

Perancangan Sistem Penerangan LED Sebagai Sumber Cahaya Pada Pengujian Modul Surya

Mitra Walidain^{#1}, Ira Devi Sara^{*2}, Mahdi Syukri^{#3}

[#] *Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia*

¹walidainmitra@gmail.com

²ira.sara@gmail.com

³mahdisyukri@yahoo.co.id

Abstrak— Solar simulator adalah alat yang dapat memancarkan cahaya yang memiliki intensitas mendekati sinar matahari langsung, yaitu 1000W/m². Solar simulator ini dibutuhkan untuk pengujian sel surya dalam ruangan agar variable saat pengujian dapat terkontrol, dan dapat dilakukan sepanjang waktu. Pada penelitian ini, dibuat suatu prototype solar simulator menggunakan high power LED (HPL) sebagai sumber cahayanya. Selain menggunakan HPL, prototype ini juga menggunakan lensa fresnel untuk menguatkan intensitas cahaya yang dipancarkan. Pada penelitian ini, digunakan aplikasi Pyranometer App pada platform iPhone 4 untuk alat ukur nilai irradiance cahaya. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, intensitas cahaya yang dikeluarkan mencapai nilai 1054 W/m² dengan menggunakan lensa Fresnel sebagai penguat intensitas cahaya. prototype solar simulator yang dibuat juga memiliki nilai ketidakeragaman cahaya dengan nilai ketidakeragaman cahaya terkecil adalah 12,24%. Perancangan prototype LED solar Simulator ini diharapkan dapat membantu dalam pengujian modul surya dalam ruangan.

Kata Kunci— solar simulator, high power LED, lensa Fresnel, intensitas cahaya, irradiance.

I. PENDAHULUAN

Simulator surya adalah seperangkat peralatan yang digunakan untuk menguji dan karakteristik sebuah sel surya dalam suasana terkendali. Peralatan ini terdiri sumber cahaya yang dapat diubah-ubah intensitasnya, pengatur suhu dan peralatan pengukuran seperti arus dan tegangan. Karakteristik arus dan tegangan sel surya sangat tergantung pada kondisi cahaya yang mengenai sel surya dan suhu selnya. Untuk itu, sumber cahaya yang mengenai sel surya yang di uji harus memenuhi beberapa ketentuan seperti, stabil, uniformity dan spectrum tertentu yang mempunyai spectrum AM1.5 [1]

Pencahayaan yang digunakan harus mendekati sinar matahari. Simulator surya banyak digunakan untuk menyediakan fasilitas pengujian didalam ruangan yang terkendali dalam kondisi laboratorium untuk pengujian sel surya. Simulator surya sedang digunakan secara luas untuk karekterisasi teknologi yang berbeda. Jenis sumber Cahaya yang berbeda, seperti lampu xenon atau halogen telah digunakan di berbagai instalasi. LED solar simulator adalah tren baru untuk keketerisasi perangkat fotovoltaiik karena memiliki potensi lebih handal dan akurat karena banyak keuntungan LED yang digunakan sebagai sumber cahaya. [2].

Energi surya merupakan salah satu eneri yang kurang dimanfaatkan disebabkan karena penggunaan sel surya ini, relative kurang efisien karena harga, lahan yang dibutuhkan untuk meletakkan panel surya cukup luas. Karena alasan inilah, pengujian sel surya sangat penting [3].

Pengujian sel surya bertujuan untuk melihat karakteristik keluaran dari sel surya tersebut. Pengujian sel surya dapat dilakukan dalam ruangan ataupun luar ruangan. Pengujian luar ruangan adalah pengujian menggunakan cahaya matahari langsung. Namun karena cuaca luar ruangan yang tidak dapat dikendalikan, dimana sewaktu-waktu dapat turun hujan, matahari tertutup awan, atau faktor alam lainnya yang tidak dapat dikendalikan, maka dibutuhkan suatu kondisi dimana sel surya dapat diuji tanpa membutuhkan cahaya matahari yang sebenarnya.

Sumber cahaya yang digunakan untuk pengujian harus memiliki intensitas cahaya yang konstan dan memiliki karakteristik serupa dengan matahari. Banyak pnelitian mengenai sumber cahaya yang digunakan untuk menguji sel surya dengan sumber cahaya yang beragam pula mulai dari lampu Xenon, Halogen, Quartz Tungsten Halogen (QTH), dan lainnya. Namun penggunaan dari lampu-lampu ini kurang efisien karena membutuhkan sumber tegangan yang cukup tinggi, yaitu mencapai 240 V [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah prototipe pencahayaan pengujian solar sel didaam ruangan dengan menggunakan high power LED 10W sebagai sumber cahaya.

