



ANALISIS LOSSES DAYA SEL SURYA DALAM FABRIKASI MODUL SURYA MONOCRYSTALLINE 330WP PT SANTINILESTARI ENERGI INDONESIA

Yogik Indra Lukmanto¹, Muhammad Jubran Rizqullah², Mohamad Wahyu Hidayat³, Siti Diah Ayu Febriani⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

E-mail koresponden: siti_diah@polije.ac.id

ABSTRACT

Analysis of Solar Cell Loss Power in the Fabrication of 330WP Monocrystalline Solar Modules at PT. In the fabrication of Monocrystalline Photovoltaic cells into Monocrystalline 330WP solar modules produced in the PEM division of PT SANTINILESTARI ENERGI INDONESIA, during the production process from solar cells to solar modules it is necessary to calculate power losses, data retrieval is carried out by calculating the solar module design through specifications solar cells used and using data from the tester module results in the PEM division. Based on data taken from the results of testing the solar module with a module tester that uses a light irradiation that is almost the same as solar radiation of around 1000w/m². it can be seen from the tester module data that the highest P_{max} generated from the fabrication of the 330WP solar module is 341.2244 watts and the smallest is 337.9535. and from the results of the analysis of the calculation of power losses from the design of solar cells into solar modules with final testing on the module tester, the highest power losses in the solar module are 4.522% and the lowest losses are 3.59% from the initial design power of photovoltaic cells into solar modules.

Keywords: *Fabrication, Losses, Monocrystalline, Photovoltaic Cells.*

ABSTRAK

Analisa Daya Losses Sel Surya dalam Fabrikasi Modul Surya Monocrystalline 330WP di PT. Dalam Fabrikasi sel Photovoltaic jenis Monocrystalline menjadi modul surya Monocrystalline 330WP yang diproduksi di divisi PEM PT SANTINILESTARI ENERGI INDONESIA, selama proses produksi dari sel surya menjadi modul surya maka perlu dilakukan perhitungan daya loses, pengambilan data yang dilakukan yaitu dengan cara perhitungan perancangan modul surya melalui spesifikasi sel surya yang digunakan serta menggunakan data dari hasil modul tester yang ada di divisi PEM. Berdasarkan data yang diambil dari hasil pengetesan modul surya dengan alat modul tester yang menggunakan penyinaran cahaya yang hampir sama dengan radiasi matahari sekitar 1000w/m². dapat diketahui dari data modul tester yaitu P_{max} tertinggi yang dihasilkan dari fabrikasi modul surya 330WP yaitu sebesar 341,2244 watt dan paling kecil sebesar 337,9535. serta dari hasil Analisa perhitungan daya loses dari perancangan sel surya menjadi modul surya dengan pengetesan akhir pada modul tester, daya loses pada modul surya yang tertinggi yaitu sebesar 4,522% dan losses paling rendah sebesar 3,59% dari daya perancangan awal sel photovoltaic menjadi modul surya.

Kata Kunci: *Fabrikasi, Losses, Monocrystalline, Sel Photovoltaic.*

1. PENDAHULUAN

Kampus Politeknik Negeri Jember adalah perguruan tinggi bidang pendidikan vokasi, dimana program pendidikan yang mengedepankan proses belajar mengajar pada tingkat keahlian, keterampilan, dan standar kompetensi sesuai dengan kebutuhan industry. Praktik Kerja Lapangan, salah satu program yang ada dalam kurikulum dan menjadi salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Politeknik Negeri Jember. Mata kuliah ini ada pada Semester 7 untuk mahasiswa Diploma IV dan akan dilaksanakan pada semester 5 pada diploma III. Lulusan program studi Teknik Energi Terbarukan akan mengembangkan kemampuan teknis dan manajerial terkait energi baru dan terbarukan, mulai dari perencanaan pembangkitan energi terbarukan, teknologi proses utilitas dan pemanfaatan, serta pengembangan dan rekayasa energi terbarukan yang meliputi bioenergy, energi surya, geothermal, energi angin, dan energi air. yang diharapkan dapat dipelajari. Salah satunya adalah pelatihan kerja lapangan, di mana setiap mahasiswa dituntut untuk rela

melakukan pekerjaan sehari-hari di perusahaan yang mendukung keterampilan akademik yang diperoleh di universitas yang mengintegrasikan pengetahuan dan keterampilan akademik.

