Turnitin

by Turnitin

Submission date: 24-Apr-2025 05:12PM (UTC+0100)
Submission ID: 256513809
File name: hf8FsWAMCD4nG01KNY75.pdf (9.4M)
Word count: 18083
Character count: 104613

ANALISIS PENGARUH KECEPATAN DAN DURASI *SPIN COATING* PADA PROSES DEPOSISI *PEROVSIKTE* DENGAN KONFIGURASI ITO/TiO_2/PEROV/SPIRO-OMeTAD/Ag TERHADAP PENINGKATAN PERFORMA SEL SURYA

SKRIPSI

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

Oleh:

Alda Adelia Supriatna
3334200089

JURUSAN TEKNIK METALURGI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH KECEPATAN DAN DURASI *SPIN COATING* PADA PROSES DEPOSISI LAPISAN *PEROVSIKTE* DENGAN KONFIGURASI ITO/TIO_2/PEROV/SPIRO-OMETAD/AG TERHADAP PENINGKATAN PERFORMA SEL SURYA

SKRIPSI

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

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi Oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc	**Yus Rama Denny M., S.Si., M.Si., Ph.D**
NIP. 197804102003121001	NIP.198206222009121002

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA PENGARUH KECEPATAN DAN DURASI *SPIN COATING* PADA PROSES DEPOSISI *PEROVSIKTE* DENGAN KONFIGURASI ITO/TIO_2/PEROV/SPIRO-OMETAD/AG TERHADAP PENINGKATAN PERFORMA SEL SURYA

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Alda Adelia Supriatna

3334200089

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 8 Januari 2025

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

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

Megetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi

Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198003072005011002

ABSTRAK

Perkembangan teknologi berbasis *net zero emission* semakin mendesak di Indonesia, sejalan dengan komitmen global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca setelah *Paris Agreement*. Dalam upaya mencapai target 23% energi baru dan terbarukan (EBT) pada tahun 2025, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan energi surya yang potensinya besar di Indonesia. Tujuan penelitian adalah untuk meningkatkan efisiensi sel surya *perovskite* dengan mengevaluasi pengaruh kecepatan dan durasi *spin coating* dalam proses deposisi lapisan. Metode yang digunakan adalah deposisi *spin coating* dengan struktur ITO/TiO_2/Perov/Spiro-OMeTAD/Ag. Variabel yang diteliti mencakup variasi kecepatan pada 4000 rpm, 4500 rpm, dan 5000 rpm dan durasi pada 20 detik, 30 detik, dan 40 detik. Seluruh variasi tersebut dilakukan *annealing* dua tahap pada temperatur 60˚c selama 5 menit dan 100˚c selama 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan *spin coating* berpengaruh terhadap morfologi lapisan; semakin tinggi kecepatan, semakin rendah efisiensi konversi daya (PCE). Pada kecepatan 4000 rpm, PCE mencapai 2,34346%, sedangkan pada 4500 rpm dan 5000 rpm masing-masing menghasilkan 1,22800% dan 2,12516%. Durasi *spin coating* juga berpengaruh terhadap nilai PCE, dengan efisiensi tertinggi pada 40 detik (PCE 2,49696%), sementara pada 20 detik dan 30 detik menghasilkan nilai PCE 0,85890% dan 2,12516%.

Kata Kunci: Durasi Putar, Kecepatan Putar, PCE, *Spin Coating*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Analisa Pengaruh Kecepatan dan Durasi *Spin coating* pada Proses Deposisi Lapisan *Perovsikte* dengan Konfigurasi ITO/TiO_2/Perov/Spiro-OMeTAD/Ag terhadap Peningkatan Performa Sel Surya". skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mengerjakan tugas akhir pada program sarjana di Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, diantaranya:

1. Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Aditya Trenggono, S.T., M.Sc., selaku pembimbing I yang telah membimbing dalam penyusunan proposal skripsi ini.
3. Yus Rama Denny M., S.Si., M.Si., Ph.D, selaku pembimbing II dan Kepala Laboratorium Photovoltaic, Functional Device, and Artificial Intelligence.
4. Kedua orang tua penulis Bapak Endang Supriatna dan Ibu Delima Simbolon yang selalu menjadi sumber semangat penulis
5. Rekan-rekan teknik metalurgi serta Seluruh teman-teman Laboratorium Photovoltaic, Functional Device dan Artificial Intelligence yang selalu menemani penelitian dan menjadi tempat diskusi dalam menemukan solusi dan mendukung secara moril selama penelitian.

6. Della Ayu Muharomah, Amelia Nur Safitri, dan Annisa Yuliani yang telah membantu penulis selama melakukan penelitian dan mendengarkan keluh kesah ketika melakukan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kesalahan serta kekurangan. Penulis membuka diri atas kritik dan saran yang membangun agar bisa menyempurnakan skripsi ini. Harapannya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi generasi selanjutnya yang memerlukan bahan kajian maupun sumber referensi.

Cilegon, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i

LEMBAR PENGESAHAN ii

LEMBAR PERSETUJUAN iii

ABSTRAK iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI vii

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR xii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Batasan Masalah 4

1.5 Sistematika Penulisan 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1 Sel Surya 7

2.2 Perkembangan Sel Surya 8

2.3 Sel Surya *Perovskite* 10

2.3.1 Penyerapan Cahaya dan Pembangkitan Muatan 11

2.3.2 Pemisahan Muatan dan Aliran Arus Listrik:..... 11
2.4 Lapisan-lapisan pada Sel Surya *Perovskite*..... 14
2.4.1 *Transparent Conductive Oxide* (TCO) 15
2.4.2 *Electron Transport Layer* (ETL)..... 16
2.4.3 *Perovskite*.....17
2.4.4 *Hole Transport Layer* (HTL) 19
2.4.5 *Electrode* 20
2.5 *Spin Coating*..... 21
2.6 Karakterisai 25
2.6.1 SEM 26
2.6.2 XRD 26
2.6.3 UV-Vis..... 28
2.6.4 *Solar* I-V *Test*..... 30
BAB III METODE PENELITIAN..... 33
3.1 Diagram Alir Penelitian 33
3.2 Alat dan Bahan..... 34
3.2.1 Alat-alat yang Digunakan 34
3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan 36
3.3 Prosedur Penelitian 37
3.3.1 Pembuatan ETL..... 37
3.3.2 Pembuatan Prekursor *Perovskite*..... 37
3.3.3 Pembuatan HTL 38
3.3.4 Pencucian Substrat ITO..... 38
3.3.5 Pembuatan Perangkat Sel Surya *Perovskite*..... 39

3.4 Karakterisasi 40

BAB IV HASIL PEMBAHASAN 42

4.1 Proses Sintesis *Perovskite* $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx, ... 42

4.2 Proses Fabrikasi Sel Surya *Perovskite* 42

4.3 Pengaruh Durasi *Spin Coating* saat Deposisi *Perovskite* terhadap Performa Sel Surya 45

4.3.1 Hasil analisa XRD 45

4.3.2 Hasil Karakterisasi SEM 47

4.3.3 Hasil Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis 49

4.3.4 Hasil pengukuran IV *Test* 52

4.4 Pengaruh Kecepatan putar *Spin coating* saat Deposisi *Perovskite* terhadap Performa Sel Surya 54

4.4.1 Hasil Analisa XRD 54

4.4.2 Hasil Karakterisasi SEM 57

4.4.3 Hasil Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis 59

4.4.4 Hasil pengukuran IV *Test* 62

BAB V KESIMPULAN 65

5.1 Kesimpulan 65

5.2 Saran 65

DAFTAR PUSTAKA 67

LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN 70

LAMPIRAN B DATA PENELITIAN 74

LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN 100

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Pengaruh Waktu Putar (*Spinning Time*)..... 24

Tabel 4.1 Ukuran Kristal *Perovskite* dengan Variasi Durasi Putar..... 47

Tabel 4.2 Persentase *Coverage* Lapisan *Perovskite* dengan Variasi Durasi..... 49

Tabel 4.3 Grafik Ketebalan Pada 20 Detik, 30 Detik, dan 40 Detik..... 51

Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Durasi Putar terhadap *Band gap*..... 51

Tabel 4.5 Parameter I-V Sel Surya *Perovskite* dengan Variasi Waktu..... 52

Tabel 4.6 Ukuran Kristal *Perovskite* dengan Variasi Kecepatan Putar 56

Tabel 4.7 Persentase *Coverage* Lapisan *Perovskite* dengan Variasi Kecepatan... 58

Tabel 4.8 Grafik Ketebalan dengan Variasi Kecepatan Putar..... 61

Tabel 4.9 Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Energi *Band gap* 61

Tabel 4.10 Parameter I-V Sel Surya *Perovskite* Variasi Kecepatan Putar..... 62

Tabel B.1 Data Persen Coverage Variasi Durasi Putar..... 84

Tabel B.2 Data Persen Coverage Variasi Kecepatan Putar..... 85

Tabel B.3 Data IV Test 20 detik 4000 rpm..... 88

Tabel B.4 Data IV Test 30 detik 4000 rpm..... 88

Tabel B.5 Data IV Test 40 detik 4000 rpm..... 89

Tabel B.6 Data IV Test 20 detik 4500 rpm..... 89

Tabel B.7 Data IV Test 30 detik 4500 rpm..... 90

Tabel B.8 Data IV Test 40 detik 4500 rpm..... 90

Tabel B.9 Data IV Test 20 detik 5000 rpm..... 91

Tabel B.10 Data IV Test 30 detik 5000 rpm..... 91

Tabel B.11 Data IV Test 40 detik 5000 rpm..... 92

Tabel B.12 Data Lengkap Hasil Pengukuran IV..... 92

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Perkembangan Sel Surya 9

Gambar 2.2 Struktur *Perovsikte* 10

Gambar 2.3 Metode Deposisi Sel Surya 1 13

Gambar 2.4 Metode Deposisi Sel Surya 2 14

Gambar 2.5 Konfigurasi Penampang Sel Surya *Perovskite* 15

Gambar 2.6 Perbedaan energi TCO jenis ITO dan FTO 16

Gambar 2.7 Struktur *Perovskite* Kubik Ideal ABX3 18

Gambar 2.8 *Spin Coating* Metode *One Step Coating* dan *Two Step Coating* 22

Gambar 2.9 Pengaruh Kecepatan dan Durasi *Spin* pada Ketebalan..... 23

Gambar 2.10 Pengaruh Kecepatan *Spin* pada Performa *Perovskite*. 24

Gambar 2.11 Hasil SEM Deposisi Lapisan *Perovskite*..... 26

Gambar 2.12 Pola XRD *Perovskite* CsPbI3 Variasi Durasi *Spin Coating* 27

Gambar 2.13 Pola XRD *Perovskite* Jurnal Rujukan 28

Gambar 2.14 Grafik Absorbansi *Perovskite* CsPbI3..... 29

Gambar 2.15 Grafik Transmitasi, Absorbansi, dan *Band Gap* 29

Gambar 2.16 Kurva *Solar* I-V *Test* 31

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 34

Gambar 3.2 Ilustrasi Daerah Pembersihan Sebelum *Screen Printing* Ag..... 40

Gambar 3.3 Ilustrasi ITO/TiO2/ CH3NH3PbI3-xBrx /Spiro-OMeTAD/Ag..... 40

Gambar 4.1 Pola XRD Lapisan *Perovskite* dengan Variasi Durasi Putar 34
5
Gambar 4.2 Morfologi *Perovskite* Perbesaran 1000x dengan Durasi Putar 40
Gambar 4.3 Grafik Absorbansi dengan Variasi Durasi Putar 40
3
Gambar 4.4 Kurva I-V Variasi Durasi *Spin coating* 55
Gambar 4.5 Pola XRD Lapisan *Perovskite* Variasi Kecepatan *Spin coating* 57
Gambar 4.6 Morfologi *Perovskite* Perbesaran 1000x dengan Kecepatan..... 40

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 34
Gambar 3.2 Ilustrasi Daerah Pembersihan Sebelum *Screen Printing* Ag 40
Gambar 3.3 Ilustrasi Sruktur Akhir Sel Surya ITO/TiO_2/ $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx /Spiro-OMeTAD/Ag 40
Gambar A.1 Kurva I-V Contoh Perhitungan I-V *Test* 71
Gambar B.1 SEM Lapisan *Perovskite* 4000 rpm 20 detik 75
Gambar B.2 SEM Lapisan *Perovskite* 4000 rpm 30 detik 76
Gambar B.3 SEM Lapisan *Perovskite* 4000 rpm 40 detik 77
Gambar B.4 SEM Lapisan *Perovskite* 4500 rpm 20 detik 78
Gambar B.5 SEM Lapisan *Perovskite* 4500 rpm 30 detik 79
Gambar B.6 SEM Lapisan *Perovskite* 4500 rpm 40 detik 80
Gambar B.7 SEM Lapisan *Perovskite* 5000 rpm 20 detik 81
Gambar B.8 SEM Lapisan *Perovskite* 5000 rpm 30 detik 82

Gambar B.9 SEM Lapisan *Perovskite* 5000 rpm 40 detik 83
Gambar B.10 SEM Tiga Pembesaran setelah *Tresshold* Variasi Durasi Putar 84
Gambar B.11 SEM Tiga Pembesaran setelah *Tresshold* Variasi Kecepatan 85
Gambar B.12 Grafik *Band gap* 20 Detik 86
Gambar B.13 Grafik *Band gap* 30 Detik 86
Gambar B. 14 Grafik *Band gap* 40 Detik 86
Gambar B.15 Grafik *Band gap* 4000 rpm 87
Gambar B.16 Grafik *Band gap* 4500 rpm 87
Gambar B.17 Grafik *Band gap* 5000 rpm 87
Gambar C.1 Air Deionisasi 101
Gambar C.2 Ag *Paste* 101
Gambar C.3 Asam Nitrat 101
Gambar C.4 Aseton 101
Gambar C.5 Asetonitril 101
Gambar C.6 Botol Kaca 101
Gambar C.7 Chlorobenzene 101
Gambar C.8 Corong 101
Gambar C.9 *Cutter* 102
Gambar C.10 *Cotton Bud* 102
Gambar C.11 Detergen 102
Gambar C.12 DMF 102
Gambar C.13 DMSO 102
Gambar C.14 *Dry Cabinet* 102
Gambar C.15 Etanol 102

Gambar C.16 FAI 102
Gambar C.17 Gas Nitrogen 103
Gambar C.18 Gelas Beker 103
Gambar C.19 *Glove Box* 103
Gambar C.20 *Hot Plate* 103
Gambar C.21 Hygrometer 103
Gambar C.22 Isopropanol 103
Gambar C.23 ITO *Glass* 103
Gambar C.24 Kaca Arloji 103
Gambar C.25 Li-TFSI 104
Gambar C.26 *Magnetic Stirrer* 104
Gambar C.27 MAI 104
Gambar C.28 Mikropipet 10-100 µl 104
Gambar C.29 Neraca Digital 104
Gambar C.30 $PbBr_2$ 104
Gambar C.31 PbI_2 104
Gambar C.32 Sablon 104
Gambar C.33 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 105
Gambar C.34 *Solar Simulator* 105
Gambar C.35 *Solar Test* I-V *System* 105
Gambar C.36 Spatula 105
Gambar C.37 Substrat Rak 105
Gambar C.38 *Spin Bar* 105
Gambar C.39 *Spin Coater* 105