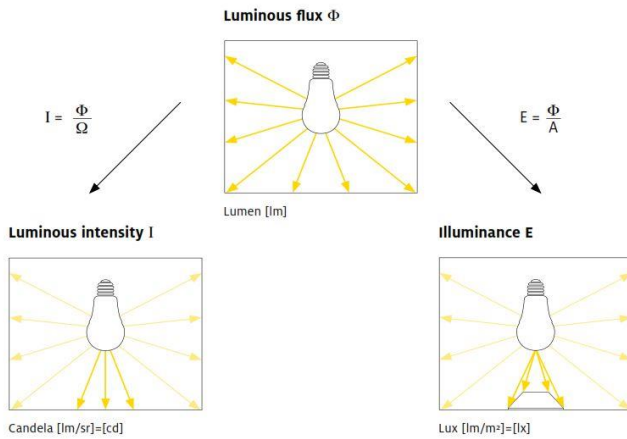
II. DASAR TEORI

A. Cahaya

Cahaya adalah suatu bagian dari berbagai macam gelombang elektromagnetik yang dapat merambat dalam ruang hampa maupun bermedium. Spektrum elektromagnetik mencakup banyak macam gelombang, mulai dari gelombang radio (700nm-1m) sampai gelombang x-ray (100nm-400nm). Cahaya tampak berada diantara panjang gelombang radio dan gelombang x-ray, yaitu berada pada gelombang 380nm-770nm. [5]

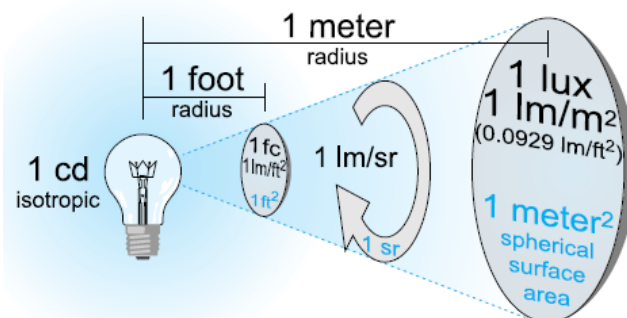
Cahaya dapat diukur dalam banyak parameter, beberapa diantaranya adalah luminous flux, illuminance, luminous intensity, radiometric flux, radiant intensity, irradiance, dan

radiance. Luminous flux (Φ) adalah parameter yang mengukur banyaknya cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya dan dinyatakan dalam lumen (lm). Illuminance (E) adalah besar jumlah luminous flux yang jatuh pada satu bidang permukaan, dan dapat dinyatakan dalam (lm/m^2) atau juga lux (lx). Luminous intensity (I) menyatakan banyaknya cahaya yang dipancarkan pada satu steradian (lumen/steradian), dan dapat dinyatakan dalam candela (cd). [6]



Gambar 1 Parameter dasar pengukuran cahaya [6]

Radiometric flux adalah parameter yang mengukur tingkat merambatnya energi dalam satuan waktu, yang dinyatakan dalam watt (W). Irradiance adalah parameter yang mengukur besar radiometric flux pada suatu bidang. Irradiance dinyatakan dalam W/cm^2 atau W/m^2 . Radiant intensity adalah besaran cahaya yang menyatakan besar radiometric flux yang dipancarkan pada satu sudut ruang (steradian) atau juga W/sr . Radiance adalah besarnya cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan, atau diterima pada suatu bidang yang dilihat dari sudut pandang tertentu. Radiance sendiri dinyatakan dalam $\text{W}/\text{sr}.\text{m}^2$. [7]



Gambar 2 Parameter cahaya [7]

Cahaya matahari memiliki konstanta surya (solar constant) dan Insolation (Incident Solar Radiation). Konstanta surya (G_{sc}) sendiri adalah nilai irradiance matahari pada luar atmosfer pada jarak rata-rata bumi dengan matahari. Nilai konstanta surya ini adalah $1353 \text{ W}/\text{m}^2$. Insolation adalah nilai irradiance matahari yang telah melewati atmosfer.

