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi yang dikontrol. Peneliti dapat melakukan percobaan dengan mengukur efisiensi panel surya dalam kondisi iklim tropis, seperti variasi suhu, kelembapan, dan

intensitas matahari.³³

Penelitian ini yaitu mengukur secara langsung pengaruh kondisi iklim tropis terhadap efisiensi panel surya dan mengidentifikasi faktor-faktor yang paling signifikan dalam memengaruhi kinerja panel. Contohnya seperti menggunakan panel surya polikristalin dan monokristalin di dalam lingkungan tropis dan memantau output energi, suhu panel, dan kondisi cuaca.

Adapun Langkah - langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Diagram Sistem Analisis

³³ Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Buku ini mendeskripsikan desain penelitian eksperimen dan pentingnya kontrol dalam eksperimen.

a. Pemasangan Panel

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemasangan panel surya.

Pada tahap ini, panel polikristalin dan monokristalin dipasang di lokasi yang representatif, di mana intensitas cahaya matahari dan kondisi lingkungan dapat diamati secara langsung.

b. Pengumpulan Data Lingkungan

Setelah panel dipasang, tahap berikutnya adalah pengumpulan data lingkungan. Pada tahap ini, sejumlah parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya dicatat. Parameter yang diukur antara lain adalah intensitas cahaya matahari (W/m^2), suhu panel ($^{\circ}\text{C}$), dan kelembapan relatif (%).

c. Pengumpulan Data dan Hasil

Dilakukan pengumpulan data hasil dari panel surya, yang mencakup daya yang dihasilkan (W), tegangan (V), dan arus (A) yang dihasilkan oleh masing-masing panel. Data ini diambil secara berkala dalam periode waktu yang telah ditentukan, untuk memastikan hasil yang representatif.

d. Perhitungan Efisiensi

Efisiensi dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya yang dihasilkan}}{\text{Energi yang diterima}} \times 100 \%$$

Di mana energi yang diterima dihitung berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel. Penghitungan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efisien setiap jenis panel dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Perbandingan efisiensi antara panel monokristalin dan polikristalin sangat penting untuk menentukan kinerja

relatif kedua jenis panel.

e. Analisis Statistik

Pada tahap ini, data yang telah diperoleh dianalisis dengan menggunakan teknik statistik untuk mengidentifikasi pola, perbedaan yang signifikan, dan variabilitas dalam hasil. Misalnya, uji t-test dapat dilakukan untuk melihat apakah ada perbedaan yang signifikan antara efisiensi kedua jenis panel dalam kondisi lingkungan yang serupa.

f. Hasil dan Kesimpulan

Setelah analisis statistik dilakukan, hasil penelitian disajikan. Hasil ini mencakup perbandingan efisiensi kedua jenis panel surya, analisis daya yang dihasilkan, serta pengaruh faktor lingkungan terhadap kinerja panel. Kesimpulan yang ditarik berdasarkan hasil analisis akan mencakup temuan utama mengenai mana yang lebih efisien dalam kondisi iklim tropis, yaitu panel polikristalin atau monokristalin.

2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan karakteristik iklim tropis yang ideal untuk menguji performa panel surya.



Gambar 3.2 Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-raniry.

3. Jenis dan Spesifikasi Panel Surya

Pada penelitian ini, dua jenis panel surya yang akan dibandingkan adalah:

a. Panel Polikristalin

Panel yang terbuat dari silikon yang terdiri dari beberapa kristal, dengan efisiensi sekitar 13%-18%. Meskipun lebih murah, panel ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan monokristalin.



Gambar 3.3 Panel Surya Polikristalin

LUMINCUS Luminous Power Technologies Pvt.Ltd.	
Plot No. 150, Sector - 44, Gurgaon - 122003, Haryana, India	
Model No.	LUM100P
Serial No.	812201027833
Production date	2020-10-28
Peak power/Pmax(W)	100
Power tolerance range(W)	±3%
Open circuit voltage/Voc(V)	22.53
Rated voltage/Vmp(V)	18.29
Short circuit current/Isc(A)	5.82
Rated current/Imp(A)	5.47
Max. system voltage(V)	600
Dimension(mm)	1005*665*30
Weight(KG)	7.2
Series Fuse Rating(A)	10
Application class	Class A
<small>Reference Specification in standard test conditions (STC): 1000W/m² irradiance, temperature 25 °C, AM1.5, 1min</small>	
<small>Warning</small>	
<small>Before installing, please carefully read the safety and other information on the back of the panel. The safety and other information on the back of the panel is available on the website: www.luminouspower.com</small>	

Gambar 3.4 Spesifikasi Panel Surya Polikristalin

b. Panel Surya Monokristalin

Panel yang menggunakan sel surya berbahan dasar silikon tunggal dengan efisiensi konversi energi sekitar 18%-22%. Panel ini dipilih karena memiliki kinerja tinggi pada intensitas radiasi matahari yang kuat.



Gambar 3.5 Panel Surya Monokristalin

SOLANA +plus	
MONO-12V-100	
Max. Power (Pmax)	100 Wp
Optimum Operating Voltage (Vmp)	18.3V
Optimum Operating Current (Imp)	5.47A
Open-circuit Voltage (Voc)	22.1V
Short-circuit Current (Isc)	5.81A
Power Tolerance (Pmax)	0-±3%
Module Dimension (mm)	870x670x30
Weight	6.1Kg
Max. Series Fuse Rating	20A

All electrical data is given under Standard Conditions: 1000 W/m² irradiance of 1000nm/cm², spectrum AM1.5 and cell temperature of 25°C.

AR-RANBY

WARNING-ELECTRICAL HAZARD
This solar module produces electrical voltage when exposed to sunlight or intense artificial light. To prevent personal injury, avoid contact with electrical systems must be taken with handling and installation.
PLEASE READ THE INSTRUCTION MANUAL FOR MORE INFORMATION PRIOR TO INSTALLATION

Gambar 3.6 Spesifikasi Panel Surya Monokristalin

B. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data merujuk pada metode-metode yang digunakan untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk menganalisis perbandingan efisiensi antara panel surya monokristalin

dan polikristalin yang diuji di kondisi iklim tropis. Pengumpulan data yang tepat sangat penting untuk memastikan hasil penelitian yang akurat dan dapat dipercaya.

