

Analisis Perbandingan Performa Modul Surya Polycrystalline dan Monocrystalline Berkapasitas 320 Wp Menggunakan Perangkat Uji Sun Simulator PASAN

Nurkahfi Irwansyah^a, Tikofandi Sudiro^b, Irawati^c, Woro Agus Nutrianto^d

^{a, b, c, d} Department of Electrical Engineering, Universitas Pamulang Tangerang Selatan, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 October 2025

Received in revised form 31

October 2025

Accepted 16 November 2025

Available online 30 November 2025

Keywords:

Monocrystalline

Polycrystalline

Solar Module Performance

Standard Test Conditions (STC)

Sun Simulator PASAN

ABSTRACT

Electric current, measured in amperes (A), and potential difference, measured in volts (V), are the two main forms of electrical energy needed to run electrical devices. The energy required to start, run, or maintain mechanical and electronic devices, such as motors and lighting fixtures, is represented by the electrical power consumption, which is measured in watts (W). The Sun Simulator Pasan test system is used in this study to evaluate the performance of monocrystalline and polycrystalline solar modules. A flash from a light box is focused onto the solar modules during the testing process under controlled circumstances, such as an air mass spectrum of AM1.5, an ambient temperature of 25°C, and an irradiation intensity of 1000 W/m². The Photovoltaic Module Quality Testing Laboratory (LPKMF), BRIN-PUSPIPTEK, examined both monocrystalline and polycrystalline modules with a 320 Wp rating in accordance with laboratory standards. Comparing the efficiency and performance variations of the two varieties of solar modules with comparable rated capacities is the aim of the test conducted under Standard Test Conditions (STC). According to the findings, the Polycrystalline module achieved an efficiency of 17.79% with a peak power output of 315.722 Wp, which deviates 9.278 Wp, or around 2.03%, from its rated value. In the meantime, the monocrystalline module attained an efficiency of 18.82% and produced a peak output of 323.838 Wp, which was 1.602 Wp or 2.79% higher than the rated 325.44 Wp. These findings demonstrate that Monocrystalline modules exhibit slightly higher performance and efficiency under identical testing conditions.

1 Pendahuluan

Salah satu jenis energi utama yang diperlukan oleh peralatan listrik adalah energi listrik. Ini diwakili oleh arus listrik dengan satuan ampere (A) dan tegangan listrik dengan satuan volt (V) dan watt (W) yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan, atau menggerakkan kembali peralatan mekanik untuk menghasilkan energi. Sumber daya seperti air, minyak, batu bara, angin, panas bumi, nuklir, matahari, dan lainnya dapat menjadi sumber energi. Satuan lain untuk energi listrik adalah Joule, dan satuan lain untuk energi listrik adalah KWh. Pembangkit listrik, seperti PLTA, PLTB, PLTD (diesel), PLTM, PLTS (surya), PLTU, dan lainnya, menghasilkan listrik untuk industri dan perumahan [1].

Kehidupan sehari-hari membutuhkan listrik. Pemanfaatan energi listrik tak terkecuali di lingkungan terkait dengan sebagian besar aktivitas manusia. Dengan kemajuan teknologi, orang lebih banyak mengonsumsi energi, yang pada gilirannya mengurangi cadangan sumber energi fosil dan meningkatkan emisi yang dapat memengaruhi iklim. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan beralih dari sumber energi fosil ke sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu solusi energi alternatif yang dapat dikembangkan di mana saja adalah pompa listrik tenaga surya (PLTS) [2].

Sesuai dengan perpres no 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, dimana pada peraturan tersebut dialokasikan untuk energi terbarukan. Pada tahun 2025, diharapkan penggunaan energi baru dan terbarukan lainnya—terutama tenaga nuklir, biomassa, surya, dan angin—naik menjadi lebih dari 5%. Dengan alokasi ini, diperkirakan akan dibutuhkan sekitar 1.500 MW modul fotovoltaik (PV) pada tahun 2025. Persiapan untuk program tersebut diperlukan untuk mengantisipasi mulai saat ini, salah satunya dengan melindungi konsumen dalam Negeri terhadap berbagai produk modul yang nantinya ada di pasaran. Salah satunya dengan melakukan standarisasi kualitas modul surya menggunakan standar SNI/IEC 61215: 2016[3].

Tujuan rangkaian pengujian SNI/ IEC 61215: 2016 adalah menentukan karakteristik listrik dan thermal dari modul dan menunjukkan sejauh mungkin dalam batasan biaya dan waktu yang layak, bahwa modul mampu bertahan bertahan lama dalam ruang terbuka. Kira-kira daya tahan modul agar lulus uji antara oscilloscope, pengukuran sistem, dan kalibrasi peralatan. Tujuan dari urutan pengujian ini adalah untuk mengetahui karakteristik termal dan listrik modul surya serta menunjukkan bahwa, dalam cuaca luar yang terbuka, modul tersebut mampu menahan

paparan matahari yang cukup lama. Desain, lingkungan, dan kondisi di mana modul surya dioperasikan menentukan kualitas umurnya. Uji kualitas modul, atau MQT, terdiri dari 19 tahapan, dimulai dengan pengujian kualifikasi modul visual (MQT 1) dan berakhir dengan pengujian stabilisasi akhir (MQT 19) [4].