B. Standar Pengujian Irradiance

Secara umum, terdapat 2 metode umum untuk menentukan nilai irradiance cahaya. Metode pertama adalah pendekatan melalui medium pengubah energi radiasi cahaya menjadi energi termal. Pada metode ini, digunakan dua medium penghantar yang berbeda warna, yaitu hitam dan putih. Selisih suhu dari 2 medium yang digunakan pada suatu alat ukur inilah yang menjadi parameter untuk menentukan nilai iradiasi cahaya yang diterima alat ukur tersebut. Hal ini ditunjukkan pada persamaan Stefan-Boltzmann berikut ini:

$$I = e \times \sigma \times \Delta T \tag{1}$$

dimana:

- I = iradiasi cahaya (W/m^2)
- e = 1 (karena benda hitam)
- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} (\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4)$
- ΔT = selisih suhu kedua medium penghantar (K)

Metode yang kedua adalah metode menggunakan bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor adalah jenis bahan yang peka terhadap beberapa spectrum cahaya. Beberapa komponen yang menggunakan semikonduktor yang dapat digunakan untuk mengukur iradiasi cahaya adalah LDR, photodiode, phototransistor, dan solar cell.

Nilai iadiance sendiri dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_r = \frac{P_{in}}{A} \tag{2}$$

Dimana:

- I_r = Irradiance cahaya (W/m^2)
- P_{in} = Daya cahaya (W)
- A = luas objek uji (m^2)

C. Solar Simulator

TABEL I

STANDAR SOLAR SIMULATOR IEC DAN ASTM [1] [8]

Parameter	Kelas IEC 60904-9			Kelas ASTM E927		
	A	B	C	A	B	C
Spectral match	0.75-1.25	0.6-1.4	0.4-2.0	0.75-1.25	0.6-1.4	0.2-2.0
Spasial non-uniformity	<2%	<5%	<10%	<2%	<5%	<10%
Temporal instability	<2%	<5%	<10%	<2%	<5%	<10%

Untuk menentukan non-uniformity digunakan rumus berikut

$$\text{Non-uniformity} = \frac{1 - \text{nilai minimum}}{1 + \text{nilai minimum}} \times 100\% \tag{3}$$

Solar simulator dibagi menjadi 3 kategori yaitu A, B, dan C. Parameter penentuan kategori ini adalah spectral match, temporal instability, iradiasi non-uniformity. Saat ini terdapat 3 organisasi yang menggunakan klasifikasi kelas ini, yaitu IEC (Eropa), ASTM (Amerika), dan JIS (Jepang).

Ketiga organisasi ini menggunakan nilai yang berbeda pada setiap kelasnya [8]. Standar solar simulator IEC dan ASTM ditunjukkan pada Tabel berikut.

D. High power LED

LED sendiri adalah Light Emitting Diode, yaitu suatu komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya saat diberi arus. High Power LED (HPL) adalah LED yang bekerja dengan beberapa ratus mA sampai beberapa A. High power LED juga, sesuai dengan namanya, dapat memancarkan cahaya lebih dari 1 W [9].

HPL biasanya digunakan penerangan outdoor atau penerangan dalam industri. Penggunaan HPL bertujuan untuk menghemat biaya, karena HPL membutuhkan arus dan tegangan yang relative lebih kecil dibanding lampu pijar atau lampu neon, tetapi masih memiliki lumen yang lebih besar [10]. Sebagai contoh, HPL 10W yang dialiri arus 1050mA memiliki lumen sebesar 675-765lm [11]

E. Lensa Fresnel

Lensa Fresnel adalah lensa yang memiliki lekuk-lekuk terkonsentrasi pada salah satu permukaannya, dan polos dibagian lainnya. Lekuk-lekuk ini memiliki sudut tertentu, untuk dapat menghasilkan fluks cahaya sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Lensa ini memiliki bobot yang relative ringan, tipis, dan memiliki kemampuan yang bagus dalam memfokuskan cahaya ke suatu titik. Lensa Fresnel biasa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan pemfokusan cahaya. Lensa ini juga biasa digunakan sebagai pembesar, atau lensa proyeksi pada sistem penerangan, dan formulasi citra [12].

Salah satu parameter yang digunakan dalam aplikasi lensa Fresnel adalah Geometric Concentration Ratio (CR_g) atau rasio konsentrasi geometris. CR_g sendiri adalah rasio perbandingan luas bidang penangkapan cahaya dengan luasan penerima cahaya. Bidang penangkapan cahaya adalah bidang yang menerima cahaya langsung dari sumber cahaya, yang selanjutnya akan mengkonsentrasikan cahaya yang diteruskan ke objek penerima cahaya.

$$CR_g = \frac{A_a}{A_f} \tag{4}$$

Dimana A_a adalah luasan bidang penangkapan cahaya (luasan lensa Fresnel) dan A_f adalah luasan penerima cahaya.

