

**RANCANG BANGUN LENSА *FRESNEL* MENGGUNAKAN
PENCETAK TIGA DIMENSI (PRINTER 3D) SEBAGAI
KONSENTRATOR SEL SURYA**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

Oleh :

Muhamad Fahmi Adzkar

1187030024

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN LENS A *FRESNEL* MENGGUNAKAN
PENCETAK TIGA DIMENSI (PRINTER 3D) SEBAGAI
KONSENTRATOR SEL SURYA**

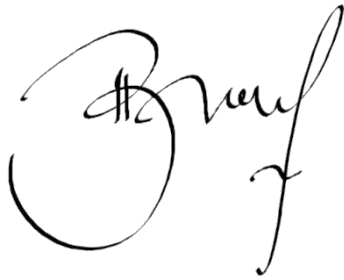
MUHAMAD FAHMI ADZKAR

NIM. 1187030024

Menyetujui,

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,



Dr. Bebeh Wahid Nuryadin, M.Si.
NIP. 198608162011011009

Mada Sanjaya WS, Ph.D., M.Si.
NIP. 1985101120091005

Mengetahui,

Dekan
Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua
Jurusan fisika

Dr. Hj. Hasniah Aliah, M.Si.
NIP. 197806132005012014

Dr. Moch Nurul Subkhi, M.Si.
NIP. 198102012009121003

LEMBAR PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN LENS A *FRESNEL* MENGGUNAKAN
PENCETAK TIGA DIMENSI (PRINTER 3D) SEBAGAI
KONSENTRATOR SEL SURYA**

MUHAMAD FAHMI ADZKAR

NIM. 1187030024



Dr. rer. nat. Imamal Muttaqien, M.Si.
NIP. 198310062009121009

Tanti Dewingih, M.Si.
NIP. 198907272020122017

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

Mengetahui,

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,

Dr. Bebeh Wahid Nuryadin, M.Si.
NIP. 198608162011011009

Mada Sanjaya WS, Ph.D., M.Si.
NIP. 1985101120091005

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi berjudul: “**Rancang Bangun Lensa Fresnel Menggunakan Pencetak Tiga Dimensi (Printer 3D) Sebagai Konsentrator Sel Surya**” telah dipertanggungjawabkan dalam sidang ujian Munaqasyah Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung pada tanggal 23 Agustus 2022. Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika.

Bandung, 23 Agustus 2022

SIDANG MUNAQASYAH

Menyetujui,

Penguji 1,

Penguji 2,

Dr. rer. nat. Imamal Muttaqien, M.Si.

NIP. 198310062009121009

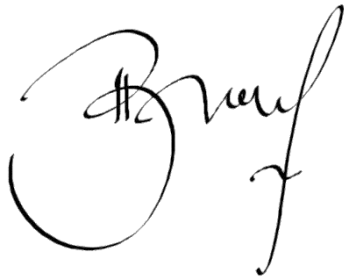
Tanti Dewinggih, M.Si.

NIP. 198907272020122017

Mengetahui,

Ketua Sidang,

Sekretaris Sidang,



Dr. Bebeh Wahid Nuryadin, M.Si.

NIP. 198608162011011009

Mada Sanjaya WS, Ph.D., M.Si.

NIP. 1985101120091005

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr,Wb

Dengan mengucapkan Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT Tuhan seluruh alam yang telah memberikan beberapa rahmat, taufiq, hidayah dan kenikmatan kepada penulis berupa jasmani dan rohani, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains Jurusan Fisika Sains UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini tidak dapat terealisasi dengan baik tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak baik bantuan berupa materi, bimbingan, doa dan motivasi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan ibu tercinta yang selama ini telah memberikan dukungan do'a dalam penulisan skripsi.
2. Dr. Bebeh Wahid Nuryadin selaku dosen pembimbing akademik dan tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan, motivasi dan bimbingan dengan sabar kepada penulis selama penyusunan skripsi.
3. Mada Sanjaya WS, M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam masa perkuliahan.

Semoga penelitian yang telah penulis laksanakan dan terangkum dalam skripsi ini memberikan manfaat kepada pembaca dan memberikan informasi yang menunjang. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat membantu penulis untuk penyempurnaan dimasa mendatang.

ABSTRACT

The sun is a renewable energy source that has enormous potential as a substitute for fossil energy which has been decreasing so far. The geographical location of Indonesia which is traversed by the equator causes Indonesia to have abundant energy sources, and has sunny weather conditions per year and high radiation duration, so that it can be used as an alternative energy generator. For this reason, developments are carried out in increasing the efficiency of renewable energy, one of which is solar cells using Fresnel lenses as a concentration of sunlight energy to increase the output power of solar cells. The Fresnel lens is placed above the solar cell at a focal length ratio of 3 cm parallel to the main axis of the lens, so that the refractive light produced by the lens will fall right onto the solar cell. The lens manufacturing process uses a 3D printer made from Polylactic Acid (PLA). The results of the measurements show that the total output power obtained from the solar cell using a 2 mm Fresnel lens is 2.171 mW. Comparison of the efficiency of increasing the output power of -39%.

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



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 3 cm sejajar sumbu utama dari lensa, sehingga bias cahaya yang dihasilkan oleh lensa akan tepat jatuh ke bagian sel surya. Proses pabrikan lensa menggunakan printer 3D yang berbahan dasar Polylactic Acid (PLA). Hasil dari pengukuran menunjukkan bahwa daya output total yang didapatkan dari sel surya menggunakan lensa Fresnel 2 mm sebesar 2,171 mW. Perbandingan efisiensi peningkatan daya keluaran sebesar -39%.

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



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRACT	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Metode Pengumpulan Data.....	2
1.4.1. Studi literatur	2
1.4.2. Eksperimen	2
1.4.3. Observasi	2
1.5. Kerangka dan Ruang Lingkup.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	4
2.1. Pengertian Lensa Fresnel.....	4
2.1.1. Fenomena optik pada lensa <i>fresnel</i>	4
2.2. Mesin Pencetak Tiga Dimensi (Printer 3D).....	7
2.3. Metode <i>Fused Deposition Modelling</i> (FDM)	8
2.3.1. <i>Polylactic Acid</i> (PLA)	9
2.3.2. <i>Polyvinyl Alcohol</i> (PVA)	9
2.3.3. <i>High-density Polyethylene</i> (HDPE).....	10
2.4. Modul Sel Surya Photovoltaik	10
2.4.1. Prinsip Kerja Panel Surya	10
2.4.2. Jenis Panel Sel Surya.....	11
2.4.3. Karakteristik Panel Surya	12
2.5. Perkembangan Penelitian Lensa Fresnel	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat	17

3.2. Garis Besar Pelaksanaan Penelitian	17
3.3. Alat dan Bahan.....	18
3.4. Prosedur Percobaan.....	19
3.4.1. Tahap persiapan	19
3.4.2. Tahap eksperimen.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1. Proses Pencetakan dan Treatment Lensa	23
4.2. Pengujian Lensa Fresnel Sebagai Konsentrator Sel Surya	24
BAB V KESIMPULAN	30
6.1. Kesimpulan.....	30
6.2. Saran	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Transformasi lensa cembung menjadi lensa fresnel	4
Gambar 2. 2 Lintasan cahaya pada lensa cembung	5
Gambar 2. 3 Sinar istimewa pada lensa cembung	6
Gambar 2. 4 Letak bayangan pada lensa cembung.....	6
Gambar 2. 5 Mesin printer 3D Anet-A8 Plus.....	8
Gambar 2. 6 <i>Prinsip fungsional fotovoltaik menggunakan contoh sel surya</i>	10
Gambar 2. 7 Rangkaian pengujian karakteristik sel surya	12
Gambar 2. 8 Kurva karakteristik arus dan tegangan sel surya.....	13
Gambar 2. 9 Sel surya photovoltaik	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	18
Gambar 3. 2 Model desain lensa fresnel menggunakan software fusion 360.....	20
Gambar 3. 3 Model desain lensa fresnel menggunakan software ultimaker cura	21
Gambar 3. 4 Model rangkaian photovoltaik dan variasi beban	22
Gambar 4. 1 Desain geometri lensa fresnel.....	20
Gambar 4. 2 Proses pencetakan lensa fresnel dengan printer ender 3 pro (a) lensa fresnel 2 mm (b) lensa fresnel 4 mm (c) lensa fresnel 6 mm	23
Gambar 4. 3 Hasil pencetakan lensa fresnel dengan printer ender 3 pro (a) lensa fresnel 2 mm (b) lensa fresnel 4 mm (c) lensa fresnel 6 mm	24
Gambar 4. 4 Model rangkaian photovoltaik dan variasi beban (a) sebelum diberi sumber cahaya (b) setelah diberi sumber cahaya	25
Gambar 4. 5 Kurva hubungan antara absorptansi dengan variasi ketebalan lensa fresnel.....	26
Gambar 4. 6 Kurva hubungan antara arus dan tegangan output panel surya.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel nilai index bias dari beberapa referensi jurnal	9
Tabel 2. 2 Spesifikasi sel surya yang digunakan	14
Tabel 2. 3 Perkembangan penelitian terkait lensa fresnel	14
Tabel 3. 1 Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian	18
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran absorbansi lensa fresnel	25
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran output sel surya tanpa lensa fresnel.....	27
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran output sel surya dengan lensa fresnel 2 mm	27
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran output sel surya dengan lensa fresnel 4 mm	28
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran output sel surya dengan lensa fresnel 6 mm	28
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran efisiensi output sel surya dengan lensa fresnel	29



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Masalah energi tetap menjadi topik penelitian yang menarik. Upaya mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil masih tetap ramai diperbincangkan. Terdapat beberapa sumber energi alam yang tersedia sebagai energi alternatif yang bersih, tidak berpolusi dan aman digunakan.

Dengan menggunakan sel surya, selain mendapatkan sumber energi alternatif, juga mendapat beberapa keuntungan seperti tidak menimbulkan polusi, instalasi mudah dan memerlukan pemeliharaan yang spesifik (Manan, 2009). Pada beberapa penelitian membuktikan bahwa memanfaatkan sel surya cocok untuk daerah beriklim tropis seperti indonesia (Philip, 2016).

Concentrated solar power (CSP) mampu meningkatkan kepadatan energi ke sel surya dengan memusatkan radiasi matahari ke area kecil dengan bantuan konsentrator surya, yang bekerja baik berdasarkan prinsip pemantulan menggunakan cermin atau pada prinsip pembiasan menggunakan lensa (Kuldeep Awasthi, 2019).

Lensa *fresnel* telah banyak diteliti dan diaplikasikan sebagai konsentrator sel surya. Efisiensi sel surya dapat ditingkatkan dengan mengkombinasikan lensa fresnel, karena dengan fresnel lens dapat meningkatkan daya serap sinar matahari ke solar cell menjadi arus listrik lebih tinggi. Dari hasil penelitian Subandi dkk, sel surya dengan menggunakan konsentrator lensa fresnel komersial memperoleh signifikansi kuantitatif peningkatan daya sebesar 119,2%.

Pada penelitian ini, lensa fresnel akan dicetak menggunakan metode Additive Manufacturing, dimana mesin printer 3D akan membuat benda berbentuk tiga dimensi dengan cara meletakkan lapisan material secara berturut-turut. Bahan dasar dalam pencetakan lensa fresnel menggunakan polylactic acid, material polylactic acid memiliki nilai indek bias sebesar 1.4507 (I. Bodurov, 2016) serta sifat *Biodegradability* dan *biocompatibility* sebesar 50% dalam waktu 1 sampai 2 tahun (Xuan Pang, 2010).

