

Desain Prototype Sel Surya Terkonsentrasi Menggunakan Lensa Fresnel

Aulia Syahbanna Anhar^{#1}, Ira Devi Sara^{#2}, Ramdhan Halid Siregar^{#3}

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

¹aulia.syahbanna01@gmail.com

²ira.d.sara@unsyiah.ac.id

³ramdhan.halid@gmail.com

Abstrak— Matahari merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki potensi yang sangat besar sebagai pengganti energi fosil yang selama ini terus berkurang. Letak geografis Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia memiliki sumber energi yang berlimpah, serta memiliki kondisi cuaca cerah pertahun dan lama penyinaran yang tinggi, sehingga mampu dijadikan sebagai energi alternatif pembangkit. Untuk itu dilakukan pengembangan dalam meningkatkan efisiensi energi terbarukan salah satunya adalah sel surya dengan menggunakan lensa fresnel sebagai konsentrasi energi cahaya matahari untuk meningkatkan daya keluaran sel surya. Lensa fresnel diletakkan diatas sel surya pada rasio jarak fokus 0,6f (20.4cm) sejajar sumbu utama dari lensa, sehingga bias cahaya yang dihasilkan oleh lensa akan tepat jatuh ke bagian sel surya. Radiasi cahaya dapat ditingkatkan menggunakan lensa fresnel hingga 2,17 dioptri dari cahaya sebelumnya dengan menggunakan lensa akan mempengaruhi besarnya daya keluaran dari sel surya, sehingga daya keluaran setelah menggunakan lensa sebesar 0,5776 mW dengan tegangan 0,76 V dan arus 0,76 mA. Perbandingan luas sel surya dengan luas lensa fresnel 1:8,48 dan peningkatan daya keluaran sebesar 69,82%.

Kata Kunci—Efisiensi Energi, Lensa Fresnel, Konsentrasi Energi, Sel Surya, Peningkatan Daya.

I. PENDAHULUAN

Matahari sebagai sumber energi terbarukan dan terbesar yang ada dijagad raya ini, sangat besar potensinya untuk mengatasi permasalahan energi global maupun permasalahan *global warming* akibat polusi bahan bakar minyak (*fossil fuel*). Energi surya merupakan bentuk radiasi yang dihasilkan dari reaksi fusi nuklir dalam inti matahari. Radiasi ini selanjutnya merambat ke bumi melalui angkasa dalam bentuk energi yang disebut foton. total energi yang dihasilkan matahari sebesar $3,8 \times 10^{20}$ MW yang berarti sama dengan 63 MW/m^2 energi yang dihasilkan oleh permukaan matahari. Energi tersebut diradiasikan kesemua arah dan total radiasi energi matahari yang sampai ke bumi tersebut sekitar $1,7 \times 10^{14} \text{ kW}$ [7]. Meskipun energi matahari ini hanya 30% yang mencapai bumi, energi yang terpancar selama 30 menit saja mampu memenuhi kebutuhan energi di bumi selama setahun [4].

Indonesia terletak digaris katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per

hari diseluruh wilayahnya. Indonesia mempunyai cuaca kondisi cerah pertahun (*sunshine hours annually*) adalah sekitar 2975 jam atau 124 hari sedangkan rata-rata lamanya penyinaran sekitar 8,2 jam per hari [4]. Kondisi ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi untuk memanfaatkan energi cahaya matahari sebagai energi alternatif pembangkit energi listrik. Semakin besar intensitas cahaya dan temperatur udara dimana panel itu berasal maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh panel surya. Berbeda dengan karakteristik temperatur panel surya, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan semakin kecil jika temperaturnya semakin meningkat.

Sel surya menjadi semakin populer bagi masyarakat karena sumber energi yang tidak terbatas dan ramah lingkungan. selain itu jumlah energi fosil yang selama ini digunakan sebagai sumber pembangkit energi listrik terus berkurang. jika hal ini dibiarkan terjadi, maka suatu saat sumber energi ini akan habis, oleh karena itu para ilmuwan berlomba-lomba mencari cara untuk meningkatkan efisiensi energi terbarukan sebagai sumber pembangkit energi listrik. Salah satunya adalah panel surya dengan menggunakan reflektor dan lensa *fresnel* sebagai *solar konsentrator* untuk optimalisasi out put yang dihasilkan oleh panel surya.