Dalam analisis efisiensi panel surya polikristalin dan monokristalin di kondisi iklim tropis, Teknik pengumpulan data sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat dan representative.³⁴ Data yang terkumpul akan menjadi dasar untuk menilai pengaruh faktor-faktor lingkungan, seperti radiasi matahari, suhu, dan kelembapan udara, terhadap efisiensi konversi energi dari masing-masing panel surya. Berikut adalah teknik-teknik pengumpulan data yang dapat digunakan, disertai dengan penjelasan dan prosedur masing-masing :

1. Pengukuran Intensitas Cahaya

a. Menggunakan Solar Power Meter



Gambar 3.7 Solar Power Meter

Prosedur :

- 1) Posisikan Solar Power Meter ditengah panel, pastikan alat menghadap

³⁴ Sahu, S. K., & Das, S. (2015). "Data collection methods for solar energy research: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 741-749.

langsung ke arah atas.

2) Bacalah nilai intensitas cahaya yang ditampilkan pada layar Solar Power Meter. Nilai ini akan menunjukkan intensitas cahaya yang diterima.

3) Catat pembacaan yang dihasilkan oleh Solar Power Meter.

b. Tujuan

Untuk mengetahui seberapa banyak energi matahari yang diterima oleh kedua jenis panel surya. Mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya merupakan faktor kunci dalam menentukan efisiensi panel. Radiasi matahari adalah faktor utama yang memengaruhi kinerja panel surya, terutama di daerah tropis yang memiliki intensitas cahaya yang tinggi.

2. Pengukuran Suhu

a. Menggunakan Multimeter



Gambar 3.8 Multimeter

Prosedur :

1) Hubungkan adapter dari multimeter dekat dengan panel surya untuk mengukur suhu panel secara langsung.

- 2) Tentukan titik pengukuran suhu pada panel surya yang akan diuji.
Biasanya, suhu diukur pada bagian permukaan panel, tempat yang paling terpapar oleh cahaya matahari.
- 3) Pastikan tidak ada gangguan dari bayangan atau objek lain yang bisa mempengaruhi suhu di area pengukuran.
- 4) Kalibrasi alat sesuai dengan instruksi untuk memastikan hasil yang akurat.
- 5) Catat suhu yang dihasilkan dari panel tersebut.

b. Tujuan

Panel surya cenderung lebih panas di daerah tropis, dan suhu ini bisa mempengaruhi efisiensi konversi energi. Oleh karena itu, suhu panel surya diukur untuk mengetahui bagaimana perubahan suhu memengaruhi efisiensi panel monokristalin dan polikristalin.

3. Pengukuran Output Energi

a. Menggunakan Multimeter



Gambar 3.9 Multimeter

Prosedur :

- 1) Siapkan multimeter, panel surya, dan kabel penghubung.
- 2) Atur multimeter ke mode pengukuran tegangan DC untuk mengukur tegangan dan mode arus DC untuk mengukur arus. Sambungkan probe multimeter ke terminal output panel surya.
- 3) Hubungkan multimeter ke terminal output panel surya untuk mengukur tegangan dan arus.
- 4) Ukur tegangan (V) dengan multimeter pada terminal output.
- 5) Ukur arus (I) dengan menghubungkan multimeter secara seri dengan panel.
- 6) Catat tegangan, arus, dan daya output panel tersebut.
- 7) Catat hasil daya output yang diukur dan ulangi untuk panel lainnya.

b. Tujuan

Mengukur output energi dari panel surya untuk menentukan efisiensi panel dalam menghasilkan listrik.

4. Observasi Lapangan

a. Menggunakan Kamera Handphone



Gambar 3.10 Kamera Handphone

Prosedur :

- 1) Amati kondisi fisik panel surya dan lingkungan sekitar, termasuk kebersihan panel, kerusakan, atau penumpukan debu.
- 2) Gunakan kamera untuk mengambil foto dan video dari instalasi panel surya dan kondisi lingkungan.

b. Tujuan :

Mendokumentasikan kondisi fisik dan faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi efisiensi panel surya.

5. Pengukuran Kelembapan

a. Menggunakan Higrometer



Gambar 3.11 Higrometer

Prosedur :

- 1) Hidupkan hygrometer dengan memasangkan baterai
- 2) Salurkan kabel nya dengan panel
- 3) Hasil kelembapan terbaca
- 4) Catat hasil kelembapan tersebut

Tujuan :

Memonitori kelembapan udara untuk menilai dampaknya pada kinerja panel surya

6. Pencatatan Data

a. Penggunaan Sistem Manajemen Data

Prosedur :

- 1) Masukkan data dari semua alat pengukur ke dalam satu catatan
- 2) Kategorikan data berdasarkan jenis pengukuran (intensitas, suhu, kelembapan, output energi).
- 4) Simpan data dalam format yang mudah diakses dan dianalisis.

b. Tujuan

Mengelola dan mengorganisir data yang dikumpulkan untuk analisis dan interpretasi yang lebih mudah.

7. Perhitungan Efisiensi Energi

Efisiensi panel surya dihitung berdasarkan rumus :

$$\text{Efisiensi Panel (\%)} = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Intensitas cahaya yang Diterima} \times \text{Luas Panel}} \times 100$$

Dimana :

- a. Daya Output adalah daya yang dihasilkan oleh panel (dalam watt),
- b. Intensitas cahaya yang diterima adalah intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel (dalam W/m²).
- c. Luas Panel adalah luas area panel yang dipasang (dalam m²).³⁵

³⁵ Duffie, J.A., & Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons.

C. Teknik Analisa Data

Fokus dari analisis ini adalah untuk membandingkan kinerja panel surya polikristalin dan monokristalin dalam menghasilkan daya dan efisiensi dalam kondisi lingkungan tropis, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti intensitas cahaya, suhu panel, daya yang dihasilkan, dan luas panel.

1. Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Untuk menghitung efisiensi, kita menggunakan rumus yang mempertimbangkan daya output yang dihasilkan oleh panel dan radiasi matahari yang diterima, serta luas panel. Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Efisiensi Panel (\%)} = \frac{\text{Daya yang dihasilkan (W)}}{\text{Intensitas cahaya } \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \times \text{Luas Panel (m}^2\text{)}} \times 100$$

Dimana :

- Daya yang Dihasilkan (W) dihitung dari tegangan (V) dan arus (A) yang dihasilkan oleh panel.
- Intensitas Cahaya (W/m²) adalah jumlah energi matahari yang diterima oleh permukaan panel per satuan luas.
- Luas Panel (m²) untuk panel polikristalin adalah 0.669 m² dan untuk panel monokristalin adalah 0.536 m².

2. Perhitungan Daya yang dihasilkan

Daya dihasilkan dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Daya (W)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)}$$

Contoh :

- Panel Polikristalin

$$\text{Tegangan (V)} = 17.95 \text{ V}$$

$$\text{Arus (A)} = 2.6 \text{ A}$$

$$\text{Daya yang dihasilkan} = 17.95 \text{ V} \times 2.6 \text{ A} = 46.7 \text{ W}$$

b) Panel Monokristalin

$$\text{Tegangan (V)} = 19.35 \text{ V}$$

$$\text{Arus (A)} = 2.4 \text{ A}$$

$$\text{Daya yang dihasilkan} = 19.35 \text{ V} \times 2.4 \text{ A} = 46.4 \text{ W}$$

3. Menghitung Efisiensi dengan Memperhitungkan Luas Panel

Setelah daya yang dihasilkan dihitung, kita dapat menghitung efisiensi untuk masing-masing panel dengan memasukkan data intensitas cahaya dan luas panel ke dalam rumus efisiensi.

Contoh :

a) Panel Polikristalin

$$\text{Intensitas Cahaya} = 850 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Daya yang Dihasilkan} = 46.7 \text{ W}$$

$$\text{Luas Panel} = 0.669 \text{ m}^2$$

$$\text{Efisiensi Panel Polikristalin} = \frac{46.7}{850 \times 0.669} \times 100\% = 8.2\%$$

$$\text{Daya (W)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)}$$

b) Panel Monokristalin

$$\text{Intensitas Cahaya} = 850 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Daya yang Dihasilkan} = 46.4 \text{ W}$$

$$\text{Luas Panel} = 0.536 \text{ m}^2$$

$$\text{Efisiensi Panel Polikristalin} = \frac{46.4}{850 \times 0.536} \times 100\% = 10.2\%$$

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari

Penelitian ini dilakukan dengan mengukur efisiensi dua jenis panel surya polikristalin dan monokristalin yang dipasang di lokasi dengan iklim tropis yang khas, yang memiliki suhu tinggi dan intensitas cahaya matahari yang cukup besar. Pengukuran intensitas cahaya matahari adalah salah satu aspek penting dalam penelitian yang berkaitan dengan panel surya. Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya berperan langsung dalam menentukan seberapa besar energi yang dapat dihasilkan oleh panel tersebut.

Panel surya mengkonversi intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik. Oleh karena itu, memahami variabilitas intensitas cahaya matahari dalam berbagai kondisi sangat penting untuk mengevaluasi kinerja panel surya, khususnya dalam kondisi iklim tropis yang memiliki perubahan cuaca yang cukup signifikan.

Intensitas cahaya matahari, atau radiasi matahari, merujuk pada jumlah energi yang diterima oleh permukaan per unit luas per satuan waktu. Biasanya diukur dalam satuan watt per meter persegi (W/m^2). Intensitas ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti waktu dalam sehari, musim, kondisi cuaca (cerah, mendung, hujan), serta geografi (misalnya, ketinggian dan latitude). Untuk penelitian panel surya, intensitas cahaya yang diterima oleh panel merupakan faktor kunci yang mempengaruhi efisiensinya.



Gambar 4.1 Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin

Untuk mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya, alat yang biasa digunakan adalah Solar Power Meter. Solar Power Meter mengukur jumlah cahaya tampak yang diterima, sedangkan pyranometer mengukur seluruh radiasi yang diterima dalam spektrum elektromagnetik, termasuk sinar ultraviolet dan inframerah. Solar Power Meter umumnya digunakan dalam penelitian ini karena lebih mudah digunakan dan mudah didapatkan, meskipun pengukurannya hanya mencakup cahaya tampak.

Pengukuran dilakukan dengan memperhitungkan faktor-faktor seperti suhu, intensitas cahaya, kelembapan dan daya listrik yang dihasilkan oleh masing-masing panel. Intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya, yang diukur dengan Solar Power Meter dan dikonversi menjadi W/m^2 , menunjukkan variasi yang mempengaruhi kinerja panel surya.

Gambar berikut menunjukkan salah satu hasil intensitas cahaya yang diterima selama pengujian.



Gambar 4.2 Intensitas Cahaya dihasilkan

Berdasarkan gambar diatas, hasil pengukuran intensitas cahaya pada penelitian ini diketahui bahwa intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya adalah sebesar 952.2 W/m^2 . Nilai ini menggambarkan jumlah energi matahari yang mencapai permukaan panel dalam satuan waktu per satuan luas, yang merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja dan daya yang dihasilkan oleh panel surya.

2. Perbandingan Efisiensi Panel Surya

Perbandingan efisiensi panel surya sering kali dilakukan berdasarkan beberapa faktor, seperti jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan, dan teknologi manufaktur. Efisiensi ini mengacu pada kemampuan panel surya untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Dalam hal ini, efisiensi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis material panel, kondisi lingkungan.