1.2. Rumusan Masalah

Merujuk pada latar belakang penelitian diketahui bahwa penambahan konsentrator lensa fresnel komersial pada panel surya photovoltaik dapat meningkatkan output daya yang dihasilkan, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

- Apakah konsentrator sel surya non-komersial yang dibuat menggunakan metode additive manufacturing mampu meningkatkan daya output sel surya?
- Apakah bahan polylactic acid sesuai digunakan untuk pembuatan lensa fresnel dengan metode 3D printing?
- Apakah metode fused deposition modelling dapat dimanfaatkan untuk pembuatan lensa fresnel?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

- Mencetak lensa fresnel non-komersial menggunakan metode printer 3D dengan berbahan dasar Polylactic Acid.
- Menguji lensa fresnel non-komersial sebagai konsentrator sel surya terhadap rasio daya output yang dihasilkan.

1.4. Metode Pengumpulan Data

Pada proses penelitian ini digunakan tiga metode pengumpulan data, yaitu:

1.4.1. Studi literatur

Metode pengumpulan data merupakan langkah awal dari sebuah penelitian, dengan mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya mengenai materi yang berhubungan dengan penelitian. Misalnya: jurnal ilmiah, skripsi, artikel, dan buku yang digunakan sebagai referensi.

1.4.2. Eksperimen

Pembuatan desain lensa fresnel yang memiliki titik fokus yang sesuai dengan diameter photovoltaik, yang selanjutnya dilakukan pencetakan dengan metode 3D printing dan berbahan dasar Polylactic Acid (PLA) transparan.

1.4.3. Observasi

Observasi yang dilakukan antara lain mengamati pengaruh arus, tegangan, absorbansi dan efisiensi lensa fresnel terhadap daya output panel photovoltaik.

1.5. Kerangka dan Ruang Lingkup

Pada penelitian ini ruang lingkup difokuskan pada peningkatan daya output photovoltaik dengan lensa fresnel sebagai konsentratnya. Langkah pertama pada penelitian ini

adalah mendesain lensa fresnel yang sesuai dengan diameter photovoltaik menggunakan software *Fusion 360* dan *Ultimaker Cura*. Setelah desain lensa fresnel diperoleh, desain akan dicetak menggunakan metode 3D Printing. Untuk bahan yang digunakan dalam pencetakan lensa adalah Polylactic Acid (PLA). Kemudian panel photovoltaik akan diukur daya outputnya dengan penambahan lensa dan tanpa lensa yang selanjutnya akan dibandingkan tingkat efisiensinya.

1.6. Sistematika Penulisan

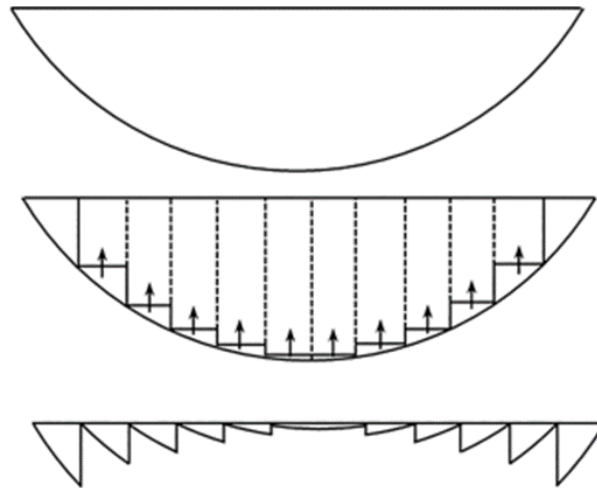
Tugas akhir ini disusun berdasarkan kerangka penulisan yang didalamnya lebih difokuskan pada hasil dan analisis penelitian. BAB I menerangkan gambaran umum penelitian tentang aplikasi lensa fresnel pada photovoltaik. BAB II menjelaskan teori dasar penelitian yang dilakukan. BAB III menerangkan metode penelitian secara lengkap. BAB IV membahas efisiensi penelitian lensa fresnel serta analisisnya terhadap photovoltaik. BAB V membahas kesimpulan, saran dan rencana penelitian selanjutnya.



BAB II STUDI LITERATUR

2.1. Pengertian Lensa Fresnel

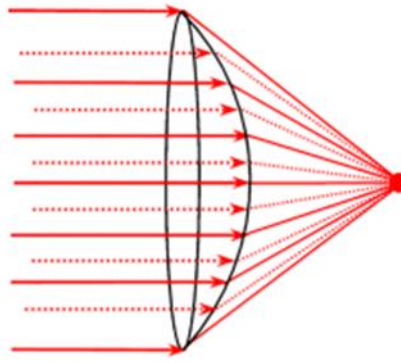
Studi pendahuluan yang telah dilaksanakan dengan Lensa fresnel dikembangkan oleh seorang fisikawan berkebangsaan Perancis, Augustin Jean Fresnel untuk aplikasi pada mercusuar. Konstruksi lensa didesain dengan panjang fokus yang pendek, jarak fokus tak terhingga dan tebal lensa yang sangat tipis jika dibandingkan dengan lensa konvensional, agar dapat melewatkan lebih banyak cahaya sehingga lampu mercusuar dapat terlihat dari jarak yang lebih jauh.



Gambar 2. 1 Transformasi lensa cembung menjadi lensa fresnel

2.1.1. Fenomena optik pada lensa *fresnel*

Karakteristik lensa fresnel hampir sama dengan lensa cembung yang menghasilkan sinar sejajar jika terdapat sumber sinar satu titik. Lensa fresnel adalah modifikasi dari lensa cembung karena sumber sinar berasal dari bohlam lampu yang dimensi fisiknya besar (bukan titik) sehingga sumber sinar berasal dari bentuk yang sama sekali bukan titik sinar.



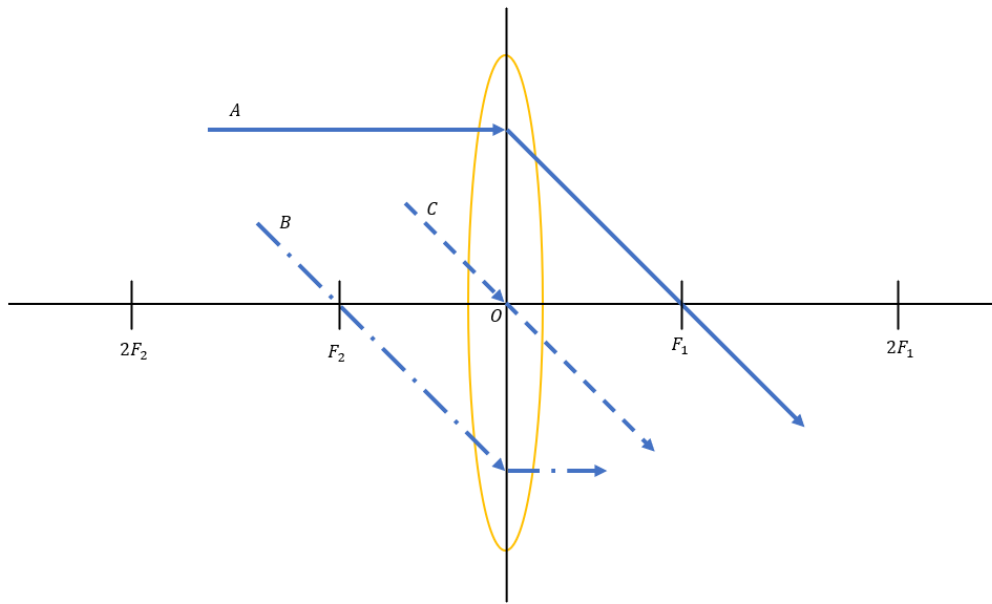
Gambar 2. 2 Lintasan cahaya pada lensa cembung

Sebuah lensa memiliki titik fokus, titik fokus lensa adalah titik di mana cahaya yang dibiaskan oleh lensa tersebut terkumpul. Jarak fokus lensa diukur dari lensa ke titik fokus lensa, makin melengkung sebuah lensa, maka makin kecil jarak fokus lensa. Titik kelengkungan lensa sendiri merupakan titik pusat lingkaran lensa, jarak dari lensa ke titik kelengkungan lensa adalah jari-jari kelengkungan lensa.

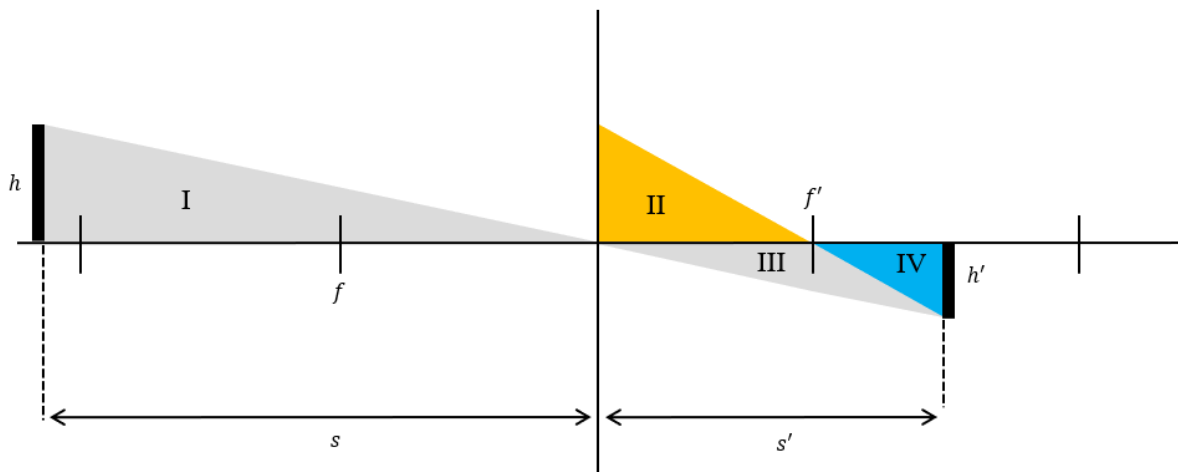
$$R = 2 \times f \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{2} R \quad (2)$$

Pada lensa cembung cahaya paraksial dibiaskan menuju ke titik fokus nyata didepan lensa, sehingga lensa cembung dikatakan bersifat konvergen. Jarak antara lensa dengan titik fokusnya dinamakan jarak fokus. Jika berkas-berkas cahaya yang paralel dengan sumbu jatuh pada lensa tipis, maka akan di fokuskan pada satu titik (f). Untuk menganalisis pembentukan bayangan oleh lensa cembung dapat menggunakan konsep sinar-sinar istimewa. Sifat yang pertama, sinar datang sejajar sumbu utama (A) akan dibiaskan melalui titik fokus (F1) di belakang lensa. Sifat kedua, sinar datang (B) menuju titik fokus di depan lensa (F2) akan dibiaskan sejajar sumbu utama. Sifat ketiga, sinar datang (C) melewati pusat optik lensa (O) akan diteruskan dan tidak dibiaskan. Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa lensa cembung cenderung mengumpulkan cahaya (konvergen).



