

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU ANNEALING  
DUA TAHAP PADA LAPISAN PEROVSKITE TERHADAP  
PENINGKATAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKITE  
ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>60</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>/PEDOT:PSS/Ag**

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



**Fahri Anhar Wardana  
3334180019**

**JURUSAN TEKNIK METALURGI  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON - BANTEN  
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU *ANNEALING*  
DUA TAHAP PADA LAPISAN PEROVSKITE TERHADAP  
PENINGKATAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKITE  
ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>60</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>/PEDOT:PSS/Ag**

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan  
Teknik Metalurgi Universita Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

Pembimbing 1



**Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.**  
**NIP. 197804102003121001**

Pembimbing 2



**Yus Rama Denny M., S.Si., M.Si., Ph.D**  
**NIP.198206222009121002**

LEMBAR PERSETUJUAN


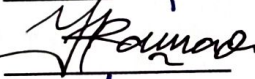

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU ANNEALING DUA  
TAHAP PADA LAPISAN PEROVSKITE TERHADAP  
PENINGKATAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKITE  
ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>60</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>/PEDOT:PSS/Ag**

Disusun dan diajukan oleh :

**Fahri Anhar Wardana**

**3334180019**

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 15 Juli 2022


	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.	
Penguji II	: Yus Rama Denny M., S.Si., M.Si., Ph.D	
Penguji III	: Prof. Dr. Dra. Erlina Yustanti, M.Si	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



  
**Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.**  
**NIP. 197804102003121001**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU  
*ANNEALING* PADA LAPISAN PEROVSKITE DUA  
TAHAP TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI SEL  
SURYA PEROVSKITE ITO/a-  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>60</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub> /PEDOT:PSS/Ag

Nama Mahasiswa : Fahri Anhar Wardana

NIM : 3334180019

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 15 Juli 2022



**Fahri Anhar Wardana**  
3334180019

## ABSTRAK

Energi saat ini memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi semakin lama akan semakin naik sedangkan sumber energi utama sekarang berasal dari fosil yang tidak terbarukan, oleh karena itu dibutuhkan energi baru terbarukan untuk tetap memenuhi kebutuhan energi. Indonesia terletak pada garis katulistiwa dimana mendapatkan sinar matahari yang berlimpah sepanjang tahun, sehingga penggunaan sel surya merupakan alternatif sumber energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia. Sel surya memiliki perkembangan yang sangat pesat dan hingga saat ini sudah berkembang hingga tiga generasi. Sel surya perovskite (PSC) menggunakan struktur organik dari bahan polimer yang menjadikannya alternatif untuk sel surya silikon yang dapat menunjukkan *Power Conversion Efficiency* (PCE) sebesar 22,1%. Perovskite ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3\text{-xCl}_x$ ) merupakan lapisan yang penting dalam PSC dimana *annealing* pada perovskite dapat kualitas dari lapisan perovskite. Proses *annealing* dua tahap mempunyai kelebihan dapat lebih mengontrol struktur butir yang terbentuk, pada *annealing* ini dilakukan *annealing* pertama dan kedua dengan dipanaskan bertahap dimana temperatur *annealing* pertama lebih rendah dari *annealing* kedua. Guna mengetahui pengaruh waktu dan temperatur *annealing* maka dilakukan penelitian fabrikasi sel surya perovskite dengan variasi temperatur *annealing* kedua sebesar 80°C, 100°C, dan 120°C serta waktu 5 menit, 15 menit, dan 25 menit untuk mendapatkan nilai PCE yang besar serta mengamati karakteristik dari masing-masing sampel. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, Penggunaan temperatur 100°C merupakan temperatur yang optimal sehingga menghasilkan absorbansi dan nilai PCE tertinggi. PCE optimum yang didapatkan sebesar 4,109 % yang diperoleh dengan variasi waktu 25 menit dan temperatur 100°C. Temperatur dan waktu *annealing* dua tahap dapat mempengaruhi kualitas dari solar sel, seperti *device properties*, absorbansi, *thickness*, *band gap*, serta morfologi butir yang dihasilkan.