Gambar C.40 Spiro-Ometad 105
Gambar C.41 *Syringe Filter* 106
Gambar C.42 Tetrabutyl Pytidine 106
Gambar C.43 Tetrabutyl Titanate 106
Gambar C.44 *Ultrasonic Bath* 106
Gambar C.45 UV *Curing Lamp* 106
Gambar C.46 UV-Vis Spektrofotometer 106

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi berbasis *net zero emission* menjadi isu yang sangat digencarkan oleh pemerintah sebagai upaya tindak lanjut dengan ditandatanganinya *Paris Agreement* pada 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat. Kesepakatan tersebut memberikan sinyal kuat bagi komitmen global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menjaga kenaikan suhu global di bawah 2˚C di atas level pra-industri. Pemerintah Indonesia mengakui urgensi untuk beralih ke sumber energi bersih dan berkelanjutan guna mencapai target-target ambisius dalam mengurangi jejak karbon. Salah satu sektor yang menjadi fokus utama dalam mencapai tujuan *net zero emission* adalah sektor energi, yang melibatkan transformasi mendalam dari sumber energi konvensional menuju sumber energi baru dan terbarukan (EBT). Permasalahan saat ini penggunaan EBT hanya sekitar 2% dari total potensi pemanfaatan EBT yang baru tercapai hingga saat ini, dengan jenis energi seperti panas bumi, tenaga air, minihidro dan makrohidro, bioenergi, tenaga surya, bayu atau angin, arus, dan gelombang [1]. Oleh karena itu, pemerintah berkomitmen mencapai target 23% untuk EBT pada tahun 2025, dan salah satu langkah untuk mencapai sasaran tersebut adalah melalui pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Indonesia secara geografis berada di sepanjang garis khatulistiwa dan menerima sinar matahari sepanjang tahun, menjadikan pemanfaatan sel surya sebagai opsi yang sangat berpotensi dalam memenuhi kebutuhan energi berbasis EBT di Indonesia. Dengan kondisi geografisnya yang mendukung, pengembangan infrastruktur PLTS dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional dan meningkatkan kontribusi energi terbarukan dalam portofolio energi nasional. Maka dari itu dalam rangka pengembangan infrastruktur PLTS di Indonesia diperlukan pengembangan riset secara terus-menerus terutama riset tentang material dasar pembuatan sel surya agar menghasilkan material dasar panel surya dengan tingkat efisiensi yang tinggi.

Perkembangan sel surya telah berlangsung dengan cepat dan hingga kini telah mencapai tiga generasi. Salah satu inovasi terbaru dalam teknologi sel surya adalah pemanfaatan struktur organik dari material polimer, seperti sel surya *perovskite*. Sel surya ini menjadi alternatif bagi sel surya silikon, dan mampu mencapai tingkat efisiensi konversi daya atau *power conversion efficiency* (PCE) sebesar lebih dari 25% [1]. Sel surya berbasis *perovskite* telah menjadi sorotan utama dalam penelitian energi terbarukan karena efisiensinya yang tinggi dan biaya produksinya yang relatif rendah. Hal ini memicu peningkatan minat dan investasi dalam pengembangan dan pembaruan sel surya berbasis *perovskite* sebagai salah satu solusi yang berpotensi membawa dampak positif dalam memenuhi kebutuhan energi global dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.

Pada sel surya berbasis *perovskite*, struktur lapisan menjadi krusial dalam menentukan performa dan efisiensi perangkat. Proses *spin coating* digunakan secara luas dalam mendeposisikan lapisan tipis pada substrat. *Spin coating* merupakan metode *batch,* film cair disebarkan oleh gaya sentrifugal ke substrat yang berputar. Deposisi dipengaruhi beberapa faktor yakni durasi *spin coating* dan kecepatan rotasi. Kecepatan dan durasi *spin coating* memiliki dampak signifikan terhadap morfologi dan kualitas lapisan *perovskite* yang dihasilkan. Kecepatan *spin coating* juga berpengaruh pada peningkatan performa sel surya seperti efisiensi, *photocurrent* atau arus listrik yang diinduksi dengan adanya cahaya, *Fill Factor* (FF), dan *open circuit voltage* (Voc) [2]. Durasi *spin coating* memengaruhi ketebalan lapisan dan ukuran kristal. Lapisan yang tipis menunjukkan dapat secara efektif menyerap cahaya, berpotensi menyebabkan *photocurrent* yang lebih tinggi karena interaksi cahayanya yang optimal [1].

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun identifikasi masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan rotasi *spin coating* 4000, 4500, dan 5000 rpm terhadap morfologi lapisan *perovskite* dan nilai performa sel surya?
2. Bagaimana pengaruh variasi durasi *spin coating* 20, 30, dan 40 detik terhadap ketebalan lapisan, ukuran kristal, derajat kristalisasi *perovskite*, dan performa sel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk membuat sel surya *perovskite* dengan susunan ITO/TiO_2/Perov/Spiro-OMeTAD/Ag dalam meningkatkan performa sel surya.
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan *spin coating* dan durasi *spin coating* pada saat deposisi lapisan *perovskite* terhadap peningkatan performa sel surya.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium *Photovoltaic, Functional Device and Artificial Intelligent*.
2. Lapisan sel surya *perovskite* menggunakan konfigurasi n-i-p dengan susunan ITO/TiO_2/$CH_3NH_3PbI_3$-xBrx/Spiro-OMeTAD/Ag. Substrat yang digunakan adalah *indium tin oxide* (ITO). Lapisan *electron transport layer* (ETL) yang digunakan adalah TiO_2. *Active layer* yang digunakan adalah *perovskite* $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx. Lapisan *hole transport layer* (HTL) yang digunakan adalah Spiro-OMeTAD dan elektroda yang digunakan adalah Ag.
3. Proses deposisi lapisan ETL, *perovskite*, dan HTL menggunakan metode *spin coater*. Sedangkan proses deposisi elektroda Ag menggunakan *screen printing*.

4. Karakterisasi menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi dari konfigurasi sel surya. UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansi, transmitansi, *band gap*, dan ketebalan lapisan *perovskite*. I-V *Test* untuk mengetahui nilai PCE, FF, Jsc, dan Voc.
5. Terdapat dua variabel, variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas yakni kecepatan *spin coating* dan durasi *spin coating* pada deposisi lapisan *perovskite*. Variabel terikat yang dihasilkan dalam penelitian ini, yakni morfologi yang terbentuk, ketebalan, nilai absorbansi, transmitansi, *band gap*, PCE, Voc, Jsc, dan FF.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab yang dilengkapi dengan daftar pustaka serta lampiran pendukung lainnya. Bab I menjelaskan mengenai latar belakang, identifikasi masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Pada Bab II menjelaskan mengenai teori dasar pendukung penelitian sebagai acuan dalam mengolah serta menganalisis data yang didapatkan. Bab III menjelaskan mengenai metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian, serta terdapat pula diagram alir, prosedur percobaan serta alat dan bahan yang digunakan. Bab IV menjelaskan mengenai data hasil yang didapatkan dari penelitian serta menganalisis hasilnya. Bab V menjelaskan mengenai kesimpulan dari hasil yang didapatkan serta saran yang dapat diberikan untuk acuan pada penelitian selanjutnya. Terdapat pula daftar pustaka yang memuat referensi yang digunakan selama penelitian dan penulisan skripsi ini.

Serta terdapat lampiran yang memaparkan data pendukung dalam penelitian dan penulisan laporan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

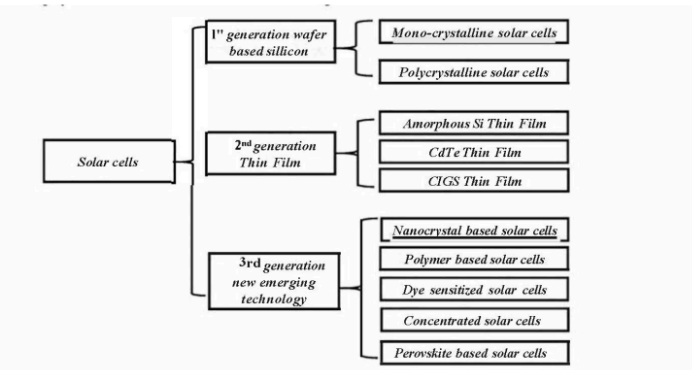
2.1 Sel Surya

Sel surya adalah perangkat *photovoltaik* utama yang dapat memaksimalkan cahaya matahari dengan mengonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya sering disebut juga sebagai sel fotovoltaik (PV). Fotovoltaik dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Sel PV bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi dari matahari, yang kemudian menyebabkan arus listrik mengalir antara dua lapisan bermuatan yang memiliki polaritas yang berlawanan. Peran utama sel fotovoltaik adalah menerima radiasi matahari sebagai cahaya murni dan mengubahnya menjadi energi listrik dalam proses konversi yang disebut efek fotovoltaik. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6 V tanpa beban atau 0,45 V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya atau modul surya. Komponen utama dalam mengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah absorben. Radiasi matahari terdiri dari berbagai jenis gelombang elektromagnetik sesuai dengan spektrumnya, sehingga diharapkan absorben dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari yang berasal dari cahaya matahari.

2.2 Perkembangan Sel Surya

Sel surya merupakan perangkat yang mengubah energi cahaya menjadi aliran listrik dengan memanfaatkan efek fotovoltaik. Charles Fritts adalah orang yang pertama kali membuat sel surya pada tahun 1880-an. Pada tahun 1931, insinyur Jerman, Dr. Bruno Lange, mengembangkan sel surya menggunakan perak selenida sebagai pengganti tembaga oksida. Meskipun sel selenium awal ini hanya mampu mengubah kurang dari 1% cahaya menjadi listrik, penemuan ini dianggap penting oleh Ernst Werner von Siemens dan James Clerk Maxwell. Berlanjut dari penelitian Russel Ohl pada tahun 1940an, para peneliti Gerald Pearson, Calvin Fuller, dan Daryl Chapin berhasil menciptakan sel surya silikon pada tahun 1954. Pada saat itu, biaya sel surya ini mencapai 286 *dollar* AS per watt dengan efisiensi berkisar antara 4,5% hingga 6%. Seiring berjalannya waktu, efisiensi sel surya meningkat secara signifikan, melebihi angka 20%, dan efisiensi maksimum penelitian fotovoltaik bahkan mencapai lebih dari 40%. Riset di bidang teknologi fotovoltaik terus berlanjut, mendorong penemuan material inovatif dan metode produksi sel surya yang baru. Dalam sejarah evolusinya, dapat diidentifikasi empat generasi dalam pengembangan sel surya [3]. Generasi pertama yakni generasi dengan kategori yang mencakup berdasarkan teknologi sel fotovoltaik silikon monokristalin, polikristalin, dan *gallium arsenide* (GaAs). Generasi kedua yakni generasi yang termasuk perkembangan dari generasi pertama teknologi sel fotovoltaik, serta pengembangan sel fotovoltaik film tipis teknologi dari *microcrystalline silicon* (µc-Si) dan *amorphous silicon* (a-Si), *copper indium gallium selenide* (CIGS) dan *cadmium telluride/cadmium sulfide* (CdTe/CdS) sel fotovoltaik. Generasi ketiga yakni generasi ini menghitung teknologi fotovoltaik

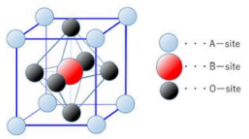
yang berbasis pada senyawa kimia yang lebih baru. Pada sel surya generasi ketiga juga menggunakan teknologi *nanocrystalline* "*film*", seperti *quantum dots* yakni sel surya yang peka terhadap pewarna, sel surya berdasarkan *polimer* organik juga termasuk dalam generasi ini. Generasi keempat yakni generasi yang termasuk ke dalam fleksibilitas rendah atau biaya tipis yang rendah polimer *film* bersama dengan daya. tahan "struktur nano anorganik yang inovatif seperti itu sebagai oksida logam dan nanopartikel logam atau bahan nano berbasis organik seperti *graphene*, *nanotube* karbon, dan turunan *graphene* [2]. Selain diklasifikasikan berdasarkan generasi, fotovoltaik dapat diklasifikasikan secara luas menjadi tiga kategori yaitu teknologi berbasis wafer, teknologi *thin film* konvensional, dan teknologi *emerging thin film*.



Gambar 2.1 Perkembangan Sel Surya [4]

2.3 Sel Surya *Perovskite*

Sel surya *perovskite* terdiri atas elektroda transparan yang biasanya berupa oksida konduktif. Terdiri atas beberapa lapisan seperti *electron transport layer* (ETL), lapisan penyerap atau biasa disebut sebagai *perovskite* yang terapit antara lapisan *transport* muatan, terdapat pula *hole transport layer* (HTL), serta terdapat *counter* elektroda dapat berupa logam. *Perovskite* pada mulanya ditemukan oleh Gustav Rose di Pegunungan Ural, Rusia pada tahun 1939 dengan komposisi kalsium titanium oksida ($CaTiO_3$). Penelitian lebih lanjut dilakukan pada tahun 1939 oleh seorang ahli mineral Rusia yaitu Count Lev Alekseevich Perovski (1972-1856) yang menjadikan material tersebut dinamai sebagai *Perovskite* [2]. Strukturnya berdasar pada struktur kubik yang terdiri dari tiga elemen sebagai ABX_3 seperti pada Gambar 2.2 [5]. Kristal *perovskite* oksida tersusun dari 2+ kation logam pada daerah A, 4+ kation logam pada daerah B, dan 2- anion oksigen pada daerah O. Kristal *perovskite* yang paling terkenal adalah CaTiO3 dan $BaTiO_3$. Setelah itu, Wells menemukan variasi kristal *perovskite* lain yang terdiri atas 1+ kation alkali (Cs+ dan K+), 2+ kation timbal (Pb^{2+}), dan 1- anion halogen (I^-, Br^- dan Cl^-) pada 1893. Sel surya *perovskite* telah menunjukkan efisiensi konversi daya yang kompetitif, dengan potensi kinerja lebih tinggi [6].