Berikut adalah penjelasan lebih mendalam mengenai perbandingan efisiensi kedua jenis panel surya tersebut. Pada penelitian ini, data yang dikumpulkan

meliputi beberapa parameter penting, yaitu :

- a. Intensitas Cahaya, dimana mengukur jumlah energi cahaya matahari yang diterima oleh panel surya. Intensitas cahaya yang lebih tinggi cenderung meningkatkan daya yang dihasilkan oleh panel.
- b. Suhu Panel, Mengukur suhu permukaan panel surya, yang dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi. Suhu yang lebih tinggi biasanya menurunkan efisiensi panel surya.
- c. Tegangan, Mengukur tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Tegangan ini berhubungan langsung dengan daya yang dihasilkan oleh panel.
- d. Arus, Mengukur arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Arus yang lebih tinggi, jika disertai dengan tegangan yang sesuai, akan menghasilkan daya yang lebih besar.
- e. Daya yang dihasilkan, Menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, yang diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus ($P=V \times I$).
- f. Kelembapan, Mengukur tingkat kelembapan udara di sekitar panel. Meskipun kelembapan tidak selalu mempengaruhi intensitas cahaya, pada beberapa kondisi bisa berpengaruh terhadap kinerja panel surya.

Gambar berikut menunjukkan alat yang digunakan untuk mengumpulkan data selama penelitian.



Gambar 4.3 Alat yang digunakan

- 1) Intensitas Cahaya Matahari (dalam W/m^2), diukur menggunakan alat Solar Power Meter yang diletakkan di dekat panel.
- 2) Suhu Panel Surya (dalam $^{\circ}C$), diukur menggunakan multimeter yang dipasangkan konektor.
- 3) Kelembapan Udara (dalam %), diukur menggunakan Higrometer yang diletakkan dekat dengan panel surya.
- 4) Daya yang Dihasilkan (dalam Watt), dihitung berdasarkan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) yang dihasilkan oleh panel menggunakan multimeter. Daya dapat diukur dengan rumus (1).

$$P = V \times I \dots (1)$$

Keterangan : P adalah daya, V adalah tegangan, dan I adalah arus yang dihasilkan oleh panel surya.

Gambar berikut menunjukkan beberapa perbandingan output yang dihasilkan oleh panel surya polikristalin dan monokristalin selama pengujian yang dilakukan.

a) Tegangan



Gambar 4.4 Tegangan dari Polikristalin

Berdasarkan gambar hasil pengukuran, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya polikristalin pada kondisi tertentu adalah sebesar 20.95 V. Nilai tegangan ini menunjukkan potensi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya tersebut ketika terpapar cahaya matahari dengan intensitas yang telah diukur, yang merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan daya yang dihasilkan oleh panel tersebut.



Gambar 4.5 Tegangan dari Monokristalin

Sedangkan gambar hasil pengukuran, tegangan yang dihasilkan oleh panel

surya monokristalin pada kondisi pengujian adalah sebesar 21.24 V. Nilai tegangan ini menunjukkan potensi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya monokristalin, yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima serta karakteristik material panel tersebut. Tegangan ini berperan penting dalam proses konversi energi matahari menjadi daya listrik.

2) Arus



Gambar 4.6 Arus dihasilkan Polikristalin

Berdasarkan gambar hasil pengukuran, arus yang dihasilkan oleh panel surya polikristalin pada kondisi pengujian adalah sebesar 5.58 A. Nilai arus ini menunjukkan jumlah aliran listrik yang dihasilkan oleh panel surya tersebut, yang bergantung pada intensitas cahaya yang diterima serta efisiensi konversi energi oleh panel. Arus ini berperan penting dalam menentukan daya yang dapat digunakan atau disalurkan dari panel surya ke sistem listrik.



Gambar 4.7 Arus dihasilkan Monokristalin

Sedangkan gambar hasil pengukuran, arus yang dihasilkan oleh panel surya monokristalin pada kondisi pengujian adalah sebesar 5.10 A. Nilai arus ini menunjukkan jumlah aliran listrik yang dihasilkan oleh panel surya monokristalin, yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima dan efisiensi panel dalam mengonversi energi matahari menjadi daya listrik. Arus ini menjadi faktor penting dalam menentukan total daya yang dapat disuplai oleh panel surya ke sistem listrik.

3) Suhu



Gambar 4.8 Suhu pada Polikristalin

Berdasarkan gambar hasil pengukuran, suhu yang tercatat pada panel surya polikristalin adalah sebesar 51°C . Suhu ini menunjukkan kondisi operasional panel surya saat terpapar intensitas cahaya tertentu. Suhu yang lebih tinggi dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi listrik pada panel, karena peningkatan suhu biasanya akan menurunkan efisiensi panel surya dalam menghasilkan daya., meskipun monokristalin sedikit lebih unggul dalam hal tegangan yang lebih tinggi.



Gambar 4.9 Suhu pada Monokristalin

Berdasarkan gambar hasil pengukuran, suhu yang tercatat pada panel surya monokristalin adalah sebesar 50°C . Suhu ini mencerminkan kondisi operasional panel saat menerima intensitas cahaya tertentu. Meskipun suhu yang lebih tinggi dapat mengurangi efisiensi panel surya, panel monokristalin pada suhu ini tetap menunjukkan kinerja yang baik dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik.

4) Kelembapan



Gambar 4.10 Kelembapan

Gambar di atas menunjukkan tingkat kelembapan udara yang tercatat selama pengujian, yaitu sebesar 67%. Kelembapan yang tinggi ini dapat mempengaruhi kinerja panel surya, terutama dalam hal degradasi fisik jangka panjang, meskipun pada pengujian ini tidak terlihat dampak signifikan terhadap efisiensi konversi energi panel polikristalin maupun monokristalin.

Berikut adalah data hasil dari pengujian Polikristalin dan Monokristalin, dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel Data Hasil Penelitian

Jenis Panel	Intensitas Cahaya (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya yang Dihasilkan (W)	Kelembapan (%)
Polikristalin	952	51	20.95	5.58	116.8	67
Monokristalin	952	50	21.24	5.10	108.3	67

Keterangan : Tabel ini memberikan gambaran lengkap mengenai kondisi pengujian pada panel Polikristalin dan Monokristalin, termasuk data mengenai intensitas cahaya, suhu panel, tegangan, arus, daya yang dihasilkan, dan kelembapan.