Kata Kunci : Energi, Perovskite, temperatur, waktu, dan *annealing*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kemurahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan draft skripsi ini dengan judul "Pengaruh Temperatur Dan waktu *Annealing* Dua Tahap Pada Lapisan Perovskite Terhadap Peningkatan Effisiensi Solar Cell Perovskite ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC70BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>/PEDOT:PSS/Ag". Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama menyusun proposal skripsi ini. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. Selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi FT. Untirta, sekaligus Pembimbing Skripsi.
2. Bapak Yus Rama Denny M., S.Si., M.Si., Ph.D. Selaku pembimbing kedua skripsi.
3. Orang tua penulis yaitu Ibu Tutik Purwani dan Bapak Slamet Budiman yang telah memberikan doa serta dukungan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Teman-teman Lab Photovoltaic, Functional Device and Artificial Intelligent serta teman-teman Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Untirta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan karya tulis ini masih jauh dari sempurna serta kesalahan yang penulis yakini diluar batas kemampuan penulis. Maka dari itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Penulis berharap karya tulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Cilegon, Juli 2022

Fahri Anhar Wardana

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Sel Surya .....	5
2.2 Sel Surya Perovskite .....	6
2.3 Lapisan peorvskite solar cell .....	8
2.3.1 ITO <i>glass</i> ) .....	8
2.3.2 <i>Electron Transport Layer (ETL)</i> .....	8
2.3.3 <i>Provskite</i> .....	10

2.3.4 <i>Hole Transport Layer (HTM)</i> .....	11
2.4 Proses <i>annealing</i> pada deposisi perovskite .....	12
2.5 Karakterisasi .....	14
2.1.1 <i>Solar sistem I-V</i> .....	14
2.1.2 <i>Ultraviolet-Visible Spectroscopy (Uv-Vis)</i> .....	15
2.1.3 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	15
2.1.3 <i>Scanning electron microscopy (SEM)</i> .....	16
<b>BAB III    METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	20
3.2.1 Alat yang Digunakan .....	20
3.2.2 Bahan yang Digunakan .....	21
<b>BAB IV    HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Proses Fabrikasi Sel Surya .....	30
4.2 Karakterisasi I-V Test .....	31
4.2.1 I-V Curve .....	32
4.2.2 Analisa nilai <i>power conversion efficiency</i> .....	34
4.3 Karakterisasi Absorbansi dan SEM .....	34
4.3.1 Analisa absorbansi perovskite.....	35
4.3.2 Analisa SEM .....	35
4.4 Karakterisasi XRD .....	37
<b>BAB V    KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
4.1 Diagram Alir Penelitian .....	38



4.2 Alat dan Bahan.....	40
-------------------------	----

**DAFTAR PUSTAKA**

<b>LAMPIRAN A.....</b>	<b>52</b>
------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>57</b>
-------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN C.....</b>	<b>62</b>
------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN D.....</b>	<b>71</b>
------------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Tingkat energi dan proses transfer muatan sel surya perovskite.....	7
2.2	Tingkat energi dari masing-masing material yang digunakan pada sel surya perovskite.....	9
2.3	Struktur perangkat dan tingkat energi yang sesuai dari sel Susunan skematik lapisan sel surya perovskite(a) n-i-p mesoscopic, (b) n-i-p planar,(c) p-i-n planar, and (d) p-i-n mesoscopic. ....	10
2.4	<i>Resistvity</i> dari ITiO, ITO flims, dan FTO <i>glass</i> .....	11
2.5	Struktur perangkat dan tingkat energi yang sesuai dari sel surya.....	13
2.6	Struktur Kristal Perovskite.....	14
2.7	Mikrostruktur perovskite CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> -Cl <sub>x</sub> .....	15
2.8	Model Lar Mer untuk nukleasi dan pertumbuhan film tipis perovskit dengan Ilustrasi skema nukleasi dan pertumbuhan film perovskit pada setiap tahap.....	18
2.9	pengaruh a) temperatur dan b) waktu <i>annealing</i> terhadap bentuk morfologi perovskite.....	20
2.10	Contoh kurva I-V sel surya dengan properti yang disorot .....	21
2.11	Grafik I-V sel surya (A) karakterisasi arus litrik terhadap	