Untuk menyelesaikan tahap ke-19 MQT yang telah disebutkan, laboratorium pengujian modul PV dilengkapi dengan tiga belas (13) unit peralatan utama, antara lain:

1. Perangkat inspeksi elektroluminasi dan inspeksi visual, yang berfungsi mendeteksi adanya cacat fisik atau kelainan visual pada modul maupun sampel uji yang dapat menurunkan tingkat keandalan serta performa daya keluarannya.
2. Simulator matahari PASAN kelas A+A+A+ digunakan untuk mengukur daya maksimum modul setelah stabilisasi dan sebelum dan sesudah beberapa uji stres lingkungan. Uji reproduktivitas sangat penting untuk menentukan kehilangan daya akibat uji stres. Selain itu, kinerja pada kondisi tes standar (MQT 06.1), suhu operasi nominal modul, kinerja modul pada radiasi rendah (MQT07), dan koefisien suhu (MQT04) diukur dengan alat ini.
3. Uji Keselamatan Listrik (*Electrical Safety Testing*): dilakukan untuk menilai tingkat isolasi listrik antara bagian modul yang dialiri arus dengan rangka atau lingkungan eksternal modul surya. Pengujian ini diterapkan pada seluruh sampel modul, baik di tahap awal maupun di akhir rangkaian uji sesuai standar IEC 61215 (MQT 03, MQT 15).
4. Pengujian suhu operasi modul surya di luar ruangan berperan penting dalam perancangan sistem PLTS, karena memberikan gambaran mengenai suhu kerja aktual modul serta sejumlah parameter kinerja ketika dibandingkan antar desain modul surya. Meski demikian, suhu operasi pada waktu tertentu sangat dipengaruhi oleh konstruksi penyangga modul, ketinggian pemasangan dari permukaan tanah, intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, serta suhu lingkungan sekitar.
5. Tes hot spot dan stabilitas untuk mengetahui kemampuan modul surya terhadap efek panas dari hot spot dengan mengukur resistensi panas pada bagian-bagian modul surya. Pemanasan hot spot terjadi pada modul surya saat arus operasi melebihi pengurangan arus hubung singkat (Isc) dari sel surya yang terkena bayangan atau grup sel yang gelap atau rusak. Menurut MQT 09, 19.
6. Uji Prakondisi Ultraviolet (UV): dilakukan untuk memberikan perlakuan awal pada modul sebelum menjalani pengujian siklus termal. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi material serta lapisan perekat yang rentan

- mengalami degradasi akibat paparan sinar ultraviolet (MQT 10).
7. Ruang Iklim untuk Uji Siklus Termal (*Climatic Chambers for Thermal Cycling Test*): digunakan untuk mengevaluasi ketahanan modul terhadap ketidakselarasan termal, kelelahan material, serta tegangan mekanis yang timbul akibat perubahan suhu berulang secara terus-menerus (MQT-11).
 8. Ruang Iklim untuk Uji Kelembaban-Pembekuan (*Climatic Chambers for Humidity Freeze Test*): berfungsi untuk menilai kemampuan modul dalam menahan pengaruh suhu tinggi dan kelembaban yang kemudian diikuti oleh kondisi suhu rendah di bawah titik beku (MQT-12).
 9. *Climatic chambers for damp heat test*: Untuk menghindari efek penetrasi kelembaban dalam jangka panjang (MQT 13).
 10. Uji Ketahanan dan Terminasi (*Robustness and Termination Test*): dilakukan untuk memastikan bahwa sambungan terminasi, kekuatan rekat terminasi, serta keterikatan kabel pada bodi modul memiliki daya tahan yang cukup terhadap tekanan atau gaya mekanis yang dapat timbul selama proses instalasi, perakitan, maupun penanganan modul secara umum (MQT 14).
 11. Uji Beban Mekanis (*Mechanical Load Test*): bertujuan untuk menilai dan memverifikasi kemampuan modul dalam menahan beban statis minimum sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh produsen (MQT 16).
 12. Uji Ketahanan Terhadap Hujan Es (*Hail Test*): bertujuan untuk menilai kemampuan modul surya dalam menahan benturan atau kerusakan akibat hantaman butiran es selama kondisi cuaca ekstrem (MQT 17).
 13. Bypass Diode Test: Untuk mengevaluasi kelayakan desain termal dan keandalan jangka panjang by-pass diode, efek negatif dari kerentanan modul hot-spot dibatasi dengan by-pass diode sendiri (MQT 18). (BPPT, 2018)

2 Studi Literatur

Kebutuhan standarisasi, pengujian dan sertifikasi produk Solar PV juga meningkat karena pemanfaatan PV meningkat. Saat ini terdapat standar nasional (SNI) maupun standar internasional (IEC, dll) yang memandu produk dan aplikasi dari Surya PV di Indonesia. Standard ini ditujukan untuk menjamin kualitas produk modul fotovoltaik [5]. Tujuan utama dari standarisasi, pengujian dan sertifikasi adalah untuk melindungi produsen, konsumen, dari produk kualitas rendah serta menjamin kualitas dan keandalan produk, baik untuk produk domestik atau barang impor. Pelaksanaan standarisasi dalam lingkup nasional dilakukan untuk membangun sistem nasional yang akan dapat mendukung, peningkatan, untuk menjamin kualitas dan/ atau jasa produk serta mempermudah penerimaan produk nasional dalam transaksi pasar global. Untuk mengantisipasi akan diberlakukannya SNI tentang Modul surya yang akan merujuk pada SNI/IEC 61215, maka diperlukan suatu laboratorium pengujian yang dapat melaksanakan pengujian sesuai yang dipersyaratkan oleh SNI tersebut [6].