3. Analisis Efisiensi Panel Surya

Untuk menganalisis efisiensi dari kedua jenis panel surya (polikristalin dan monokristalin) berdasarkan data yang terdapat dalam tabel 4.2 di atas, kita perlu mempertimbangkan beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi konversi energi surya, yaitu:

- a. Daya yang Dihasilkan, jumlah daya listrik yang dapat dihasilkan oleh masing-masing panel pada waktu tertentu.
- b. Intensitas Cahaya Matahari (Irradiance), jumlah energi matahari yang diterima oleh panel dalam satuan waktu (W/m^2). Intensitas cahaya ini mempengaruhi seberapa banyak energi yang dapat dikonversi oleh panel surya.
- c. Luas Panel, biasanya, efisiensi dihitung dengan mempertimbangkan luas permukaan panel dan daya yang dihasilkan. Berikut cara menghitung luas panel yang di uji :

$$\text{Luas Panel (m}^2\text{)} = \text{Panjang Panel (m)} \times \text{Lebar Panel (m)}$$

1) Polikristalin

$$\text{Luas Panel Polikristalin} = 1.005\text{m} \times 0.665\text{m} = 0.669 \text{ m}^2$$

2) Monokristalin

$$\text{Luas Panel Monokristalin} = 0.800\text{m} \times 0.670\text{m} = 0.536 \text{ m}^2$$

Catatan : Luas dihitung sesuai dengan spesifikasi dari kedua panel yang sudah ditampilkan pada bab 3.

Untuk setiap waktu pengukuran, kita dapat membandingkan daya yang dihasilkan oleh panel polikristalin dan panel monokristalin dengan intensitas cahaya yang diterima. Efisiensi relatif panel bisa diperkirakan dengan cara

membandingkan daya yang dihasilkan (W) pada intensitas cahaya yang sama.

Berikut hasil efisiensi antara panel surya polikristalin dan monokristalin. dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Efisiensi Polikristalin dan Monokristalin

Jenis Panel	Intensitas Cahaya (W/m ²)	Daya Dihadirkan (W)	Luas Panel (m ²)	Energi yang diterima (W)	Efisiensi (%)
Polikristalin	952	116.8	0.669	636.8	18.3
Monokristalin	952	108.3	0.536	510.7	21.2

Dari perhitungan efisiensi di atas, kita dapat menarik beberapa kesimpulan :

1. Energi yang Diterima (W), Energi yang diterima oleh panel dihitung dengan mengalikan intensitas cahaya (W/m²) dengan luas panel (m²).

a) Polikristalin : $952 \times 0.669 = 636.8 \text{ W}$

b) Monokristalin : $952 \times 0.536 = 510.7 \text{ W}$

2. Efisiensi dihitung dengan rumus :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya dihasilkan (W)}}{\text{Energi diterima (W)}} \times 100$$

a) Polikristalin : $\frac{116.8}{636.8} \times 100\% = 18.3 \%$

b) Monokristalin : $\frac{108.3}{510.7} \times 100\% = 21.2 \%$

3. Panel Polikristalin menghasilkan daya sebesar 116.8 W, dengan efisiensi 18.3%.

4. Panel Monokristalin menghasilkan daya sebesar 108.3 W, dengan efisiensi 21.2%.

Berdasarkan hasil perhitungan ini, meskipun panel polikristalin menghasilkan daya sedikit lebih banyak, panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi

dalam mengonversi energi matahari menjadi daya listrik.

B. Pembahasan

1. Efisiensi Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin

- a. Dari data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi (21.2%) dibandingkan dengan panel polikristalin yang hanya memiliki efisiensi sebesar 18.3%. Meskipun kedua panel menerima intensitas cahaya yang sama, yaitu 952 W/m^2 , perbedaan efisiensi ini mencerminkan perbedaan kemampuan kedua jenis panel dalam mengubah energi matahari menjadi daya listrik.
- b. Panel monokristalin dikenal memiliki struktur kristal tunggal yang lebih seragam dan lebih efisien dalam memanfaatkan cahaya matahari, terutama dalam kondisi cahaya yang terarah dan stabil. Hal ini memungkinkan panel monokristalin menghasilkan lebih banyak energi listrik per satuan area dibandingkan dengan panel polikristalin, meskipun keduanya menerima jumlah cahaya yang sama. Struktur ini memungkinkan lebih sedikit hambatan dalam aliran elektron, yang mengarah pada konversi energi yang lebih efisien.
- c. Sebaliknya, panel polikristalin yang terdiri dari kristal-kristal yang lebih kecil dan tidak seragam, cenderung memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah. Ini karena batasan-batasan di dalam kristal tersebut yang dapat menghalangi pergerakan elektron, sehingga mengurangi kemampuan panel untuk mengubah energi matahari menjadi listrik dengan efisiensi yang optimal.

2. Perbedaan Daya yang Dihasilkan

- a. Meskipun panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi, panel polikristalin menghasilkan daya yang sedikit lebih besar (116.8 W) dibandingkan dengan panel monokristalin (108.3 W) pada intensitas cahaya yang sama. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh faktor luas panel yang lebih besar pada panel polikristalin (0.669 m²) dibandingkan dengan panel monokristalin (0.536 m²).
- b. Panel polikristalin, meskipun efisiensinya lebih rendah, dapat mengumpulkan lebih banyak energi dari sinar matahari karena memiliki luas permukaan yang lebih besar. Dengan demikian, meskipun daya yang dihasilkan per unit area lebih rendah, total energi yang diterima oleh panel polikristalin lebih tinggi, yang mengarah pada output daya yang sedikit lebih besar.
- c. Sebaliknya, meskipun panel monokristalin lebih efisien, karena luas permukaannya lebih kecil, total daya yang dihasilkan sedikit lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa meskipun efisiensi konversi energi penting, luas panel juga berperan besar dalam menentukan total daya yang dihasilkan.