Gambar 2.2 Struktur *Perovsikte* [5]

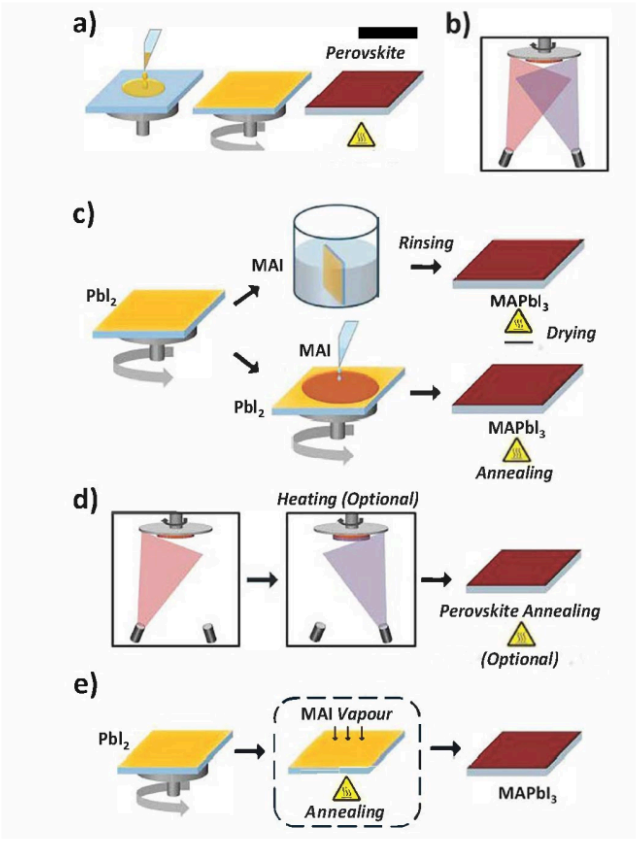
2.3.1 Penyerapan Cahaya dan Pembangkitan Muatan

Ketika cahaya matahari menghantam sel surya *perovskite*, foton (partikel cahaya) berinteraksi dengan bahan *perovskite*. Foton dengan energi yang cukup tinggi (lebih besar dari *band gap* material *perovskite*) dapat diserap oleh material tersebut. Energi yang terkandung dalam foton ini kemudian digunakan untuk menggerakkan elektron dalam material *perovskite*, meningkatkan energi elektron dari pita valensi (elektron terikat pada atom) ke pita konduksi (elektron bebas bergerak). menggerakkan elektron ini menghasilkan pasangan elektron-lubang. Elektron yang tereksitasi menjadi elektron bebas yang dapat bergerak dalam pita konduksi, sedangkan lubang yang ditinggalkan mewakili kekurangan elektron di pita valensi.

2.3.2 Pemisahan Muatan dan Aliran Arus Listrik:

Lapisan kontak selektif pada permukaan sel surya *perovskite* memainkan peran penting dalam memisahkan pasangan elektron-lubang yang dihasilkan. ETL memiliki afinitas elektron yang tinggi, sehingga menarik elektron dari pita konduksi *perovskite* ke elektroda negatif. Di sisi lain, lapisan HTL memiliki afinitas *hole* yang tinggi, sehingga mendorong lubang dari pita valensi *perovskite* ke elektroda positif. Pemisahan muatan ini menciptakan medan listrik internal dalam sel surya *perovskite*, yang mendorong aliran elektron dari elektroda negatif ke elektroda positif. Pergerakan elektron dari ETL ke elektroda negatif dan lubang dari HTL ke elektroda positif menghasilkan arus listrik. Arus listrik ini kemudian dapat digunakan untuk memberi daya pada perangkat elektronik atau diubah menjadi energi lain seperti energi kimia dalam baterai.

Proses pembuatan sel surya dapat dilakukan dengan beberapa metode sehingga dapat menghasilkan lapisan tipis yang dinginkan atau dapat di sebut juga deposisi. Metode deposisi untuk lapisan *perovskite* dapat secara umum diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu metode deposisi larutan yang lebih umum digunakan dan metode deposisi uap yang kurang umum digunakan [6]. Metode deposisi larutan adalah metode yang melibatkan penggunaan larutan untuk mendepositkan material *perovskite*. Metode deposisi larutan ini terbagi menjadi dua jenis yakni *one step deposition* dan *sequential deposition*. *One step deposition* atau deposisi satu langkah adalah metode deposisi yakni kedua prekursor dicampur dalam larutan yang sama dan dideposisikan bersamaan. Sedangkan, *sequential deposition* (deposisi berurutan) adalah metode dimana salah satu prekursor dideposisikan terlebih dahulu, diikuti oleh prekursor lainnya. Ini bisa dilakukan dengan merendam substrat ke dalam larutan prekursor atau dengan menggunakan teknik *spin coating* pada prekursor yang lain. Metode deposisi uap mencakup beberapa teknik, termasuk *co-deposition, sequential deposition*, dan proses solusi bantu uap (*vapor-assisted solution process* - VASP). *Co-deposition* adalah metode di mana dua atau lebih bahan dideposisikan secara bersamaan dari fasa uap untuk membentuk lapisan *perovskite*. *Sequential deposition* adalah metode ini melibatkan deposisi prekursor secara berurutan, yaitu satu prekursor dideposisikan terlebih dahulu diikuti oleh deposisi prekursor lainnya. Sedangkan, *vapor-assisted solution process* (VASP) adalah proses di mana fasa uap digunakan untuk membantu proses larutan. Biasanya, lapisan yang dihasilkan adalah hasil dari interaksi antara larutan dan fasa uap. Ilustrasi metode deposisi sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.

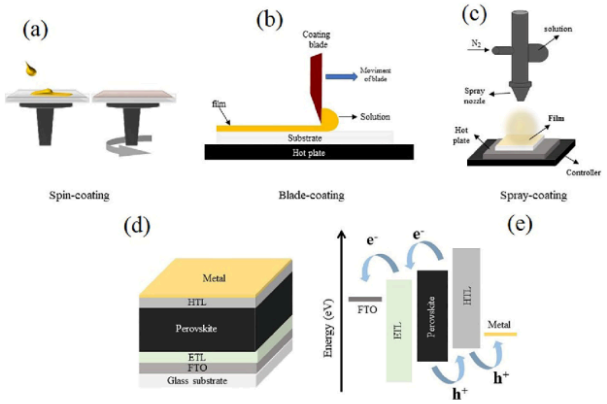


32

Gambar 2.3 Metode Deposisi Sel Surya 1 a) *Solution-Based One Step Method* b) *Co-Evaporation* c) *Solution-Based Two-Step Method* d) *Sequential Evaporation* e) *Vapor-Assisted Solution Process* (VASP).[6]

Metode deposisi lain yang umum digunakan antara lain adalah *spray coating*, *dip coating*, dan *spin coating*. *Spray coating* adalah metode larutan atau suspensi bahan fotovoltaik disemprotkan secara merata pada substrat. Metode ini efisien dalam menutupi area yang luas dengan cepat. Metode *dip coating* adalah metode

deposisi substrat dicelupkan ke dalam larutan bahan fotovoltaik sehingga membentuk lapisan tipis saat ditarik keluar. Pendekatan ini memungkinkan pengendalian yang baik terhadap ketebalan lapisan. Sedangkan metode *spin coating* adalah metode deposisi bahan fotovoltaik diberikan pada substrat yang berputar dengan kecepatan tinggi. Proses ini menghasilkan lapisan tipis yang merata karena efek sentrifugal, dan kecepatan rotasi serta durasi putaran dapat diatur untuk mengontrol ketebalan lapisan dengan presisi.

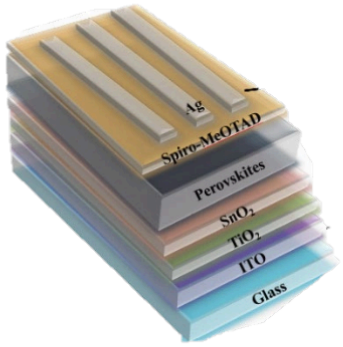


Gambar 2.4 Metode Deposisi Sel Surya 2 [7]

2.4 Lapisan-lapisan pada Sel Surya *Perovskite*

Lapisan-lapisan dalam *perovskite solar cell* memiliki peran sangat krusial untuk meningkatkan PCE. Dalam pembentukan lapisan, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah menciptakan keselarasan energi yang optimal. Keselarasan energi yang baik pada lapisan-lapisan ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan mobilitas elektron dan *hole*. Terdiri atas beberapa lapisan seperti ETL, lapisan penyerap atau biasa disebut sebagai *perovskite*, HTL, dan *counter*

elektroda dapat berupa logam [6]. Prinsip kerja sel surya adalah cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan *elektron* yang bermuatan positif dan *hole* yang bermuatan negatif kemudian elektron dan *hole* mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric* [8].

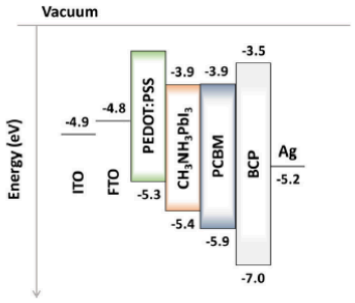


Gambar 2.5 Konfigurasi Penampang Sel Surya *Perovskite* [9]

2.4.1 *Transparent Conductive Oxide* (TCO)

Transparent conductive oxide (TCO) merupakan substrat kaca biasanya menggunakan material *glass* ataupun *quartz* yang dilapisi oleh material konduktif. Lapisan TCO sering dimanfaatkan sebagai elektroda pada perangkat sel surya karena memiliki sifat transparan yang dapat meneruskan cahaya dengan sangat baik (sekitar 90%) pada panjang gelombang cahaya tampak serta memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Terdapat beberapa jenis TCO yang dapat digunakan pada pembuatan sel surya *perovskite* seperti FTO dan ITO. Penggunaan ITO sebagai substrat kaca menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan FTO, terutama dalam nilai J_{SC}, hal ini di sebabkan oleh resistansi listrik yang lebih rendah dan transmittansi yang lebih tinggi

dalam rentang panjang gelombang tertentu (460 nm hingga 750 nm). Pada gambar 2. Memperlihatkan terdapat perbedaan kecil pada band edges konduksi antara ITO dan FTO (sekitar 0,1 eV), hal ini tidak mempengaruhi tegangan buka (Voc) ketika menggunakan lapisan PEDOT:PSS sebagai hole transport layer (HTL) [10].



Gambar 2.6 Perbedaan energi TCO jenis ITO dan FTO [10]

2.4.2 *Electron Transport Layer* (ETL)

Electron transport layer (ETL) biasanya dapat disebut sebagai lapisan ektraksi elektron atau lapisan tempat elektron berkumpul. ETL memainkan fungsi penting dalam mengekstraksi dan mengangkut elektron, memodifikasi antarmuka, menyelaraskan tingkat energi antarmuka, dan meminimalkan rekombinasi muatan dalam sel surya *perovskite*. Performa dari perangkat sel surya dapat dipengaruhi oleh morfologi partikel ETL untuk membentuk lapisan *perovskite*. TiO_2 (*titanium dioxide*) adalah bahan yang umumnya digunakan sebagai ETL dalam sel surya *perovskite*. Sel surya *perovskite* menggunakan titanium dioksida (TiO_2) sebagai elektron transport layer (ETL) dalam sel surya *perovskite* memiliki beberapa kelebihan yakni sebagai berikut.

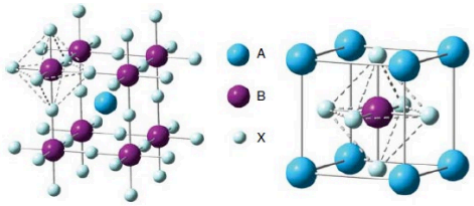
a. TiO_2 memiliki efisiensi yang tinggi dalam mengangkut elektron sehingga meningkatkan kinerja sel surya *perovskite*
b. TiO_2 memiliki stabilitas yang baik, yang memungkinkan sel surya *perovskite* dengan ETL TiO_2 untuk memiliki kinerja yang stabil dalam waktu yang lama
c. Ketebalan lapisan TiO_2 mempengaruhi sifat optik dan listrik sel surya *perovskite*, dengan ketebalan lebih tipis yang membawa ke efisiensi yang lebih tinggi.

2.4.3 *Perovskite*

Perovskite merupakan bahan semikonduktor yang memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai lapisan aktif dalam sel surya. *Perovskite* mampu menyerap cahaya matahari dengan berbagai panjang gelombang dan mengubahnya menjadi energi listrik. Ketika cahaya matahari mengenai *perovskite*, elektron tereksitasi dari valensi ke pita konduksi. Elektron ini kemudian bergerak menuju lapisan ETL yang bermuatan negatif, sedangkan lubang bergerak menuju lapisan HTL yang bermuatan positif. Perbedaan potensial antara ETL dan HTL menghasilkan aliran arus listrik ketika dihubungkan dengan sirkuit eksternal. *Perovskite* dipilih sebagai bahan utama dalam sel surya karena memiliki beberapa keunggulan signifikan dibandingkan bahan sel surya tradisional seperti silikon. *Perovskite* memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi dan terus meningkat, mencapai lebih dari 25%. Kedua, proses produksi *perovskite* lebih murah dan sederhana, memungkinkan produksi sel surya dengan biaya yang lebih rendah. Ketiga, *perovskite* dapat dibuat menjadi sel surya yang fleksibel, membuka peluang

untuk aplikasi baru. Selain itu, *perovskite* juga memiliki toleransi terhadap cacat yang tinggi, sehingga memudahkan proses fabrikasi.

Perovskite ditemukan pada tahun 1839 oleh Gustav Rose dan dinamai menurut nama ahli mineralogi Rusia, Lew Alexejewitsch Perovski. *Perovskite* merupakan keluarga senyawa kristal yang memiliki struktur kristal mirip dengan mineral induk kalsium titanat ($CaTiO_3$). Kelas material ini umumnya digambarkan dengan rumus kimia ABX_3. Pada stuktur *perovskite* ABX3 terdapat kation A yang bermuatan monovalent dengan ukuran besar, menempati situs koordinasi 12 di tengah kubus, dan membentuk kuboktahedron. Pada struktur *perovskite* juga terdapat Kation B bermuatan divalen dan berukuran lebih kecil yang membentuk oktahedra BX6 yang berbagi sudut dalam kerangka *perovskite* 3D. Kompleksitas konfigurasi *perovskite* yang tinggi ini menyebabkan peningkatan efisiensi. Semakin kompleks *perovskite*, semakin tinggi fleksibilitas sifat fungsionalnya, yang bergantung pada struktur konfigurasi, morfologi *grain*, dan sifat optoelektronik. Pada gambar terdapat ilustrasi struktur *perovskite* kubik ideal ABX_3. Pada Gambar 2.7 dijelaskan terdapat jaringan tiga dimensi yang terdiri dari oktahedra BX_6 yang saling berbagi sudut. Oktahedra BX_6 mengelilingi kation A yang berukuran lebih besar dan menempati posisi situs A.



Gambar 2.7 Struktur *Perovskite* Kubik Ideal ABX_3 [11]

Perovskite hibrida organik-anorganik menarik minat peneliti karena sifatnya yang luar biasa untuk aplikasi optoelektronika. Sifat tersebut meliputi koefisien absorpsi yang tinggi, waktu hidup *carrier* yang panjang, dan yang paling unik adalah toleransi *defect* yang tinggi, memungkinkan fabrikasi lapisan tipis yang mudah dan murah. Namun, untuk memenuhi persyaratan komersialisasi sel surya *perovskite* (PSC), stabilitas menjadi tantangan terpenting saat ini. Untuk memprediksikan kestabilan material *perovskite* maka harus diketahui faktor toleransi goldschmids. Faktor toleransi goldschmids membantu untuk mengetahui sejauh mana fleksibilitas Pemilihan unsur yang dapat menempati situs A, B, X dalam rumus kimia ABX_3 dalam rangka membentuk material *perovskite* yang stabil. Secara umum, faktor toleransi (t) memiliki nilai optimal antara $0,9 < t < 1$. Nilai ini didasarkan pada ukuran relatif kation A dan B terhadap anion X.