	tegangan listrik (I-V) dan (B) karakterisasi daya terhadap tegangan listrik. arus listrik maksimal, tegangan listrik maksimal, dan daya maksimal dilambangkan dengan $I_m$ , $V_m$ , dan $P_{max}$ secara berturut-turut.....	23
2.12	Gambar SEM yang sudah dioleh dengan metode imagej.....	27
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
4.1	Silver Paste Yang Telah Diposisikan.....	31
4.2	Grafik I-V test sampel sel surya perovskite (a) 80°C-5menit, (b) 80°C-15menit, (c) 80°C-25menit, (d) 100°C-5menit, (e) 100°C-15menit, (f) 80°C-25menit, (f) 120°C-5menit, (g) 120°C-15menit, (h) 120°C-25menit.....	32
4.3	Grafik Absorbansi Perovskite Yang Terbentuk terhadap waktu <i>Annealing</i> yang berubah (a) Variasi 80°C, (b) variasi 100°C, (C) 120°C.....	35
4.4	<i>Thickness</i> .....	41
4.5	<i>Band gap</i> .....	42
4.6	Morfologi lapisan perovskite yang terbentuk pada (a) waktu 5 menit, (b) waktu 15 menit, (c) waktu 25 menit .....	43
4.7	<i>coverage</i> yang dihasilkan dari penelitian perovskit.....	45
4.8	Hasil XRD pada lapisan ITO/a-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /PC <sub>70</sub> BM/CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3-x</sub> Cl <sub>x</sub> .....	47
A.1	Alat karektisasi I-V Test.....	53

A.2	<i>Spin coater</i> .....	53
A.3	UV-Vis spectometri.....	53
A.4	<i>Hot plate</i> .....	54
A.5	Ruang RH.....	54
C.1	Grafik I-V variasi 80°C – 5 menit.....	62
C.2	Grafik I-V variasi 80°C – 15 menit.....	63
C.3	Grafik I-V variasi 80°C – 25 menit.....	64
C.4	Grafik I-V variasi 100°C – 5 menit.....	65
C.5	Grafik I-V variasi 100°C – 15 menit.....	66
C.6	Grafik I-V variasi 100°C – 25 menit.....	67
C.7	Grafik I-V variasi 120°C – 5 menit.....	68
C.8	Grafik I-V variasi 120°C – 15 menit.....	69
C.9	Grafik I-V variasi 120°C – 25 menit.....	70
D.1	Gambar hasil Imag J dengan variasi 100°C dan waktu 15 menit yang menggunakan perbesaran 1000 X.....	72
D.2	Gambar hasil Imag J dengan variasi 100°C dan waktu 15 menit yang menggunakan perbesaran 1000 X.....	72
D.3	Gambar hasil Imag J dengan variasi 100°C dan waktu 15 menit yang menggunakan perbesaran 1000 X.....	73

## DAFTAR TABEL

Nomer	Judul Tabel	Halaman
3.1	Jadwal Penelitian.....	17
	<i>Data Power Conversion Efficiency (PCE), Fill Factor (FF), Current Density Short Circuit (Jsc), dan Voltage Open Circuit (Voc)</i> dari test chip dan sampel perovskite solar cell dengan berbagai variasi.....	33
B.1	<i>Device properties</i> 80°C-5 menit.....	56
B.2	<i>Device properties</i> 80°C-15 menit.....	56
B.3	<i>Device properties</i> 80°C-25 menit.....	57
B.4	<i>Device properties</i> 100°C-5 menit.....	57
B.5	<i>Device properties</i> 100°C-15 menit.....	58
B.6	<i>Device properties</i> 100°C-25 menit.....	58
B.7	<i>Device properties</i> 120°C-5 menit.....	59
B.8	<i>Device properties</i> 120°C-15 menit.....	59
B.9	<i>Device properties</i> 120°C-25 menit.....	60