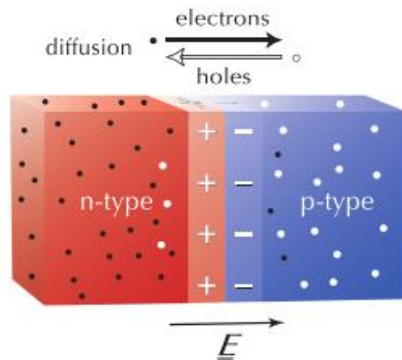
Optimalisasi daya keluaran sebuah panel surya yang dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa panel surya dan memperbesar intensitas radiasi yang diterima oleh panel surya. Memperbesar intensitas cahaya ini dapat menggunakan reflektor dan lensa *Fresnel* yang digunakan pada panel surya. *Reflector* digunakan sebagai pantulan cahaya matahari sehingga dapat menambah intensitas cahaya matahari yang didapat oleh panel surya.

II. DASAR TEORI

A. Sel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. sel surya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, germanium dan bahan fosfour tipis.

Sebuah sel surya terdiri dari bahan semikonduktor (P) jenis positif dan negatif sambungan (N) kedua lapisan ini disebut cabang (Junction), sel surya yang terdapat dari bahan silikon dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 PN junction [11]

Sel surya bekerja berdasarkan efek Fotoelektrik adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi benda yang melewati radiasi sinar yang dipancarkan oleh sensor, yang kemudian dipantulkan kembali ke receiver sensor. Sensor ini bersifat seperti saklar. apabila sensor mendeteksi benda maka saklar akan ON, apabila tidak mendeteksi benda maka sensor OFF. pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek fotoelektrik mengindikasikan cahaya merupakan partikel dikrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dengan gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda \quad (1)$$

Dimana cahaya pada frekuensi f atau panjang gelombang λ datang dalam bentuk paket-paket foton dengan energi sebesar E , h adalah konstanta Planck ($6,625 \times 10^{-34}$) dan c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s). Sifat cahaya sebagai energi dalam paket-paket foton ini yang diterapkan pada sel surya.

Semakin besar input yang diberikan, maka daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sel surya semakin besar. Daya listrik adalah besaran yang diturunkan dari nilai tegangan dan arus yang dihasilkan merupakan bagian dari kelistrikan yang dimiliki oleh sel surya. Daya listrik yang diberikan oleh sel surya adalah :

$$P_{sel} = V_{sel} \cdot I_{sel} \quad (2)$$

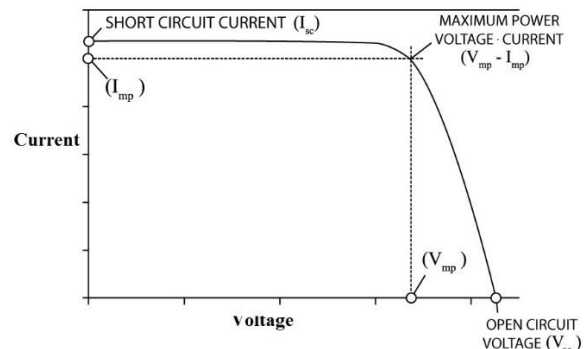
Efisiensi keluaran maksimum (η) didefinisikan sebagai persentase daya keluaran optimum terhadap energy cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Pada awalnya (1839) sifat fotoelektrik ditemukan pada larutan elektro kimia oleh Alexandre Edmond Becquerel, meskipun tidak ada penjelasan ilmiah untuk peristiwa itu. Tahun 1905, Albert Einstein mengamati efek ini pada lempengan metal. Namun pada perkembangannya, material yang dipakai adalah semikonduktor, terutama silikon. Material ini dapat bersifat insulator pada temperatur rendah, tetapi bersifat sebagai konduktor bila tersedia energi.

Pada saat sel surya dikenai cahaya maka hanya energi photon yang sama besar atau lebih besar dari energi bandgap tertentu yang mampu menghasilkan pasangan elektron ke hole, arus yang dihasilkan pada kondisi itu disebut arus photon/ cahaya arus mengalami pengurangan didalam karena pengaruh tahanan pada dioda dan sambungannya gabungan PN [11].

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapatkan cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada wtu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) seperti Gambar 2.



Gambar 2 karakteristik kurva I-V pada sel surya [7].

Ada beberapa parameter utama dari kurva hubungan arus dan tegangan yaitu arus short circuit (I_{sc}), arus maksimum (I_m), tegangan open circuit (V_{oc}) tegangan maksimum (V_m) dan daya maksimum (P_{mpp}).