2.1. Energi Alternatif

Banyak pihak telah melakukan penelitian tentang penggunaan energi alternatif. Beberapa penelitian menggunakan energi alternatif seperti energi surya, energi angin, dan mikrohidro sebagai pembangkit listrik skala kecil. Energi alternatif dapat digunakan sebagai sumber energi primer maupun sekunder [7].

Penelitian yang dilakukan penulis ini berhubungan uji kualitas modul PV. Banyak pihak yang telah menguji modul PV sebagai sumber energi alternatif baik uji fungsi maupun uji kualitas modul PV. Dalam konteks ini penelitian yang dilakukan penulis yaitu melakukan pengujian terhadap dua modul surya dengan jenis yang berbeda yaitu *Polycrystalline* dan *Monocrystalline*, penelitian ini dimaksudkan untuk melihat kinerja dan efisiensi dari dua jenis modul surya yang berbeda. Pengujian ini ditujukan untuk menentukan daya maksimum (Pmax) pada modul surya yang di uji dengan daya maksimum *name plate* [8].

2.2. Arus

Arus listrik merupakan jumlah muatan listrik yang bergerak melalui suatu penghantar dalam setiap satuan waktu. Arus ini dapat mengalir melalui kabel atau media konduktor lainnya. Saat ini diketahui bahwa aliran arus listrik sebenarnya disebabkan oleh pergerakan elektron bermuatan negatif yang bergerak berlawanan arah dengan arah arus konvensional [9].

$$I = \frac{Q}{t}$$

Satuan SI untuk arus listrik adalah ampere (A).

2.3. Hambatan

Hambatan listrik merupakan rasio antara tegangan listrik yang diberikan pada suatu komponen, seperti resistor, terhadap arus listrik yang mengalir melaluinya. Besaran ini menunjukkan sejauh mana suatu komponen menahan aliran arus listrik [10]. Secara matematis, hambatan dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$R = \frac{V}{I}$$

Satuan SI untuk Hambatan adalah Ohm (R).

2.4. Tegangan

Tegangan listrik, atau yang biasa disebut voltase, merupakan selisih potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian yang dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini menunjukkan energi potensial dari medan listrik yang mampu mendorong aliran arus melalui suatu konduktor. Berdasarkan besar kecilnya perbedaan potensial, tegangan listrik dapat dikategorikan sebagai tegangan sangat rendah, rendah, tinggi, maupun sangat tinggi.

$$V = I \cdot R$$

Satuan SI untuk Tegangan adalah volt (V).

2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sistem yang mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan menggunakan modul surya (modul surya) sebagai alat konversi. Karena Indonesia adalah negara tropis dengan dua musim, musim hujan dan musim panas, proses menghasilkan energi tenaga surya dengan perantara modul surya sangat mungkin digunakan [12].



Gambar 1. Pembangkit listrik tenaga surya

Selain itu, karena Indonesia dilewati oleh jalur khatulistiwa dan memiliki intensitas sinar matahari yang cukup tinggi, PLTS dapat menjadi solusi alternatif untuk mendapatkan energi listrik di masa depan. Selain itu, karena PLTS ini tidak memiliki efek negatif terhadap lingkungan, mereka juga dapat dianggap ramah lingkungan [13].

2.6. Modul Surya

Modul PV atau modul surya adalah salah satu komponen PLTS yang terdiri dari gabungan dan susunan dari banyak sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel. Dari susunan sel seri- paralel dalam satu modul surya ini bertujuan untuk memaksimalkan arus listrik (I) dan tegangan listrik (V) yang dihasilkan sehingga dapat mencukupi pemakaian catu daya beban [14].



Gambar 2. Susunan dari solar cell pada modul surya

Modul surya menghasilkan energi dengan mengkonversikan energi sinar matahari menjadi energi listrik [15]. Sel surya yang disinari matahari adalah bagian yang menghasilkan energi, tetapi ada beberapa hal yang perlu diperhatikan saat memasang modul surya, yaitu:

- Pastikan modul surya ditempatkan di tempat yang tidak terhalang oleh objek yang menimbulkan bayangan sepanjang hari karena modul surya memerlukan cahaya yang cukup untuk mengkonversi cahaya dari matahari ke energi listrik [16].
- Modul surya menghasilkan arus listrik DC maka diperlukan peralatan pendukung untuk mengubah output modul surya menjadi arus listrik AC sehingga dapat dimanfaatkan sesuai kebutuhan [17].

3 Metodologi

Perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak yang sudah terkalibrasi diperlukan untuk mendukung penelitian tentang pengujian kualitas modul surya. Di Laboratorium Pengujian Kualitas Modul Photovoltaik (LPKMF), alat uji *Sun Simulator* Pasan Kelas A+A+A+ digunakan untuk mendukung penelitian.

3.1 Golden Module 275 WP

Untuk mencapai nilai keluaran dari pengujian dan di dapatkan nilai yang akurat maka diperlukan kalibrasi pada peralatan uji. Sebelum melakukan pengujian terhadap modul uji maka pada uji *Sun Simulator* Pasan juga diperlukan kalibrasi terhadap lampu atau Light Box sehingga di dapatkan nilai yang sesuai terhadap nilai keluaran yang ditampilkan di software uji. Kalibrasi ini dilakukan menggunakan Golden Module dengan kapasitas 275WP. Modul ini dikatakan Golden Module karena sel surya yang digunakan modul ini merupakan sel surya yang dibuat untuk memenuhi nilai standard dan memang untuk kalibrasi terutama pada *Light Box* *Sun Simulator* Pasan. Sel surya yang digunakan merupakan sel surya jenis *Polycrystalline* yang tersusun dari 72 seri dan 1 paralel. Memiliki 3 buah Diode by-pass yang tersusun secara seri didalam *Junction Box* dan memiliki dimensi modul 167 cm x 100,7 cm dan dimensi satu buah sel surya 15,7 x 15,7.