Salah satu material *perovskite* penyerap cahaya yang banyak digunakan adalah *methylammonium lead trihalide* ($MAPbX_3$). *Methylammonium lead iodide* ($CH_3NH_3PbI_3$, $MAPbI_3$) merupakan prototipe *perovskite* hibrida organik-anorganik. *Methylammonium lead iodide* merupakan material semikonduktor dengan celah pita langsung (*direct band gap*) sebesar 1,55 eV yang sesuai dengan *absorption onset* 800 nm, sehingga penyerap cahaya lebih efisien dibandingkan material lain [11]. Pada *methylammonium lead iodide* yang menempati kation $A = MA^+$ dan FA^+, $B = Pb^{2+}$, dan $X = Cl^-$, Br^-, I^-.

2.4.4 *Hole Transport Layer (HTL)*

Hole transport layer (HTL) berperan sebagai lapisan penerima *hole* yang diekstraksi dari lapisan *perovskite* dalam sel surya. HTL menerima *hole*

ini dan menjadi bermuatan positif. Sifat-sifat yang ideal dari material HTL adalah keselarasan tingkat energi, konduktivitas pembawa muatan yang tinggi, kemampuan proses larutan yang baik, dan ketahanan terhadap kelembaban dan degradasi. Pada HTL keselarasan tingkat energi yang sesuai dengan material *perovskite* diperlukan agar transfer *hole* dapat terjadi dengan efisien. Pada konduktivitas pembawa muatan yang tinggi pada HTL diperlukan agar *hole* dapat bergerak dengan mudah dalam HTL. HTL juga diperlukan kemampuan proses larutan yang baik agar HTL dapat dibuat dengan mudah dan murah. HTL yang baik juga harus memiliki ketahanan terhadap kelembaban yang baik agar dapat stabil dan tahan lama. Salah satu material HTL yang banyak digunakan adalah Spiro-Ometad, yang memiliki konduktivitas lubang yang tinggi dan keselarasan tingkat energi yang baik dengan *perovskite*. Spiro-Ometad memungkinkan transfer lubang dari *perovskite* ke HTL dengan mudah dan efisien, serta memastikan bahwa transfer lubang terjadi dengan minimal kehilangan energi. Meskipun memiliki banyak kelebihan, Spiro-Ometad memiliki beberapa kekurangan seperti harga yang relatif mahal dan proses pembuatan yang kompleks.

2.4.5 *Electrode*

Material yang umum digunakan sebagai elektroda depan adalah emas (Au) dan perak (Ag) dengan metode evaporasi. Namun, metode evaporasi memiliki beberapa kekurangan, seperti membutuhkan energi dan biaya yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang lebih hemat energi dan biaya. Salah satu metode yang deposisi elektroda adalah metode sablon (*screen printing*) menggunakan pasta perak konduktor. Metode sablon

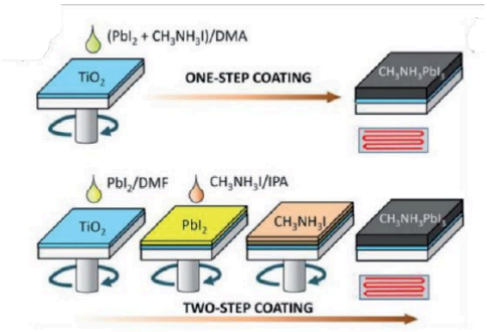
memiliki beberapa keunggulan dibandingkan evaporasi, seperti lebih hemat energi, lebih hemat biaya, peralatan dan bahan baku untuk sablon relatif lebih murah, serta proses yang lebih sederhana. Konduktivitas yang tinggi memungkinkan elektron mengalir dengan mudah, sedangkan ketahanan lama memperpanjang umur sel surya.

2.5 *Spin Coating*

Spin coating merupakan salah satu metode sintesis sel surya *perovskite*. *Spin coating* termasuk dalam kelompok metode *solution-chemistry approaches*, yakni pendekatan kimia yang melibatkan penggunaan larutan dalam proses persiapan atau sintesis material *perovskite*. Metode lain yang yang termaksud dalam *solution-chemistry approaches* adalah *anti-solvent crystallization* dan *inverse temperature crystallization* [12]. Proses tersebut memiliki keuntungan yaitu murah dan proses sintesisnya mudah. Proses *spin coating* melibatkan penyebaran larutan atau suspensi bahan fotovoltaik pada permukaan substrat yang berputar dengan kecepatan tinggi. Penggunaan gaya sentrifugal membuat bahan tersebut merata dan membentuk lapisan tipis dengan ketebalan yang dapat dikendalikan.

Metode *spin coating* ini merupakan metode dengan proses yang cepat dan terkenal untuk fabrikasi PSC dengan cara membuat lapisan *spin* [2]. Kecepatan rotasi *spin coating* dan durasi putaran memainkan peran penting dalam membentuk morfologi dan karakteristik lapisan *perovskite* pada sel surya. Teknik ini selain memberikan keunggulan dalam efisiensi waktu, juga dapat memberikan pengendalian ketebalan lapisan.

Metode *spin coating* dapat dilakukan dengan dua cara yakni *one step coating* dan *two step coating*. *One step coating* adalah metode yang umun digunakan karena biaya produksinya sangat terjangkau dan mudah dilakukan. Pada *one step coating*, larutan prekursor *perovskite* diaplikasikan langsung ke permukaan substrat dan membentuk film *perovskite*. Kekurangan dari *one step coating* adalah lapisan yang terbentuk tidak seragam serta adanya pori-pori pada permukaan yang disebabkan oleh kristalisasi yang lambat. Selain itu, *one step coating* memiliki kekurangan lain yakni penyusutan volume film yang berdampak pada kualitas film [12]. Maka dari itu terdapat metode lain yakni metode *two step coating* yang dapat menutupi kekurangan metode *one step coating*. Gambar 2.8 adalah skema *spin coating* dengan metode *one step coating* dan *two step coating*.

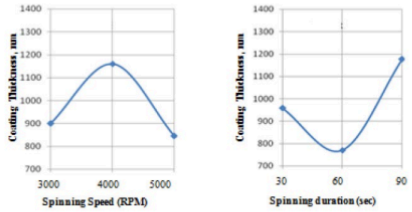


Gambar 2.8 Skema *Spin Coating* dengan Metode *One Step Coating* dan *Two Step Coating* [12]

2.5.1 Durasi *Spin Coating*

Durasi *spin coating* akan mempengaruhi sifat-sifat lapisan yang terbentuk, karena menghilangkan lebih banyak larutan dari substrat yang mengakibatkan penurunan ketebalan lapisan dan morfologi permukaan. Durasi

spin coating ada hubungannya dengan ketebalan lapisan. Efek ketebalan menunjukkan bahwa lapisan yang lebih tipis memiliki *photocurrent* yang lebih tinggi densitasnya dibandingkan dengan lapisan yang relatif lebih tebal karena daya serap yang tinggi [13]. Pada gambar menunjukkan bahwa ketebalan lapisan menurun dengan bertambahnya durasi *spin coating* dari 30 menjadi 60 detik dan ketebalan lapisan meningkat dengan bertambahnya durasi *spin coating* dari 60 menjadi 90.



Gambar 2.9 Pengaruh Kecepatan dan Durasi *Spin* pada Ketebalan [2]

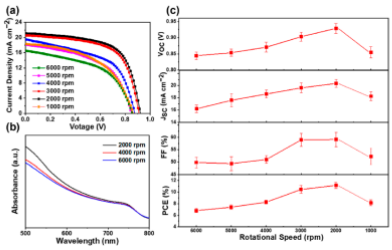
Pada penelitian lain yang telah dilakukan oleh [14] pengaruh waktu putar (*spinning time*) terhadap efisiensi konversi daya (PCE) dari sel surya *perovskite* tanpa lapisan pengangkut lubang (HT-*free* PSC) dengan variasi waktu putar 30, 45, dan 60 detik. Pada penelitian tersebut menghasilkan PCE tertinggi adalah 5,74%, yang diperoleh pada waktu putar 60 detik. Peningkatan waktu putar berkontribusi pada peningkatan kristalinitas dan ukuran butir *perovskite*. Selain itu parameter fotovoltaik seperti Jsc, Voc, dan FF meningkat seiring dengan meningkatnya waktu putar [14].

Tabel 2.1 Pengaruh Waktu Putar (*Spinning Time*)[13]

Spinning time (s)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/ cm^2)	FF (%)	PCE (%)	R_s ($\Omega.cm^2$)	R_{sh} ($\Omega.cm^2$)
30	0,756	9,586	0,484	3,506	22,5	310,33
45	0,654	10,633	0,518	3,6	14,43	264,09
60	0,8845	12,092	0,537	5,742	11,46	313,28

2.5.2 Kecepatan Rotasi *Spin Coating*

Kecepatan rotasi berpengaruh pada morfologi *film* yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh efek dilusi larutan melalui substrat yang bervariasi tergantung pada kecepatan rotasi yang akan mengubah gaya sentrifugal yang bertanggung jawab pada penyebaran (*solution*) semakin cepat maka transmitansi yang dihasilkan maksimum karena semakin sedikit larutan yang tersisa selama proses. Untuk performa *perovskite* berdasarkan kecepatan rotasinya dapat dilihat pada Gambar 2.10 saat kecepatan paling rendah menuju kecepatan 3000 rpm, ada peningkatan performa sel surya seperti efisiensi, *photocurrent* atau arus listrik yang diinduksi dengan adanya cahaya, FF dan Voc. Sedangkan setelah 3000 rpm, performanya menurun.



Gambar 2.10 Pengaruh Kecepatan *Spin* pada Performa *Perovskite* [15].

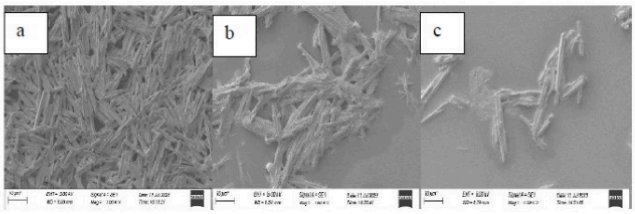
2.6 Karakterisasi

Karakterisasi merupakan proses untuk menentukan sifat-sifat material, seperti struktur, komposisi, dan morfologi, untuk memahami, mengembangkan, dan menggunakannya secara efektif. Adapun syarat ideal suatu material untuk digunakan dalam sel surya adalah kemampuan sel surya mencapai efisiensi yang tinggi. Untuk mencapai sel surya dengan efisiensi yang tinggi ada beberapa syarat penting yang harus dipenuhi yakni kemampuan menyerap cahaya dalam spektrum matahari secara efisien pada panjang gelombang sekitar 400-1200 nm (koefisien absorpsi tinggi), dan lebar celah pita (band gap) yang sesuai yakni sekitar 1,3 hingga 1,4 eV. Selain itu, perovkite harus memiliki ukuran butir yang seragam dan besar untuk mengurangi batas butir, yang merupakan tempat terjadinya rekombinasi. Selain itu, perovkite yang baik harus memiliki stabilitas yang tinggi dalam jangka waktu yang lama, aman bagi lingkungan, dan dapat proses pembuatan atau produksi dengan biaya yang efisien sepeti menggunakan metode *spin coating*.

Penelitian ini menggunakan empat metode karakterisasi untuk mengevaluasi kinerja sel surya secara menyeluruh. Sistem Pengukur I-V digunakan untuk mengukur parameter penting seperti PCE, FF, dan Voc. U-Vis memberikan informasi tentang absorbansi, transmittasi, *band gap*, dan ketebalan. *Scanning Electron Microscope* (SEM) mengungkapkan morfologi permukaan sel surya, memberikan wawasan tentang struktur mikro dan cacat yang dapat memengaruhi performanya. X-ray Diffraction (XRD) menganalisis struktur padatan kristalin yang terbentuk, memberikan informasi tentang fase material dan orientasi kristal.

2.6.1 SEM

Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi sampel. Cara kerja SEM sama seperti mikroskop hanya saja jenis mikroskopnya elektron sehingga menghasilkan gambar sampel dengan cara memindai permukaan menggunakan sinar elektron yang terfokus dengan pembesaran hingga skala tertentu. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, menghasilkan berbagai sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan dengan resolusi sekitar 0,1–0,2 nm. Pemindaian SEM dilakukan dari atas permukaan lapisan. Berikut adalah hasil karakterisasi SEM pada lapisan *perovskite*.

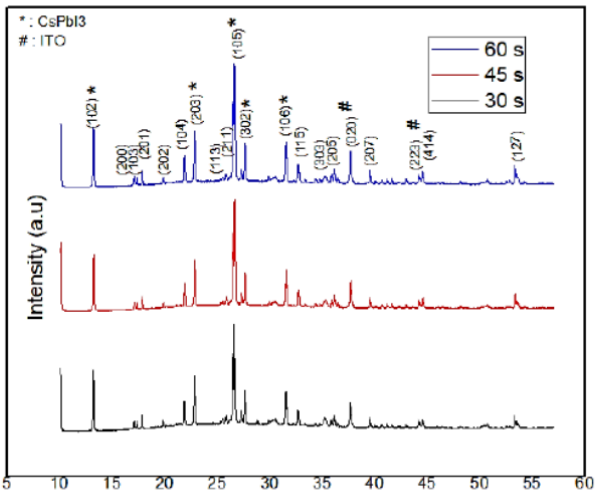


Gambar 2.11 Hasil SEM Deposisi Lapisan *Perovskite* (a) 2000 rpm 1000x, (b) 3000 rpm 1000x, (c) 4000 rpm 1000x [2].

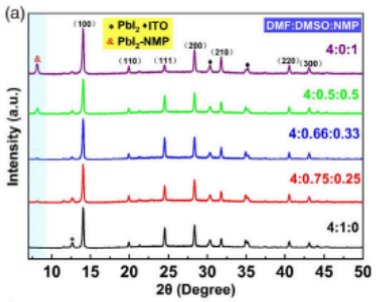
2.6.2 XRD

XRD didapatkan nilai Intensitas. Intensitas puncak difraksi adalah parameter yang mengukur kekuatan sinyal difraksi sinar-X dari suatu kristal atau material semakin besar intensitas maka kekuatan sinyal semakin besar. Selain itu, intensitas memberikan informasi tentang pola kisi kristal suatu bahan, dan kekuatan puncak ini terkait dengan jumlah kristal yang ada dalam sampel. Kemudian XRD dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa

kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Karakterisasi XRD digunakan sebagai alat pengukuran struktural dengan tujuan untuk mengidentifikasi fasa, komposisi fasa, struktur kristal, dan ukuran kristal yang terkandung dalam *perovskite* sel surya. Ukuran Kristal yang besar diharapkan karena Kristal *perovskite* yang lebih besar cenderung memiliki batas butir yang lebih sedikit, yang mengurangi kepadatan cacat dan meningkatkan transportasi muatan [15]. Pada karakterisasi XRD identifikasi dilakukan untuk melihat pengaruh variasi durasi *spin coating* yaitu 30 detik, 45 detik, dan 60 detik terhadap pola XRD dapat dilihat pada Gambar 2.12. selanjutnya pada Gambar 2.13 pada bagian konsentrasi 4:1:0 adalah *perovskite* $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx rujukan dalam sintesis *perovskite* pada penelitian ini.