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi saat ini memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Pertumbuhan ekonomi di sektor bisnis, kebutuhan elektronik masyarakat, serta perubahan industri menjadi penyebab meningkatnya kebutuhan energi. Sementara itu sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang semakin langka dan mahal menjadikan terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbarukan ke sumber energi terbarukan (Hardianto,2019). Indonesia memiliki potensi energi terbarukan seperti seperti biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin, energi laut. Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang mendapat sinar matahari berlimpah sepanjang tahun, maka dari itu penggunaan sel surya merupakan alternatif sumber energi yang paling potensial di Indonesia. Sel surya merupakan teknologi konversi energi, dimana sel surya dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dengan cara melibatkan efek photovoltaic (Cho, 2017). Sel surya memiliki perkembangan yang sangat pesat dan hingga saat ini sudah berkembang hingga tiga generasi. Sel surya terbaru yaitu menggunakan struktur organik dari bahan polimer seperti sel surya perovskite (PSC) merupakan alternatif untuk sel surya silikon yang dapat menunjukkan *power conversion efficiency* (PCE) sebesar 22,1% (Cho. 2017).

Faktor yang mempengaruhi nilai PCE dari sel surya perovskite satu langkah

yaitu *annealing*. Perovskite ketika di deposisi maka dilakukan perlakuan *annealing*, proses ini berperan untuk mendorong pertumbuhan butir kristal, memastikan pembentukan kristalin perovskite, dan menghilangkan pelarut. Terdapat dua metode *annealing* yang digunakan yaitu metode satu dan dua tahap *annealing*. Proses *annealing* dua tahap memiliki tahapan yang lebih panjang dibandingkan *annealing* satu tahap tetapi mempunyai kelebihan dapat lebih mengontrol struktur butir yang terbentuk, pada *annealing* ini dilakukan *annealing* pertama dan kedua dengan dipanaskan bertahap dimana temperatur *annealing* pertama lebih rendah dari *annealing* kedua (zhao dkk, 2021). Pada penelitian sebelumnya (Eperon dkk, 2018) dengan memahami dan mengendalikan morfologi lapisan perovskite yang berasal dari komposisi  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ , sehingga disimpulkan bahwa penggunaan temperatur yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama dalam proses *annealing* dapat menghasilkan pori-pori yang lebih banyak sehingga *coverage* lapisan perovskite semakin kecil, Hal ini kemudian berdampak pada *power conversi* energi yang semakin kecil. Perovskite dengan struktur  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  mempunyai keunggulan dibandingkan dengan perovskite umum digunakan  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  yaitu mempunyai kemampuan absorbansi cahaya yang lebih baik, device properties yang lebih baik sehingga menghasilkan nilai PCE yang lebih tinggi, dan intensitas *peak* yang lebih tinggi mengakibatkan ukuran kristalin semakin besar dan jumlah *peak* yang lebih sedikit mengakibatkan kristalin yang terbentuk semakin rapih (Shi dkk, 2015). Karena proses *annealing* ini sangat penting maka penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dalam pengoptimalkan perovskite dengan struktur  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  yang menggunakan konfigurasi sel

surya ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>70</sub>BM/ CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>./PEDOT:PSS/Ag.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, masalah yang akan dibahas meliputi:

1. Bagaimana pengaruh temperatur *annealing* pada deposisi perovskite menggunakan *annealing* dua tahap dengan susunan ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>70</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>./PEDOT:PSS/Ag pada variasi temperatur 80°C, 100°C, 120 °C terhadap morfologi dan ukuran butir lapisan perovskite serta kinerja sel surya?
2. Bagaimana pengaruh waktu pemanasan kedua *annealing* dengan menggunakan variasi selama 5; 15; 25 menit terhadap morfologi dan ukuran butir lapisan perovskite serta kinerja sel surya?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukanya penelitian perovskite sel surya ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu *annealing* pada lapisan perovskite menggunakan susunan ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ PC<sub>70</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub>./PEDOT:PSS/Ag
2. Untuk membuat sel surya perovskite yang mudah dan mengoptimalkan nilai *Persen Conversion efficiency* (PCE) perovskite CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>.Cl<sub>x</sub>.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



1. Lapisan sel surya perovskite yang digunakan konfigurasi n-i-p dengan susunan ITO/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PC<sub>70</sub>BM/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>.Cl<sub>x</sub>/Ag. Substrat yang digunakan menggunakan yaitu kaca berlapis Indium Tin Oxide (ITO). Lapisan *Electron Transport Layer* (ETL) menggunakan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan PC<sub>70</sub>BM yang bersinergi dengan *active layer* yang digunakan yaitu CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>.Cl<sub>x</sub>. Lapisan *Hole Transport Layer* (HTL) menggunakan PEDOT:PSS dan elektroda yang dipakai adalah Ag.
2. Metode yang dilakukan untuk membuat lapisan adalah deposisi dengan *spin coater* untuk ETL, perovskite, dan HTL serta menggunakan sablon manual untuk deposisi elektroda Ag.
3. Karakterisasi solar sistem I-V untuk mendapatkan nilai PCE, Uvis digunakan untuk mengetahui nilai absorbansi dari setiap lapisan, serta XRD dan SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dan struktur padatan kristalin yang terbentuk.
4. Penelitian dilakukan di Laboratorium *Laboratorium Photovoltaic, Functional Device, and Artificial Intelligent Center of Excellence* (CoE) Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Pada penelitian ini terdapat dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel terikat pada penelitian ini adalah temperatur *annealing* pertama 60°C dengan waktu 3 menit dan kelembaban udara RH <40%. Sementara itu variabel bebasnya adalah temperatur yang digunakan yaitu 80°C, 100°C, dan 120°C dan waktu *annealing* 5 menit, 15 menit, 25 menit.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini dibagi menjadi tiga bab. Bab I menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang

lingkup penelitian, hipotesa awal dan sistematika penulisan penelitian. Bab II menjelaskan mengenai teori-teori dasar yang mendukung penelitian ini sekaligus sebagai acuan dalam analisis dan pembahasan. Bab III menjelaskan mengenai metode penelitian yang berisi tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur dan metode penelitian yang dilakukan mulai dari pembuatan sampel, proses karakterisasi dan morfologi meliputi uji *X-Ray Diffraction* (XRD), Karakterisasi I-V, UV-Vis dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sedangkan proses pengujian menggunakan uji tarik. Pada akhir laporan terdapat lampiran yang berisi rencana jadwal penelitian yang akan dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

Eperon, G.E., Burlakov, V.M., Docampo, P., Goriely, A., Snaith, H.J., 2014. Morphological Control for High Performance, Solution-Processed Planar Heterojunction Perovskite Solar Cells. *Adv. Funct. Mater.* 24, 151–157. <https://doi.org/10.1002/adfm.201302090>

Hardianto, 2019. Utilization of Solar Power Plant in Indonesia: A Review. *International journal of environment, engineering & education*. Vol. 1, No 1. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3634186>

Shi, Y., Xing, Y., Li, Y., Dong, Q., Wang, K., Du, Y., Bai, X., Wang, S., Chen, Z., Ma, T., 2015. CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> and CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>-xCl<sub>x</sub> in Planar or Mesoporous Perovskite Solar Cells: Comprehensive Insight into the Dependence of Performance on Architecture. *J. Phys. Chem. C* 119, 15868–15873. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b02784>