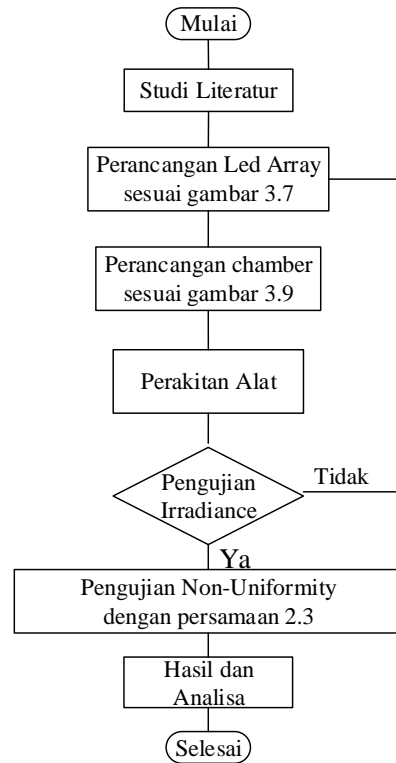
III. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 3.

A. Perancangan LED Array

Pada perancangan ini lampu yang digunakan adalah jenis high power LED 10W. lampu yang digunakan sebanyak 12 buah lampu. Lampu pada rancangan ini diletakkan diatas lempengan alminium berukuran 30cm x 24cm yang berfungsi agar cahaya di pantulkan seluruhnya yang sampai pada

permukaan. Karena lampu menghasilkan panas, maka untuk menjaga kualitas penyinaran lampu dan masa pakai digunakan heatsink sebagai pendingin. Heatsink yang digunakan sebanyak 2 buah dengan ukuran yang sama yaitu 10cm x 20cm.

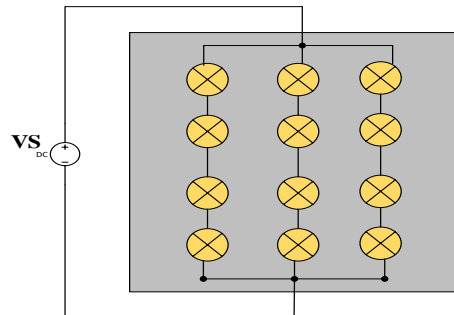


Gambar 3. Diagram aliran kerja penelitian

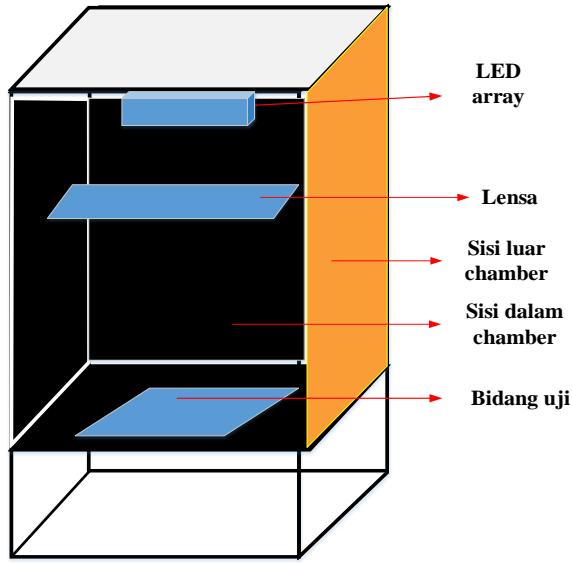
Rancangan lampu ini menggunakan sumber tegangan DC pada tegangan kerja 36V seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

B. Perancangan Chamber

Chamber merupakan tempat yang digunakan untuk menguji intensitas cahaya lampu yang dirancang. Chamber terbuat dari bahan triplex berbentuk ruang dimensi tiga seperti balok dengan ukuran panjang 30cm, lebar 24cm dan tinggi 40cm. Berikut merupakan bentuk rancangan chamber yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Rancangan lampu LED