Gambar 2. 3 Sinar istimewa pada lensa cembung



Gambar 2. 4 Letak bayangan pada lensa cembung

Adapun untuk lensa cembung, perhitungan letak bayangan (s') jika benda diletakkan di suatu jarak tertentu (s) dari lensa ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dari gambar diatas, dipahami bahwa segitiga I sebangun dengan segitiga III. Maka dapat diambil tangen sudut yang bersilangan:

$$\frac{h}{s} = \frac{h'}{s'} \quad (3)$$

Sedangkan untuk segitiga II sebangun dengan segitiga IV. Maka diambil tangen sudut yang bersilangan:

$$\frac{h}{f} = \frac{h'}{f - s'} \quad (4)$$

Kemudian persamaan (3) dibagi dengan persamaan (4), didapatkan:

$$\frac{f}{s} = \frac{s' - f}{s'} \quad (4)$$

kemudian bentuknya disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (4)$$

Dengan menggunakan sifat sinar istimewa lensa, yaitu sinar datang melewati pusat optik lensa (O) akan diteruskan dan tidak dibiaskan. Sehingga didapat persamaan (3) dengan mengambil tangen sudut yang bersilangan:

$$\begin{aligned} \tan A &= \tan B \\ \frac{r}{f} &= \frac{r'}{f - x} \end{aligned} \quad (5)$$

Jika, jari-jari lensa (r) = 6 cm dan jari-jari sel surya (r') = 3 cm dan focus lensa = 6 cm. Sehingga persamaan (5) menjadi:

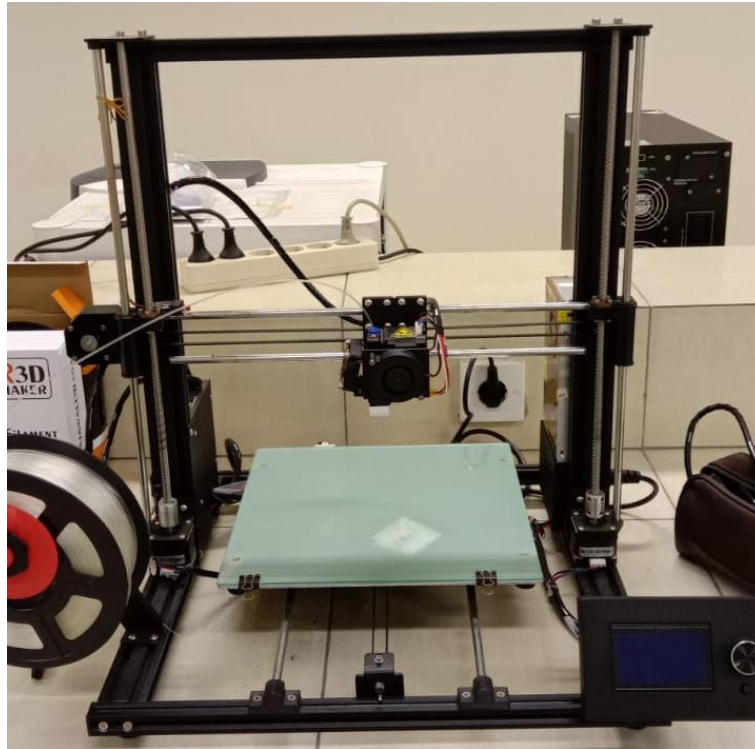
$$\begin{aligned} \frac{6 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} &= \frac{3 \text{ cm}}{6 \text{ cm} - x} \\ 36 \text{ cm} - 6 \text{ cm } x &= 18 \text{ cm} \\ -6 \text{ cm } x &= 36 \text{ cm} - 18 \text{ cm} \\ -6 \text{ cm } x &= 18 \text{ cm} \\ x &= \frac{18 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} = 3 \text{ cm} \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan Jarak tersebut diharapkan permukaan sel surya akan mendapatkan pencahayaan yang optimal.

2.2. Mesin Pencetak Tiga Dimensi (Printer 3D)

Pada tahun 1984 Charles Hull menciptakan sebuah teori *stereolithography* yaitu proses pencetakan yang memungkinkan untuk membuat objek tiga dimensi dari data digital. *stereolithography* termasuk salah satu teknologi *Additive Manufacturing* dimana mesin akan membuat benda berbentuk tiga dimensi dengan cara meletakkan lapisan material secara berturut-turut. Teknologi mesin ini bekerja dengan memberikan desain objek ke dalam model komputer, lalu desain objek dibagi menjadi lapisan lapisan terpisah yang dapat ditumpuk satu sama lain

menjadi bentuk akhir objek. Teknologi Additive Manufacturing yang dapat melakukan hal tersebut lebih dikenal sebagai 3D Printer. Oleh karena itu, 3D Printer dapat didefinisikan sebagai alat yang mengubah dari desain dan virtual objek menjadi objek fisik tiga dimensi dengan material dasar yang beragam. Teknik ini menggunakan komputer, perangkat lunak model 3D (Computer Aided Design dan Computer Aided Manufacturing), perlengkapan mesin dan bahan dasar material.



Gambar 2. 5 Mesin printer 3D Anet-A8 Plus

Pada gambar 2.1 merupakan model 3D printer cartesian yang cukup umum digunakan. 3D printer model Cartesian bekerja dengan menggerakkan tiap sudut axis secara linear. Teknik seperti ini memiliki konfigurasi mesin yang lebih mudah bila dibandingkan dengan printer model Delta atau Polar. Hal tersebut tentunya mempermudah pengguna untuk mengatur bahkan membuat printer. Printer model Delta menggunakan tiga titik yang bergerak pada Z axis yang menciptakan perbedaan level ketinggian untuk membentuk X axis dan Y axis. Sedangkan model polar menggunakan sumbu yang bergerak memutar. Hal ini berakibat dalam konfigurasi mesin yang lebih sulit.

2.3. Metode *Fused Deposition Modelling* (FDM)

Dalam penggunaan 3D printing, salah satu teknik yang paling sering digunakan adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM). Printer berbasis *Fused Deposition Modelling* bekerja

dengan memanaskan material untuk selanjutnya dibentuk secara berlapis. Printer berbasis ini lebih mudah dan lebih aman apabila dibandingkan dengan printer berbasis *Sintering Laser Selective (SLS)* atau *Digital Light Processing (DLP)*. Hal ini disebabkan printer berbasis FDM menggunakan material padat. Berbeda dengan printer SLS yang menggunakan material serbuk dan printer DLP yang menggunakan bahan cair.

Prinsip kerjanya cukup sederhana, dimana filament yang awalnya bersifat padat dilelehkan hingga menjadi cair. Filament cair kemudian akan membentuk lapisan dan mengeras akibat adanya peristiwa konveksi. Konveksi yang terjadi dapat bersifat bebas dengan medium udara dan bersifat paksa dengan bantuan kipas atau fan yang terdapat pada ekstruder 3D printer. Lapisan lainnya kemudian akan dibuat di atas lapisan yang sudah mengeras tersebut. Proses ini akan berlanjut hingga membentuk objek yang sudah didesain sebelumnya. Pada tabel 2.1 menunjukkan bahwa bahan filament PLA memiliki nilai index bias lebih kecil dibandingkan dengan bahan PVA dan HDPE, maka filament PLA dapat dipilih sebagai bahan dasar pembuatan lensa fresnel menggunakan printer 3D.

Tabel 2. 1 Tabel nilai index bias dari beberapa referensi jurnal

Jenis Filament	Refractive Index (n)	Referensi
Polylactic Acid	1.4507	(I. Bodurov, 2016)
Polyvinyl Alcohol	1.4630	(M. J. Schnepf, 2017)
High-density Polyethylene	1.5190	(Loewenstein., 1975)

Filament yang dapat digunakan untuk metode FDM dalam 3D printing ini sangat banyak. Berikut adalah 5 jenis filament yang paling umum digunakan.

2.3.1. *Polylactic Acid (PLA)*

PLA merupakan filament plastik yang bersifat bio-degradable, yaitu dapat terurai lebih cepat dalam lingkungan dibandingkan dengan plastik lainnya sehingga dapat dikatakan lebih ramah lingkungan. Karena sifat tersebut, PLA biasanya digunakan sebagai pengemas makanan. Secara fisik, PLA memiliki sifat yang cukup keras dan kaku. Selain lebih ramah lingkungan, salah satu keunggulan PLA adalah mudah digunakan. Karena mudah digunakan, filament ini secara umum menjadi pilihan utama bagi para penggunanya. Namun, kekurangannya terhadap temperatur panas yang tinggi.

2.3.2. *Polyvinyl Alcohol (PVA)*

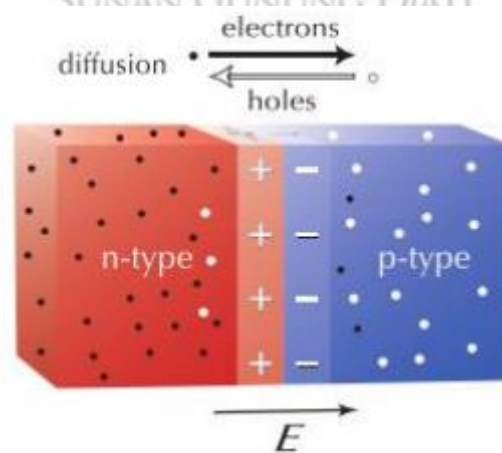
PVA merupakan filament yang memiliki ciri khas *water-soluble*, yang berarti dapat larut dalam air. PVA biasanya digunakan pada multi-extruder 3D printer sebagai material penyangga (support material) dari material utama yang digunakan. Salah satu keunggulan PVA adalah kemampuannya yang dapat larut dalam air sesuai dengan ciri khasnya. Keunggulan ini memungkinkan tidak adanya bekas yang tersisa pada material utama hasil 3D printing setelah material penyangga dilepas. Berbeda ketika material penyangga yang digunakan sama dengan material utamanya, biasanya akan meninggalkan bekas. Pada umumnya, material utama yang paling cocok dengan PVA adalah PLA dan Nylon.

2.3.3. *High-density Polyethylene* (HDPE)

HDPE merupakan filament plastik yang dapat didaur ulang. Filament ini sangat ramah lingkungan, sehingga dapat menjaga bumi dari limbah plastik karena dapat terus didaur ulang. HDPE biasanya digunakan sebagai wadah susu, bungkus deterjen, dan berbagai macam produk lainnya. Salah satu keunggulan HDPE adalah memiliki rasio kekuatan dengan densitas yang merata dan sifatnya yang tahan korosi, sedangkan kekurangannya adalah memerlukan temperatur pemanasan yang tinggi.

2.4. Modul Sel Surya Photovoltaik

Sel surya adalah alat yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, germanium dan fosfor sehingga mampu mengubah cahaya menjadi listrik. Sebuah sel surya terdiri dari bahan semikonduktor jenis positif (P) dan negatif (N) serta sambungan kedua lapisan ini disebut cabang (Junction), contoh sel surya berbahan semikonduktor ada pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 *Prinsip fungsional fotovoltaik menggunakan contoh sel surya*

2.4.1. Prinsip Kerja Panel Surya

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 Sel surya bekerja berdasarkan efek Fotoelektrik, dimana ketika plat semikonduktor tipe negatif (n) dikenai cahaya (foton) maka terdapat arus yang menuju ke plat semikonduktor tipe positif (p). Hal ini disebabkan oleh terlepasnya elektron dari permukaan semikonduktor tipe negatif ketika terkena foton dan berpindah ke plat semikonduktor tipe positif. Dimana pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, foton akan memasuki lapisan transisi. Ketika foton dengan energi yang cukup mentransfer energi ke elektron yang terikat longgar di pita valensi elektron, akseptor akan melepaskan elektron-elektron ini dari ikatan tersebut dan mengangkatnya ke dalam pita konduksi. Tegangan dan arus yang dapat digunakan akan terus dihasilkan selama foton memberikan pembawa muatan bebas.