Modul surya merupakan komponen terpenting dalam suatu pembangkit listrik tenaga surya. Sehingga dalam fabrikasi modul surya diperlukan penjaminan manajemen mutu serta *quality control* yang baik, hal ini dilakukan guna menjaga kualitas dan ketahanan lama dari produk modul surya. Dalam fabrikasi modul surya diperlukan perancangan serta perhitungan daya yang dihasilkan, hal ini dilakukan guna dalam pembuatan modul surya tidak ada kelebihan kapasitas daya modul surya yang diproduksi. Sebab dengan kelebihan daya perancangan yang diproduksi tentu akan membuat besarnya biaya produksi sehingga membuat kerugian tersendiri bagi perusahaan, karena harus menanggung biaya produksi yang berlebihan akibat dari kelebihan daya perancangan modul yang akan dibuat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi matahari

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi bersih ramah lingkungan dan terbarukan yang memiliki potensi energi yang terbesar di dunia, khususnya di Indonesia. Energi matahari menggunakan radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik, dengan bantuan menggunakan *solar cell* sebagai pengubah iradiasi matahari menjadi energi listrik yang ramah lingkungan.

Di Indonesia, energi matahari mempunyai potensi dalam menghasilkan energi listrik mencapai lebih dari 200 GW dengan kapasitas efisiensi teknologi modul surya yang ada namun, penggunaan energi matahari dalam pembangkitan listrik tenaga surya nyatanya masih kurang dari 100 MW. Dengan potensi energi tenaga matahari ini tersebar merata di seluruh wilayah Indonesia, dengan potensi paling besar berada di Provinsi Kalimantan Barat (20 GW), disusul urutan kedua Sumatera Selatan (17 GW), dan dengan urutan ketiga Kalimantan Timur (13GW)[1]. Maka tidak menutup kemungkinan percepatan penggantian energi batubara/energi fosil menjadi energi baru terbarukan terutama energi surya akan cepat terealisasi pada tingkat daerah-daerah diseluruh wilayah Indonesia..

2.2. Sejarah Sel Surya

Energi listrik dari sinar matahari pertama kali ditemukan pada tahun 1839 oleh fisikawan Perancis yang bernama Alexandre Edmund Becquerel. Penemuannya merupakan pionir dalam teknologi perkembangan sel surya. Percobaan dilakukan yaitu dengan penyinaran serta dua elektroda dengan jenis cahaya yang berbeda. [2]. Tahun 1873, seseorang Insinyur Inggris Willoughby Smith menemukan Selenium menjadi suatu elemen *photoconductivity*. lalu tahun 1876, William Grylls dan Richard Evans Day menunjukkan bahwa Selenium menghasilkan arus listrik jika disinari menggunakan cahaya matahari. akibat inovasi mereka menyatakan bahwa Selenium bisa mengubah energi matahari secara langsung menjadi listrik tanpa terdapat bagian bergerak atau panas. sebagai akibatnya disimpulkan bahwa *solar cell* sangat tidak efisien serta tidak bisa dipergunakan untuk menggerakkan peralatan listrik.