Berdasarkan kurva diatas dapat dilihat bahwa titik potong antara (I_m) dan (V_m) disebut (P_{mpp}) sel surya dimana puncak daya maksimum (P_{mpp}) suatu sel surya merupakan hasil kali antara I_m dan V_m .

Kurva tersebut sangat dipengaruhi oleh besarnya cahaya matahari yang diterima, maka semakin besar cahaya matahari yang diterima, maka semakin besar pula tegangan (V_m) dan arus (I_m) sel surya tersebut, sehingga daya (P_{mpp}) juga semakin besar.

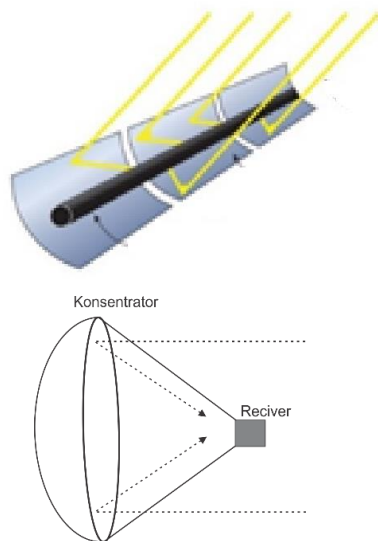
Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya tegangan yang dihasilkan photovoltaic antara lain [7].

- Temperatur sel surya, tegangan sel surya (V) akan melemah bila temperaturnya melebihi temperatur normal (25°C)
- Keadaan atmosfer bumi, seperti kondisi awan, jenis partikel udara, uap air udara, kabut dan polusi.
- Intensitas matahari. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 W/m^2 dengan suhu sekitar 25°C .
- Orientasi sel surya, semakin tepat arah orientasi photovoltaic terhadap matahari maka semakin maksimum energi yang didapat.
- Posisi letak photovoltaic, yaitu energi maksimum didapat pada saat photovoltaic berada tegak lurus pada bidangnya.

- Kecepatan angin bertiup, mempengaruhi penurunan suhu photovoltaic.

B. Sel Surya Terkonsentrasi (CPV)

Consentrated photovoltaic (CPV) jenis ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi dan radiasi cahaya kolektor. Kolektor surya jenis ini mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu receiver, sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi radiasi cahaya matahari yang diserap oleh absorber. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmisivitas tinggi. Berdasarkan komponen absorber-nya jenis ini dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu line focus dan point focus.



Gambar 3 konsentrasi garis fokus dan point fokus

Agar cahaya matahari selalu dapat difokuskan terhadap absorber, konsentrasi harus dirotasi. Pergerakan ini disebut dengan tracking. Temperatur fluida dapat melebihi 4000C dapat dicapai pada sistem kolektor ini seperti terlihat pada gambar 3

Beberapa sel surya juga didesain untuk berkerja dengan sinar matahari yang difokuskan (consentrated sunlight). Sel-sel surya tersebut diintergrasikan ke dalam kolektor sinar matahari yang biasanya menggunakan lensa untuk memfokuskan ke atas sel surya. Ada beberapa keuntungan dan kerugian dengan menggunakan teknik ini jika dibandingkan dengan panel surya pelat datar. Tujuan utamanya adalah menggunakann sesedikit mungkin semikonduktor yang mahal sembari meningkatkan efesiensi dengan lebih banyak melipatgandakan energi matahari yang mengenai permukaan sel. Teteapi karena lensa harus diarahkan ke matahari, penggunaan kolektor menjadi dibatasi oleh lokasi atau wilayah yang paling banyak mendaatkan sinar matahari. Hampir sama dengan panel surya plat datar, teknologi ini juga bisa dipasang diatas perangkat penjejak matahari yang sederhana, tetapi sebagian besar menggunkan perangkat canggih. Akibatnya, pemakaian tenologi sel surya

ini masih terbatas pada perusahaan listrik, industri dan bangunan-bangunan besar.