Gambar 3. Golden module *sun simulator* pasan

Sun Simulator Pasan merupakan peralatan pengujian yang berada di ruang lingkup Laboratorium Pengujian Kualitas Modul Photovoltaik (LPKMF) yang terdapat pada BRIN- KST B.J. Habibie. Alat uji *Sun Simulator* Pasan adalah alat uji yang difungsikan untuk menguji modul surya PV untuk mengetahui nilai I-V (arus – tegangan) pada modul surya. Jenis yang terdapat di laboratorium uji di Laboratorium Pengujian Kualitas Modul Fotovoltaik (LPKMF) saat ini merupakan tipe *Sun Simulator* Pasan Class A+A+A+ dimana ini merupakan tipe tertinggi di kelasnya.



Gambar 4. *Sun simulator* pasan

Sun Simulator Pasan terdiri dari berbagai komponen peralatan instrument, dimana peralatan ini saling terhubung dan memiliki fungsinya masing-masing, alat instrument yang berada pada *Sun Simulator* Pasan diantaranya, Flash Generator, Electrical load, Light Box, Monitor Sel, Infrared Temperature, Personal Computer, Software Highlight Pasan. Tentunya peralatan yang terdapat pada *Sun Simulator* pasan sudah dilakukan kalibrasi dan sertifikasi kelayakan operasional hal ini bertujuan untuk memperkecil nilai ketidakpastian dalam pengujian dan hasil data pengujian dapat dipertanggung jawabkan. Berikut ini adalah penjelasan mengenai peralatan instrument dan sensor-sensor yang terdapat pada alat uji *Sun Simulator* Pasan.

3.1.1 Flash Generator

Flash Generator atau generator cahaya merupakan alat pendukung dalam pengujian yang terdapat pada alat uji *Sun Simulator* Pasan, alat ini bertujuan untuk studi mendasar tentang generator sinar-X flash durasi panjang dijelaskan. Generator ini terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut: catu daya tegangan tinggi dengan tegangan maksimum 100 kV, kondensor penyimpan energi 500 nF, kondensor pelepasan utama 10 nF, pompa molekuler turbo, pulser thyatron sebagai pemacu. Perangkat dan triode pelepasan permukaan. Lebar pulsa efektif kurang dari 30 μ s, dan intensitas sinar-X kira-kira bernilai 0,6 μ C/kg pada 1,0 m per pulsa dengan tegangan bermuatan 60 kV. Tegangan tabung maksimum setara dengan tegangan pengisian awal kondensor, dan arus puncak tabung kurang dari 40 A. Dengan generator ini, kita dapat memperoleh intensitas sinar-X stabil yang dimaksimalkan dengan mencegah osilasi terendah tegangan dan arus tabung.



Gambar 5. Flash Generator

Generator sinar-X flash yang digerakkan oleh daya berdenyut adalah peralatan pengujian penting di bidang seperti hidrokinetika. Ukuran titik yang lebih kecil dan dosis radiasi yang lebih tinggi diharapkan sesuai dengan persyaratan fisik. Status terkini dan masalah utama dari beberapa dioda sinar-X diceritakan, catu daya pulsa yang menggerakkan dioda sinar-X dari ratusan MW hingga puluhan GW dibicarakan. Prospek penerapan rod pinch dan dioda yang direndam secara magnetis dianalisis. Selain itu, kemajuan dioda penjepit batang dan catu daya berdenyut, serta teknik utama mewujudkan radiografi flash multi-frame juga dibahas.

3.1.2 Electrical Load

High Light Electrical Load merupakan komponen pengujian yang terdapat pada peralatan uji *Sun Simulator* Pasan yang berfungsi untuk menginterkoneksi antara *Electrical Load* dengan komponen peralatan uji lainnya seperti Flash Generator, Monitor Sel, Sensor Temperature, *Light Box*, *Combiner Box*. Alat ini juga bisa di artikan sebagai otak dari peralatan pengujian karena bila *software* dalam Personal Computer tidak dapat terkoneksi dengan *Electrical Load* maka pengujian tidak dapat berjalan.



Gambar 6. High light electrical load

3.1.3 Light Box

Light Box merupakan salah satu komponen peralatan uji yang terdapat pada *Sun Simulator* Pasan dimana alat ini berfungsi memancarkan sinar iradiasi. Iradiasi yang dipancarkan oleh *light box* ini adalah $1000\text{W}/\text{m}^2$ tanpa menggunakan mask (filter iradiasi untuk mengurangi cahaya yang di pancarkan *light box*). Sinar iradiasi yang dipancarkan digunakan sebagai pengganti sinar matahari, dimana sinar iradiasi tersebut didapatkan dari lampu halogen yang berjumlah 4 buah. Lampu tersebut sudah melewati tahapan pengujian dan standarisasi agar cahaya yang dihasilkan identik dengan pancaran sinar iradiasi matahari yang sesungguhnya.



Gambar 7. Light box

3.1.4 Monitor sel

Monitor Sel atau Sel Referensi adalah sebuah komponen yang terdapat pada peralatan uji *Sun Simulator* Pasan yang berfungsi untuk membaca iradiasi dan suhu yang diterima monitor sel telah homogen. Kemudian data yang diterima akan dibaca dan ditampilkan pada *software* yang terdapat pada monitor PC.