Pada saat tahun 1894, Charles Fritz menciptakan sel surya asli pertama, bahan semikonduktor (selenium) yang dilapisi dengan lapisan tipis emas. Efisiensi yang dicapai hanya 1%, sehingga tidak dapat digunakan sebagai sumber energi dan dapat digunakan sebagai sensor cahaya [3]. Kemudian pada Tahun 1905 Albert Einstein mempublikasikan tulisannya tentang *photoelectric effect*. Tulisannya ini menyampaikan bahwa cahaya terdiri asal paket – paket atau “*quanta of energy*” yang kini ini lazim disebut “*photon*.” Teorinya ini sangat sederhana namun revolusioner. lalu tahun 1916 pendapat Einstein tentang *photoelectric effect* dibuktikan oleh percobaan Robert Andrew Millikan seorang pakar sekaligus fisikawan berkebangsaan negara Amerika serta beliau menerima Nobel Prize untuk karya *photoelectric effect*. Lalu tahun 1923 Albert Einstein akhirnya juga menerima Nobel Prize untuk teorinya yang membuktikan *photoelectric effect* yang dipublikasikan 18 tahun sebelumnya.

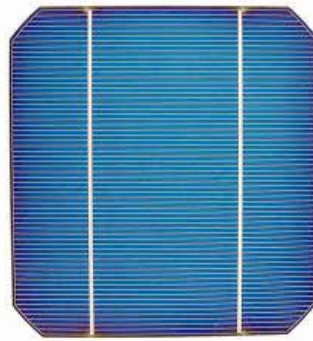
Pada tahun 1982, Hans Tholstrup merupakan seorang warga Australia yang mengendarai mobil bertenaga matahari pertama buat jarak 4000 km pada saat 20 hari menggunakan kecepatan maksimum 72 km/jam. Lalu pada tahun 1985 University of South Wales Australia memecahkan rekor efisiensi *manufacturing solar cell* yang dimana hasil efisiensinya mencapai 20% dibawah kondisi satu cahaya matahari. Tahun 2007 University of Delaware berhasil menemukan *solar cell technology* yang efisiensinya mencapai 42.8%. Hal ini merupakan rekor teranyar buat “*thin film photovoltaic solar cell*”. Perkembangan pada riset *solar cell* sudah mendorong komersialisasi dan produksi *solar cell* untuk penggunaannya menjadi sumber daya listrik.

2.3. Jenis jenis panel surya

Pada saat ini sel surya memiliki 3 jenis sel surya, dan dari ketiga jenis sel surya ini memiliki tingkatan efisiensi yang berbeda beda. Berikut ini jenis jenis sel surya :

2.3.1. Sel Surya Tipe Monocrystalline

Jenis *solar cell* tipe ini berasal batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis, yang dimana dileburkan lalu dicetak menjadi Batangan silinder yang terpotong menjadi segi enam, sehingga akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain serta berkinerja tinggi. Sel surya ini merupakan jenis yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya jenis lainnya, efisiensinya lebih kurang 15% - 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni serta teknologi yang dipergunakan, mengakibatkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain pada pasaran. Kelemahannya, sel surya jenis ini Bila disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel mentari seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bundar , tergantung asal bentuk batangan kristal silikonnya.



Gambar 1. Solar cell jenis Monocrystalline [4]

2.3.2. Sel Surya Polycrystalline

Jenis ini terbuat berasal beberapa campuran batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan lalu dituangkan pada cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna di sel surya jenis monocrystalline, karena sel surya yang didapatkan tidak identik satu sama lain serta efisiensinya lebih rendah, kurang lebih 13% sampai dengan 16%. Tampilannya nampak seperti terdapat motif pecahan kaca pada didalamnya *solarcell* jenis ini. Bentuknya yang persegi, Bila disusun membentuk panel surya, akan kedap serta idak akan terdapat ruangan kosong yang sia-sia seperti mirip susunan yang terdapat pada modul panel surya jenis monocrystalline. Proses pembuatannya lebih praktis dibanding monocrystalline, karena itu harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak digunakan saat ini



Gambar 2. Solar cell Tipe Polycrystalline [5]

2.3.3. Sel surya Tipe Thin Film

Jenis sel surya ini diproduksi menggunakan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material pasir silika atau bahan sel surya yang tipis ke pada lapisan dasar wafer *solar cell*. Sel surya jenis ini sangat tipis karena itu sangat ringan serta fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama module surya *ThinFilm* (Thin Film Photovoltaic). Tingkat efisiensi sel surya jenis thin film yaitu sebesar 6-9%.