2.4.2. Jenis Panel Sel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:

2.4.2.1. Monocrystalline

Jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis, sehingga akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sel surya ini adalah jenis yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, efisiensinya sekitar 15% ~ 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya lainnya. Kelemahan sel surya jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan dan ekstrim.

2.4.2.2. Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur/dicairkan. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% ~ 16%. Kelebihan jenis ini adalah proses pembuatannya lebih mudah dibanding monocrystalline dan harganya lebih murah.

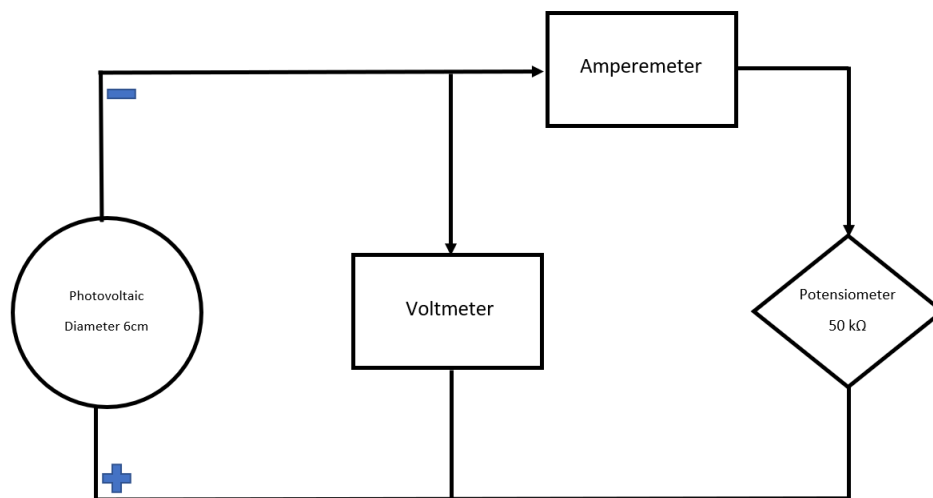
2.4.2.3. Thin Film

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya

sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).

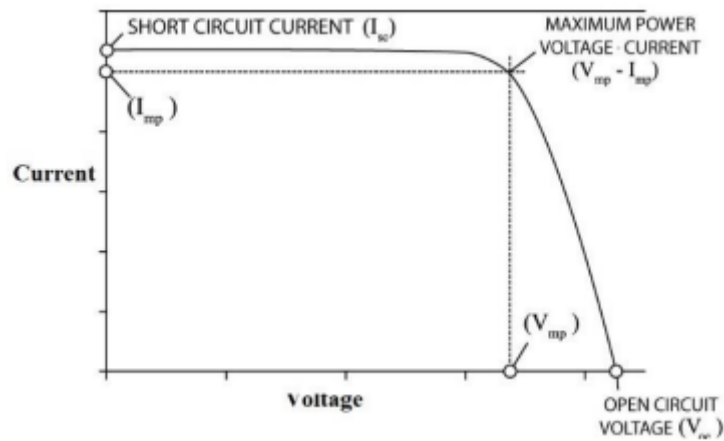
2.4.3. Karakteristik Panel Surya

Sel surya dalam keadaan tanpa penyinaran mempunyai karakteristik yang mirip dengan dioda. Ketika sel surya mendapat sinar, akan mengalir arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus dioda. Untuk memperoleh karakteristik tegangan dan arus, maka sel surya harus dihubungkan dengan beban listrik yang dapat divariasasi.



Gambar 2. 7 Rangkaian pengujian karakteristik sel surya

Saat beban sama dengan nol atau dengan kata lain beban dilepas maka dalam keadaan ini akan diperoleh tegangan beban nol V_{oc} (Open Circuit Voltage) yang merupakan tegangan maksimum sel surya karena $I = 0$. Saat beban diperbesar terus sampai mencapai keadaan hubung singkat maka akan diperoleh tegangan sel surya sama dengan nol dan arus akan maksimum I_{sc} (Short Circuit Current). Kemudian apabila beban divariasasi maka akan diperoleh arus dan tegangan yang bervariasi pula. Kombinasi arus dan tegangan tersebut dapat digambar sebagai sebuah grafik seperti pada Gambar 2. 8 yang dikenal grafik karakteristik I-V.



Gambar 2. 8 Kurva karakteristik arus dan tegangan sel surya

Ada beberapa parameter utama dari kurva hubungan arus dan tegangan yaitu arus short circuit (I_{sc}), arus maksimum (I_{max}), tegangan open circuit (V_{oc}), tegangan maksimum (V_{max}) dan daya maksimum (P_{max}). Berdasarkan kurva diatas dapat dilihat bahwa titik potong antara I_{max} dan V_{max} disebut P_{max} sel surya dimana puncak daya maksimum suatu sel surya merupakan hasil perkalian antara I_{max} dan V_{max} .

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

Kurva tersebut sangat dipengaruhi oleh besarnya cahaya yang diterima. Jika semakin besar cahaya yang diterima, akan semakin besar pula I_{max} dan V_{max} sel surya tersebut, sehingga P_{max} juga semakin besar.

Pada prakteknya, pemakaian beban berpatokan dari titik P_{max} . Rasio antara hasil kali arus I_{max} dengan V_{max} pada titik daya maksimum P_{max} dengan hasil kali arus hubung singkat I_{sc} dengan tegangan hubung buka V_{oc} disebut dengan fill factor.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (3)$$

Pada level radiasi matahari yang lebih rendah maka luasan daerah di bawah grafik tersebut akan berkurang dan P_{max} akan bergeser ke kiri, namun bentuk grafik I-V secara umum masih tetap sama. Saat sel surya menghasilkan daya listrik pada keadaan sebenarnya, intensitas radiasi matahari bervariasi tiap waktu.

Selain fill factor, daya pada sel surya juga dibatasi oleh beberapa kerugian seperti kerugian refleksi, cahaya tak terabsorpsi, cahaya yang terlampaui kuat, tahanan seri / paralel dan juga temperatur. Hal tersebut akan berpengaruh pada unjuk kerja sel surya yang dinyatakan

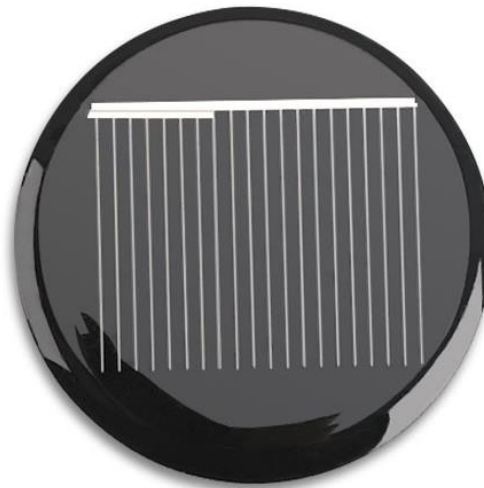
efisiensi. Efisiensi sel surya adalah adalah perbandingan antara daya output dan inputnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Efisiensi (\eta) = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4)$$

Pada penelitian ini menggunakan photovoltaik komersial dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut:

Tabel 2. 2 Spesifikasi sel surya yang digunakan

Spesifikasi	
Ukuran	Φ45 mm
Tegangan rata-rata	0.5 Volt
Arus rata-rata	270 mA
Puncak daya	0.135 Watt
Kondisi test simulasi intensitas cahaya	38.000 LUX



Gambar 2. 9 Sel surya photovoltaik

2.5. Perkembangan Penelitian Lensa Fresnel

Perkembangan penelitian tentang biomaterial nanokalsium semakin berkembang, seperti pada table berikut.

Tabel 2. 3 Perkembangan penelitian terkait lensa fresnel

Tahun	Peneliti	Judul	Metode fabrikasi dan validasi	Hasil Penelitian
2007	Arthur Davis, Frank Kühnlentz	Optical Design using Fresnel Lenses	Komersial	Lensa dengan ketebalan 4,5 mm, diameter 5,2 mm, kemiringan 30

2009	Juan C. González	Design and analysis of a curved cylindrical Fresnel lens that produces high irradiance uniformity on the solar cell	Komersial	100% efisiensi geometris optik
2011	W.T. Xie	Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: A review	Komersial	30% efisiensi, 31,5% pencitraan dan 1,7% non-pencitraan
2018	Kyoung Ho Jeong, Nima Ghalichechian	Design, Fabrication and Measurement of a Millimeter Wave Fresnel Lens using Additive Manufacturing	3D Printer	Panjang fokus 11 mm, tebal lensa 11,8 mm, efisiensi 9 db pada 30Ghz
2018	G. B. Torri	Design and Test of a 3D Printed Acoustic Fresnel Lens	3D Printer	Studi pendahuluan sifat pemfokusan lensa akustik berdasarkan teori lensa fresnel
2019	Johan J. Estrada-López	Design and Fabrication of a 3-D Printed Concentrating Solar Thermoelectric Generator for Energy Harvesting Based Wireless Sensor Nodes	3D Printer	Solar Thermoelectric Generator (STEG) mampu menghasilkan 60 pada heatsink dengan daya output 6,93 Mw
2019	Kyoung Ho Jeong, Nima Ghalichechian	3D-printed 4-zone Ka-band Fresnel lens: design, fabrication, and measurement	3D Printer	Panjang fokus 40 mm, efisiensi 6,6 db pada 31 Ghz
2019	Kuldeep Awasthi	<i>Design of Fresnel lens with spherical facets for concentrated solar power applications</i>	CO ₂ Laser Cutting dan MATLAB	Lensa fresnel mereduksi 95% bobot dari lensa cembung dengan 20 segi prisma.
2020	Xinglong Ma	<i>Analysis on an optimal transmittance of Fresnel lens as solar concentrator</i>	Komersial	Lensa fresnel dapat bekerja optimal pada 10:00 sampai 14:30 dengan temperatur

				output mencapai 125 celcius
2021	Soroush Kiyae	<i>A new designed linear Fresnel lens solar concentrator based on spectral splitting for passive cooling of solar cells</i>	Komersial dan COMSOL MultiPhysics	SSFL mampu mereduksi suhu pada fotovoltaik mencapai 48 celcius dengan efisiensi optik 81%
2021	Tomasz Blachowicz, Guido Ehrmann, Andrea Ehrmann	<i>Optical elements from 3D printed polymers</i>	3D Printer	20 % efisiensi optik

Studi ini memodelkan dan mensimulasikan konsentrator Fresnel Lens linier berbasis Spectral Splitting yang dirancang baru. Setiap lensa memusatkan rentang spektrum matahari tertentu pada sel surya silikon sehingga penurunan suhu dan peningkatan efisiensi listrik dicapai dengan menghilangkan panjang gelombang energi surya yang tinggi. Spectral Splitting diselidiki dalam rentang 400–1150 nm hingga 800–1150 nm dengan ukuran langkah 50 nm. Memang, panjang gelombang konsentrasi akhir dari setiap lensa adalah konstan dan sama dengan 1150 nm, sedangkan panjang gelombang yang dipotong adalah variabel.