Gambar 2.12 Pola XRD Lapisan *Perovskite* $CsPbI_3$ dengan Variasi Durasi *Spin Coating* [2]

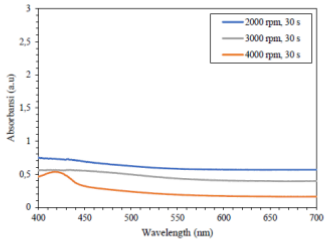


Gambar 2.13 Pola XRD *Perovskite* Jurnal Rujukan [16]

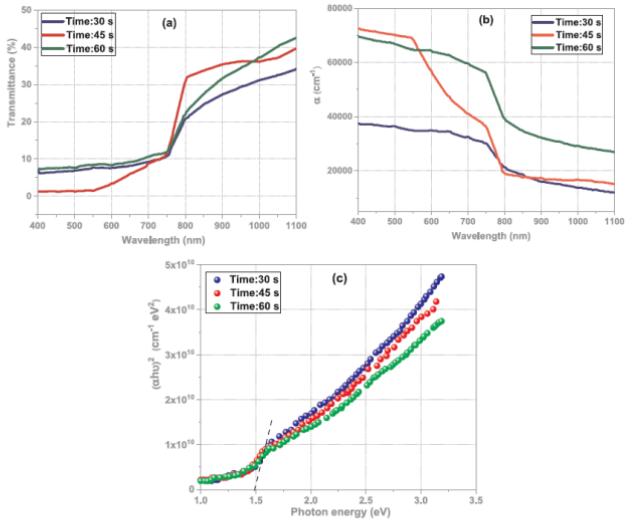
2.6.3 UV-Vis

UV-Vis merupakan teknik analisis yang memanfaatkan cahaya ultraviolet dan sinar tampak untuk mengukur absorbansi material. Dalam teknik ini, cahaya dilewatkan dan sebagian cahaya akan diserap oleh material, sedangkan sisanya dilewatkan. Nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi material dalam sampel. Semakin banyak cahaya yang diserap, semakin tinggi pula konsentrasinya. Hasil pengukuran absorbansi kemudian digambarkan dalam bentuk grafik absorbansi terhadap panjang gelombang. Spektroskop UV-Vis memiliki beberapa keunggulan, antara lain mudah digunakan dan relatif murah. Bahan *perovskite*, seperti Methylamine lead iodide (CH3NH3PbI3), menunjukkan efisiensi penyerapan tinggi di rentang panjang gelombang yang luas 400-1200 nm. Rentang luas ini memungkinkan mereka untuk menangkap sebagian besar spektrum matahari [17]. Selain itu dari data absorbansi didapat juga data *band gap.* Pada penelitian yang di lakukan oleh sutter fella et al. didapatkan band gap untuk perovkite dengan komposisi campuran iodida

dan bromida ideal pada 1,3 hingga 1,4 eV[18]. Adapun bentuk output grafik absorbansi dari *perovskite* $CsPbI_3$ dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Grafik Absorbansi *Perovskite* $CsPbI_3$[2]



Gambar 2.15 Grafik Transmitasi, Absorbansi, dan *Band Gap perovskite* dengan Variasi Waktu Putar [14]

Gambar 2.15 adalah hasil karakterisasi UV-Vis berupa grafik transmitasi, absorbansi, dan *band gap*. Kemudian untuk menghitung *band gap* atau celah pita *optic* menggunakan metode tauc plot, melalui persamaan [2]:

$$(hva)^{1/\eta}=A(hv-Eg) \quad \text{..... (2.1)}$$

Dengan :

h = Konstanta Planck (6,63 x 10^{-34} J.s)

V = Frekuensi c/λ

Eg = *Band gap*

A = Konstanta proporsional

η = Sifat dari transisi sampel

Selain *band gap*, dari UV-Vis dapat diketahui pula tebal lapisan yang terbentuk, melalui persamaan berikut

$$d = \frac{\lambda_1 \times \lambda_2}{\lambda_1 n_1 \times \lambda_2 n_1} \quad \text{..... (2.2)}$$

Dengan :

d = Ketebalan sampel (nm)

λ_1 = Panjang Gelombang di Titik Minimal (nm)

λ_2 = Panjang Gelombang di Titik Maksimal (nm)

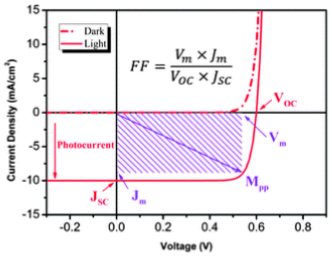
n_1 = Index Bias di Titik Minimal (nm)

n_2 = Index Bias di Titik Maksimal (nm)

2.6.4 *Solar* I-V *Test*

Solar I-V *Test* atau Sistem Pengukur I-V merupakan metode penting untuk mengevaluasi kinerja perangkat listrik dengan mengukur hubungan antara arus (I) dan tegangan (V) yang mengalir melaluinya. Hasil pengukuran ini kemudian digambarkan dalam bentuk kurva I-V, yang memberikan

informasi visual tentang bagaimana perangkat berperilaku di bawah berbagai kondisi operasi.



Gambar 2.16 Kurva *Solar* I-V *Test* [2]

Kurva I-V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 merupakan representasi grafis dari hubungan antara tegangan yang diterapkan pada perangkat dan arus yang dihasilkan. Dari kurva ini, kita dapat memperoleh berbagai informasi penting tentang perangkat, seperti

a. Efisiensi Konversi Daya (PCE): Mengukur seberapa efektif perangkat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik.

$$PCE = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{J_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}} \quad \text{..... (2.3)}$$

b. *Fill Factor* (FF): Mengukur seberapa dekat kurva I-V mendekati persegi panjang ideal, menunjukkan efisiensi penggunaan tegangan dan arus. FF merupakan rasio daya keluaran perangkat dengan daya ketika tidak ada hambatan. FF dapat dihitung dengan membagi daya keluaran maksimum (pout) dengan potensi daya maksimum (Jsc dan Voc) . atau dapat menggunakan persamaan:

$$FF=\frac{I_m \times V_m}{J_{sc} \times V_{oc}} \quad \text{.....(2.4)}$$

c. Arus Sirkuit Pendek (Jsc): Arus maksimum yang dihasilkan perangkat ketika tegangannya nol.
d. Tegangan Sirkuit Terbuka (Voc): Tegangan maksimum yang dihasilkan perangkat ketika arusnya nol.

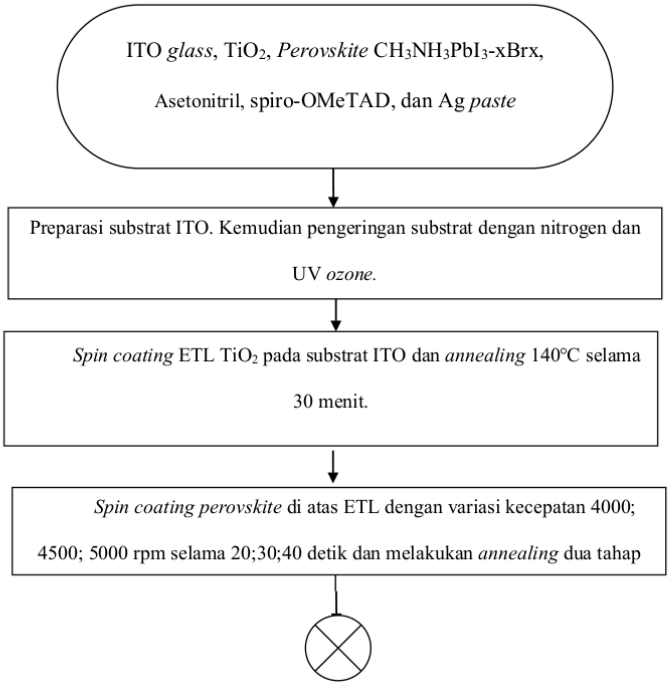
Syarat ideal suatu material untuk digunakan dalam sel surya meliputi kemampuan menyerap cahaya dalam spektrum matahari secara efisien (koefisien absorpsi tinggi), lebar celah pita (band gap) yang sesuai untuk menghasilkan tegangan yang optimal, mobilitas elektron dan lubang yang tinggi agar muatan dapat bergerak cepat menuju elektroda, serta waktu hidup yang panjang untuk memaksimalkan pengumpulan muatan. Selain itu, material sel surya yang baik harus memiliki stabilitas yang tinggi dalam jangka waktu yang lama, aman bagi lingkungan, dan dapat diproduksi dengan biaya yang efisien. Material-material seperti silikon, kadmium telluride, copper indium gallium selenide, dan *perovskite* merupakan beberapa contoh material yang banyak diteliti saat ini, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya. Penelitian terus dilakukan untuk menemukan material baru atau memodifikasi material yang ada agar dapat menghasilkan sel surya dengan efisiensi yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah.

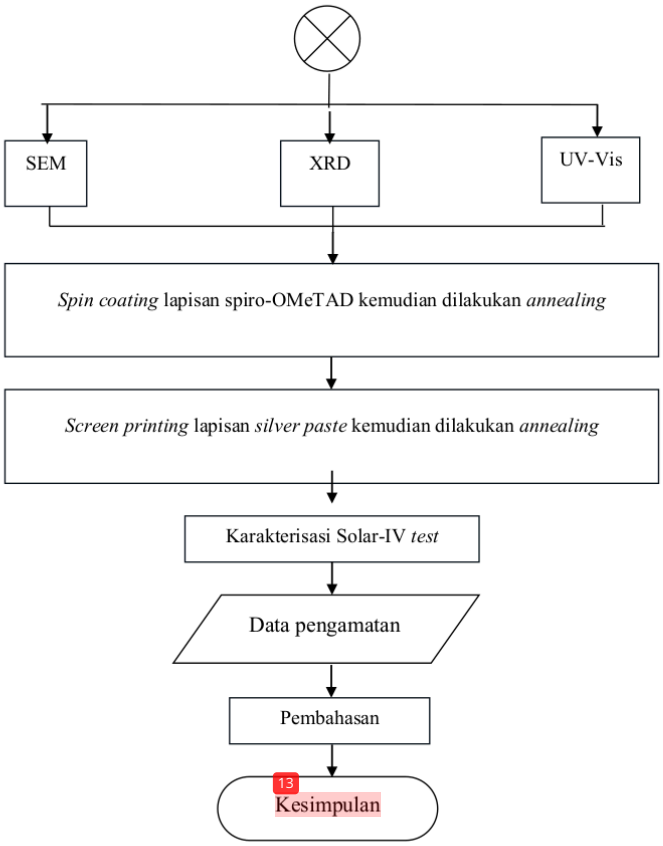
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini melakukan pembuatan sel surya *perovskite* dengan metode deposisi *spin coating* di dalam *glove box* kemudian dilakukan proses karakterisasi. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Botol Kaca

2. Corong
3. *Cutter*
4. *Dry Cabinet*
5. Gelas Beker
6. *Hot Plate*
7. *Magnetic Stirrer*
8. Mikropipet 10-100 µL
9. Neraca Digital
10. *Ossila Glove Box*
11. *Ossila Solar Test* I-V *System*
12. *Ossila Solar Simulator*
13. *Ossila Spin Coater*
14. *Ossila Substrate Rack*
15. Sablon
16. *Spin Bar*
17. *Stopwatch*
18. *Syringe Filter*
19. XRD Bruker D8 *Advance Eco with Lynxeye* XE-T
20. *Ultrasonic Bath*
21. UV *Curing Lamp*
22. PG *instruments* T85+ UV-Vis Spektrofotometer
23. Zeiss EVO 10 *Scanning Electron Microscope.*

3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Air Deionisasi
2. Asam nitrat teknis
3. Aseton teknis
4. Asetonitril, *Fisher*
5. *Chlorobenzene,* Unilab pro analis
6. DMF, Loba Chemie
7. DMSO, Loba Chemie
8. FAI, *Greatcell solar material*
9. Etanol 96%
10. Gas nitrogen
11. Isopropanol teknis
12. ITO *Glass Substrates* 20 x 15 mm, *Ossila*
13. Li-TFSI, *Ossila*
14. MAI, *Greatcell solar material*
15. Spiro-OMeTAD 99%, *Ossila*
16. $PbBr_2$ 99%, *Sigma aldrich*
17. PbI_2 99%, *Sigma aldrich*
18. *Silver Conductive Paste, Techinstro*
19. *Tetrabutyl Pytidine, Accela*
20. *Tetrabutyl Titanate*, *Sigma aldrich*

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan ETL

Sintesis lapisan ETL yakni TiO_2 dilakukan dengan mencampurkan beberapa larutan yakni 470 µL *tetrabutyl titanate*, 2,5 mL etanol, dan 111 µL *nitric acid.* Larutan tersebut kemudian diagitasi menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 1000 rpm selama 1 jam. Kemudian larutan ditambahkan dengan 127 µL air deionisasi dan dilanjut pengadukan selama 30 menit. Kemudian dilakukan penambahan 3 µL isopropanol kemudian dilakukan pengadukan selama 15 menit sehingga menghasilkan larutan 0,127 mol L^{-1} TiO_2. Larutan TiO_2 disimpan pada tempat yang memiliki kelembapan rendah dan siap untuk digunakan.

3.3.2 Pembuatan Prekursor *Perovskite*

Perovskite $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx disintesis menggunakan metode ultrasonikasi. Ultrasonikasi adalah proses sintesis dan pemrosesan bahan *perovskite* dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Bahan 0,033 gram MAI, 0,54 gram PbI_2, 0,12 gram $PbBr_2$, 0,24 gram FAI dan pelarut. Pelarut yang digunakan adalah DMF dan DMSO dengan perbandingan 1:4. Bahan solid ditimbang kemudian dimasukkan ke wadah menggunakan alat kaca arloji sebagai wadah saat menimbang dan spatula *stainless steel* untuk mengambil bahan tersebut. Selanjutnya pelarut DMF dan DMSO dimasukkan menggunakan mikro pipet. Seluruh bahan dilakukan ultrasonikasi selama 1 jam pada temperatur 60˚C.

3.3.3 Pembuatan HTL

Sintesis Lapisan HTL yakni Spiro OMeTAD dilakukan dengan mencampurkan beberapa larutan yakni Li-TFSI dan TBP. Komposisi Bahan-bahan tersebut adalah 72,3 mg Spiro-OMeTAD, 28,8 µL TBP, 17,5 µL Li-TFSI, 8 µL Co-TFSI, dan dilarutkan dalam 1 mL klorobenzen. Larutan tersebut kemudian diagitasi menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 500 rpm selama semalam. Larutan spiro-OMeTAD disimpan pada tempat yang memiliki kelembapan rendah dan siap untuk digunakan.

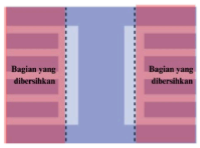
3.3.4 Pencucian Substrat ITO

Proses pertama fabrikasi sel surya *perovskite* adalah pembersihan substrat. Pencucian menggunakan alat *ultrasonic cleaner* yang berfungsi untuk menghilangkan kotoran secara menyeluruh dengan memanfaatkan gelombang *ultrasound*. Substrat dicuci menggunakan detergen, akuades, aseton, dan isopropanol secara berurutan masing-masing selama 20 menit. Detergen berfungsi untuk mengangkat minyak dan kotoran yang ada pada substrat. Fungsi akuades temperatur 40˚C dalam pencucian adalah untuk menghilangkan sisa-sisa detergen dan kontaminan lainnya. Selanjutnya, pencucian substrat menggunakan aseton untuk menghilangkan senyawa organik yang mungkin masih tersisa. Proses pencucian terakhir melibatkan penggunaan isopropanol, yang berfungsi untuk memberikan pembersihan akhir dan memastikan substrat benar-benar bersih sebelum melanjutkan ke tahap fabrikasi berikutnya. Kemudian Substrat di letakan dalam UV *curing lamp* selama 10 menit. Proses ini bertujuan untuk mengeringkan substrat

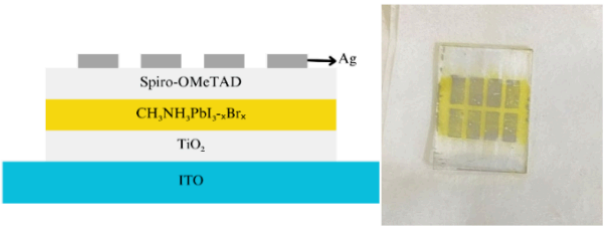
secara efektif sambil menghilangkan kelembapan yang mungkin tersisa setelah pembersihan.