Gambar 3. Solar cell tipe ThinFilm [6]

2.4. Karakteristik Sel Surya

Solar cell mendapatkan penyinaran matahari pada satu hari sangat bervariasi. Hal ini dikarenakan sinar surya mempunyai intensitas radiasi yang besar saat siang hari dibandingkan dengan pagi hari, selain itu suhu pada lingkungan juga mempengaruhi asal daya yang didapatkan oleh Modul surya. buat mengetahui kapasitas daya yang didapatkan, dilakukanlah pengukuran. Kapasitas daya asal sel atau modul surya dilambangkan pada watt peak (Wp) serta diukur sesuai standar pengujian Internasional yaitu Standard Test Condition (STC). standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar 1000 W/m^2 yang tegak lurus pencahayaan dengan rangkaian sel surya yang sudah menjadi modul, dengan pada saat pengetesan suhu ruangan sebesar 25°C . Modul photovoltaic memiliki hubungan antara arus serta tegangan. pada ketika tahanan variable bernilai tidak terhingga (*open circuit*) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan di sel berada di nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan *open circuit* (Voc) [2].

Saat keadaan yang lain, waktu tahanan variable bernilai nol (*short circuit*) maka arus pendek bernilai maksimum, yang dikenal menjadi arus short circuit (I_{sc}) [2]. Bila tahanan variable mempunyai nilai yang bervariasi antara nol sampai tidak terhingga maka ampere (I) serta tegangan (Voltage) akan diperoleh nilai yang bervariasi istilah ini sering disebut dengan Voc.

Maximum Power Point (I_{mp} dan V_{mp})

Merupakan titik pada kurva yang dimana pada table tersebut menunjukkan adanya daya maksimum yang bisa didapatkan oleh modul photovoltaic.

1. Open Circuit Voltage (Voc)

Open Circuit Voltage (Voc), ialah kapasitas tegangan maksimum yang bisa dicapai di waktu tidak adanya arus (current). Voc *solar cell* panel bisa diukur dilapangan pada berbagai macam keadaan. ketika membeli modul, sangat direkomendasikan buat menguji voltase hal ini dilakukan guna untuk mengetahui apakah cocok dengan spesifikasi pabrik dengan spesifikasi di real. ketika menguji voltase menggunakan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negatif. Open Circuit Voltage (Voc) dapat diukur pada pagi hari serta sore hari selagi ada sumber cahaya dari panas matahari.

2. Short Circuit Current (ISC)

Short circuit current (I_{sc}) merupakan maksimum keluaran arus yang dihasilkan oleh *solar cell*, yang dimana dapat dikeluarkan (output) dibawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hambatan beban. *Short circuit current* dapat diukur hanya pada jika koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul surya disatukan sehingga terjadinya short pada modul tersebut..

3. Pmax atau daya maksimum

Powermax merupakan daya maksimum yang berhasil dikonversikan oleh *solar cell* dan Pin (Power Input) merupakan daya yang dihasilkan melalui konversi sumber cahaya matahari yang digunakan menjadi energi listrik [7]. Daya maksimum diberikan oleh hubungan.

$$P_{max} = I_{pm} \times V_{pm} \quad (1)$$

4. FF (Fill Factor)

Fill Faktor merupakan salah satu Indikator untuk menentukan daya maksimum yang bias dihasilkan oleh modul surya [8]. Berikut persamaan untuk menghitung FF (Fill Factor).

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2)$$

2.5. Rangkaian pada sel surya

Pada produksi sel surya terdapat juga rangkaian kelistrikan didalamnya. Pada umumnya produksi modul surya rata rata memiliki rangkaian Seri. Karena hal ini dilakukan guna untuk mencari tegangan yang dihasilkan oleh produk modul surya sedikit lebih besar.