Ketika panjang gelombang cut-on meningkat, dapat diamati penurunan jumlah foton yang diarahkan ke sel. Jika suhu sel tetap konstan di bawah konsentrasi semua lensa, ini menyebabkan penurunan efisiensi listrik. Namun, ini tidak berlaku dalam kenyataan. Suhu sel berkurang dengan meningkatkan panjang gelombang potong, dan pengurangan ini membuat efisiensi listrik meningkat. Oleh karena itu, dua faktor penurunan jumlah foton dan penurunan suhu, masing-masing menurunkan dan meningkatkan efisiensi listrik bahwa perlu memeriksa mana yang mengalahkan yang lain.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan cut-on panjang gelombang mencapai 600 nm, efisiensi listrik meningkat. Setelah itu, mengikuti tren menurun. Namun, SSFL 700 nm masih memiliki efisiensi listrik yang lebih tinggi daripada SSFL 400 nm, sementara suhu sel secara nyata menurun. Tren perubahan efisiensi listrik menyiratkan bahwa efek penurunan suhu berlaku penurunan jumlah foton sebagai konsentrasi mencapai kisaran 600-1150 nm. Selain itu, SSFL 600 nm mencapai efisiensi optik 81%, hasil yang hampir sama dibandingkan dengan sistem berbasis SS lainnya, sementara tidak ada beam splitter, nanofluida, atau elemen sekunder lainnya yang digunakan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

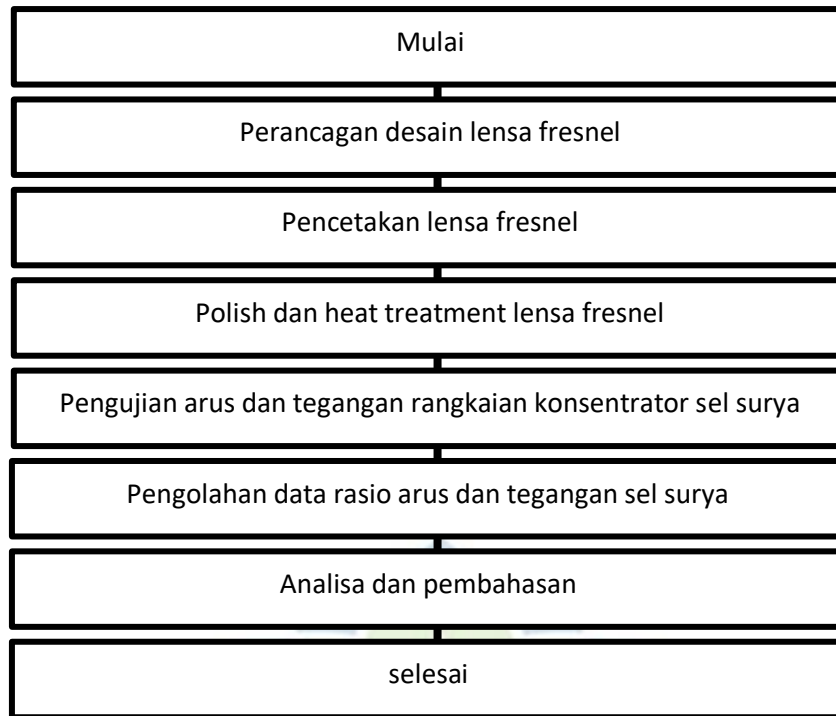
3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan dari bulan September 2021 hingga selesai. Untuk rentan tiga bulan pertama yaitu dari September 2021 hingga April 2022 digunakan untuk perancangan design lensa fresnel, pencetakan dan pengambilan data eksperimen di Laboratorium Workshop UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Pada bulan Mei hingga Juni 2022 digunakan untuk pembuatan karya tulis.

3.2. Garis Besar Pelaksanaan Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi perancangan design lensa fresnel hingga pencetakan dan pengukuran data eksperimen. Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

1. Tahap persiapan meliputi perancangan design lensa fresnel dengan software fusion 360 dan ultimaker cura.
2. Tahap pencetakan yang menggunakan metode fused deposition modelling (FDM) dengan menggunakan mesin printer ender pro 3.
3. Tahap pengukuran ini akan menggunakan multimeter digital dan smartphone yang terinstall software phyphox. Kedua alat tersebut digunakan untuk mengukur intensitas, arus dan tegangan.
4. Pada tahap pengolahan data akan menggunakan data primer yakni data yang didapatkan dari pemodelan fisik berupa rangkaian photovoltaik dengan beban lampu led smd 5730 sebesar 0,5 sampai 5 watt.
5. Tahap pembuatan laporan yang meliputi penulisan kegiatan penelitian, proses eksperimen, hasil dan analisa dari hasil eksperimen.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.3. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian

NO.	Alat dan bahan	Jumlah	Keterangan
1.	Laptop	1 buah	media komputasi design
2.	Filament Polylactic Acid (PLA)	1 kg	bahan dasar lensa
3.	Mini polycrystalline solar cell	1 buah	photovoltaic
4.	Ender 3 pro	1 set	media pabrikasi lensa
5.	Multimeter digital	1 buah	media pengukuran output arus dan tegangan
6.	Smartphone	1 buah	media pengukuran intensitas cahaya
7.	Tripod	1 buah	media penyangga smartphone
8.	Led SMD 5730	1 buah	beban pada rangkaian

9.	Kabel	15 buah	penghubung rangkaian ke multimeter digital
10.	Lampu	6 buah	sumber cahaya
11.	Kardus	1 buah	media penyangga rangkaian photovoltaic dan lensa
12.	Styrofoam	1 buah	media penyangga sumber cahaya

3.4. Prosedur Percobaan

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu tahap perancangan serta pencetakan design lensa fresnel dan eksperimen pengukuran efisiensi lensa terhadap output daya photovoltaik.

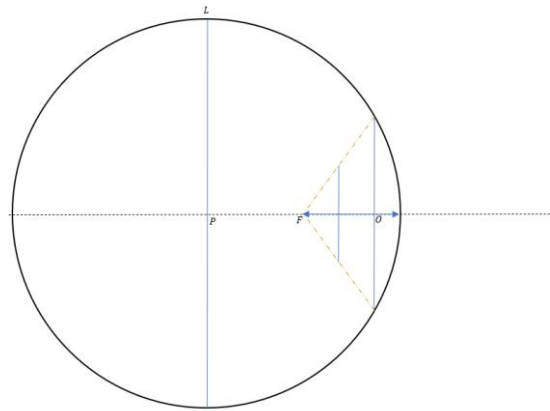
3.4.1. Tahap persiapan

Pada tahap persiapan, lensa fresnel akan dirancang untuk memfokuskan cahaya pada photovoltaik. Dimana diameter photovoltaik sebesar 6 cm, sehingga dengan menggunakan persamaan untuk menentukan fokus lensa, dibuat rancangan lensa fresnel yang memiliki diameter 12 cm dan panjang fokusnya 6 cm. Supaya dapat menganalisis efisiensi lensa, maka dibuat variasi ketebalan untuk tiga buah lensa yang dimana setiap lensanya memiliki ketebalan 6 mm, 4 mm dan 2 mm. Proses komputasi design lensa fresnel dilakukan dengan menggunakan software fusion 360 dan stereolithography menggunakan software ultimaker cura.

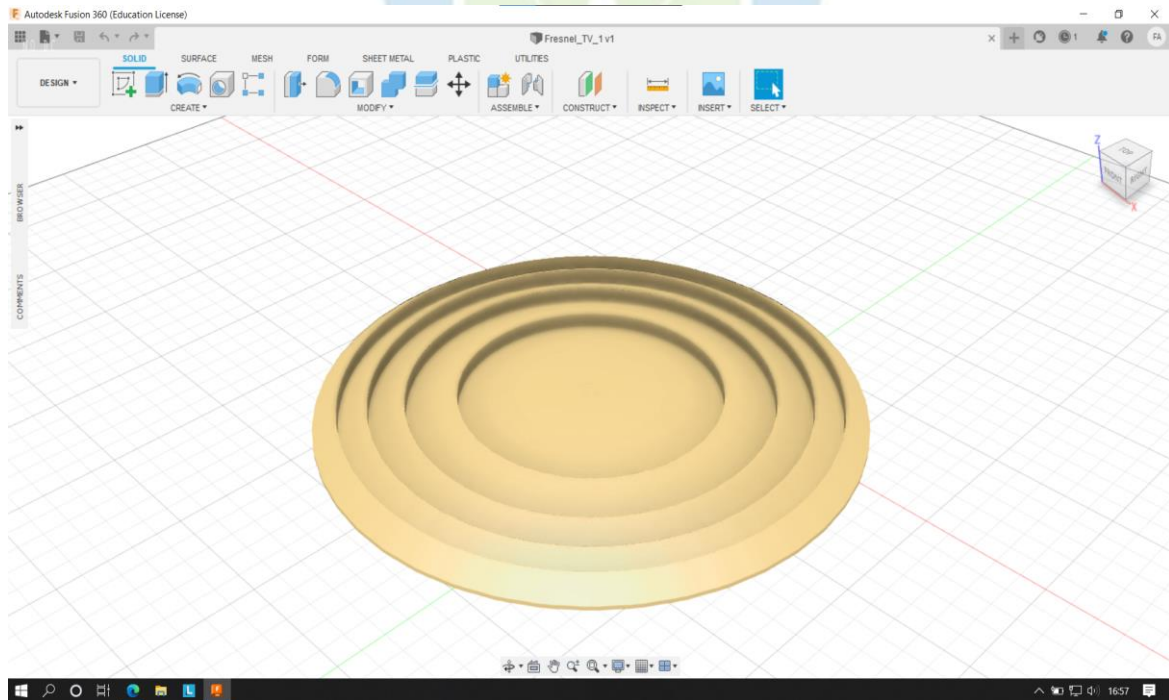
Dalam proses perancangan lensa, diperlukan beberapa variabel untuk menentukan jarak ideal antara sel surya dengan lensa fresnel. Oleh karena itu, konstruksi lensa didesain dengan panjang fokus, jarak fokus dan tebal lensa yang sangat tipis jika dibandingkan dengan lensa cembung, agar dapat melewatkan lebih banyak cahaya. agar mendapatkan konsentrasi merata pada permukaan panel surya dengan menggunakan sifat sinar istimewa lensa yakni sinar datang melewati pusat optik lensa (O) akan diteruskan, tidak dibiaskan, sehingga didapat persamaan(2) dengan mengambil tangen sudut yang bersilangan sehingga :

Dimana jari-jari lensa (r) 6 cm, jari-jari sel surya (r') 3cm dan jarak antara lensa dengan sel surya (x), dengan ini diharapkan permukaan panel sel surya akan mendapatkan iradiasi yang optimal. Pembuatan modul praktikum sel surya dibangun menggunakan rangkaian sel surya sebagai sumber energi DC, volt meter sebagai pengukur tegangan dan ampere meter sebagai