1) *Bagian-bagaian CPV*: merupakan salah satu inovasi baru energi terbarukan, banyak cara-cara untuk mengfokuskan atau mengumpulkan cahaya sehingga intensitas cahaya akan meningkan, CPV memiliki bagaian-bagian konsentrasi sel surya adalah sebagai berikut:

- Sel surya merupakan salah satu alat pengubah cahaya menjadi energi listrik yang merupakan sistem sel surya terkonsentrasi (CPV). Rangkuman penjelasan tentang sel surya dapat dilihat pada sub bab 2.1.
- Lensa merupakan benda bening yang dibatasi oleh dua buah bidang lengkung. Dua bidang lengkung yang membatasi lensa berbentuk silindris maupun bola. Lensa silindris bersifat memusatkan cahaya dari sumber titik yang jauh pada suatu garis, sedangkan lensa yang berbentuk bola yang melengkung ke segala arah memusatkan cahaya dari sumber yang jauh pada suatu titik.

Ada tiga sinar-sinar istimewa pada pembiasan lensa cembung, yaitu :

- Sinar datang menuju lensa sejajar sumbu utama lensa akan dibiaskan melalui titik fokus aktif F lensa
- Sinar datang melalui titik fokus pasif F lensa akan dibiaskan sejajar sumbu utmam lensa
- Sinar datang menuju lensa melalui titik pusat optik lensa M dipantulkan kembali seakan-akan datang dari titik pusat kelengkungan tersebut.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{So} + \frac{1}{Si} \quad (4)$$

$$[M] = \frac{Si}{So} \quad (5)$$

$$[M] = \frac{Hi}{Ho} \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{f} \quad (7)$$

Keterangan :

So = jarak jarak benda (m)

Si = jarak bayangan (m)

hi = tinggi bayangan

ho = tinggi benda

f = jarak fokus (m)

M = perbesaran linier bayangan

P = kuat lensa (dioptri)

2) *Pembuatan CPV*: Menurut Kalogirou (2004), pada *concentrating collector* energi surya dikonsentrasikan/difokuskan secara optikal sebelum ditransfer menjadi panas. Mekanisme konsentrasi ini dapat diperoleh dengan cara pemantulan (*reflection*) atau pembiasan (*refraction*) radiasi surya dengan menggunakan cermin atau lensa. Cahaya yang dipantulkan atau dibiaskan akan terkonsentrasi pada daerah fokus, selanjutnya akan menaikkan flux energi pada target penerima (*receiver/absorber*) [3].

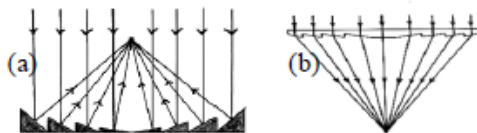
Untuk menghitung jumlah radiasi matahari yang masuk melalui konsentrator harus diketahui luasan bukaan/penangkapan (*aperture area*) dari konsentrator tersebut. Radiasi surya pada area ini dapat diperoleh dengan pengukuran langsung dan tidak termasuk pengurangan beberapa area akibat pengaruh sudut datang matahari atau efek bayangan. Intensitas radiasi matahari (*insolation*) yang melalui luasan konsentrator akan difokuskan dan diserap seperti pada kasus *flat-plate collector*.

Menurut Stine & Geyer (2001), laju energi surya pada bukaan (*aperture*) kolektor, disebut *aperture irradiance*. Dimana *aperture irradiance* tersebut terdiri dari *beam/direct/normal* dan *diffuse aperture irradiance*. Sudut datang matahari antara *aperture normal* dan pusat dari sinar matahari tergantung dari waktu dalam hari, hari dalam tahun, lokasi dan orientasi *aperture* dan tergantung tipe serta akurasi alat penjejak surya (*solar tracker*) [8].

Untuk kolektor surya tipe konsentrasi, intensitas radiasi surya yang diperhitungkan adalah *direct/beam/normal irradiance* dimana dapat diperoleh dengan pengukuran langsung dengan alat *Pyrheliometer*. Sedangkan untuk tipe *flat plate collectors*, intensitas radiasi surya yang diperhitungkan adalah *global (total) aperture irradiance* yang diukur dengan *Pyranometer*.

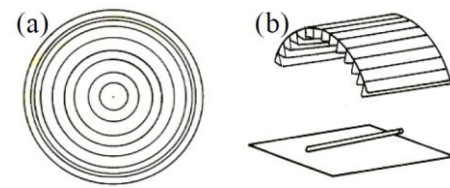
3) *Konsentrator lensa fresnel*: Radiasi panas matahari pada prinsipnya dapat difokuskan dengan dua cara yaitu pemantulan (*reflection*) dan pembiasan (*refraction*) dengan menggunakan cermin atau lensa. Cermin ini dapat berupa bidang (*heliostats* atau parabola), sedangkan lensa dapat berupa lensa cembung atau lensa fresnel. Konsentrator digunakan untuk meningkatkan efektifitas penangkapan energi surya yang lebih tinggi untuk keperluan yang spesifik. Fenomena pembiasan dalam lensa terjadi dipermukaan, sedangkan ketebalan bahan tidak berpengaruh dalam refraksi.