2.5.1. Rangkaian Seri

Rangkaian seri merupakan rangkaian sistem kelistrikan yang dimana nilai teganganya bertambah dan nilai arusnya tetap. Voltase total(Jumlah Tegangan) yang dihasilkan adalah penjumlahan dari sebuah tegangan(voltase) *solarcell* yang dirangkai menjadi modul surya [8]. Berikut persamaan rangkaian seri pada sel surya.

$$V_{\text{Total solar cell}} = V_{\text{solar cell 1}} + V_{\text{solar cell 2}} + V_{\text{solar cell 3}} + \dots + V_{\text{solar cell n}} \quad (3)$$

Arus apabila rangkaian Sel Surya dihubungkan atau dirangkai secara Seri

$$I_{\text{TOTAL solar cell}} = I_{\text{solar cell 1}} = I_{\text{solar cell 2}} = I_{\text{solar cell 3}} \quad (4)$$

2.5.2. Rangkaian Parallel

Rangkaian Parallel merupakan rangkaian sistem kelistrikan yang dimana nilai teganganya tetap tetapi nilai arusnya bertambah. Ampere total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari ampere (arus) yang dihasilkan dari sebuah *solarcell* yang tersusun menjadi modul [9]. Berikut persamaan rangkaian parallel pada sel surya.

$$V_{\text{total solar cell}} = V_{\text{solar cell 1}} = V_{\text{solar cell 2}} = V_{\text{solar cell 3}} \quad (5)$$

Arus(Ampere) *solar cell* apabila rangkaian *solar cell* tersusun atau dirangkai secara Seri

$$I_{\text{solar cell}} = I_{\text{solar cell 1}} + I_{\text{solar cell 2}} + I_{\text{solar cell 3}} + \dots + I_{\text{solar cell n}} \quad (6)$$

2.6. Yang Mempengaruhi Losses Daya

Pada saat ini sel surya memiliki 3 jenis sel surya, dan dari ketiga jenis sel surya ini memiliki tingkatan efisiensi yang berbeda beda. Berikut ini jenis jenis sel surya :

2.6.1. Material

Pada fabrikasi modul surya hal yang paling penting yaitu material,dimana jika material yang digunakan sesuai dengan standart maka hasil dari produk tersebut juga relative lebih baik dibandingkan menggunakan material yang memiliki kualitas jauh dibandingkan standart. Contohnya yaitu pada kaca, pada fabrikasi modul surya kaca merupakan hal yang tak kalah penting, sebab jika kaca yang dipakai memiliki kandungan besih yang kecil tentu juga hal tersebut akan mengurangi *Losses* daya yang dihasilkan.

2.6.2. Microcrack

Pada pembuatan modul surya tentu saja tidak menutup kemungkinan terjadinya *microcrack*, hal ini disebabkan beberapa faktor diantaranya yaitu saat memasuki pembuatan string, tekanan pada mesin string sel surya terlalu besar sehingga hal ini sangat berpotensi membuat *microcrack* sel surya. Selain tekanan pada waktu di mesin string, waktu repair string surya tekanan penyolderan yang terlalu keras juga bisa menyebabkan potensi *microcrack* pada sel surya. retakan mikro sel menyebabkan sedikit kehilangan daya ke modul PV [10], pada *microcrack* kehilangan daya sebesar 1% apabila kerusakan sel surya mengalami retak setengah dari satu sel tersebut, apabila hamper sel surya pada modul surya mengalami keretakan maka akan mengalami sekitar 2,5%.

2.6.3. Kualitas solder

Kualitas solder juga bisa mempengaruhi dari hasil besar kecilnya *Losses* daya pada sel surya maupun modul surya. Hal ini dikarenakan jika solder yang rusak tetap dipakai saat produksi bisa juga mempengaruhi kualitas sel surya yang disolder, selain itu jika kualitas solder yang dipakai cukup baik atau memiliki kualitas yang baik maka hasil solder pun juga bisa baik juga karena tidak terganggu dengan kualitas solder dan *Losses* daya yang besar akibat dari solder yang kualitasnya kurang baik juga bisa dihindari.