Gambar 8. Device under test (DUT) interface module

3.1.5 Personal Computer (PC)

Penggunaan PC pada alat uji ini bertujuan sebagai monitoring dan mengoperasikan *Software* alat uji dari proses pengujian yang dilakukan, selain itu PC yang digunakan sudah terinstal *software* High Light Pasan yang merupakan program untuk melakukan pengujian. *Software* ini hanya dapat dioperasikan pada peralatan *Sun Simulator* Pasan Class A+A+.



Gambar 9. Personal computer dan software

3.1.6 Temperature Infrared

Temperature Infrared adalah alat ukur suhu yang dapat mengukur suhu tanpa bersentuhan secara langsung dengan objek yang diukur. Alat ini mendeteksi suhu secara optik selama objek diamati dan mengukur radiasi energi sinar inframerah, yang kemudian ditunjukkan sebagai suhu. Ini memungkinkan pengukuran suhu yang cepat dan akurat tanpa menyentuh permukaan objek.

Perangkat ini sebagian besar terdiri dari lensa yang memfokuskan radiasi inframerah modul surya ke detektor. Setelah suhu sekitar dikompensasi, radiasi ini diubah menjadi sinyal listrik yang dapat ditampilkan dalam satuan suhu. Suhu dapat diukur dari jarak jauh tanpa bersentuhan dengan objek yang akan diukur. Ketika *thermocouple* atau sensor probe lainnya tidak dapat digunakan atau tidak menghasilkan data yang akurat karena berbagai alasan, termometer inframerah non-kontak sangat berguna untuk mengukur.

3.2 Prosedur Pengujian

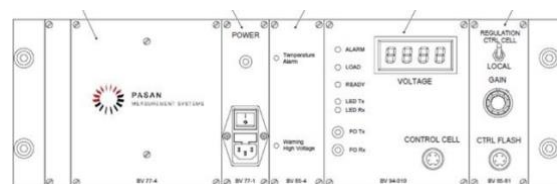
Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui performa dan efisiensi pada modul surya pada kondisi *Standard Test Condition* (STC). Pengujian ini dilakukan menggunakan dua buah sample uji dengan jenis yang berbeda namun menggunakan kapasitas daya output dari modul surya yang sama yaitu 325-Watt Peak. Sebelum melakukan pengujian terhadap dua buah sampel uji modul surya hal yang perlu di perhatikan adalah kondisi suhu ruang dan modul surya yang harus berada pada suhu 25°C atau kondisi Suhu *Standard Test Condition* (STC) dan modul surya sudah melewati pemeriksaan secara visual untuk mengetahui apakah ada cacat baik bingkai modul ataupun pada sel surya, hal ini akan menjadi pertimbangan ketika terjadi penurunan pada daya maksimum (P_{max}) modul surya. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengukuran sampel yang akan di uji, pengukuran sampel uji ini meliputi pengukuran dimensi modul surya, dimensi sel surya, jumlah sel surya yang di hubung seri dan paralel hal ini ditujukan mengambil data dan identitas modul surya untuk pembuatan recipe pada *software* *Sun Simulator* Pasan. Selain itu data dari name plate pada modul surya di butuhkan pada pembuatan recipe ini, berikut data dari sample modul surya yang akan di uji pada alat *Sun Simulator* Pasan.

3.2.1 Pengoperasian Perangkat Sun Simulator Pasan

Langkah yang perlu dilakukan dalam melakukan pengujian yaitu menyalakan perangkat keras yang terdapat pada alat uji *Sun Simulator* pasan. Berikut ini langkah- langkah dalam pengoperasian perangkat *Sun Simulator* Pasan.

Pengaktifan Perangkat Keras Sun Simulator Pasan

- Untuk mengaktifkan perangkat *Sun Simulator* Pasan ini dengan cara menghidupkan perangkat flash generator terlebih dahulu dengan menekan tombol power pada generator dan tunggu beberapa saat hingga stabil sampai nilai tegangannya naik hingga 700 Volt dan sampai (maksimum 800 Volt).



Gambar 10. Panel instrument generator

- Kemudian hidupkan *Electrical Load* yang terdapat pada meja uji dengan menekan tombol “Power” pada bagian belakang perangkat.
- Selanjutnya hidupkan personal computer dan masukkan “Password” untuk masuk ke dalam komputer. Setelah semua perangkat keras siap langkah selanjutnya yaitu membuka software dan mengoperasikannya akan di jelaskan langkah-langkah nya seperti berikut ini.

Pengoperasian Perangkat Lunak

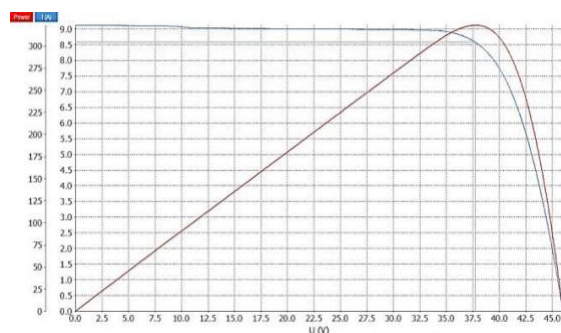
Sun Simulator Pasan

- Untuk mengoperasikan perangkat lunak *Sun Simulator Pasan* ini yaitu dengan cara membuka software “*HighLight Pasan*” pada PC dan tunggu proses hingga muncul menu untuk memasukkan password untuk dapat mengoperasikan alat.
- Kemudian masukan Password untuk masuk supaya bisa dapat mengoperasikan *software*.
- Gunakan perangkat yang telah diaktifkan sesuai dengan kebutuhan pengujian.