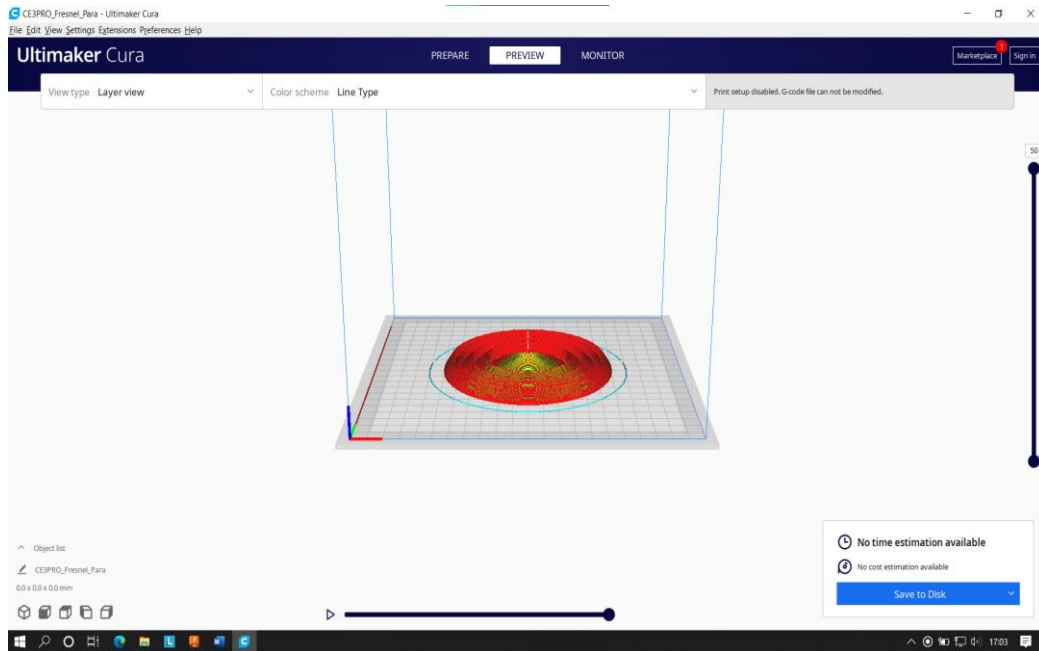
pengukur arus, serta komponen elektronika lainnya sebagai penunjang kesatuan rangkaian alat. Alat yang telah dibangun dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 3. 2 Desain geometri lensa fresnel



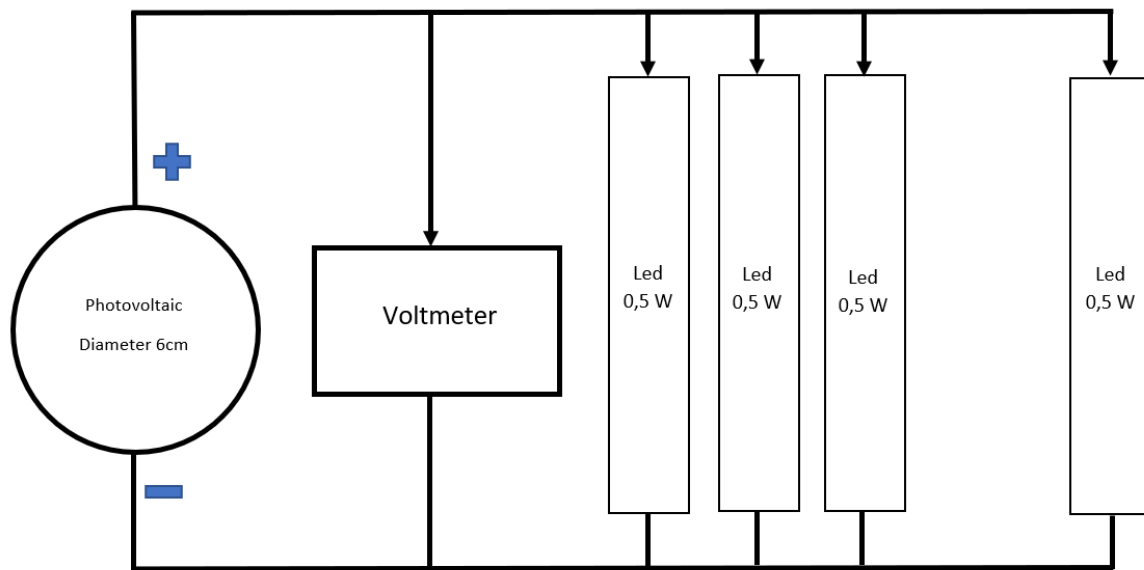
Gambar 3. 3 Model desain lensa fresnel menggunakan software fusion 360



Gambar 3. 4 Model desain lensa fresnel menggunakan software ultimaker cura

3.4.2. Tahap eksperimen

Pada tahap ini rangkaian modul photovoltaik dibuat dari bahan kardus dengan ukuran panjang 21 cm, lebar 7 cm dan tinggi 14,5 cm. Kemudian rangkaian beban yang dibuat dari led smd 5730 dirangkai dengan model rangkaian paralel sebanyak 15 buah lampu led dengan tegangan 3 volt, beban setiap lampu 0,5 watt. Pada penyambungan antara photovoltaik dengan rangkaian beban dihubungkan dengan kabel jumper, tegangan dan arus yang masuk diukur menggunakan multimeter digital yang dipasang pada sambungan rangkaian antara photovoltaik dan rangkaian modul beban. Alat dan bahan yang telah disiapkan tersebut dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk modul photovoltaik.



Gambar 3. 5 Model rangkaian photovoltaik dan variasi beban

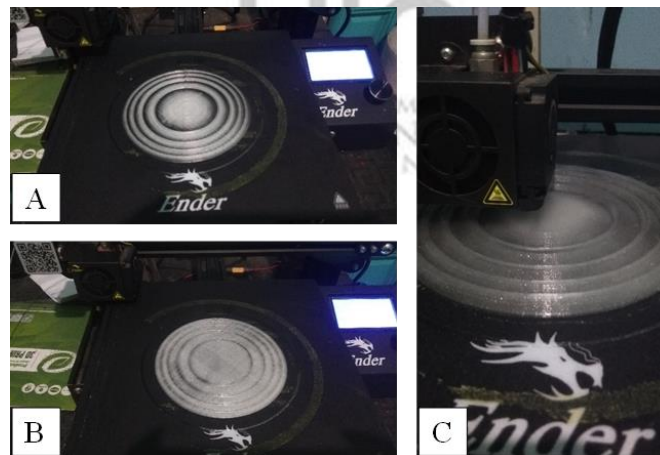
Hal yang sama dilakukan pada pembuatan penampang lensa fresnel dan sumber cahaya. Untuk penampang lensa fresnel dibuat dari bahan kardus dengan ukuran panjang 21 cm, lebar 7 cm dan tinggi 14,5 cm. sedangkan untuk penampang sumber cahaya dibuat dari bahan styrofoam dengan ukuran panjang 11 cm, lebar 12 cm dan tinggi 20 cm. pengukuran intensitas cahaya menggunakan smartphone yang telah terpasang software phyphox dan dirangkai dengan penyangga tripod. Jarak antara modul photovoltaik dengan penampang lensa fresnel sebesar 3 cm, sedangkan jarak antara modul photovoltaik dengan sumber cahaya adalah 30 cm.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

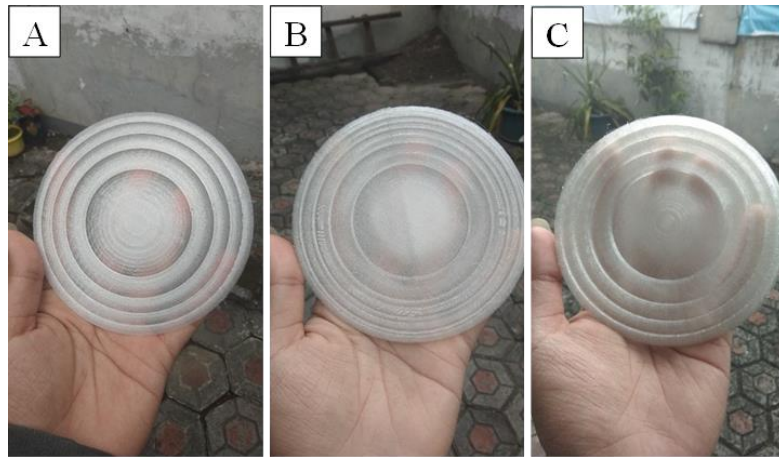
4.1. Proses Pencetakan dan Treatment Lensa

Dalam proses pencetakan digunakan filament Polylactic Acid (PLA) berwarna transparan sebagai bahan dasar lensa *fresnel*. Metode *fused deposition modelling* dilakukan dengan menggunakan alat 3d printer ender 3 pro. Dimana filament yang bermula bersifat padat berdeformasi pada suhu 200°C menjadi cair. Filament cair kemudian akan membentuk lapisan lensa dan berdeformasi kembali menjadi padat akibat adanya perubahan suhu menjadi 60°C. Proses deformasi yang terjadi dapat bersifat bebas dengan medium udara dan bersifat paksa dengan bantuan kipas atau fan yang terdapat pada ekstruder 3D printer. Lapisan lainnya kemudian akan dibuat di atas lapisan yang sudah mengeras tersebut. Proses ini akan berlanjut hingga membentuk lensa fresnel yang sudah didesain menggunakan fusion 360 dan ultimaker cura.

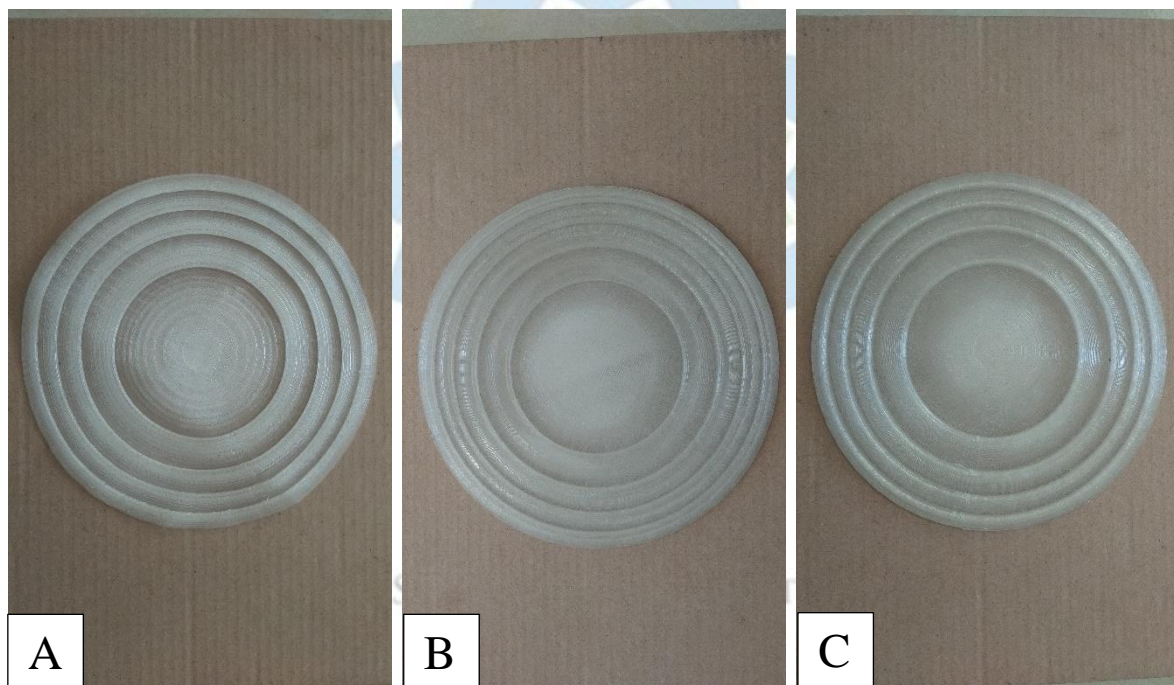
Hasil heat treatment dapat dilihat pada gambar 4.3, lensa fresnel telah dipanaskan pada suhu 100°C selama 120s. Pada variasi lensa fresnel 2mm terjadi perubahan bentuk lensa sedangkan pada variasi 4mm dan 6mm tidak terjadi perubahan bentuk, hal ini sesuai dengan referensi penelitian (K.K. Guduru, 2020). Setelah melewati tahap ini, lensa fresnel berbahan dasar PLA masih belum sesuai dengan wujud lensa yang diharapkan.