3. Pengaruh Suhu terhadap Kinerja Panel Surya

Berikut beberapa pengaruh suhu terhadap kinerja panel surya dalam penelitian ini :

- a. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa suhu panel polikristalin sedikit lebih tinggi (51°C) dibandingkan dengan panel monokristalin (50°C). Namun, perbedaan suhu ini tidak cukup signifikan untuk menjelaskan

perbedaan besar dalam efisiensi antara kedua jenis panel.

- b. Pada umumnya, suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi pada panel surya karena peningkatan suhu dapat mengurangi pergerakan elektron dalam material semikonduktor panel. Ini dapat menurunkan kemampuan panel dalam mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Namun, meskipun suhu panel polikristalin sedikit lebih tinggi, perbedaan efisiensi antara kedua panel lebih dipengaruhi oleh perbedaan dalam struktur material dan kualitas kristal daripada perbedaan suhu yang teramati.

4. Pengaruh Luas Panel terhadap Efisiensi dan Output Daya

- a. Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil perbandingan ini adalah perbedaan luas panel antara kedua jenis panel. Panel polikristalin memiliki luas 0.669 m^2 , lebih besar dibandingkan dengan panel monokristalin yang hanya memiliki luas 0.536 m^2 . Meskipun efisiensi polikristalin lebih rendah, luas panel yang lebih besar memungkinkan panel ini menerima lebih banyak cahaya matahari, yang pada gilirannya meningkatkan daya yang dihasilkan.
- b. Efisiensi yang lebih tinggi pada panel monokristalin membuatnya lebih cocok untuk aplikasi dengan ruang terbatas, karena lebih sedikit area yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya yang lebih banyak. Ini adalah faktor penting dalam aplikasi komersial atau rumah tangga yang memerlukan penggunaan ruang terbatas.

5. Kelembapan dan Dampaknya terhadap Efisiensi

- a. Data kelembapan yang tercatat selama penelitian adalah 67%, yang

tergolong cukup tinggi. Kelembapan ini bisa mempengaruhi kinerja panel surya dalam jangka panjang, tetapi tidak tampak ada pengaruh langsung yang signifikan terhadap efisiensi atau daya yang dihasilkan pada waktu pengukuran ini. Pada tingkat kelembapan ini, tidak ada indikasi bahwa kinerja panel terganggu oleh faktor lingkungan tersebut.

- b. kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan kotoran atau kondensasi pada permukaan panel, yang berpotensi mengurangi efisiensi dalam jangka panjang jika tidak dibersihkan secara teratur. Meskipun demikian, dalam penelitian ini, kelembapan tidak menunjukkan dampak signifikan pada kinerja panel.

6. Pertimbangan untuk Pemilihan Panel Surya

Pemilihan antara panel monokristalin dan polikristalin sangat bergantung pada kebutuhan spesifik dan kondisi lokal. Jika efisiensi dan kinerja optimal dalam ruang terbatas menjadi prioritas, maka panel monokristalin adalah pilihan yang lebih baik karena efisiensinya yang lebih tinggi (21.2%). Panel monokristalin sangat cocok untuk instalasi di area yang terbatas atau aplikasi di mana setiap meter persegi lahan harus dimanfaatkan secara maksimal.

Namun, jika biaya lebih rendah dan luas area lebih besar dapat dimanfaatkan, maka panel polikristalin mungkin lebih menguntungkan karena harga per watt yang lebih murah dan daya yang sedikit lebih tinggi meskipun dengan efisiensi yang lebih rendah.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis kinerja panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi iklim tropis yang melibatkan intensitas cahaya matahari, suhu panel, arus, tegangan, daya yang dihasilkan, dan kelembapan, dapat disimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut:

1. Panel monokristalin menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel polikristalin. Panel monokristalin memiliki efisiensi sebesar 21.2%, sedangkan panel polikristalin memiliki efisiensi 18.3%. Meskipun kedua panel menerima intensitas cahaya yang sama (952 W/m^2), perbedaan efisiensi ini menunjukkan bahwa monokristalin lebih efisien dalam mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik.
2. Panel polikristalin menghasilkan daya sedikit lebih tinggi, yaitu 116.8 W, dibandingkan dengan panel monokristalin yang menghasilkan 108.3 W. Hal ini disebabkan oleh perbedaan luas panel, di mana panel polikristalin memiliki luas yang lebih besar (0.669 m^2) dibandingkan panel monokristalin (0.536 m^2).
3. Pengujian dilakukan dalam kondisi suhu tinggi (sekitar $50\text{-}51^\circ\text{C}$) dan kelembapan yang relatif tinggi (67%). Meskipun suhu tinggi dapat mempengaruhi efisiensi, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua jenis panel tetap berfungsi dengan baik dalam kondisi ini, dengan panel monokristalin tetap menunjukkan kinerja yang lebih stabil.
4. Panel polikristalin, yang memiliki luas lebih besar, menerima lebih banyak

energi matahari (636.8 W) dibandingkan panel monokristalin (510.7 W). Namun, meskipun menerima energi lebih banyak, efisiensi konversi energi panel monokristalin lebih tinggi, yang membuatnya lebih efisien dalam menghasilkan daya per unit luas.