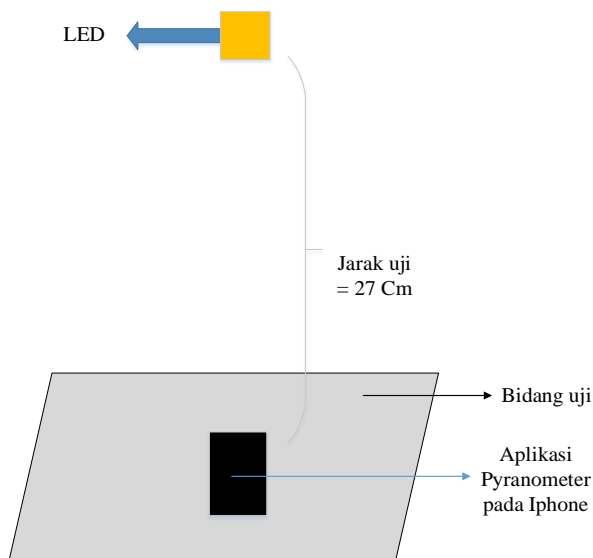


Gambar 5. Bentuk rancangan chamber uji

C. Pengujian Irradiance

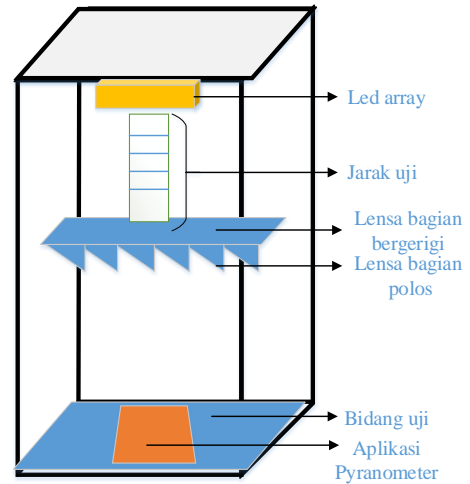
Pengujian irradiance dilakukan dalam 2 tahap, yaitu pengujian tanpa menggunakan lensa dan pengujian dengan menggunakan lensa

1) Pengujian tanpa lensa: Pengujian ini dilakukan pada tegangan kerja 36V. Pengujian yang dilakukan adalah untuk mengukur irradiance cahaya yang dihasilkan lampu dengan menggunakan aplikasi pyranometer pada Iphone yaitu dengan cara meletakkan hp Iphone pada bagian tengah permukaan objek uji. Berikut pengujian irradiance tanpa lensa dapat dilihat pada gambar 6.



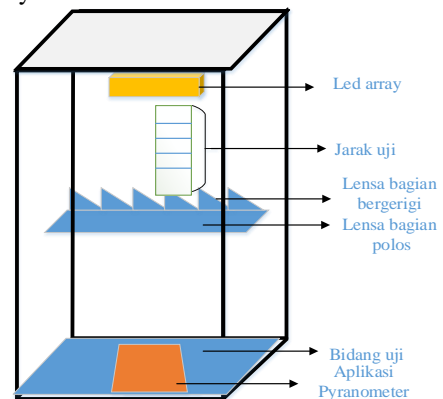
Gambar 6. Pengujian irradiance tanpa menggunakan lensa

2) Pengujian dengan menggunakan lensa Fresnel: Pengujian irradiance menggunakan lensa ini bertujuan untuk memperkuat irradiance cahaya yang dihasilkan oleh lampu. pengujian dengan menggunakan lensa ini dilakukan dengan cara meletakkan lensa Fresnel diantara sumber cahaya dan objek uji. Pengujian ini dilakukan pada 2 sisi bidang lensa yaitu bidang polos dan bidang bergerigi dan juga jarak lensa terhadap cahaya divariasikan pada jarak 5cm, 10cm, 15cm dan 20cm. Pengujian dengan menggunakan lensa juga dilakukan pada tegangan kerja 36V. Pada gambar 6 dapat dilihat pengujian yang dilakukan dengan menggunakan lensa Fresnel.



Gambar 7. Pengujian irradiance dengan menggunakan lensa Fresnel bagian polos

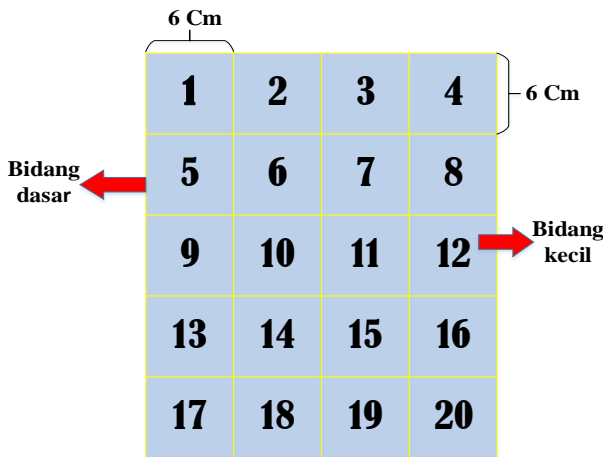
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian bagian polos, dimana posisi lensa bagian polos menghadap sumber cahaya. Kemudian dilakukan pengujian pada bidang bergerigi seperti ditunjukkan pada gambar 8 berikut. Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat pengujian yang dilakukan dengan menggunakan lensa Fresnel bagian bergirigi, dimana posisi lensa bagian bergerigi menghadap sumber cahaya.