Gambar 4. 1 Proses pencetakan menggunakan printer ender 3 pro (a) lensa fresnel 2 mm (b) lensa fresnel 4 mm (c) lensa fresnel 6 mm



Gambar 4. 2 Hasil pencetakan printer ender 3 pro dengan bahan dasar PLA (a) lensa fresnel 2 mm (b) lensa fresnel 4 mm (c) lensa fresnel 6 mm



Gambar 4. 3 Hasil heat treatment pada 100°C selama 120 s ; (a) lensa fresnel 2 mm (b) lensa fresnel 4 mm (c) lensa fresnel 6 mm

4.2. Pengujian Lensa Fresnel Sebagai Konsentrator Sel Surya

Pada rangkaian beban akan diketahui tegangan open sirkuit dan arus pendek. Adapun beban yang dipasang sekitar 15 buah lampu LED dengan masing-masing lampu berdaya 1,5 watt dengan tegangan 12 volt, dengan saklar tunggal yang dipasang pada tiap beban sebagai pemutus arus yang mengakir. Metode pengambilan data dilakukann dengan menghitung tergangnan dan arus tiap beban dengan instensitas cahaya yang didapatkan pada saat pengukuran

maka dengan begitu kita akan mengetahui iradiasi dan daya kesemua beban yang terdapat pada rangkaian.



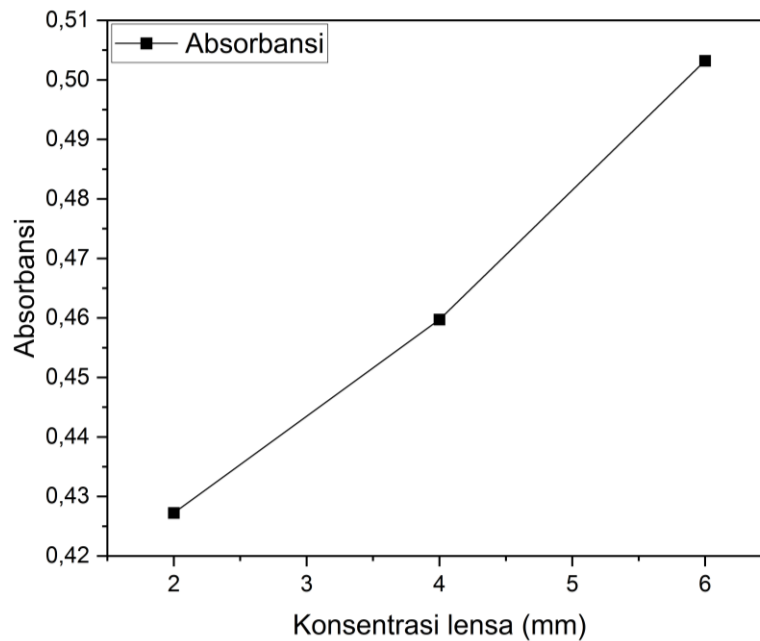
Gambar 4. 4 Model rangkaian photovoltaik dan variasi beban (a) sebelum diberi sumber cahaya (b) setelah diberi sumber cahaya

Pengambilan data dilakukan dengan beberapa parameter diantaranya absorbansi, intensitas (lux). Serta parameter tegangan (volt), arus (ampere) dan daya (watt) yang dihasilkan oleh panel surya. Dalam pengujian skema rangkaian alat ini bertujuan untuk dapat mengetahui efisiensi peningkatan output panel surya dengan ditambahkan lensa fresnel terhadap tegangan dan arus, dengan komponen beban yang digunakan.

Untuk mengetahui besar intensitas cahaya dari sumber cahaya, pengukuran menggunakan sensor cahaya smartphone berbasis software phyphox. Dengan menggunakan persamaan lambert-beer, maka dapat diketahui tingkat absorbansi dari variasi lensa fresnel. Hasil dari pengukuran intensitas cahaya dapat dilihat pada Tabel 4.1:

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran absorbansi lensa fresnel

Ketebalan lensa (mm)	Intensitas awal (Lux)	Intensitas akhir (Lux)	Absorbansi
2	3450	1290	0,427229
4	3450	1197	0,459725
6	3450	1083	0,503191



Gambar 4. 5 Kurva hubungan antara absorbansi dengan variasi ketebalan lensa fresnel

Dari Gambar 4.5 dan Tabel 4.1 dapat dipahami bahwa lensa fresnel dengan variasi ketebalan 2 mm memiliki tingkat absorbansi cahaya sebesar 42%. Jika dibandingkan dengan intensitas cahaya datang, lensa fresnel variasi 2 mm ini masih belum mampu untuk meneruskan cahaya lebih ideal. Akan tetapi lensa fresnel variasi 2 mm lebih baik dibandingkan dengan dua variasi lainnya. Dimana lensa fresnel dengan variasi ketebalan 4 mm dan 6 mm memiliki tingkat absorbansi sebesar 45% dan 50% dari dari cahaya datang. Hal ini akan mempengaruhi sel surya dalam menghasilkan output maksimal.

Dari percobaan rangkaian sel surya tanpa lensa fresnel diperoleh hasil pada Tabel 4.2 dengan daya input sebesar 15,34 W/m² dan variasi beban sebanyak 1 sampai 10 lampu LED SMD berdaya masing-masing 0,525 Watt dirangkai secara paralel. Pada Gambar 4.6 menunjukkan titik puncak arus berada pada 0,18 mA dan daya puncak sebesar 0,4428 mW dengan tegangan open sirkuit sebesar 2,46 volt.

Tabel 4. 2 Hasil pengukuran output sel surya tanpa lensa fresnel

Percobaan	Variasi Beban (Watt)	V_{oc} (Volt)	I_{sc} (mA)	Daya Output	Daya Input (W/m^2)
1	0,525	2,54	0,15	0,381	15,3497
2	1,05	2,48	0,16	0,3968	15,3497
3	1,575	2,47	0,17	0,4199	15,3497
4	2,1	2,46	0,18	0,4428	15,3497
5	2,625	1,9	0,182	0,3458	15,3497
6	3,15	1,78	0,182	0,32396	15,3497
7	3,675	1,75	0,182	0,3185	15,3497
8	4,2	1,73	0,182	0,31486	15,3497
9	4,725	1,7	0,182	0,3094	15,3497
10	5,25	1,68	0,182	0,30576	15,3497

Dari percobaan pengukuran rangkaian sel surya dengan variasi lensa fresnel 2 mm diperoleh hasil pada Tabel 4.3 dengan daya input sebesar 15,34 W/m^2 dan variasi beban sebanyak 1 sampai 10 lampu LED SMD berdaya masing-masing 0,525 Watt dirangkai secara paralel. Pada Gambar 4.6 menunjukkan titik puncak arus berada pada 0,11 mA dan daya puncak sebesar 0,2662 mW dengan tegangan open sirkuit sebesar 2,42 volt.

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran output sel surya dengan lensa fresnel 2 mm

Percobaan	Variasi Beban (Watt)	V_{oc} (Volt)	I_{sc} (mA)	Daya	Daya Input (W/m^2)
1	0,525	2,5	0,1	0,25	10,191
2	1,05	2,46	0,1	0,246	10,191
3	1,575	2,45	0,1	0,245	10,191
4	2,1	2,42	0,11	0,2662	10,191
5	2,625	1,89	0,11	0,2079	10,191
6	3,15	1,87	0,11	0,2057	10,191
7	3,675	1,74	0,11	0,1914	10,191
8	4,2	1,72	0,11	0,1892	10,191
9	4,725	1,69	0,11	0,1859	10,191
10	5,25	1,67	0,11	0,1837	10,191

Dari percobaan pengukuran rangkaian sel surya dengan variasi lensa fresnel 4 mm diperoleh hasil pada Tabel 4.4 dengan daya input sebesar 15,34 W/m^2 dan variasi beban sebanyak 1 sampai 10 lampu LED SMD berdaya masing-masing 0,525 Watt dirangkai secara

pararel. Pada Gambar 4.6 menunjukkan titik puncak arus berada pada 0,10 mA dan daya puncak sebesar 0,245 mW dengan tegangan open circuit sebesar 2,45 volt.

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran output sel surya dengan lensa fresnel 4 mm

Percobaan	Variasi Beban (Watt)	V_{oc} (Volt)	I_{sc} (mA)	Daya	Daya Input (W/m^2)
1	0,525	2,49	0,09	0,2241	9,4563
2	1,05	2,44	0,09	0,2196	9,4563
3	1,575	2,44	0,09	0,2196	9,4563
4	2,1	2,45	0,1	0,245	9,4563
5	2,625	1,75	0,1	0,175	9,4563
6	3,15	1,71	0,1	0,171	9,4563
7	3,675	1,69	0,1	0,169	9,4563
8	4,2	1,66	0,1	0,166	9,4563
9	4,725	1,65	0,1	0,165	9,4563
10	5,25	1,62	0,1	0,162	9,4563

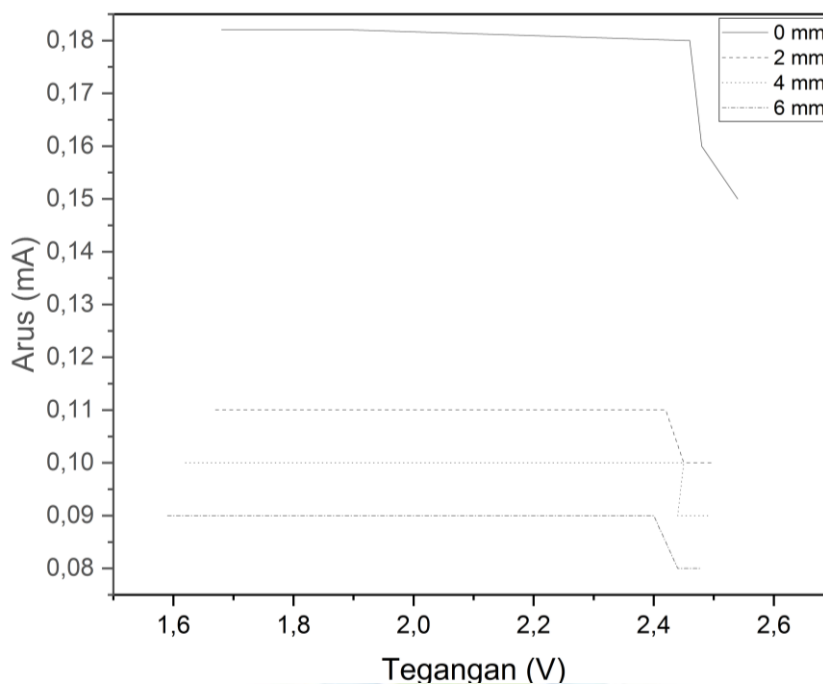
Dari percobaan pengukuran rangkaian sel surya dengan variasi lensa fresnel 6 mm diperoleh hasil pada Tabel 4.5 dengan daya input sebesar 15,34 W/m² dan variasi beban sebanyak 1 sampai 10 lampu LED SMD berdaya masing-masing 0,525 Watt dirangkai secara pararel. Pada Gambar 4.6 menunjukkan titik puncak arus berada pada 0,09 mA dan daya puncak sebesar 0,216 mW dengan tegangan open circuit sebesar 2,4 volt.