3.3.5 Pembuatan Perangkat Sel Surya *Perovskite*

Dalam pembuatan sel surya digunakan metode deposisi *spin coating*. Proses pembuatan sel surya melibatkan beberapa lapisan yang disusun secara berurutan. Langkah pertama adalah persiapan lapisan ETL menggunakan TiO_2, yang dideposisi dengan kecepatan 4000 rpm selama 30 detik, diikuti dengan proses sintering pada temperatur 140°C selama 30 menit. Selanjutnya, lapisan *perovskite* dibuat dengan mendeposisi larutan *perovskite* pada kecepatan 4000;4500;5000 rpm selama 20;30;40 detik, diikuti dengan proses sintering pada temperatur 100°C selama 30 menit. Setelah lapisan *perovskite* terbentuk, dilanjutkan dengan pembuatan HTL menggunakan Spiro-OMeTAD. Spiro-OMeTAD dideposisi dengan metode *spin coating* pada 5000 rpm selama 30 detik, diikuti dengan *annealing* pada 140°C selama 10 menit. Selanjutnya substrat dikeluarkan dari *glove box* untuk dibersihkan di kedua sampingnya untuk mengekspos lapisan ITO yang berfungsi sebagai lapisan konduktor dengan cara dioles menggunakan *cutter* seperti gambar 3.2. Setelah itu dibersihkan kembali menggunakan asetonitril untuk menghilangkan sisa kotoran yang tidak terangkat menggunakan *cutter*. Proses terakhir adalah deposisi lapisan perak menggunakan *silver paste*, yang dikeringkan pada suhu 100°C selama 10 menit, sehingga menghasilkan struktur akhir ITO/TiO2/ $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx /Spiro-OMeTAD/Ag diilustrasikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Ilustrasi Daerah Pembersihan Sebelum *Screen Printing* Ag



Gambar 3.3 Ilustrasi Sruktur Akhir Sel Surya ITO/TiO_2/ $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx /Spiro-OMeTAD/Ag

3.4 Karakterisasi

Karakterisasi sel surya dilakukan dengan berbagai metode untuk mengevaluasi kinerja dan sifat material yang digunakan. Pertama, pengujian karakteristik I-V dilakukan dengan menempatkan sel surya dalam sistem pengujian I-V. Parameter seperti efisiensi konversi daya (PCE), *Fill Factor* (FF), densitas arus sirkuit pendek (Jsc), dan tegangan sirkuit terbuka (Voc) diukur saat sel dipaparkan pada cahaya. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk kurva I-V, yang menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan, serta memungkinkan evaluasi performa keseluruhan perangkat. Perangkat keras yang di gunakan dalam proses pengujian IV ini adalah Ossila *Solar Cell* I-V *Test*.

Selanjutnya, karakterisasi optik dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sampel lapisan *perovskite* dipotong dan disinari dengan cahaya pada

berbagai panjang gelombang untuk mengukur nilai absorbansi dan transmitansi. Data absorbansi ini sangat penting untuk menghitung nilai *band gap* dari lapisan *perovskite* dan mengevaluasi pengaruh variasi temperatur serta waktu *annealing* terhadap karakteristik optik. Perangkat keras yang di gunakan dalam proses pengujian spektrofotometer UV-Vis ini adalah Peak UV-Vis Spectrophotometer X-8200T

Untuk analisis morfologi, digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sampel sel surya dibersihkan dan disiapkan sebelum dianalisis. Dengan SEM, morfologi lapisan *perovskite* diamati pada pembesaran yang sesuai. Gambar yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak seperti ImageJ untuk mendapatkan informasi tentang ketebalan, distribusi, dan struktur permukaan dari lapisan-lapisan tersebut. Perangkat keras yang di gunakan dalam proses pengujian SEM ini adalah Zeiss EVO 10 Scanning Electron Microscope.

Terakhir, karakterisasi struktur dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Sampel yang telah dideposisi pada substrat dikeringkan dan kemudian dianalisis untuk mengukur sudut difraksi serta memperoleh pola difraksi. Pola yang dihasilkan digunakan untuk menentukan derajat kristalisasi, ukuran kristal, dan fase material dalam sel surya. Perangkat keras yang di gunakan dalam proses pengujian XRD ini adalah Bruker D8 Advance Eco with Lynxeye XE-T.

BAB IV

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Proses Sintesis *Perovskite* $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx,

Proses sintesis bahan bahan pada penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yakni TiO_2, $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx, dan Spiro-OMeTAD. proses sintesis bahan-bahan tersebut menggunakan metode pengadukan magnet dan ultrasonikasi. Penggunaan bahan maksimal 24 jam setelah bahan di gunakan. Setelah proses sintesis larutan harus segera dideposisikan untuk menghindari degradasi bahan karena kelembaban. Pelarutan bahan PbI_2, PbBr, MAI, dan FAI dengan bantuan ultrasonikasi dapat membuat warna kuning pada *perovskite* dan kekentalan larutan berubah. Perubahan warna dan kekentalan tersebut menunjukkan bahwa bahan-bahan tersebut dan pelarut DMF dan DMSO tercampur. Sebelum dilakukan pelarutan dengan ultrasonikasi terdapat endapan di bawah botol yang menunjukkan bahwa bahan-bahan tersebut belum terlarut.

4.2 Proses Fabrikasi Sel Surya *Perovskite*

Proses fabrikasi sel surya *perovskite* dimulai dengan preparasi substrat ITO (*Indium Tin Oxide*). Substrat ITO dibersihkan dari kontaminasi yang dapat mengganggu kualitas lapisan yang akan dideposisikan. Pembersihan substrat dilakukan dengan menggunakan sabun, air deionisasi, aseton, dan isopropanol untuk memastikan tidak ada residu yang tersisa.

Setelah proses pencucian, substrat dikeringkan dengan sinar UV, yang juga berfungsi untuk mengaktifkan permukaan ITO, sehingga meningkatkan adhesi antara lapisan *perovskite* dan substrat. Setelah kering substrat harus dipastikan tidak dalam keadaan terbalik dengan menggunakan multimeter..

Setelah preparasi substrat, tahap berikutnya adalah deposisi *glove box*. Proses ini dilakukan dalam lingkungan yang terkontrol dalam *glove box*. Kadar oksigen dan kelembapan dalam *glove box* dijaga pada 3% oksigen dan kelembapan 30%. Kadar oksigen dan kelembaban yang rendah ini diperlukan agar *perovskite* tidak terdegradasi, hal ini disebabkan ketidakstabilannya *perovskite*, dan hal itu berdampak pada performa sel surya. Substrat beserta bahan-bahan yang akan dideposisikan dimasukkan ke dalam *glove box*. Kemudian dilakukan proses purging pada *glove box* untuk mengurangi kadar oksigen dan kelembapan udara dengan menyirkulasikan gas nitrogen.

Langkah pertama dalam deposisi adalah penambahan lapisan TiO_2 (*titanium dioxide*) sebagai *electron transport layer* (ETL). TiO_2 dipilih karena memiliki konduktivitas yang baik dan stabilitas yang tinggi, yang memungkinkan transfer elektron yang efisien dari lapisan aktif ke lapisan konduktor. Lapisan ini dideposisikan menggunakan metode *spin coating*, di mana kecepatan putaran dan waktu deposisi adalah 4000 rpm dan 20 detik. Setelah deposisi, lapisan TiO_2 dipanaskan atau *annealing* untuk meningkatkan kualitas dan stabilitasnya.

Setelah lapisan TiO_2 siap, lapisan aktif *perovskite*, seperti $CH_3NH_3PbI_3$-xBrx, dideposisikan. Proses deposisi *perovskite* juga dilakukan dengan metode *spin coating* dengan variasi kecepatan putaran dan waktu deposisi. Variasi kecepatan rotasi bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan terhadap morfologi film

yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan efek dilusi larutan yang berbeda pada substrat, yang dipengaruhi oleh kecepatan rotasi; semakin tinggi kecepatan rotasi, semakin sedikit larutan yang tertinggal, yang dapat meningkatkan transmitansi lapisan. Saat melakukan waktu dan kecepatan rotasi yang tinggi, maka akan menghilangkan lebih banyak larutan dari substrat sehingga mengakibatkan penurunan ketebalan lapisan dan morfologi permukaan. Selain itu, variasi waktu deposisi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh durasi terhadap karakteristik lapisan yang terbentuk. Kemudian Lapisan *perovskite* dilakukan pemanasan atau *annealing* dua tahap untuk meningkatkan kekristalan dan mengurangi cacat dalam film *perovskite* yakni pada 60˚c dan 100 ˚c. Proses *annealing* dua tahap memungkinkan kristalisasi film *perovskite* yang lebih terkontrol. Pada tahap awal, pemanasan dilakukan pada suhu yang lebih rendah, yang memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen antara ion metilamonium dan halida secara bertahap. Ini membantu mengontrol pertumbuhan kristal dengan lebih baik. Hasilnya adalah film yang lebih seragam dan perangkat yang lebih konsisten [19].

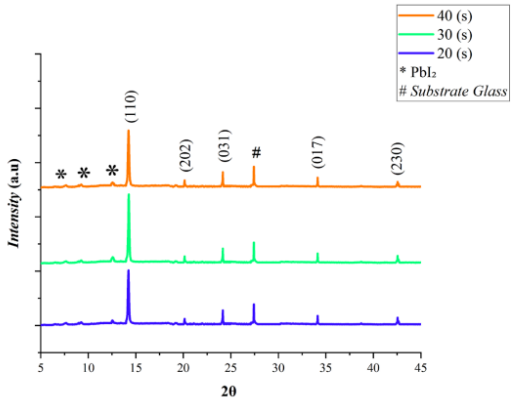
Setelah lapisan *perovskite*, lapisan HTL dideposisikan menggunakan Spiro-OMeTAD. Proses deposisi dilakukan dengan *spin coating*, dan lapisan HTL ini juga melalui proses *annealing* untuk meningkatkan kinerja dan stabilitas lapisan. Tahap akhir dalam fabrikasi sel surya *perovskite* adalah deposisi lapisan konduktor dengan menggunakan *silver paste*. Metode digunakan adalah *screen printing*. Metode *screen printing* adalah metode yang sederhana dan biaya pembuatanya murah. Namun karena metode ini dilakukan dengan manual tanpa bantuan mesin, metode ini memiliki tantangan tersendiri, seperti tidak konsisten dalam ketebalan lapisan yang dapat menyebabkan masalah dalam konduktivitas

dan performa sel secara keseluruhan. Ketidakrataan lapisan *silver paste* dapat mengakibatkan resistansi yang tinggi, sehingga mempengaruhi efisiensi sel surya.

4.3 Pengaruh Durasi *Spin Coating* saat Deposisi *Perovskite* terhadap Performa Sel Surya

4.3.1 Hasil analisa XRD

Hasil analisa XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristalografi, identifikasi fase, dan sifat mikro struktur bahan *perovskite*. pada analisa XRD ini dilakukan pada variasi durasi *spin coating* 20, 30, dan 40 detik kecepatan 4000 rpm terhadap pola XRD yang terbentuk dan ukuran kristal. Hasil pola XRD dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut



Gambar 4.1 Pola XRD Lapisan *Perovskite* dengan Variasi Durasi putar

Gambar 4.1 menujukan beberapa puncak difraksi pada 2θ yang terdeteksi yakni pada 12,57˚, 14,23˚ , 20,13˚ , 24,15˚ , 27,42˚, 34,13˚, 42,53˚, dan 47,62˚. Dari puncak difraksi tersebut didapatkan bidang hlk yakni (100),

(110), (111), (200), (210), (220), dan (230). Pada Gambar 4.1 tiap variasi waktu menunjukkan puncak difraksi karakteristik *perovskite* yang kuat, terutama puncak tajam pada (100) di sekitar 14°. Hasil puncak difraksi 14° memiliki intensitas tertinggi di waktu putar 40 detik yakni 11308, sedangkan untuk waktu putar 20 detik dan 30 detik secara berturut turut adalah 10180 dan 10569. Data ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mohammed, et.al (2020). Semua film yang disintesis menunjukkan fase polikristalin dan terlihat jelas bahwa intensitas puncak meningkat seiring dengan bertambahnya waktu rotasi, yang disebabkan oleh peningkatan kristalinitas dan susunan yang teratur [14].

Selain itu, pola XRD menunjukkan terdapat puncak lain yang berasal dari PbI_2. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1. Puncak PbI_2 terdapat pada 12,567°. Intensitas puncak PbI_2 paling rendah terdapat pada waktu putar 40 detik yakni 869 sedangkan intensitas tertinggi ada pada waktu putar 20 detik yakni 1213. Penurunan intensitas PbI_2 seiring dengan peningkatan waktu putar ini dapat meningkatkan efisiensi sel surya *perovskite* (PSC) karena mendorong transport elektron dari film *perovskite* [14]. Selain itu dengan pengurangan intensitas PbI_2 menunjukkan bahwa *perovskite* seragam. Pengaruh durasi putar juga dapat dilihat pada ukuran kristal. Untuk melihat pengaruh variasi *spin coating* pada ukuran Kristal dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Ukuran Kristal *Perovskite* dengan Variasi Durasi Putar

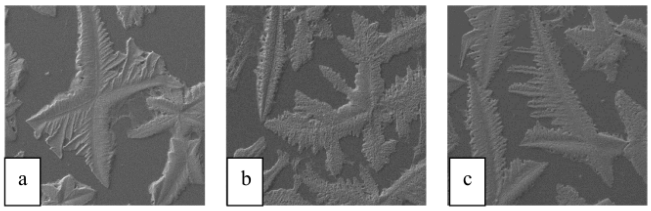
Durasi	*Phase*	*Peak* 2θ (*degree*)	FWHM (*degree*)	Ukuran Kristal (nm)
20	$CH_3NH_3PbI_{3x-Brx}$	14,23689	0,14781	53,33235
30	$CH_3NH_3PbI_{3x-Brx}$	14,25952	0,14144	55,73289
40	$CH_3NH_3PbI_{3x-Brx}$	14,225	0,13564	58,11823

Menurut tabel 4.1 terdapat pengaruh durasi putar *spin coating* terhadap ukuran kristal. Dapat dilihat ukuran kristal terbesar adalah durasi 40 detik dengan ukuran kristal 58,11823 nm sedangkan pada durasi 30 detik dan 20 detik berturut-turut adalah 55,73289 nm dan 53,33235 nm dari data tersebut dapat diketahui semakin lama durasi putar maka ukuran kristal semakin besar. Data ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, Pengukuran ukuran kristalit yang dihitung menggunakan rumus Debye-Scherer menunjukkan bahwa ukuran kristalit untuk sampel pada 60 detik lebih besar dibandingkan dengan 30 detik dan 45 detik. Kristal *perovskite* yang lebih besar cenderung memiliki batas butir yang lebih sedikit yang mengurangi kepadatan cacat dan meningkatkan transportasi muatan [15].