Gambar 8 pengujian irradiance menggunakan lensa lensa Fresnel bagian bergerigi.

D. Pengujian Non-Uniformity

Pengujian ini dilakukan untuk melihat keseragaman cahaya yang sampai pada permukaan bidang uji. Pengujian yang dilakukan adalah dengan mengukur irradianse cahaya pada objek uji dengan menggunakan aplikasi pyranometer. Teknik pengukuran irradianse adalah dengan mengukur irradianse pada setiap bagian tengah objek uji yang sudah dibagi menjadi bidang kecil, dimana bidang uji seluas 30cm x 24cm dibagi menjadi 20 segmen yang masing-masing berukuran 6cm x 6cm seperti pada gambar 9. Setelah diukur nilai irradianse setiap bidang pada objek uji maka kemudian ditentukan berapa nilai deviasi non-uniformitynya. Nilai non-uniformity dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2



Gambar 9. Objek bidang uji

IV. HASIL DAN PEMBAHASA

A. Hasil Pengujian Irradiance

Pada pengujian led array ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian irradianse pada led array yang telah dirangkai, hasil pengujian yang didapat kan pada pengujian tanpa lensa adalah 312 watt/ m² . Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, kemudian dilakukan pengujian irradianse menggunakan lensa Fresnel karena irradianse yang dihasilkan belum mencapai tujuan.

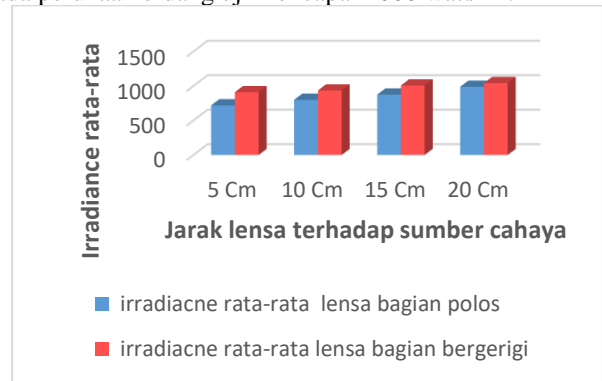
TABEL II

HASIL RATA-RATA IRRADIANCE YANG JATUH PADA PERMUKAAN BIDANG UJI DENGAN MENVARIASIKAN JARAK LENA TERHADAP SUMBER CAHAYA

Jarak lensa terhadap sumber cahaya (Cm)	irradianse rata-rata (watt/m ²)	
	lensa bagian polos	lensa bagian bergerigi
5 Cm	719.97	911.15
10 Cm	799.9	935.4
15 Cm	875.15	1008
20 Cm	988.65	1042.5

Hasil pengukura rata-rata irradianse pada permukaan seperti ditunjukkan pada tabel II diatas diperoleh dengan

memberikan tegangan kerja pada sumber tegangan DC 36V. hasil irradianse cahaya yang paling bagus diperoleh pada pengujian menggunakan lensa bagian bergerigi dimana jarak lensa terhadap sumber cahaya adalah 15cm dan 20cm, karena pada pengukuran tersebut rata-rata nilai irradianse yang jatuh pada permukaan bidang uji mencapai 1000 watt/m².

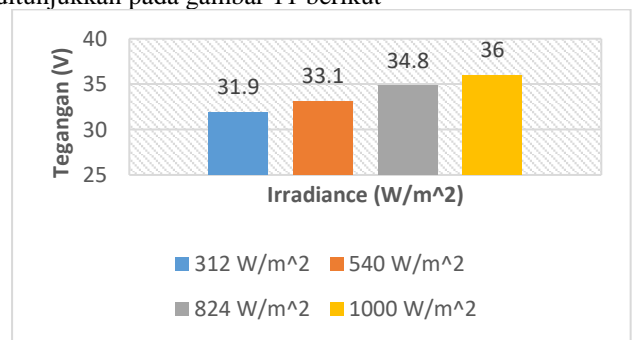


Gambar 10 grafik rata-rata irradianse yang jatuh pada permukaan dengan memvariasikan jarak lensa terhadap sumber cahaya

Berdasarkan tabel II maka dapat diperoleh grafik pada gambar 10. Berdasarkan gambar 10 diatas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan hasil irradianse pada pengukuran menggunakan lensa bagian polos dan lensa bagian beegerigi. Pada lensa bagian bergerigi nilai irradianse yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan hasil irradianse lensa bagian polos. Pada pengukuran jarak lensa 20Cm terhadap, tidak terdapat perbedaan nilai irradianse yang cukup jauh antara lena bagian polos dan lensa bagian bergerigi. Tapi, pada jarak yang lain terlihat perbedaan yang cukup jauh hasil rata-rata irradianceny.