5. Jika faktor biaya menjadi pertimbangan utama, panel polikristalin dapat menjadi pilihan yang lebih ekonomis, meskipun efisiensinya lebih rendah. Namun, jika efisiensi lebih diutamakan, terutama dalam ruang terbatas, panel monokristalin lebih disarankan.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian dan aplikasi lebih lanjut adalah:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut yang mencakup durasi pengujian yang lebih panjang dan dalam kondisi yang lebih variatif, seperti perubahan suhu ekstrem atau cuaca yang tidak terduga, untuk mengamati bagaimana kedua jenis panel bertahan dalam jangka panjang di iklim tropis.
2. Penelitian ini dilakukan di satu lokasi dengan kondisi iklim tropis tertentu. Pengujian di lokasi lain dengan karakteristik iklim yang berbeda (misalnya, kelembapan yang lebih tinggi atau variasi intensitas cahaya) dapat memberikan wawasan lebih lanjut mengenai kinerja panel surya di lingkungan yang lebih beragam.
3. Dalam iklim tropis dengan suhu yang tinggi, penggunaan sistem pendinginan untuk panel surya bisa menjadi solusi untuk mengurangi penurunan efisiensi yang disebabkan oleh suhu tinggi. Penelitian mengenai penerapan teknologi pendinginan pada panel surya, terutama

monokristalin, dapat meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

4. Untuk aplikasi komersial atau skala besar, pemilihan antara panel monokristalin dan polikristalin harus mempertimbangkan faktor biaya, efisiensi, dan kebutuhan ruang. Pemilihan teknologi yang tepat dapat mengoptimalkan produksi energi dan pengembalian investasi dalam jangka panjang.
5. Untuk mengurangi potensi degradasi akibat kelembapan tinggi, pengujian lebih lanjut terkait perlindungan fisik pada panel surya, seperti lapisan anti-korosi atau desain yang lebih tahan terhadap kelembapan, sangat disarankan untuk meningkatkan daya tahan panel dalam jangka panjang.



DAFTAR PUSTAKA

- Bauer, T., & Reinhardt, A. (2019).** *The photovoltaic revolution: Challenges and opportunities for solar energy systems.* Springer.
- Green, M.A., & Dunlop, E.D. (2018).** *Solar cell efficiency tables (Version 52).* *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(7), 427-436.
- Sopian, K., Othman, M.Y., & Yatim, B. (2005).** *Performance of polycrystalline and monocrystalline silicon photovoltaic modules in tropical climate.* *Renewable Energy*, 30(12), 1993-2003.
- Solar Energy Industries Association (SEIA). (2023).** *"Understanding Solar Panel Technologies."*
- Smith, A., & Jones, B. (2020).** *Introduction to Solar Energy Systems.* *Solar Energy Journal*, 45(2), 24-32.
- Sharma, R., & Verma, S. (2019).** *Solar Energy in Tropical Regions: A Global Overview.* *Renewable Energy Perspectives*, 10(1), 55-62.
- Thompson, K., & Lee, J. (2022).** *Economic Benefits of Solar Energy in Developing Countries.* *Renewable Energy Policy*, 20(4), 45-59.
- Tan, A., & Ng, D. (2021).** *Access to Solar Energy in Rural Areas.* *Journal of Energy Development*, 33(5), 101-115.
- Jones, C., & Chavez, M. (2022).** *Solar Energy as a Strategic Alternative to Fossil Fuels in Tropical Nations.* *International Energy Journal*, 30(8), 75-88.
- Ali, M., & Puri, R. (2022).** *Solar Power Costs and Infrastructure Challenges in Developing Countries.* *Energy Infrastructure Journal*, 12(2), 14-21.
- Yin, Z., & Wang, L. (2019).** *Production of Polysilicon and Its Applications in Solar Energy Technology.* *Journal of Renewable Energy Materials*, 22(4), 12-18.
- Patel, S., & Kumar, R. (2020).** *Cost-Effectiveness of Polycrystalline Solar Panels for Residential Applications.* *Energy Economics*, 38(7), 27-34.
- Hassan, M., & Akhtar, A. (2020).** *Performance Analysis of Polycrystalline Solar Panels in Tropical Climates.* *Solar Energy Research*, 30(2), 44-51.
- Nguyen, T., & Smith, P. (2021).** *Economic Benefits and Cost-Efficiency of Polycrystalline Solar Panels.* *Energy Infrastructure Journal*, 17(2), 12-17.
- Khan, A., & Ali, M. (2020).** *Impact of Temperature on Solar Panel Efficiency in*

Tropical Regions. Renewable Energy Systems, 19(8), 30-38.

Bhat, R., & Sharma, P. (2022). *Solar Power Adoption in Tropical Regions: The Role of Polycrystalline Panels.* *Renewable Energy Policy Review, 10(4), 75-82.*

Miller, A., & Thomas, P. (2020). *Monocrystalline Solar Panels: Efficiency and Performance.* *Solar Energy Journal, 34(2), 14-22.*

Nguyen, H., & Patel, V. (2021). *Efficiency of Monocrystalline Solar Panels in Different Lighting Conditions.* *Journal of Energy Conversion, 22(3), 89-94.*

Goh, L., & Tan, W. (2020). *The Effect of Temperature on Solar Panel Performance in Tropical Climates.* *Journal of Renewable Energy Science, 16(2), 24-31.*

Ranjan, R., & Banerjee, A. (2017). *"Performance Analysis of Polycrystalline Solar PV Module."*

Sharma, A., & Ranjan, A. (2017). *"A review on crystalline silicon solar cells: Current status and future prospects."* *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 175-189.*

Rocca, A., & Lippi, F. (2019). *"Factors affecting the efficiency of solar cells."* *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 112, 99-109.*

Almarashi, A. M., & Rahman, M. (2021). *"Effect of temperature on the performance of photovoltaic panels in different climatic zones."* *Energy Reports, 7, 177-186.*

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *"Solar Engineering of Thermal Processes"*.