Urbain, F., Smirnov, V., Becker, J.-P., Lambertz, A., Yang, F., Ziegler, J., Kaiser, B., Jaegermann, W., Rau, U., Finger, F., 2016. Multijunction Si photocathodes with tunable photovoltages from 2.0 V to 2.8 V for light induced water splitting. *Energy Environ. Sci.* 9, 145–154. <https://doi.org/10.1039/C5EE02393A>

Zhao, J., Li, Z., Wang, M., Wang, Q., Jin, Z., 2021. Exploring the film growth in perovskite solar cells. *J. Mater. Chem. A* 9, 6029–6049. <https://doi.org/10.1039/D0TA11448K>

Ameen, S., Akhtar, M.S., Shin, H.-S., Nazeeruddin, M.K., 2018. Charge-Transporting Materials for Perovskite Solar Cells, in: *Advances in Inorganic Chemistry*. Elsevier, pp. 185–246. <https://doi.org/10.1016/bs.adioch.2018.05.009>

Bouhjar, F., Mollar, M., Ullah, S., Marí, B., Bessaïs, B., 2018. Influence of a Compact  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Layer on the Photovoltaic Performance of Perovskite-Based Solar Cells. *J. Electrochem. Soc.* 165, H30–H38. <https://doi.org/10.1149/2.1131802jes>

Green, M.A., Ho-Baillie, A., Snaith, H.J., 2014. The emergence of perovskite solar cells. *Nature Photon* 8, 506–514. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.134>  
Hou, Q., Ren, J., Chen, H., Yang, P., Shao, Q., Zhao, M., Zhao, X., He, H., Wang, N., Luo, Q., Guo, Z., 2018. Synergistic Hematite-Fullerene Electron-Extracting Layers for Improved Efficiency and Stability in Perovskite Solar Cells. *ChemElectroChem* 5, 726–731. <https://doi.org/10.1002/celec.201701054>

Jeon, N.J., Noh, J.H., Kim, Y.C., Yang, W.S., Ryu, S., Seok, S.I., 2014. Solvent engineering for high-performance inorganic–organic hybrid perovskite solar cells. *Nature Mater* 13, 897–903. <https://doi.org/10.1038/nmat4014>

MenidnaerliaalndParnodBuaktusibBaaratubVaorlaumNeas, A., 2013. ANALISIS KEBIJAKAN PENGENDALIAN PRODUKSI BATUBARA NASIONAL DALAM RANGKA MENJAMIN KEBUTUHAN ENERGI NASIONAL 9, 12.

Suarez, B., Gonzalez-Pedro, V., Ripolles, T.S., Sanchez, R.S., Otero, L., Mora-Sero, I., 2014. Recombination Study of Combined Halides (Cl, Br, I) Perovskite Solar Cells. *J. Phys. Chem. Lett.* 5, 1628–1635. <https://doi.org/10.1021/jz5006797>

Suresh Kumar, N., Chandra Babu Naidu, K., 2021. A review on perovskite solar cells (PSCs), materials and applications. *Journal of Materiomics* 7, 940–956. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2021.04.002>

Yang, Y., Liu, C., Cai, M., Liao, Y., Ding, Y., Ma, S., Liu, X., Guli, M., Dai, S., Nazeeruddin, M.K., 2020. Dimension-Controlled Growth of Antimony-Based Perovskite-like Halides for Lead-Free and Semitransparent Photovoltaics. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 12, 17062–17069. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c00681>

Petrović, M., Chellappan, V., & Ramakrishna, S. (2015). Perovskites: Solar cells & engineering applications - materials and device developments. *Solar Energy* 122 (2015) 678–699 <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.09.041>

Michel, C. R., López, E. R., & Zea, H. R. (2006). Synthesis of GdCo<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> (x = 0, 0.15, 0.30) perovskites by ultrasonic spray pyrolysis. *Materials Research Bulletin* 41 (2006) 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2005.07.012>

Suseno triswan dan Haryadi Harta 2013. ANALISIS KEBIJAKAN PENGENDALIAN PRODUKSI BATUBARA NASIONAL DALAM RANGKA MENJAMIN KEBUTUHAN ENERGI NASIONAL. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* Volume 9, Nomor 1,

Cho, S. Paek, G. Grancini, C. Roldán Carmona, P. Gao, Y. H. Lee and M. K. Nazeeruddin, *Energy Environ. Sci.*, 2017, DOI: 10.1039/C6EE03182J.