B. Hasil hubungan tegangan terhadap irradianse

Pada pengujian ini dilakukan untuk melihat hubungan tegangan terhadap irradianse yang dihasilkan, karena pada penelitian ini jug bertujuan agar bisa mengatur irradianse lampu dari 300 - 1000 watt/ m² . Berikut hasil pengujian hubungan tegangan terhadap irradianse yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 11 berikut

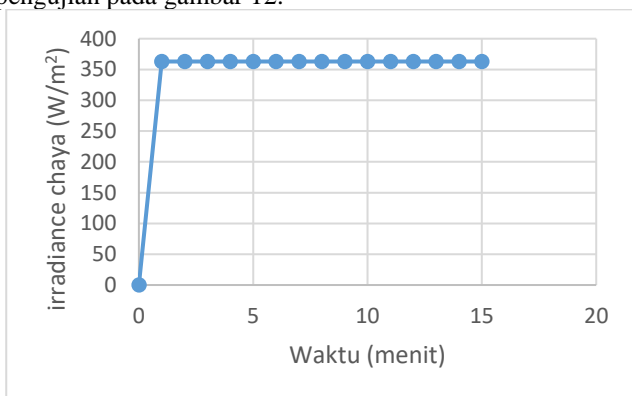


Gambar 11 Grafik hubungan tegangan input terhadap irradianse yang dihasilkan

C. Pengujian Kestabilias cahaya

Beikut dilakukan pengujian kestabilias cahaya yang sampai di permukaan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat

bagaimana cahaya yang dihasilkan apakah berubah-ubah terhadap waktu ataupun tetap. Berikut dapat dilihat hasil pengujian pada gambar 12.



Gambar 12 grafik kestabilan cahaya lampu LED array pada tegangan kerja 36V

Berdasarkan gambar 12 diatas dapat dilihat bagaimana hubungan intensitas cahaya terhadap waktu, dimana intensitasnya semakin naik dan suhunya juga semakin naik namun tegangannya masih sama yaitu 35,8V.

D. Hasil Pengujian Non-Uniformity

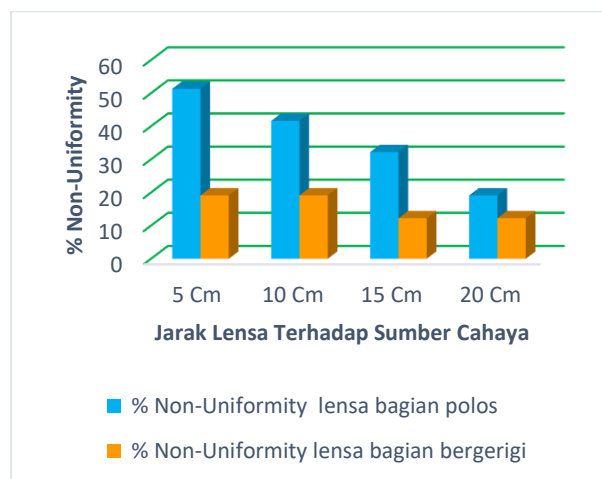
Pengujian non-uniformity ini dilakukan untuk melihat keseragaman cahaya yang sampai pada permukaan objek uji, berikut merupakan hasil pegujiannya dapat dilihat pada tabel IV.

TABEL III

HASIL PENGUJIAN NON-UNIFORMITY CAHAYA YANG JATUH PADA PERMUKAAN

Jarak lensa terhadap sumber cahaya	% Non-Uniformity	
	Lensa bagian polos	Lensa bagian bergerigi
5 Cm	51.32 %	19.16 %
10 Cm	41.66 %	19.16 %
15 Cm	32.24 %	12.24 %
20 Cm	19.16 %	12.24 %

Berdasarkan data pada tabel III hasil pengujian non-uniformity cahaya pada permukaan, hasil yang paling bagus diperoleh pada saat pengukuran menggunakan lensa bagian beergerigi diama jarak lensa terhadap sumber cahaya adalah 15Cm dan 20 Cm. Adapun hasil persentase non-unifprmitynya adalah sama yaitu 12,24%. Namun, jika di bandingkan dengan standar solar simulator yang sudah ada nilai non-uniformity cahaya pada hasil penelitian ini masih jauh dari standar solar simulator ini. Jadi bisa dikatakan bahwa tingkat non-uniformity cahaya pada penelitia ini belum termasuk salah satu kelas standar solr simulator itu sendiri. Sesuai dengan hasil pada tabel III maka diperoleh grafik non-uniformity cahaya seperti tampak pada gambar 14 berikut