4) *Tipe lensa fresnel*: Menurut Menghani, *et.al*, ada dua tipe fresnel yaitu lensa bias (*refractive lens*) dan cermin pantul (*reflective mirrors*). Lensa fresnel bias sebagian besar digunakan dalam aplikasi fotovoltaik sedangkan cermin reflektif banyak diaplikasikan dalam *solar thermal power*. Disain optikal lensa fresnel lebih fleksibel dan menghasilkan kerapatan fluks yang seragam pada *absorber*. Gambar 4 menunjukkan Gambar skematik dari tipe fresnel.



Gambar 4 (a) Reflective Mirror Fresnel, (b) refractive lens fresnel [6]

Fresnel juga diklasifikasi menjadi *imaging lens* (3D-lens) dan *non-imaging lens* (2D-lens). Perbedaan dari kedua tipe ini adalah bentuk bidang fokusnya. Lensa *imaging* berupa fokus titik (*focal point*) sedangkan tipe *non-imaging* berupa garis (*line/linear focus*) disepanjang sumbu dari *reflektor cylindrical parabolic*. Gambar 5 menunjukkan perbedaan tipe lensa fresnel *imaging* dan *nonimaging*.



Gambar 5 (a) 3D-fresnel lens, (b) 2D-fresnel lens [6].

5) *Lensa Fresnel Berbahan Plastik*: Jenis lensa fresnel (fokus titik) berbahan plastik secara geometri tersusun berupa alur melingkar yang membentuk prisma dengan sudut kemiringan tertentu untuk membentuk fokus. Penggunaan lensa fresnel untuk sekarang ini menjadi pilihan utama dalam aplikasi pemfokusan energi matahari (*concentrated solar energy*). Fresnel berbahan plastik mempunyai keunggulan : volume kecil, jernih, ringan, polimer yang stabil dengan karakteristik optikal yang mendekati bahan dari kaca, kapasitas besar biaya produksi murah dan efektif menaikkan densitas energi. Kualitas dan kepresisian fresnel dapat diproduksi dengan teknologi mesin CNC dan teknik baru *Injection Plastic Moulding* (Xie *et al*, 2011). Dengan desain dan produksi permukaan penangkapan lensa yang presisi akan menghasilkan efisiensi optikal yang cukup tinggi hingga 96,06% [2]. Saat ini lensa fresnel berbahan plastik yang terkenal adalah dari bahan PMMA (*polymethylmethacrylate*) Fresnel bahan PMMA tersebut tahan terhadap sinar matahari, menghasilkan suhu yang stabil hingga temperatur paling kurang 80oC, transmisivitas spektrum matahari yang bagus dan mempunyai indek refraksi 1,49 yang mendekati dari bahan kaca [5].

6) *Parameter lensa fresnel*: Rasio konsentrasi optik (CR_o) berhubungan langsung dengan lensa atau kualitas reflektor namun banyak kolektor yang mempunyai luas permukaan penerima lebih besar dari solar *image* yang terkonsentrasi.

Geometri Concentrating Ratio adalah perbandingan luasan bidang penangkapan (*absorber/aperture area*) dibagi dengan luasan penerima (*receiver/absorber area*).

$$CRg = \frac{A_r}{A_f} = \frac{r_{lens}^2}{r_{rec}^2} \quad (8)$$

Dimana, A_a adalah luasan bidang penangkapan (luasan lensa fresnel) dan A_f adalah luasan penerima (*receiver*), dalam kasus lensa fresnel merupakan luasan fokus titik. Rasio konsentrasi geometris yang besar menunjukkan kemampuan untuk memanfaatkan intensitas cahaya yang besar pula. Dengan demikian rasio konsentrasi memiliki dampak besar pada suhu akhir dari penerima (*receiver*) energi surya. Pengurangan ukuran cavity receiver pada rasio konsentrasi yang besar akan mengurangi kehilangan panas radiasi.

f - number atau focal ratio (disimbolkan $f/\#$) adalah perbandingan panjang fokus efektif lensa terhadap diameter bukaan bersih (*clear aperture*) optical lensa [1].