2.6.4. Human

Pada *Losses* daya pada sel surya juga bisa disebabkan oleh manusia, karena juga sumberdaya manusia merupakan hal terpenting dalam fabrikasi modul surya, karena saat fabrikasi dari pembuatan string sel surya menjadi modul surya pasti ada campur tangan manusia. Sehingga hal yang mungkin terjadi akibat SDM yaitu pada saat penyolderan di ulangi berulang kali hal ini juga bisa menyebabkan menurunnya kualitas sel surya, selain waktu penyolderan cara penyolderan yang tidak sesuai dengan prosedur penyolderan sel surya juga bisa menyebabkan crack pada sel surya yang memungkinkan hal ini dapat terjadinya *Losses* pada hasil produksi modul surya.

2.6.5. Hygiene

Pada saat produksi modul surya kebersihan merupakan hal terpenting yang tidak bisa dihindari, sebab dengan tingkat kebersihan yang buruk saat produksi hal ini akan membuat kualitas dari hasil produk modul surya menurun. Kebersihan dalam meliputi beberapa hal, waktu penyolderan tidak diperbolehkan memakai timah karena dari segi kebersihan timah cenderung banyak meninggal beberapa bekas solderan dari timah tentu hal ini berpotensi cenderung merusak kualitas dari produk sel surya, maupun bisa terjadinya *Losses* daya akibat beberapa bekas solderan dari timah yang tertinggal. Selain itu waktu penyimpanan dari pada sel surya harus sesuai dengan standar jika suhunya tidak sesuai dengan standar maka bisa mempengaruhi dan menyebabkan menurunnya kualitas pada sel surya, kebersihan material penyusun harus terjaga jika terdapat debu juga akan mempengaruhi dari hasil produk modul surya itu sendiri. Selain itu pemakaian APD saat proses produksi modul surya juga penting, sebab sel surya tidak boleh dipegang langsung oleh tangan karena bisa saja jika terkontak langsung oleh tangan menjadikan sel surya menjadi kotor, selain itu pemakaian apd juga bisa menurunkan terjadinya kesalahan produk akibat kotoran yang kita bawa dari luar ruang produksi.

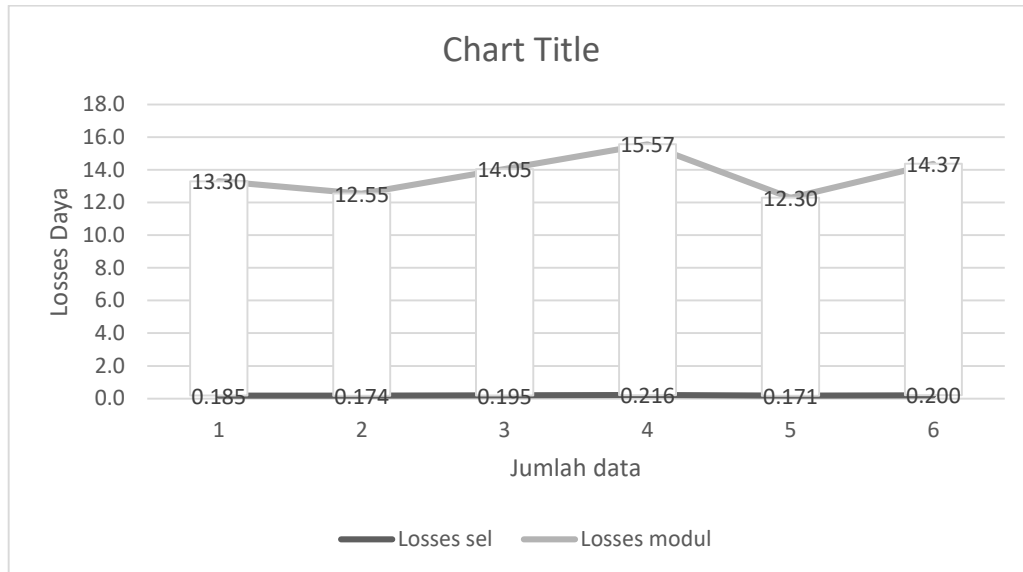
3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian laporan Praktek Kerja Lapang (PKL) yg berjudul Analisis *Losses* daya sel surya pada fabrikasi modul matahari 330WP Monocrystalline PT. Santinilestari Energi Indonesia memakai metode kuantitatif menggunakan cara membandingkan menghirung selisih output menurut perhitungan perancangan dengan hasil pengetesan modul tester, yang dimana perancangan memperhitungkan awal fabrikasi modul surya menghitung secara manual dengan rumus seri dan parallel hal ini langkah awal untuk menentukan spesifikasi modul surya yang akan diproduksi dan dengan menggunakan output pengetesan modul tester menggunakan pencahayaan sorot lampu 1000w/m² & suhu stc yaitu sebesar 25 derajat celcius. Perhitungan losses dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Daya losses} = \text{Daya perancangan} - \text{Daya Pengetesan} \quad (7)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil Analisis data pengetesan dan perancangan modul surya 1-6 menunjukan *Losses* daya yang bervariasi, hal ini tentunya di pengaruhi beberapa faktor yang memungkinkan terjadinya *Losses* daya pada sel surya maupun hasil dari produk modul surya