Deng, Y., Wang, Q., Yuan, Y., Huang, J., 2015. Vividly colorful hybrid perovskite solar cells by doctor-blade coating with perovskite photonic nanostructures. *Mater. Horiz.* 2, 578–583. <https://doi.org/10.1039/C5MH00126A>

<https://www.ossila.com/pages/solar-cells-theory> [Diakses pada tanggal 27 Juni 2021 Pukul 4.18. WIB]

Li, S., Cao, Y.-L., Li, W.-H., Bo, Z.-S., 2021. A brief review of hole transporting

materials commonly used in perovskite solar cells. *Rare Met.* 40, 2712–2729. <https://doi.org/10.1007/s12598-020-01691-z>

Pitchaiya, S., Natarajan, M., Santhanam, A., Asokan, V., Yuvapragasam, A., Madurai Ramakrishnan, V., Palanisamy, S.E., Sundaram, S., Velauthapillai, D., 2020. A review on the classification of organic/inorganic/carbonaceous hole transporting materials for perovskite solar cell application. *Arabian Journal of Chemistry* 13, 2526–2557. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.06.006>

Shirahata, Y., Oku, T., 2018. Microstructures, optical and photovoltaic properties of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3(1-x)}\text{Cl}_x$  perovskite films with CuSCN additive. *Mater. Res. Express* 5, 055504. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aac183>

Markvart, T., & Castañer, L. (2018). Principles of solar cell operation. In *McEvoy's Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* (pp. 3–28). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809921-6.00001-X>

Leng, Y. (2013). *Materials Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods* (Second Edition). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9783527670772.ch2>

Sewvandi, G.A., Kodera, K., Ma, H., Nakanishi, S., Feng, Q., 2016. Antiferroelectric Nature of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  Perovskite and Its Implication for Charge Separation in Perovskite Solar Cells. *Sci Rep* 6, 30680. <https://doi.org/10.1038/srep30680>

Ivanisenko, Yu., Kulagin, R., Fedorov, V., Mazilkin, A., Scherer, T., Baretzky, B., Hahn, H., 2016. High Pressure Torsion Extrusion as a new severe plastic deformation process. *Materials Science and Engineering: A* 664, 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.008>

Song, Z., Wathage, S.C., Phillips, A.B., Heben, M.J., 2016. Pathways toward high-performance perovskite solar cells: review of recent advances in organo-metal halide perovskites for photovoltaic applications. *J. Photon. Energy* 6, 022001. <https://doi.org/10.1117/1.JPE.6.022001>

Kwak, D.-J., Moon, B.-H., Lee, D.-K., Park, C.-S., Sung, Y.-M., 2011. Comparison of transparent conductive indium tin oxide, titanium-doped indium oxide, and fluorine-doped tin oxide films for dye-sensitized solar cell application. *Journal of Electrical Engineering and Technology* 6, 684–687. <https://doi.org/10.5370/JEET.2011.6.5.684>

Lee, J., Lee, D., Jeong, D., Park, N., 2019. Control of Crystal Growth toward Scalable Fabrication of Perovskite Solar Cells. *Adv. Funct. Mater.* 29, 1807047. <https://doi.org/10.1002/adfm.201807047>

Assi, A.A., Saleh, W.R., Mohajerani, E., 2021. Effect of Metals ( Au, Ag, and Ni) as Cathode Electrode on Perovskite Solar Cells. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 722, 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/722/1/012019>

Markvart, T., Castañer, L., 2018. Principles of Solar Cell Operation, in: McEvoy's Handbook of Photovoltaics. Elsevier, pp. 3–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809921-6.00001-X>