4.3.2 Hasil Karakterisasi SEM

SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan dan penampang PSC, memberikan gambar resolusi tinggi terkait struktur dan

distribusi lapisan sel surya *perovskite*. Cara kerja SEM sama seperti mikroskop hanya saja jenis mikroskopnya elektron sehingga menghasilkan gambar sampel dengan cara memindai permukaan menggunakan sinar elektron yang terfokus dengan pembesaran hingga skala tertentu. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan penampakan *perovskite* dengan bentuk seperti jarum-jarum. Sampel yang akan dianalisis adalah lapisan *perovskite* dengan kecepatan putar 4500 rpm dan variasi durasi putar 20, 30, dan 40 detik.



Gambar 4.2 Morfologi *Perovskite* Perbesaran 1000x dengan Kecepatan 4500 rpm Durasi (a) 20 Detik, (b) 30 Detik, (c) 40 Detik

Pada hasil karakterisasi SEM ditunjukkan bahwa *perovskite* berbentuk seperti jarum dan terang sedangkan untuk lapisan gelap dan kosong tidak ada bentuk merupakan lapisan dari substrat kaca. Terlihat dari hasil karakterisasi SEM ada pengaruh durasi putar terhadap struktur dan morfologi film *perovskite*. Secara visual ukuran kristal pada durasi 40 detik adalah ukuran terbesar dibandingkan dengan durasi 20 detik dan 30 detik. Data ini sesuai dengan hasil XRD yang menyatakan ukuran kristal *perovskite* waktu 40 detik lebih besar dibandingkan waktu putar 20 detik dan 30 detik. Selanjutnya gambar morfologi digunakan unuk analisis menggunakan *software* ImageJ untuk mengetahui persen *coverage perovskite*.

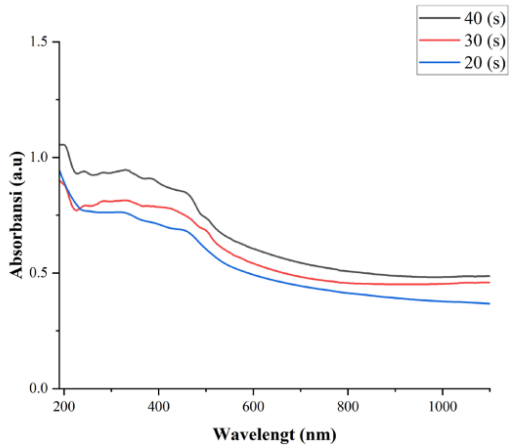
Tabel 4.2 Persentase *Coverage* Lapisan *Perovskite* dengan Durasi

Durasi (detik)	Persentase *Coverage* (%)
20	51,996
30	58,538
40	61,5076

Menurut Tabel 4.2 durasi putar mempengaruhi persen *coverage*, semakin lama durasi putar maka semakin besar persen *coverage*. Pada penelitian yang dilakukan oleh [14]. Waktu pemutaran yang optimal misalnya, 60 detik cenderung meningkatkan *coverage*, karena butir yang lebih besar dan lapisan lebih merata dapat terbentuk, yang mengurangi cacat dan meningkatkan area yang tertutup dibandingkan dengan waktu putar 30 detik dan 45 detik [14]. Persen *coverage* yang tinggi menunjukkan bahwa film *perovskite* menutupi substrat dengan baik untuk memaksimalkan penyerapan cahaya dan efisiensi konversi daya. Maka dari itu, *spin coating* dengan durasi 40 detik yang memiliki persentase *coverage* (%) terbaik.

4.3.3 Hasil Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis

Karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis telah dilakukan dengan variasi waktu 20 detik, 30 detik, dan 40 detik detik pada kecepatan 4500 rpm. Tujuan dilakukannya karakterisasi ini adalah mengevaluasi sifat optik film *perovskite* seperti absorbansi, transmitansi, ketebalan, dan *energy band gap*. Spektrofotometri UV-Vis dilakukan pada rentang panjang gelombang (*wavelenght*) 400-900 nm. Dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Absorbansi dengan Variasi Durasi Putar

Gambar 4.3 adalah absorbansi *perovskite* di atas substrat kaca dengan variasi waktu putar yang berbeda. Terlihat pada Gambar 4.3 *perovskite* dengan waktu putar 40 detik memiliki absorbansi yang tertinggi sedangkan *perovskite* dengan waktu putar 20 detik memiliki absorbansi terendah. Grafik ini sesuai dengan penelitian dari mohammad el al, pada penelitian tersebut absorbansi tertinggi dimiliki oleh durasi putar yang lama yakni pada 60 detik menghasilkan grafik absorbansi sedangkan grafik terendah terjadi pada waktu putar 30 detik [14]. Data ini juga selaras data XRD. Pada data XRD waktu putar 40 detik memiliki ukuran kristal terbesar sehingga *charge trapping* dalam sel surya *perovskite* berkurang.

Tabel 4.3 Tabel Ketebalan Pada 20 Detik, 30 Detik, dan 40 Detik

Durasi (detik)	Ketebalan (nm)
20	66,56806
30	73.83063
40	76,71953

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa durasi 40 detik memiliki ketebalan yang paling besar. Dari nilai ketebalan tersebut dijelaskan bahwa durasi *spin coating* berpengaruh terhadap ketebalan yang diperoleh. Durasi 40 detik memiliki ketebalan terbesar dibanding yang lainnya. Kemudian dari data ini dapat digunakan untuk menentukan energi *band gap*.

Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Durasi Putar terhadap *Band gap*

Durasi (detik)	Energi ***Band gap*** **(eV)**
20	1,65
30	1,54
40	1,35

Energi *band gap* film *perovskite* dihitung menggunakan plot Tauc, yang merupakan metode umum untuk memperkirakan energi gap optik dari data absorbansi. Dari Tabel 4.4 Hasil pengukuran energi *band gap* lapisan *perovskite* tiap durasi waktu memiliki nilai lebih dari 3 eV menunjukkan ketidaksesuaian, umumnya energi band gap untuk material *perovskite* berkisar antara 1,5 hingga 2,3 eV. Hal ini di sebabkan karena substrat tidak sepenuhnya menutupi area yang terpapar cahaya, sehingga sebagian cahaya

tidak terabsorpsi oleh material yang sedang diuji. Nilai absorbansi yang terdeteksi akan lebih rendah dari yang seharusnya dan memberikan gambaran yang tidak akurat tentang sifat optik material tersebut. Hasil band gap yang terdeteksi juga tidak akan sesuai.

4.3.4 Hasil pengukuran IV *Test*

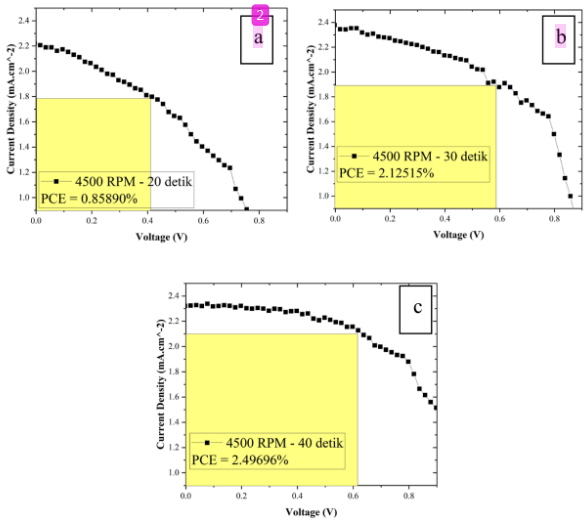
Solar I-V *Test* atau Sistem Pengukur I-V merupakan metode penting untuk mengevaluasi kinerja perangkat listrik dengan mengukur hubungan antara arus (I) dan tegangan (V) yang mengalir melaluinya. Pengukuran IV *Test* telah di lakukan pada sel surya dengan konfigurasi ITO/TiO_2/$CH_3NH_3PbI_3$-xBrx/Spiro-OMeTAD/Ag dengan variasi durasi *spin coating* 20, 30, dan 40 detik pada kecepatan 4500 rpm. adapun datanya sebagai berikut.

Tabel 4.5 Parameter I-V Sel Surya *Perovskite* dengan Variasi Waktu

Durasi (detik)	Rata-rata PCE (%)	Rata-rata FF (%)	Rata-rata Jsc ($A.cm^{-2}$)	Rata-rata Voc (V)	PCE Terbaik (%)
40	0,601	41,068	-2,297	0,303	2,49696
30	0,498	39,273	-2,149	0,330	2,12516
20	0,303	25,678	-2,175	0,423	0,85890

Dari data yang diperoleh, rata-rata Voc tertinggi diperoleh pada durasi 40 detik dengan nilai 0,22704 V. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pemrosesan yang lebih lama dapat meningkatkan potensi tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Selain itu, faktor pengisian (FF) juga mencapai nilai

terbaik pada durasi ini, yaitu 30,80113%, yang menunjukkan efisiensi dalam konversi energi dari arus listrik yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Kurva I-V Variasi Durasi *Spin coating* (a) 20 Detik, (b) 30 Detik, dan (c) 40 Detik

Kurva IV pada Gambar 4.5 (a)(b)(c) didapatkan ketika pengukuran menggunakan I-V *Test*, Pada kurva ini menunjukkan banyaknya *current density* yang didapat apabila sel surya diberikan tegangan. Pada dengan kecepatan 4500 rpm dan variasi waktu 20, 30, dan 40 detik menunjukkan kurva *non-ohmic*. Kurva *non-ohminc* mengindikasikan hubungan antara tegangan dan arus tidak linier, sehingga terjadi perubahan resistansi dengan meningkatnya arus. Berdasarkan kurva tersebut nilai PCE mengalami penurunan seiring dengan naiknya kecepatan *spin coating* Hal tersebut dibuktikan kembali dengan perolehan nilai PCE sel surya yang tertinggi

dimiliki oleh durasi 40 detik. selain nilai PCE tinggi, nilai parameter I-V yang lain seperti FF dan P pun tertinggi dimiliki oleh 40 detik, kedua dimiliki oleh 30 detik dan terakhir 40 detik.

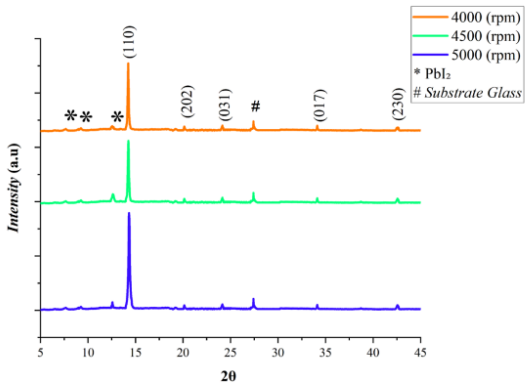
Selanjutnya, PCE tertinggi dicapai pada durasi 40 detik dengan nilai 2,49696%. Ini menunjukkan bahwa waktu yang cukup dalam proses pengendapan dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi sel surya *perovskite*. Sebaliknya, pengukuran pada durasi yang lebih pendek, seperti 20 detik dan 30 detik, menunjukkan penurunan nilai PCE, yang mengindikasikan bahwa waktu pemrosesan yang tidak cukup dapat menghambat pembentukan lapisan aktif yang optimal. Data ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [14]. Peningkatan waktu putar dalam pembuatan sel surya *perovskite* meningkatkan efisiensi konversi daya (PCE) dari 3,506% pada 30 detik menjadi 5,742% pada 60 detik. Selain itu, arus singkat (Jsc) meningkat dari 9,586 mA/cm² menjadi 12,092 mA/cm², dan tegangan sirkuit terbuka (Voc) meningkat dari 0,756 V menjadi 0,8845 V. Peningkatan ini menunjukkan bahwa waktu putar yang lebih lama meningkatkan film *perovskite* yang lebih baik [14].

4.4 Pengaruh Kecepatan putar *Spin coating* saat Deposisi *Perovskite* terhadap Performa Sel Surya

4.4.1 Hasil Analisa XRD

Hasil analisa XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristalografi, identifikasi fase, dan sifat mikro struktur bahan *perovskite*. pada analisa XRD ini dilakukan pada variasi kecepatan *spin coating* 4000 rpm,

4500 rpm, dan 5000 rpm dengan durasi putar tetap pada 30 detik terhadap pola XRD yang terbentuk dan ukuran kristal. Hasil pola XRD dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Pola XRD Lapisan *Perovskite* Variasi Kecepatan *Spin coating*

Gambar 4.6 menujukan beberapa puncak difraksi pada 2θ yange terdeteksi yakni pada 12,57˚, 14,23˚ , 20,13˚ , 24,15˚ , 27,42˚, 34,13˚, 42,53˚, dan 47,62˚. Dari puncak difraksi tersebut didapatkan bidang hlk yakni (100), (110), (111), (200), (210), (220), dan (230). Pada Gambar 4.6 tiap variasi kecepatan menunjukkan puncak difraksi karakteristik *perovskite* yang kuat, terutama puncak tajam pada (100) di sekitar 14°. Hasil puncak difraksi 14˚ memiliki intensitas tertinggi di kecepatan putar 5000 rpm yakni 17906, sedangkan untuk kecepatan putar 4000 rpm dan 4500 rpm secara berturut turut adalah 10569 dan 11589. Selain itu, pola XRD menunjukkan terdapat puncak lain yang berasal dari PbI_2. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar

4.6. Puncak PbI_2 terdapat pada 12,567˚. Untuk melihat pengaruh variasi kecepatan *spin coating* pada ukuran kristal dapat dilihat pada Tabel 4.6.

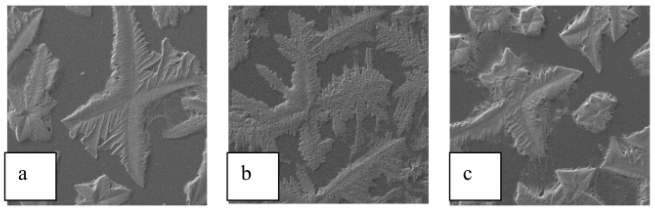
Tabel 4.6 Ukuran Kristal *Perovskite* dengan Variasi Kecepatan Putar

Kecepatan (rpm)	**Phase**	**Peak 2θ (*degree*)**	**FWHM (*degree*)**	**Ukuran Kristal (nm)**
4000	$CH_3NH_3PbI_{3x-Brx}$	14,25952	0,14143	55,73824
4500	$CH_3NH_3PbI_{3x-Brx}$	14,25391	0,16192	44,89685
5000	$CH_3NH_3PbI_{3x-Brx}$	14,1318	0,19326	40,78559

Menurut Tabel 4.5 terdapat pengaruh kecepatan putar *spin coating* terhadap ukuran kristal. Dapat dilihat ukuran kristal terbesar adalah kecepatan 4000 rpm dengan ukuran kristal 55,73824 nm sedangkan pada kecepatan 4500 dan 5000 rpm berturut-turut adalah 44,89685 nm dan 40,78559 nm dari data tersebut dapat diketahui semakin cepat kecepatan putar maka ukuran kristal semakin kecil. Data ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya. Hal ini sudah dibuktikan dalam penelitian yang dilakukan Mehde (2020) dijelaskan bahwa kecepatan *spin coating* akan mempengaruhi sifat-sifat dari *film* yang dibentuk karena penghilangan lebih banyak larutan dari substrat yang mengakibatkan penurunan ketebalan *film,* morfologi permukaan, dan derajat kristalisasi. Pada tabel 4.5 hasil kristalisasi terbaik terdapat pada kecepatan putar 4000 rpm. Kristal *perovskite* yang lebih besar cenderung memiliki batas butir yang lebih sedikit, yang mengurangi kepadatan cacat dan meningkatkan transportasi muatan [15].