Gambar 4. Grafik *Losses*

Faktor faktor yang bisa menyebabkan dalam terjadinya *Losses* daya antara lain penggunaan kaca pada fabrikasi modul surya, dalam penggunaan kaca yang memiliki kandungan besi yang tinggi tentu akan mempengaruhi hasil dari power maximum yang seharusnya didapat akan tetapi malah akan turun, sebab hal tersebut dikarenakan terhambatnya radiasi akibat kaca lapis pada sel surya. Selain kualitas kaca, kualitas solder juga mempengaruhi dari hasil kapasitas sel surya. Sebab dengan solder yang kualitas jelek tentu akan membuat pengaruh besar waktu produksi panel surya. Selain alat solder, suhu dalam penyolderan juga berpengaruh besar terhadap kualitas sel surya, sebab suhu penyolderan yang disarankan pada sel surya sebesar 250-350 derajat celsius. tentu jika menggunakan suhu yang terlalu tinggi lagi bisa merusak kualitas sel surya sehingga dalam menghasilkan Pmax jauh lebih rendah dibandingkan spesifikasi awal dan hal ini juga menyebabkan *Losses* daya pada modul surya.

Berdasarkan pada Gambar 4 dari hasil pengetesan 1-6 menunjukan bahwa nilai dan persentase *Losses* daya modul surya yang terendah pada hasil pengetesan ke 5 dengan nilai persentase 3,59% atau sekitar 12,736 watt dan *Losses* tertinggi yaitu pada hasil pengetesan ke 4 dengan nilai persentase 4,52% atau sekitar 16,006 watt, sedangkan pada sel surya *Losses* terendah terdapat pada hasil pengetesan ke 5 sebesar 3,65% atau sebesar 0,18 watt dan *Losses* terbesar pada sel surya terdapat pada hasil pengetesan ke 4 dengan persentase 5,84% atau sekitar 0,287 watt. Dalam hal ini tentu banyak yang faktor yang menyebabkan *Losses* daya. Selain faktor faktor diatas juga terdapat faktor lain yaitu *microcrack* didalam pembuatan produk modul surya *microcrack* merupakan hal yang sering terjadi hal ini dikarenakan terlalu tinggi tekanan yang diberikan terhadap sel surya, sehingga menyebabkan keretakan kecil pada sel. Meskipun *microcrack* menyebabkan *Losses* daya kecil pada sel surya yaitu sebesar kurang dari 1-2%, akan tetapi jika keretakan tersebut terdapat pada jalur busbur serta keretakan yang terjadi pada permukaan sel banyak, tentu hal ini menjadikan *Losses* daya pada modul surya juga ikut bertambah besar. Disisi lain juga faktor *repair* string juga bisa berpengaruh besar, sebab dengan banyaknya string yang harus di *repair* secara berulang maka akan membuat potensi *Losses* semakin tinggi. Hal ini dikarenakan penggunaan solder yang terus menerus dengan suhu yang berbeda-beda dan suhu solder yang tinggi saat penyolderan pada sel surya juga akan membuat kualitas sel surya juga menurun.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berlandaskan hasil dari analisis data didapatkan besaran *Losses* daya pada modul surya 330WP jenis monocrystalline dengan *Losses* daya terbesar 16,006watt dan yang terkecil sebesar 12,7356, sedangkan daya *Losses* pada sel surya sesudah dijadikan modul yang terbesar sebesar 0,287 watt sedangkan yang paling kecil sebesar 0,17watt. Persentase *Losses* baik pada sel maupun pada modul surya berkisar antara 3-5% dari daya perancangan modul surya maupun spesifikasi pada sel surya yang dipakai.