Gamabr 13 Grafik %Non-Uniformity cahaya pada permukaan dengan memvariasikan jarak lensa terhadap sumber cahaya

Berdasarkan gambar 13 diatas dapat dilihat bahwa tingkat nilai % Non-Uniformity cahaya pada pengukuran menggunakan lensa bagian polos lebih besar jika di bandingkan dengan pengukuran menggunakan lensa bagian bergerigi. Perbedaan nilai % non-niformity antara lensa bagian polos dan lensa bagian bergerigi sangat jauh sekali bahkan sampai 2 kali lipat lebih. Maka, berdasarkan hasil pada gambar 4.6 diatas pada penelitian ini lensa bagian bergerigi lebih baik di gunakan karena tingkat non-uniformitynya paling bagus.

V. KESIMPULAN

Pada prototype cahaya pengujian solar sel di dalam ruangan yang dirancang ini memiliki tingkat intensitas cahaya 300-1000 Watt/ m² dalam kondisi pengujian terkendali. Untuk memperoleh irradiance 1000 Watt/m² di perlukan lensa fresnel sebagai penguat cahaya yang dihasilkan, karena pada saat pengujian irradiance tanpa lensa adapun nilai irradiance cahaya yang di hasilkan yaitu 312 Watt/m². Lensa yang digunakan pada penelitian ini paling bagus menggunakan lensa bagian bergerigi dengan mengatur jarak lensa terhadap sumber cahaya 15cm atau 20cm pada tegangan kerja 36V, karena hasil irradiance rata-rata dan % non-uniformity paling bagus. Adapun hasil irradiance rata-ratanya dalah 1008-1042 Watt/m² dan nilai non-uniformitynya adalah 12,24%. Namun, jika dibandingkan dengan standar solar simulator IED dan ASTM prototype ini belum termasuk salah satu kelas dari standar solr simulator tersebut. Akan tetapi irradiance cahaya yang dihasilkan pada prototype ini sudah mencapai irradiance cahaya untuk pengujian solar sel.

REFERENSI

[1] ASTM, *E927 Standars Specification for Solar Simulation for Terrestrial Photovoltaic Testing*, Philadelphia, USA: ASTM, 2015.
 [2] A. M. Mohan, J. Pavithran, K. L. Osten, J. A and C. P. Mrinalini, "IEEE Standards University," [Online]. Available: <http://www.standardsuniversity.org/wp->

content/uploads/led_based_solar_simulator_mohan_final_paper.pdf.
[Accessed 12 September 2017].

- [3] F. Plyta, R. Gottschalg and R. B. Thomas, "Potential for LED solar simulator," in *2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2013.
- [4] N. Mohamad Samiudin, F. Hussain, M. Othman, B. Yatim, M. Ruslan, K. Sopian and Z. Ibrahim, "Development Of Solar Simulator For Indoor Testing Of Solar Collector," *Journal of Industrial Technology*, vol. 24, no. 21908/jit, pp. 27-42, 2016.
- [5] U. W. N. H. Ullin Dwi Fajri A, "Hubungan Antara Tegangan Dan Intensitas Cahaya Pada Lampu Hemat Energi Fluorescent Jenis S1 (Sodium Lamp) Dan Led (Light Emitting Diode)," *Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, p. 6.
- [6] Zumtobel, *The Lightning handbook*, 6851 Dornbirn, AUSTRIA : Zumtobel Lighting GmbH , 2017.
- [7] A. Ryer, *Light Measurement Handbook*, United States: International Light Inc, 1998.
- [8] Eternal Sun, "Solar Simulation standard and AAA-rating, Eternal Sun Whitepaper," Eternal Sun, Delft, Belanda, 2014.
- [9] Future Electronics, "What is a White High Power LED," 2017. [Online]. Available: www.futureelectronics.com/en/led-lighting-solutions/white-high-power-led-emitters.aspx. [Accessed 5 Oktober 2017].
- [10] T. Scully, "Everything about LEDs: Learn the Basics of LED Lighting and How to Power!," 11 march 2015. [Online]. Available: <https://www.ledsupply.com/blog/what-you-need-to-know-about-leds/>. [Accessed 5 Oktober 2017].
- [11] ShenZhen Wayjun Technology Co.Ltd, "10W Epistar 35mil Chip High Power LED datasheet," Wayjun Technology Co.,Ltd, 2012.