4 Pembahasan

Dalam pengujian sun simulator perbandingan hasil pengujian *monocrystalline* dan *polycrystalline* menunjukan hasil yang signifikan dalam menentukan karakteristik modul surya yang hasil penngujian *Sun Simulator Pasan Monocrystalline* pada gambar 11 dan 12.

4.1 Monocrystalline



Gambar 11. Grafik hasil pengujian monocrystalline

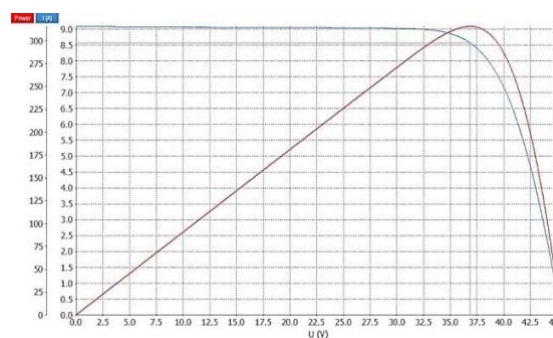
Grafik karakteristik I-V dan P-V pada modul surya menunjukkan kinerja modul dalam menghasilkan arus, tegangan, dan daya pada kondisi pengujian terstandar. Pada kurva I-V, arus berada pada kondisi maksimum ketika tegangan bernilai nol (I_{sc}), kemudian tetap relatif stabil pada rentang tegangan kerja hingga mendekati titik tegangan tanpa beban (V_{oc}), di mana arus menurun drastis menjadi nol. Pola ini mengindikasikan bahwa modul mampu mempertahankan pasokan arus secara optimal selama pengoperasian normal sebelum mencapai batas tegangan maksimumnya. Sementara itu, kurva P-V memperlihatkan peningkatan daya secara bertahap seiring dengan naiknya tegangan hingga mencapai titik daya maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP). Setelah melalui titik tersebut, daya mengalami penurunan tajam hingga mencapai nol pada saat V_{oc} . Titik MPP ini merupakan parameter penting yang menentukan tingkat efisiensi modul surya dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Dengan demikian, karakteristik yang ditampilkan pada grafik mengonfirmasi bahwa modul surya berada dalam kondisi performa yang baik dan sesuai dengan perilaku ideal modul fotovoltaik, serta menjadi dasar dalam menentukan pengaturan titik kerja optimal melalui metode pengendalian MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada sistem pembangkitan energi surya.

Tabel 1. Hasil data pengujian Polycrystalline

Hasil Pengujian Monocrystalline	
Monitor cell temperature	25.09 °C
DUT temperature	24.89 °C
Compensated	25.00 °C
Gavg	1000.94 W/m ²
GstdDev	0.18 W/m ²
Compensated Irradiance	1000.00 W/m ²
Voc (linear regr.)	46.029 V
Isc (linear regr.)	9.136 A
Fill factor	77.00%
Cell efficiency	18.82%
DUT efficiency	16.69%
Regression linear for	0.528 Ω
Maximum power	323.838 W
Voltage at Maximum	37.732 V
Current at Maximum	8.583 A

Tabel 1 diatas merupakan data hasil pengukuran yang dilakukan pada modul surya jenis SUPSM325 (*Monocrystalline*) data tersebut di dapatkan bersamaan dengan grafik seperti pada gambar 4.1. Data tersebut merupakan hasil yang akan di analisa untuk mendapatkan nilai pasti pada pengujian yang dilakukan pada modul surya jenis SUPSM325. Dari hasil data tersebut nilai daya maksimum yang di dapatkan yaitu 323.838 Watt, pada nilai tegangan maksimum (VMP) yaitu 37.732 Volt dan nilai arus maksimum (IMP) yaitu 8.583 Ampere

4.2 Polycrystalline



Gambar 12. Grafik hasil pengujian polycrystalline

Berdasarkan grafik karakteristik I-V dan P-V pada modul surya, terlihat bahwa arus listrik mencapai nilai maksimum pada saat tegangan bernilai nol atau berada pada kondisi hubung singkat (I_{sc}). Seiring meningkatnya tegangan pada sisi beban, kurva menunjukkan bahwa arus tetap berada dalam kondisi stabil dan mendatar, yang mengindikasikan kemampuan modul dalam mempertahankan suplai arus pada rentang kerja tertentu. Ketika tegangan mendekati titik tanpa beban (V_{oc}), arus mengalami penurunan drastis hingga mencapai nol. Pada kurva P-V, daya meningkat proporsional terhadap peningkatan tegangan hingga mencapai titik daya puncak atau *Maximum Power Point* (MPP), yang ditandai dengan nilai daya maksimum yang dapat dihasilkan modul di bawah kondisi pengujian. Setelah melewati titik MPP, daya menurun tajam hingga nol pada saat V_{oc} , sehingga titik MPP menjadi parameter kritis dalam operasi sistem pembangkitan tenaga surya untuk memaksimalkan efisiensi konversi energi. Perilaku kedua kurva tersebut menunjukkan bahwa modul surya memiliki performa yang baik dan sesuai dengan karakteristik ideal modul fotovoltaik, serta menegaskan pentingnya penerapan teknik *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) guna menjaga pengoperasian modul selalu berada pada titik kerja paling optimal.