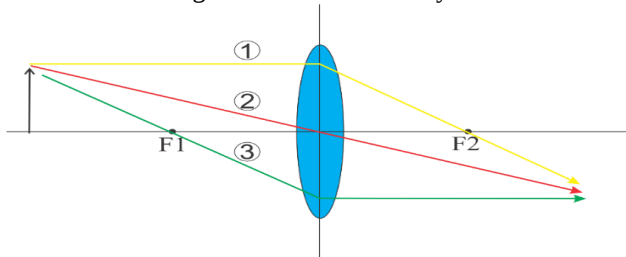
$$f/\# = \frac{f}{\phi_{CA}} \quad (9)$$

Dimana, f adalah panjang fokus efektif lensa, dan $\emptyset CA$ adalah diameter *clear aperture* optikal lensa. *Optical performance* dapat didefinisikan sebagai laju energi optikal (panjang gelombang pendek) ($\dot{E}_{opt}$) yang mencapai *absorber* atau *receiver* [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengujian Sistem Terkonsentrasi

Pengujian merupakan penerapan secara langsung pada miniatur rangkaian, dan dilakukan pengukuran sesuai dengan teori dasar dari rangkaian ekuivalen sel surya.



Gambar 6 Karakteristik lensa.

Rangkaian pada Gambar 10 diterapkan pada sebuah ruangan pengujian menggunakan lampu sorot, sehingga sistem ini benar-benar menghasilkan intensitas cahaya yang meningkat dan cahaya yang terkonsentrasi.

Pada Tabel 1 terdapat jarak sumber cahaya yang berubah-ubah untuk mendapatkan nilai titik fokus yang mendekati dengan jarak fokus lensa.

TABEL I
JARAK PENGUKURAN FOKUS LENS

Jarak sumber cahaya	Jarak fokus
Matahari	34 cm
150 cm	46 cm
200 cm	43 cm
250 cm	40 cm
300 cm	38 cm
350 cm	34 cm

Dari table 1 Jarak sumber cahaya yang mendekati dengan titik fokus sumber cahaya matahari pada jarak sumber cahaya lampu.

Sumber cahaya yang digunakan adalah sebuah lampu sorot 20W 1500 Lm, pengujian pertama kali yaitu menentukan titik fokus lensa. Dalam penentuan lensa yang digunakan agar hasil intensitas cahaya keluaran dari lensa dapat meningkat dan membentuk sinar yang terkonsentrasi maka dipilih lensa dengan ukuran 21 x 28 cm, maka *prototype* ini diuji dengan faktor rasio focal length yang berkelipatan 0,2f hingga 1,2f dengan tinggi sumber cahaya 350 cm untuk

mendapatkan intensitas cahaya terkonsentrasi dan lensa diletakan sejajar sumbu utama sumber cahaya dapat dilihat pada Gambar 3.3. jarak fokus diukur sejauh 34 cm dan jarak sumber cahaya sejauh 350 cm

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Lensa dan Karakteristik Lensa

Lensa yang digunakan adalah lensa konvergen dimana lensa tersebut dapat meningkatkan intensitas cahaya, sehingga keluaran sel surya dapat meningkat.

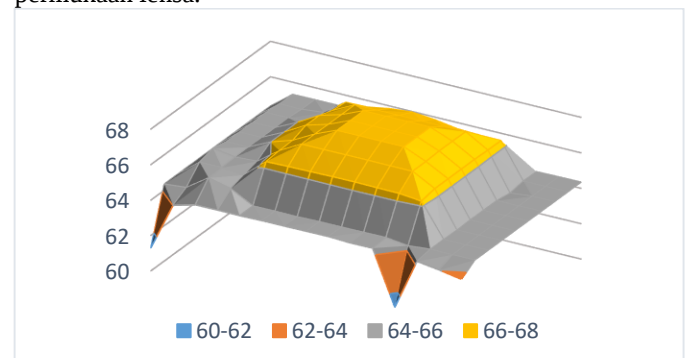


Gambar 7 Lensa Fresnel

Pada Gambar 8 Lensa Fresnel adalah jenis lensa tipis yang dapat mengkonsentrasikan cahaya dengan patern radial yang membentuk sudut sejajar sumbu utama. Dengan ukuran luas 20,32 x 26,67 cm dengan effective fokus lensa 45,72 cm.