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran output sel surya dengan lensa fresnel 6 mm

Percobaan	Variasi Beban (Watt)	V_{oc} (Volt)	I_{sc} (mA)	Daya	Daya Input (W/m^2)
1	0,525	2,48	0,08	0,1984	8,5557
2	1,05	2,44	0,08	0,1952	8,5557
3	1,575	2,44	0,08	0,1952	8,5557
4	2,1	2,4	0,09	0,216	8,5557
5	2,625	1,68	0,09	0,1512	8,5557
6	3,15	1,67	0,09	0,1503	8,5557
7	3,675	1,65	0,09	0,1485	8,5557
8	4,2	1,63	0,09	0,1467	8,5557
9	4,725	1,61	0,09	0,1449	8,5557
10	5,25	1,59	0,09	0,1431	8,5557

Dari empat variasi percobaan pengukuran yang dilakukan dengan variasi lensa fresnel, didapatkan bahwa hasil tanpa lensa fresnel masih memiliki daya output yang lebih baik jika

dibandingkan penambahan lensa sebagai konsentrator. Hal ini tidak terlepas dari kemampuan lensa fresnel sendiri yang relatif mengabsorpsi cahaya lebih besar dibandingkan dengan cahaya datang.



Gambar 4. 6 Kurva hubungan antara arus dan tegangan output panel surya

Dari data percobaan tersebut dapat diketahui bahwa tiap percobaan memiliki tegangan dan arus yang berbeda serta daya dan tegangan open circuit yang bervariasi karena dipengaruhi oleh daya input setelah terabsorpsi lensa fresnel. Pengukuran tersebut membuktikan bahwa semakin rendah tingkat ketebalan lensa dan indeks absorpsinya maka akan semakin besar tegangan dan arus output pada sel surya. Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa efisiensi terbaik ada pada variasi lensa fresnel dengan ketebalan 2 mm yaitu sebesar -39%. Meskipun belum mampu mencapai nilai efisiensi positif, akan tetapi hasil ini masih lebih baik jika dibandingkan dengan lensa fresnel 4 mm dan 6mm.

Tabel 4. 6 Hasil pengukuran rasio output sel surya dengan lensa fresnel

Rasio ketebalan lensa (mm)	daya output panel dengan lensa (mW)	daya output panel tanpa lensa (mW)	Rasio daya output
2 mm	2,171	3,55878	-39%
4 mm	1,9163	3,55878	-46%
6 mm	1,6895	3,55878	-53%

BAB V KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis dapat disimpulkan bahwa pembuatan lensa fresnel menggunakan metode pabrikan 3D printing dianggap belum sesuai karena tidak mendapatkan hasil yang diharapkan. Hasil yang ideal adalah lensa fresnel yang mampu memusatkan cahaya datang pada sel surya sehingga daya keluarannya meningkat.

Lensa fresnel yang dibuat menggunakan metode *Fused Deposition Modelling* tidak sesuai sebab untuk printer 3D yang digunakan belum mampu untuk membuat suatu produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan produk yang dihasilkan tidak memiliki kerapatan sesuai dan permukaan halus.

Lensa yang dibuat dengan metode *Fused Deposition Modelling* dianggap tidak berhasil, karena hasil daya keluaran dari pengujian rangkaian sel surya dengan konsentrator cahaya lensa fresnel menurun sebesar 39%. Kendala yang dihadapi adalah pada saat lensa fresnel masuk kedalam proses *Treatment*.

Lensa fresnel yang sudah melewati proses *Polish Treatment* menggunakan amplas 400 sampai 2000 grid masih belum mencapai tingkat transparansi yang diharapkan, meskipun permukaan luar telah mendapatkan hasil yang cukup halus tetapi permukaan dalam lensa masih belum mendapatkan *Treatment* sesuai.

Lensa fresnel yang sudah melewati proses *Heat Treatment* pada suhu 100°C selama 120s terjadi perubahan bentuk pada variasi lensa fresnel 2mm sedangkan variasi 4mm dan 6mm tidak terjadi perubahan bentuk, hal ini sesuai dengan referensi penelitian (K.K. Guduru, 2020). Setelah melewati tahap ini, lensa fresnel berbahan dasar PLA masih belum sesuai dengan wujud lensa yang diharapkan.

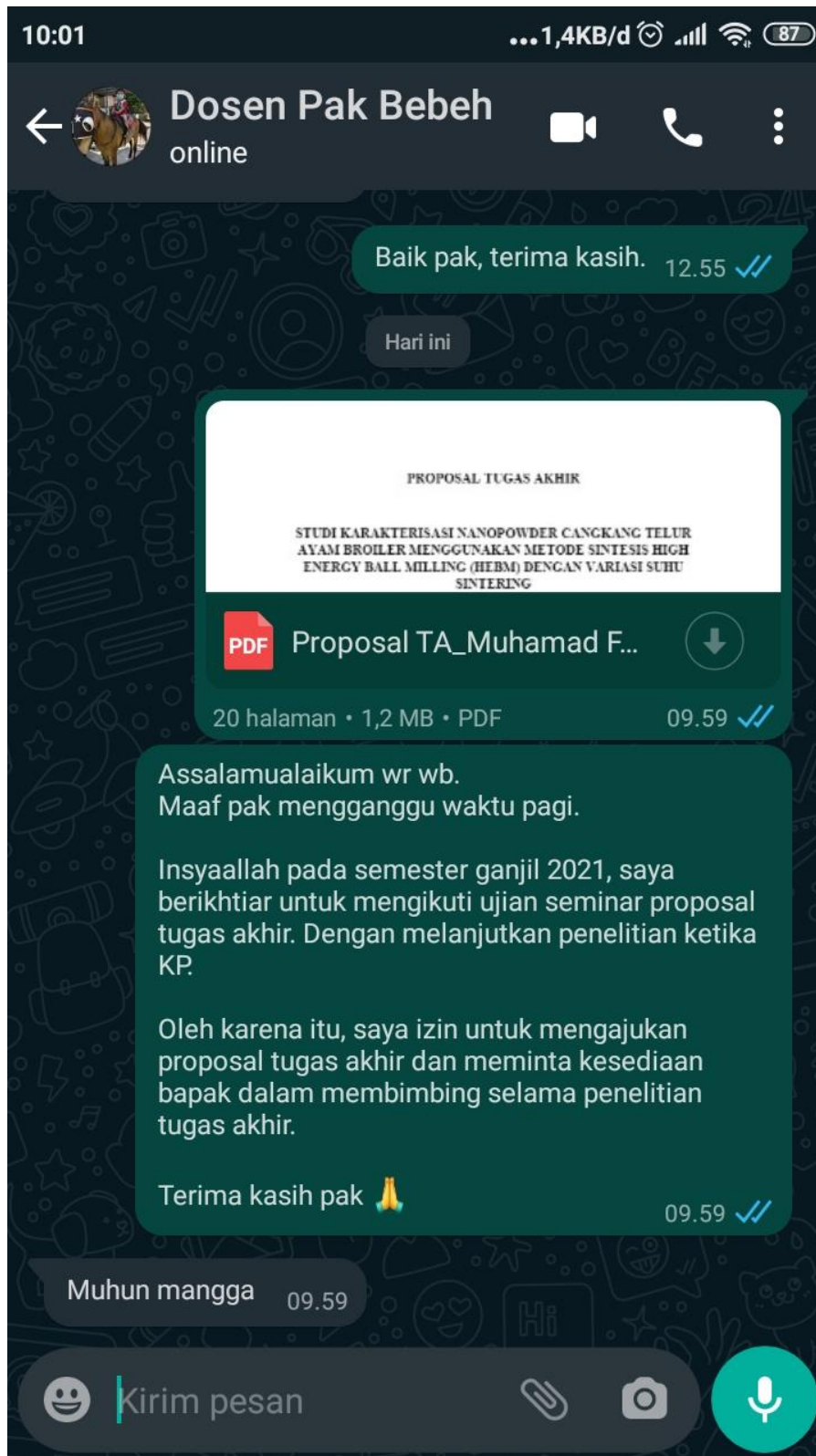
6.2. Saran

Lakukan penelitian mengenai 3D printing lensa fresnel sebagai konsentrator sel surya menggunakan bahan dasar yang memiliki indeks bias lebih baik. Serta gunakan metode fabrikasi lensa fresnel yang lebih akurat dan *finishing* yang sesuai agar memperoleh sifat optik konsentrator sel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arthur Davis, F. K. (2007). Optical Design using Fresnel Lenses: Basic Principles and some Practical Examples. *Optic & Photonik*.
- G. B. Torri, M. S. (2018). Design and Test of a 3D Printed Acoustic Fresnel Lens. *Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*.
- González, J. C. (2009). Design and analysis of a curved cylindrical Fresnel lens that produces high irradiance uniformity on the solar cell.
- I. Bodurov, I. V. (2016). Modified design of a laser refractometer. *Nanoscience & Nanotechnology* 16, 31-33.
- Johan J. Estrada-López, A. A.-A.-S. (2019). Design and Fabrication of a 3-D Printed Concentrating Solar Thermoelectric Generator for Energy Harvesting Based Wireless Sensor Nodes. *IEEE Sensor System*.
- K.K. Guduru, G. S. (2020). Effect of post treatment on tensile properties of carbon reinforced PLA. *ELSEVIER*, 2214-7853.
- Kuldeep Awasthi, D. S. (2019). Design of Fresnel lens with spherical facets for concentrated solar power applications. *WILEY Energy Research*.
- Kyoung Ho Jeong, N. G. (2018). Design, Fabrication and Measurement of a Millimeter Wave Fresnel Lens using Additive Manufacturing.
- Kyoung Ho Jeong, N. G. (2019). 3D-printed 4-zone Ka-band Fresnel lens: design, fabrication, and measurement. *The Institution of Engineering and Technology*, 28-35.
- Loewenstein., D. R. (1975). Optical constants of far infrared materials. 3: *plastics, Appl. Opt.* 14, 1335-1341.
- M. J. Schnepf, M. M. (2017). Nanorattles with tailored electric field enhancement. *Nanoscale* 9, 9376-9385.
- Manan, S. (2009). Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif yang Efisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia. *Universitas Diponegoro*.
- Philipp S P, A. (2016). Current Status of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology. *Fraunhofer ISE NREL CPV Report*, TP-6A20-63916.
- Soroush Kiyae, Y. S. (2021). A new designed linear Fresnel lens solar concentrator based on spectral splitting for passive cooling of solar cells . *ELSEVIER*.
- Tomasz Blachowicz, G. E. (2021). Optical elements from 3D printed polymers. *DE GRUYTER*, 549-565.
- W.T. Xie, Y. D. (2011). Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: A review. *ELSEVIER*, 2588-2606.
- Xinglong Ma, R. J. (2020). Analysis on an optimal transmittance of Fresnel lens as solar concentrator. *ELSEVIER*, 22-31.
- Xuan Pang, X. Z. (2010). Polylactic acid (PLA): Research, development and industrialization. *Biotechnology-journal*, 1125-1136.

LAMPIRAN



Bukti permintaan izin kepada calon dosen pembimbing tugas akhir