Tabel 2. Hasil data pengujian Polycrystalline

Hasil Pengujian Polycrystalline	
Monitor cell temperature	26.71 °C
DUT temperature	25.65 °C
Compensated	25.00 °C
Gang	996.50 W/m ²
GstdDev	0.25 W/m ²
Compensated Irradiance	1000.00 W/m ²
Voc (linear regr.)	45.388 V
Isc (linear regr.)	9.079 A
Fill factor	76.63%
Cell efficiency	17.79%
DUT efficiency	16.24%
Regression linear for	0.580 Ω
Rsh (linear regr.)	557.757 Ω
Maximum power	315.772 W
Voltage at Maximum	36.834 V
Current at Maximum	8.573 A

Tabel 2 diatas merupakan data hasil pengukuran yang dilakukan pada modul surya jenis Canadian CS6U-325P (*Polycrystalline*) data tersebut di dapatkan bersamaan dengan grafik seperti pada gambar 12. Data tersebut merupakan hasil yang akan di analisa untuk mendapatkan nilai pasti pada pengujian yang dilakukan pada modul surya jenis Canadian Solar CS6U-325P (*Polycrystalline*). Dari hasil data tersebut nilai daya maksimum yang di dapatkan yaitu 315.772 Watt, pada nilai tegangan maksimum (V_{MP}) yaitu 36.834 Volt dan nilai arus maksimum (I_{MP}) yaitu 8.573 Ampere.

Dari hasil uji modul surya yang dilakukan maka didapatkan nilai dari data uji dan di temukan perbedaan nilai efisiensi, dan daya yang terukur pada alat uji *sun simulator* pasan. Maka hasil pengujian yang dilakukan pada 2 modul surya jenis *Polycrystalline* dan *Monocystalline* berikut:

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengujian

e Modul	Daya Label (Watt Peak)	Daya Uji (Watt Peak)	Efisiensi Modul	Suhu Uji
<i>cristlline</i>	325 Wp	315.772 W	17.79%	26.71 °C
<i>crystalline</i>	325.44 Wp	323.838 W	18.82%	25.09 °C

Dapat dilihat dari hasil uji modul surya kondisi *Standard Test Condition* (STC) pada modul surya jenis *Polycrystalline* sebesar 315,722-watt peak jika dibandingkan dengan nilai daya label pada modul surya yaitu sebesar 325-watt peak, maka di dapatkan selisih nilai 9.278-watt peak. Dari nilai tersebut maka di dapatkan presentase deviasi pada modul surya jenis *Polycrystalline* sebesar 2.03%. selain itu di dapatkan nilai efisiensinya sebesar 17.79%. Hasil uji kondisi STC yang dilakukan pada modul surya jenis *Monocrystalline* di dapatkan nilai daya maksimum sebesar 323.838-watt peak jika dibandingkan dengan daya label pada modul surya yaitu sebesar 325.44-watt peak, maka didapatkan selisih daya maksimum sebesar 1.602-watt peak. Dari nilai tersebut maka di dapatkan persentase deviasi pada modul surya jenis *Monocrystalline* sebesar 2.789% dan nilai efisiensi nya yaitu sebesar 18.82%.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dapat dikatakan bahwa pengujian harus di lakukan dengan irradiasi 1000 W/m² (1 kW/m²) dan suhu lingkungan standar 25o C dengan spektrum massa udara sebesar 1,5 air mass (AM1.5) sesuai dengan *Standard Test Condition* (STC) modul Photovoltaik. Dari percobaan saya di simpulkan bahwa untuk nilai efisiensi dari kedua modul surya ini masih lebih unggul *Monocrystalline* dibandingkan dengan *Polycrystalline* karena berdasarkan dari hasil pengujian dan data name plate.
2. Hasil pengujian menggunakan alat uji Sun Simmulator Pasan ini berupa I-V Curve (Kurva arus dan tegangan), dimana garis yang melintang berwarna biru merupakan grafik arus (I_{SC}) dan tegangan (V_{OC}) sedangkan garis yang melintang berwarna merah merupakan grafik daya yang di dapat dari perkalian arus (I_{MP}) dan tegangan (V_{MP}). Dari hasil grafik diatas maka di dapatkan data pengukuran modul surya.

3. Hasil data pengujian dari kedua modul surya jenis *Monocrystalline* berdasarkan dari tingkat efisiensi nya yaitu sebesar 18.82% sedangkan untuk *Polycrystalline* yaitu sebesar 17.79%. Dapat disimpulkan bahwa modul surya jenis *Monocrystalline* ini lebih unggul dari tingkat efisiensi nya dibandingkan dengan modul surya jenis *Polycrystalline*.
4. Metode uji yang di gunakan pada pengujian ini yaitu menggunakan metode *Single Flash* yang dimana generator menembakkan sinar Irradiasi 1000W/m² kearah modul surya dengan suhu lingkungan standar 25o C dan spectrum massa udara sebesar 1.5 air mass (AM1.5).

1. Kontribusi Penulis

Sebagai perbandingan, modul monokristalin menghasilkan daya puncak sebesar 323,838 Wp dan efisiensi 18,82%, sedangkan modul polykristalin menghasilkan daya puncak sebesar 315,722 Wp dan efisiensi 17,79%. Hasil pengujian yang dilakukan menggunakan Sun Simulator Pasan dengan metode STC menunjukkan bahwa modul monokristalin memiliki kinerja dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan modul polykristalin. Di bawah kondisi standar pengujian, jenis modul ini lebih disukai untuk digunakan dalam sistem tenaga surya yang membutuhkan efisiensi konversi energi yang tinggi.

2. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Pengujian Kualitas Modul Fotovoltaik (LPKMF) BRIN–PUSPIPTEK, yang telah menyediakan fasilitas dan bantuan teknis selama proses pengujian modul surya. Selain itu, kami mengucapkan terima kasih kepada pembimbing akademik dan rekan-rekan di Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan, saran, dan kontribusi konstruktif dalam proses penyusunan penelitian ini. Selain itu, penulis berterima kasih kepada rekan tim, yang bekerja sama untuk mengumpulkan data, menganalisis hasil pengujian, dan menyusun laporan akhir. Penulis juga berterima kasih kepada keluarga dan semua orang lain yang telah membantu dan mendorong penelitian ini sampai akhir.

3. Referensi

- [1] A. Martin *et al.*, “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia,” vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022.
- [2] S. Suratno and B. D. Cahyono, “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible,” *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 2, pp. 309–319, 2023, doi: 10.36277/jteuniba.v7i2.220.
- [3] W. C. Anggundari and H. Febriansyah, “Peran Standar, Pemanfaatan Energi Terbarukan dan Sistem Penyimpanan Energi sebagai Early Response System Penanganan Pasca Bencana Gempa dan Tsunami,” *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*, vol. 2021, no. March 2022, pp. 113–124, 2022, doi: 10.31153/ppis.2021.120.
- [4] M. A. Rahmanta, A. Syamsuddin, F. Tanbar, and N. Damanik, “Analisis Perkembangan Teknologi Modul Photovoltaic (PV) Untuk Meningkatkan Penetrasi Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Indonesia,” *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, vol. 7, no. 1, pp. 22–33, 2023, doi: 10.30588/jo.v7i1.1509.
- [5] A. Sudibyo, A. Nugroho, and B. Fazzry, “Analisis Potensi Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif Pengganti Energi Fosil Di Wilayah Probolinggo Timur,” *Jurnal Mema (Jurnal ...)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2025, [Online]. Available: <https://memajournal.indiepress.id/index.php/mema/article/view/16>

- [6] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, pp. 61–78, 2017, doi: 10.25105/jetri. v11i2.1445.
- [7] Galuh Prawestri Citra Handani, Binar Surya Gumilang, and Afidah Zuroida, "Pada Unit Crushing Plant Di Pt. Nur Hazanah Karya Abadi Distrik Prafi Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat." *INTAN Jurnal Penelitian Tambang* 4(2):98–103., " *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 183–187, 2023.
- [8] J. Ilmiah, "J. Ilmiah, 'Scientica Scientica,' vol. 3, pp. 326–332, 2024.," vol. 3, pp. 326–332, 2024.
- [9] Adelyna Oktavia Nasution, M. Wira Adhitya, Nazhiful Abid, Sazwani Ardha Sahira, and Laila Ali Putri, "Pengaruh Kuat Arus Listrik terhadap Medan Magnet di Sekitar Kawat Lurus Berarus," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 1, pp. 345–353, 2025, doi: 10.55606/juitik. v5i1.1286.
- [10] Dewi Tiya Saputri, Ayu Widiani Putri, and Aisyiyah Marfa Berliana Buanasari, "Pengaruh Tegangan Terhadap Besar Kuat Arus Listrik Pada Pengukuran Hukum OHM Berbasis Simulasi Phet HTML5," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 4, no. 1, pp. 321–331, 2025, doi: 10.55606/jtmei. v4i1.4843.
- [11] J. H. Riko, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Energi Terbarukan," *Academia.edu*, vol. 06, no. 02, pp. 136–142, 2014, [Online]. Available: http://www.academia.edu/9106342/Pembangkit_Listrik_Tenaga_Surya_PLTS_Energi_Terbarukan
- [12] S. S. ; Ramli, N; Mohd Sobani, "Jurnal Teknologi," *J Teknol*, vol. 2, no. 1, pp. 19–25, 2013, [Online]. Available: www.jurnalteknologi.utm.my
- [13] M. Palavalasa *et al.*, "An improved mayfly optimization with modified perturb and observe based energy management in grid integrated renewable sources," *AIMS Energy*, vol. 13, no. 5, pp. 1133–1166, 2025, doi: 10.3934/energy.2025042.
- [14] M. Irsyam, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Lampu Dan Projector Diruang Kelas Fakultas Teknik Unrika," *Sigma Teknika*, vol. 4, no. 2, pp. 199–208, 2021, doi: 10.33373/sigmateknika. v4i2.3259.
- [15] I. Putu, B. Gede, P. Sutraningrat, I. A. Bagus Wirajati, and K. Bangse, "Perancangan Sistem Kontrol Untuk Penghematan Energi Yang Efektif Pada Akomodasi Pariwisata (Villa)," pp. 1–6, 2022, [Online]. Available: <https://repository.pnb.ac.id>
- [16] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and S. H. Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *Teknik*, vol. 37, no. 2, p. 59, 2016, doi: 10.14710/teknik. v37i2.9011.
- [17] M. Al Farizy, "Rancang Bangun Sistem Penggerak Panel Surya Menggunakan Aktuator Berbasis Mikrokontroler," 170 ■ *Jurnal Tektro*, vol. 7, no. 2, pp. 170–175, 2023.

Halaman ini sengaja dikosongkan