Kemudian dilakukan pengujian dan pengukuran peningkatan intensitas cahaya yang melewati lensa, pengukuran intensitas cahaya menggunakan LDR dan arduino yang diletakan diatas luas lensa dan juga luas berkas cahaya melewati lensa, pengambilan hasil data ini dengan metode matriks dari sudut kiri ke kanan lensa hingga luas lensa tersebut terukur rata.

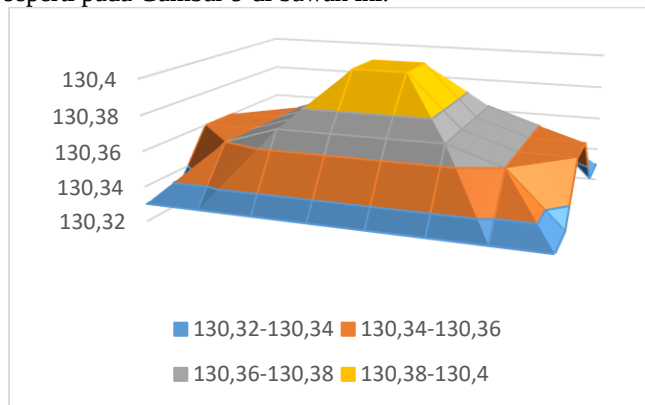
Dari hasil pengukuran radiasi cahaya, dengan menggunakan LDR (*light distance resistance*) disambungkan sebagai sensor pembaca nilai cahaya, pengukuran dilakukan seluas lensa dengan membentuk matriks, maka dapat kita lihat pada Gambar 8 hasil pengukuran intensitas cahaya diatas permukaan lensa.



Gambar 8 Grafik pengukuran intensitas cahaya diatas lensa

Terdapat area yang mengenai sinar cahaya yang tinggi pada bagian tengah lensa, hal ini terjadi karena sudut cahaya yang jatuh pada lensa sangat berpengaruh terhadap kerataan cahayanya, kemudian cahaya diteruskan melewati lensa hingga lensa memfokuskan cahaya dan meningkatkan intensitas cahaya, dalam pengukuran intensitas cahaya sama

halnya seperti pengukuran diatas lensa sehingga dapat kita lihat bahwa lensa dapat meningkatkan intensitas cahaya seperti pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Grafik pengukuran intensitas cahaya melewati lensa pada rasio fokus 0,6

Dari kurva diatas yang menunjukkan bahwa lensa dapat meningkatkan intensitas cahaya dan juga memfokuskan cahaya, hal ini dapat kita lihat bahwa sinar yang jatuh pada jarak fokus 0,6 meningkat hingga 130,40 lux dari intensitas cahaya yang jatuh pada lensa 67,79 lux pada penelitian ini dapat membuktikan bahwa dengan menggunakan lensa dapat meningkatkan cahaya dan memfokuskan cahaya.

B. Pemilihan Sel Surya

Pada tahapan ini, dapat kita sesuaikan dengan ukuran lensa fresnel yang telah dipilih, pada pemilihan sel surya ini dipilih ukuran terkecil mendekati luas titik fokus lensa, sel surya yang tersedia dipasaran dengan ukuran 11x6 cm.



Gambar 10 Sel surya

Pada Gambar 10 adalah Gambar sel surya tipe *monocrystalite* yang dihubungkan seri terbentuk dalam modul surya.

C. Menentukan Posisi dan Jarak Sel Surya Terhadap Lensa Fresnel.

Lensa memiliki jarak fokus jika cahaya melewati lensa, maka cahaya tersebut akan membentuk poin fokus, jarak sumber cahaya sangat berpengaruh terhadap titik fokus, sehingga dalam penelitian ini dilakukan pengujian dan pengukuran *focal length* (jarak fokus).

TABEL II
JARAK PENGUKURAN FOKUS LENA

Jarak sumber cahaya	Jarak fokus
Matahari	34 cm
150 cm	46 cm
200 cm	43 cm
250 cm	40 cm
300 cm	38 cm
350 cm	34 cm

Pada Tabel 2 diatas, dilakukan pengujian jarak fokus menggunakan lensa fresnel dengan sumber cahaya lampu, hingga mendapatkan jarak fokus cahaya yang sama dengan jarak fokus cahaya dengan sumber cahaya matahari langsung.

Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan kerataan cahaya dari lensa dengan luas sel surya 11 x 6 cm dan luas lensa 20 x 28 cm dengan jarak fokus 34 cm dapat kita hitung dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\tan A = \tan B \quad (10)$$

$$\frac{14}{34} = \frac{5,5}{(y)}$$

$$14x = 187$$

$$y = \frac{187}{14}$$

$$y = 13,4 \text{ cm}$$

$$x = 34 - 13,4$$

$$x = 20,6 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas dapat kita lihat bahwa jarak yang paling merata ke setiap permukaan lensa sejauh 20,6 cm.

D. Pengujian dan Perhitungan

TABEL III
HASIL PENELITIAN SEL SURYA TERKONSENTRASI

Rasio	Tegangan	Arus	Daya
0.2f	0.35 V	0,35 mA	0,1225 mW
0.4f	0,49 V	0,49 mA	0,2401 mW
0.6f	0,76 V	0,76 mA	0,5776 mW
0.8f	0,40 V	0,40 mA	0.16 mW
1.0f	0,42 V	0,42 mA	0.1764 mW
1.2f	0,48 V	0,48 mA	0.2304 mW

TABEL IV
PERBANDINGAN DAYA KELUARAN SEL SURYA
MENGUNAKAN LENS *FRESNEL* DENGAN SEL SURYA CAHAYA
LANGSUNG

Rasio	Daya sel surya menggunakan lensa <i>fresnel</i>	Daya cahaya langsung	Persentase perbanding an
0.2f	0,1225 mW	0.2401 mW	-48,9%
0.4f	0,2401 mW	0.2401 mW	0 %
0.6f	0,5776 mW	0.2401 mW	69,82 %
0.8f	0.16 mW	0.2401 mW	-33.36%
1.0f	0.1764 mW	0.2401 mW	-26.53%
1.2f	0.2304 mW	0.2401 mW	-4.0%

hasil penelitian sel surya langsung dari sumber cahaya didapat nilai tegangan 0,49 V dan arus 0,49 mA pengukuran menggunakan hambatan sebesar $1K\Omega$, penelitian ini sebagai

nilai perbandingan dengan hasil menggunakan lensa *fresnel*, jarak sumber cahaya dengan sel surya 350 cm.

V. KESIMPULAN

1. Peningkatan radiasi cahaya yang masuk ke sel surya dapat meningkat dengan menggunakan lensa *fresnel* yang mengkonsentrasikan cahaya.
2. Prototipe sel surya yang terkonsentrasi menghasilkan daya rata-rata sebesar $238,428 \times 10^{-6}$ W lebih besar dari sel surya tanpa dilengkapi dengan lensa *fresnel*.
3. Perubahan jarak antara sumber cahaya dengan sel surya akan mempengaruhi besar tegangan dan kuat arus yang dihasilkan

UCAPAN TERIMA KASIH

Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Ira Devi Sara S.T., M.Eng.Sc selaku pembimbing I, dan Bapak Ramdhan Halid Siregar, S.T M.T. selaku pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam penulisan karya ilmiah ini.

REFERENSI

- [1] A. Davis, Fresnel Lens solar concentrator derivation and simulations, New York: 500 Lee Rd Rochester, 2011.
- [2] L. L. H. W. H. W. a. X. Jing, Design novel Compound fresnel lens for high performance photovoltaic concentrator, International journal of photoenergy Vol.2012, Hindawi publs. corp., 2012.
- [3] S. Kalogirou, Solar Thermal Collectors and Application, Elsevier, 2004.
- [4] K. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Indonesia Energy Outlook, Jakarta, 2010.
- [5] L. & S. Nonimaging fresnel lenses: design and performance of solar concentrator, hidelberg: springer verlag, 2001.
- [6] P. U. R. F. A. & S. Menghani, Low Pressure Steam Generation by Solar Energy With Fresnel Lens, www.iosjournals.org: IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering (IOSR-JMCE), ISSN: 2278-1684. PP: 60-63, 2012.
- [7] M. R. Patel, Wind and Solar Power System, New York: U.S Merchant Marine Academy, 2006.
- [8] w. & G. M. Stine, power from the sun, <http://www.powerfromthesun.net/book.html>, 2001.
- [9] A. Yasser, Development of Optical Concentrator System For Directly Solar Pumped Laser System, German: Dissertation, 2005.
- [10] R. A. Sari, peningkatan pemahaman materi lensa-cermin pada mata pelajaran fisika dengan menggunakan strategi belajar contextual teaching and learning (CTL), Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2007.