5.2. Saran

berikut saran yang dapat dihasilkan dari penelitian ini yaitu Menjaga suhu solder saat melakukan soldering, karena suhu yang terlalu tinggi akan mempengaruhi dari hasil produk modul surya yang dihasilkan, Mengecek kualitas kaca yang dimana disarankan untuk menggunakan kaca yang cenderung memiliki kandungan besi yang rendah, hal ini digunakan untuk menekan terjadinya Losses pada hasil modul surya, Meningkatkan kebersihan pada area produksi hal ini dilakukan guna menjaga kualitas hasil produksi pada modul surya, Melakukan pengetesan awal pada sel surya sebelum melakukan peancangan fabrikasi untuk memastikan spesifikasi sel yang akan dipakai dan melakukan pencatatan suhu serta pengecekan kualitas kontrol agar mengetahui perbedaan losses daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. C. A. Praditya Tampubolon, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia," *IESR*, Jakarta, hal. 1–23, 2019.
- [2] R. A. M. Napitupulu, S. Simanjuntak, dan R. Pandiangan, "Karakteristik Sel Surya 20 Wp Dengan Dan Tanpa Tracking System."
- [3] T. Timotheus Gultom, "Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya."
- [4] https://www.taiwan-suppliers.org/monocrystalline-solar-cells_id.html [10 Desember 2021]
- [5] https://id.bossgoo.com/member_wuxisunket/mono-solar-cell-158-75mm-5bb/product58624756.html [10 Desember 2021]
- [6] <https://www.box-panellistrik.com/information/170> [10 Desember 2021]
- [7] Maddu dan M. Zuhri, "Pabrikasi dan Karakterisasi Sel Surya Tersensitisasi Dye Berbasis Elektroda Komposit TiO₂/SnO₂ dan Elektrolit Polimer Fabrication and Characterization Dye-Sensitized Solar Cell based on TiO₂/SnO₂ Composit Electrode and Polymer Electrolite," 2008.
- [8] M. Suriadi dan Syukri, "Perencanaan Pembangkit Listrik Ttenaga Surya," *J. Rekayasa Elektron.*, vol. 9, no. 2, hal. 77–80, 2010.
- [9] N. E. , C. , A. , M. Z. H. Matoga Siregar, "Analisa Hubungan Seri Dan Paralel Terhadap Karakteristik Solar Sel Di Kota Medan," *J. Tek. Elektro*, vol. 3, hal. 94–100, 2021.
- [10] M. Kntges, I. Kunze, S. Kajari-Schrder, X. Breitenmoser, dan B. Bjørneklett, "The risk of power loss in crystalline silicon based photovoltaic modules due to micro-cracks," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 95, no. 4, hal. 1131–1137, 2011, doi: 10.1016/j.solmat.2010.10.034.