Kwon, Y. et al. (2019). *"Economic analysis of solar PV systems: A review."* *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 274-290.*

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *"Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research."*

Sahu, S. K., & Das, S. (2015). *"Data collection methods for solar energy research: A review."* *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 741-749.*

Rana, A., & Thakur, S. (2019). *"Optimization of Polycrystalline Silicon Solar Panel Performance in High Humidity Regions."* In Proceedings of the IEEE Conference on Photovoltaic Specialists, 2019, 2893-2898.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Surat Keputusan Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan


KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN UIN AR-RANIRY BANDA ACEH
NOMOR 616 TAHUN 2024

TENTANG:
PENGGANGKATAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA
DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA
DEKAN FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

Menimbang :

- a. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi mahasiswa pada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh maka dipandang perlu menunjuk pembimbing skripsi;
- b. bahwa yang namanya tersebut dalam Surat Keputusan ini dianggap cakap dan mampu untuk diangkat dalam jabatan sebagai pembimbing skripsi mahasiswa;
- c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Keputusan Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Mengingat :

- 1. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
- 2. Undang-Undang Nomor 14 Tahun 2005, tentang Guru dan Dosen;
- 3. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi;
- 4. Peraturan Presiden Nomor 74 Tahun 2012, tentang perubahan atas peraturan pemerintah RI Nomor 23 Tahun 2005 tentang pengelolaan keuangan Badan Layanan Umum;
- 5. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014, tentang penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
- 6. Peraturan Presiden Nomor 64 Tahun 2013, tentang perubahan Institut Agama Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh Menjadi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh;
- 7. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 44 Tahun 2022, tentang Organisasi dan Tata Kerja UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
- 8. Peraturan Menteri Agama Nomor 14 Tahun 2022, tentang Statuta UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
- 9. Keputusan Menteri Agama Nomor 492 Tahun 2003, tentang Pendelegasian Wewenang Pengangkatan, Pemindahan dan Pemberhentian PNS di Lingkungan Departemen Agama RI;
- 10. Keputusan Menteri Keuangan Nomor 293/KmK.05/2011, tentang penetapan UIN Ar-Raniry Banda Aceh pada Kementerian Agama sebagai Instansi Pemerintah yang menerapkan Pengelolaan Badan Layanan Umum
- 11. Surat Keputusan Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh Nomor 01 Tahun 2015, Tentang Pendelegasian Wewenang kepada Dekan dan Direktur Pascasarjana di Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

MEMUTUSKAN

Menetapkan : Keputusan Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh tentang Pembimbing Skripsi Mahasiswa.

KESATU : Menunjukkan Saudara :
Malahayati, M.T

Untuk membimbing Skripsi

Nama : Zuhakim
NIM : 200211042
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin dalam Kondisi Iklim Tropis

KEDUA : Kepada pembimbing yang tercantum namanya di atas diberikan honorarium sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku;

KETIGA : Pembiayaan akibat keputusan ini dibebankan pada DIPA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Nomor SP DIPA.025.04.2.423925/2024, Tanggal 24 November 2023;

KEEMPAT : Keputusan ini berlaku sampai 18 Mei 2025;

KELIMA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan dirubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam Keputusan ini.

AR - RANIRY

Ditetapkan di : Banda Aceh
Pada tanggal : 18 November 2024
Dekan,


Safrul Muluk

Tembusan:

- 1. Salinan Kementerian Agama RI di Jakarta;
- 2. Ditjen Pendidikan Islam Kementerian Agama RI di Jakarta;
- 3. Direktur Perguruan Tinggi Agama Islam Kementerian Agama RI di Jakarta;
- 4. Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara (KPPN), di Banda Aceh;
- 5. Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh di Banda Aceh;
- 6. Kepala Bagian Keuangan dan Akuntansi UIN Ar-Raniry Banda Aceh di Banda Aceh;
- 7. Yang bersangkutan;
- 8. Arsip.



Lampiran 2

Spesifikasi Panel Surya

1. Polikristalin

LUMINOUS Luminous Power Technologies Pvt.Ltd.	
ADD: Plot No. 150, Sector - 44, Gurgaon - 122003 Haryana, India	
Model No.	LUM100P
Serial No.	812201027833
Production date	2020-10-28
Peak power/Pmax (W)	100
Power tolerance range(W)	±3%
Open circuit voltage/Voc(V)	22.53
Rated voltage/Vmp(V)	18.29
Short circuit current/Isc(A)	5.82
Rated current/Imp(A)	5.47
Max. system voltage(V)	600
Dimension(mm)	1005*605*30
Weight(KG)	7.2
Series Fuse Rating(A)	10
Application class	Class A
All electrical data at Standard Test Condition (STC: irradiance of 1000w/m ² , spectrum AM1.5 and cell temperature of 25°C)	

2. Monokristalin

SOLANA PLUS MONO-12V-100	
Max. Power (Pmax)	100Wp
Optimum Operating Voltage (Vmp)	18.3V
Optimum Operating Current (Imp)	5.47A
Open-circuit Voltage (Voc)	22.1V
Short-circuit Current (Isc)	6.81A
Power Tolerance (Pmax)	0-±3%
Module Dimension (mm)	600*670*30
Weight	6.1Kg
Max. Series Fuse Rating	20A
All electrical data at Standard Test Condition (STC: irradiance of 1000w/m ² , spectrum AM1.5 and cell temperature of 25°C)	

WARNING-ELECTRICAL HAZARD
This solar module produces electrical voltage when exposed to sunlight or intense artificial lights. Proper precautions associated with electrical power systems must be taken while handling and installing this product.
PLEASE READ THE INSTRUCTION MANUAL FOR MORE INFORMATION PRIOR TO INSTALLATION

Lampiran 3

Foto Kegiatan Penelitian



RIWAYAT HIDUP PENULIS

A. Identitas Mahasiswa

1. Nama : Zulhakim
2. NIM : 200211042
3. Tempat/ Tanggal Lahir : Lhokseumawe, 01 Januari 2001
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Agama : Islam
6. Kewarganegaraan : Indonesia
7. Pekerjaan : Mahasiswa
8. Email : nikmalhakim9@gmail.com
9. Daerah Asal : Kabupaten Aceh Besar

B. Riwayat Pendidikan

1. Min Peukan Cunda Lhokseumawe : Lulus Tahun 2013
2. SMPS Islam Al-Falah Abu Lam Ue : Lulus Tahun 2016
3. SMKN 2 Banda Aceh : Lulus Tahun 2019
4. UIN Ar-Raniry : Masuk Tahun 2020

C. Identitas Orang Tua

1. Nama Orang Tua **R - R A N I R Y**
 - a. Ayah : Anwar M.Juned (Almarhum)
 - b. Ibu : Tarwiyah
2. Alamat Orang Tua : Lam Ue, Ingin Jaya, Aceh Besar