4.4.2 Hasil Karakterisasi SEM

SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan dan penampang lapisan *perovskite*, memberikan gambar resolusi tinggi terkait struktur dan distribusi lapisan sel surya *perovskite*. Cara kerja SEM sama seperti mikroskop hanya saja jenis mikroskopnya elektron sehingga menghasilkan gambar sampel dengan cara memindai permukaan menggunakan sinar elektron yang terfokus dengan pembesaran hingga skala tertentu. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan penampakan *perovskite* dengan bentuk seperti jarum-jarum. Sampel yang akan dianalisis adalah lapisan *perovskite* dengan durasi putar 30 detik dan variasi kecepatan putar 4000, 4500, dan 5000 rpm.



Gambar 4.6 Morfologi *Perovskite* Perbesaran 1000x dengan Kecepatan (a) 4000 rpm, (b) 4500 rpm, dan (c) 5000 rpm

Pada hasil karakterisasi SEM ditunjukkan bahwa *perovskite* berbentuk seperti jarum dan terang sedangkan untuk lapisan gelap dan kosong tidak ada bentuk merupakan lapisan dari substrat kaca. Terlihat dari hasil karakterisasi SEM ada pengaruh kecepatan putar terhadap struktur dan morfologi film *perovskite*. Hasilnya menunjukkan bahwa ukuran butir (*grain size*) menjadi lebih kecil ketika kecepatan putar meningkat. Kemudian dilakukan analisis menggunakan software ImageJ untuk mengetahui persen *coverage perovskite*

dengan varias kecepatan putar. Berikut adalah Tabel 4.7 Persentase *Coverage* dengan variasi kecepatan putar.

Tabel 4.7 Persentase *Coverage* Lapisan *Perovskite* dengan Variasi Kecepatan

Kecepatan Putar (RPM)	**Persentase *Coverage* (%)**
4000	62,6986
4500	58,538
5000	70,4433

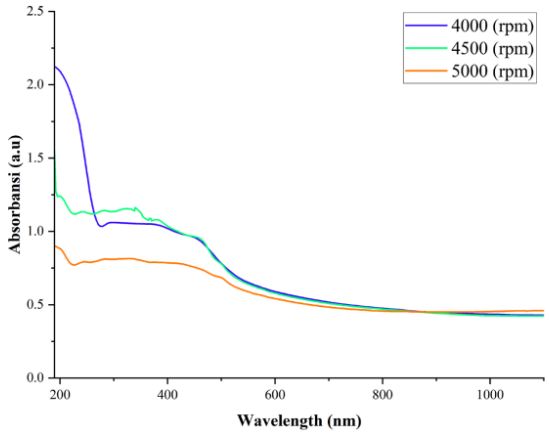
Menurut Tabel 4.6 kecepatan mempengaruhi persen *coverage*, semakin cepat kecepatan putar maka semakin kecil persen *coverage*. Data ini seusai dengan penelitian yang telah dilakukan. Kecepatan putar 2000 rpm yang memiliki persentase *coverage* (%) terbaik yakni 82,82% dibandingkan dengan kecepatan putar 3000 rpm dan 4000 rpm [2]. Pada data pada kecepatan 4500 RPM memiliki persen *coverage* terkecil, hal tersebut dikarnakan bentuk *perovskite* cenderung tidak seragam dibandingkan dengan kecepatan 4000 dan 5000 rpm hal tersebut tidak sesuai dengan teori, bahwa kecepatan pelapisan putaran yang lebih tinggi umumnya menghasilkan film yang lebih tipis karena peningkatan gaya sentrifugal, yang menyebarkan larutan prekursor lebih tipis di seluruh substrat. Hal ini dapat menyebabkan film yang lebih seragam. Sebaliknya, kecepatan putaran yang lebih rendah dapat menghasilkan film yang lebih tebal, yang dapat bermanfaat untuk penyerapan cahaya tetapi juga dapat menimbulkan masalah seperti peningkatan kekasaran permukaan dan ketidakseragaman, yang berpotensi menyebabkan cacat seperti lubang jarum [20]. ketidaksesuaian tersebut

dikarenakan substrat tidak sepenuhnya tertutupi *perovskite* yang menyebabkan ketidakseragaman dalam distribusi material. Saat larutan prekursor tidak diteteskan tepat di tengah substrat, distribusi awal cairan menjadi tidak merata. Hal ini menyebabkan beberapa area substrat tidak terlapisi dengan baik, yang mengakibatkan terbentuknya bolong atau cacat pada film yang dihasilkan.

Ketidakakuratan dalam penempatan larutan juga dapat mengganggu proses pelapisan, terutama pada kecepatan tinggi, di mana gaya sentrifugal bekerja lebih kuat. Jika cairan tidak terdistribusi dengan baik, maka lapisan yang terbentuk bisa menjadi tipis di beberapa area dan lebih tebal di area lain, yang berpotensi menyebabkan masalah seperti nilai *coverage* yang rendah.

4.4.3 Hasil Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis

Karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis telah dilakukan dengan variasi kecepatan 4000, 4500, dan 5000 rpm. Tujuan dilakukannya karakterisasi ini adalah mengevaluasi sifat optik film *perovskite* seperti absorbansi dan transmitansi. selain itu karakterisasi ini juga dapat mengevaluasi ketebalan dan *energy band gap* atau energi celah pita. Spektrofotometri UV-Vis dilakukan pada rentang panjang gelombang (*wavelenght*) 400-900 nm. Dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.7 Grafik Absobansi dengan Variasi Kecepatan Putar

Gambar 4.8 adalah absorbansi *perovskite* di atas substrat kaca dengan variasi kecepatan putar yang berbeda. Terlihat pada Gambar 4.8 *perovskite* dengan kecepatan putar 4000 rpm memiliki absorbansi yang tertinggi sedangkan *perovskite* dengan kecepatan putar 5000 rpm memiliki absorbansi terendah. Grafik ini sesuai dengan penelitian dari Meilani, 2023. Intensitas absorbansi kecepatan 2000 rpm tertinggi, diikuti oleh kecepatan 3000 rpm dan terakhir kecepatan 4000 rpm [1]. Hal ini selaras dengan pembahasan sebelumnya yang menyatakan bahwa kecepatan 4000 rpm yang memiliki morfologi terbaik karena nilai Persentase *Coverage* (%) yang terbesar. Terdapat korelasi antara persentase *coverage* lapisan *perovskite* dan absorbansi sel surya. Cakupan yang lebih tinggi biasanya menyebabkan peningkatan absorbansi, karena lebih banyak cahaya ditangkap oleh lapisan aktif [21].

Tabel 4.8 Grafik Ketebalan dengan Variasi Kecepatan Putar

Kecepatan (rpm)	Ketebalan (nm)
4000	77,50174
4500	73,83062
5000	64,55111

Tabel 4.8 adalah pengaruh kecepatan terhadap ketebalan yang dihitung menggunakan metode Swanepoel. Dari nilai ketebalan tersebut menjelaskan bahwa kecepatan *spin coating* berpengaruh terhadap ketebalan yang diperoleh. Kecepatan 4000 rpm yakni 105.71596 nm memiliki ketebalan terbesar dibanding kecepatan 4500 dan 5000 rpm. Data ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Semakin besar kecepatan putar maka akan menghasilkan ketebalan yang semakin tipis, kecepatan 2000 rpm memiliki ketebalan yang besar yakni 1.908,5 nm, diikuti oleh 3000 rpm dan terakhir 4000 rpm [2]. Kemudian dari data ini dapat digunakan untuk menentukan *band gap*.

Tabel 4.9 Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Energi *Band gap*

Kecepatan (rpm)	Energi *Band gap* (eV)
4000	1,36
4500	1,54
5000	1,68

Dari Tabel 4.9 Hasil pengukuran energi band gap lapisan *perovskite* tiap durasi waktu memiliki nilai lebih dari 3 eV menunjukkan

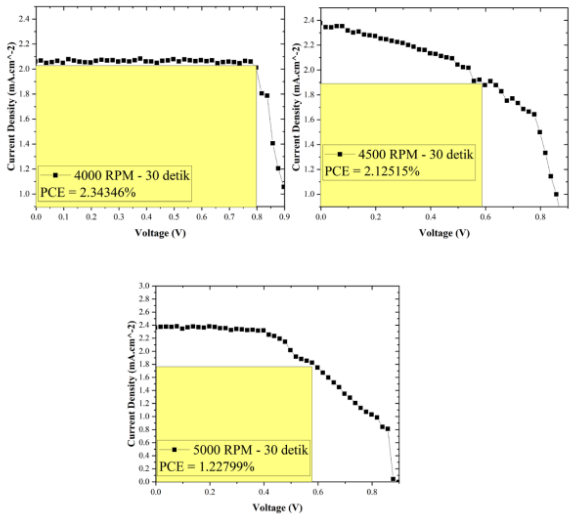
ketidaksesuaian, umumnya energi band gap untuk material *perovskite* berkisar antara 1,5 hingga 2,3 eV. Hal ini di sebabkan karena substrat tidak sepenuhnya menutupi area yang terpapar cahaya, sehingga sebagian cahaya tidak terabsorpsi oleh material yang sedang diuji. Hal ini akan menyebabkan nilai absorbansi yang lebih rendah dari yang seharusnya, memberikan gambaran yang tidak akurat tentang sifat optik material tersebut.

4.4.4 Hasil pengukuran IV *Test*

Pengukuran IV *Test* telah dilakukan pada sel surya dengan konfigurasi ITO/TiO_2/*Perovskite*/Spiro-OMeTAD/Ag dengan variasi kecepatan *spin coating* 4000 rpm, 4500 rpm, dan 5000 rpm detik pada durasi 30 detik. Berdasarkan Tabel 4.10 tersebut nilai PCE mengalami penurunan seiring dengan naiknya kecepatan *spin coating* Hal tersebut dibuktikan kembali dengan perolehan nilai PCE sel surya yang tertinggi dimiliki oleh kecepatan 4000 rpm. selain nilai PCE yang tinggi, nilai parameter I-V yang lain seperti FF dan P pun tertinggi dimiliki oleh 4000 rpm, kedua dimiliki oleh 4500 rpm dan terakhir 5000 rpm.

Tabel 4.10 Parameter I-V Sel Surya *Perovskite* Variasi Kecepatan Putar

Kecepatan (rpm)	Rata-rata PCE (%)	Rata-rata FF (%)	Rata-rata J_{sc} (A.cm^{-2})	Rata-rata V_{oc} (V)	PCE Terbaik (%)
4000	0,534	47,428	-2,045	0,336	2,343
4500	0,498	39,273	-2,149	0,330	2,125
5000	0,469	36,409	-2,360	0,401	1,228



Gambar 4.8 Kurva I-V Variasi Kecepatan *Spin Coating*

Grafik I-V pada Gambar 4.8 didapatkan ketika pengukuran menggunakan I-V *Test*, Pada grafik ini menunjukan banyaknya *current density* yang didapat apabila sel surya diberikan tegangan. Pada grafik IV dengan durasi 30 detik dan variasi kecepatan 4000, 4500 dan 5000 rpm menunjukan grafik non-ohmic. Grafik *non-ohminc* mengindikasikan hubungan antara tegangan dan arus tidak linier, sehingga terjadi perubahan resistansi dengan meningkatnya arus.

Selanjutnya, PCE tertinggi dicapai pada kecepatan 4000 RPM dengan nilai 2,34346%. Data ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [2]. Dari penelitian sebelumnya perolehan nilai PCE yang terbesar yaitu 1,15% dimiliki oleh kecepatan 2000 rpm sedangkan perolehan

nilai PCE yang terkecil yaitu 0,002% dimiliki oleh kecepatan 4000 rpm, hal tersebut disebabkan penurunan ketebalan lapisan *perovskite* akibat kecepatan *spin coating* yang besar [2].

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Kecepatan *spin coating* berpengaruh terhadap morfologi lapisan *perovskite*. Semakin besar kecepatan *spin coating* maka nilai PCE yang diperoleh semakin kecil. Pada 4000 rpm lapisan *perovskite* menunjukkan distribusi yang lebih merata dan ukuran kristal yang paling optimal sehingga menghasilkan nilai PCE yang tinggi yakni 2,34346% sedangkan pada kecepatan 4500 rpm dan 5000 rpm menghasilkan nilai efisiensi berturut-turut 1,22800% dan 2,12516%.
2. Durasi putar *spin coating* berpengaruh terhadap morfologi lapisan *perovskite*. Semakin lama durasi *spin coating* maka nilai PCE yang diperoleh semakin kecil. Pada 40 detik lapisan *perovskite* menunjukkan distribusi yang lebih merata dan ukuran kristal yang paling optimal sehingga menghasilkan nilai PCE yang tinggi yakni 2,49696% sedangkan pada kecepatan 20 detik dan 30 detik menghasilkan nilai efisiensi berturut-turut 0,5890% dan 2,12516%.

5.2 Saran

Berikut adalah saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian berikutnya

1. Gunakan *thermal evaporator* untuk deposisi katoda ag agar lapisan lebih merata
2. Penggunaan *dopping* SnO_2 pada TiO_2 untuk lapisan ETL untuk menghasilkan nilai PCE yang lebih tinggi
3. Penggunaan substrat lain seperti FTO untuk menghasilkan nilai PCE yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Jagdishbhai Patel, H. Baishya, R. Kant Gupta, R. Garai, and P. Krishnan Iyer, "Thin Film Solution Processable *Perovskite Solar* Cell," in *Recent Advances in Multifunctional Perovskite Materials*, IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.106056.

[2] D. Meliani, "Analisa Pengaruh Kecepatan Dan Durasi Spin Coating Saat Deposisi Lapisan *Perovskite* Dengan Konfigurasi ITO/PCBM/CsPbI3/PEDOT:PSS/Ag Terhadap Peningkatan Performa Sel Surya," Universitas sultan ageng tirtayasa, Cilegon, 2023.

[3] J. Pastuszak and P. Węgierek, "Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development," Aug. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/ma15165542.

[4] K. Lu, "Comparison and Evaluation of Different Types of *Solar* Cells," *Applied and Computational Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 263–270, Nov. 2023, doi: 10.54254/2755-2721/23/20230664.

[5] S. Ito, "Research Update: Overview of progress about efficiency and stability on *perovskite solar* cells," *APL Mater*, vol. 4, p. 91504, 2016, [Online]. Available: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99967139

[6] A. B. Djuriić *et al.*, "*Perovskite solar* cells - An overview of critical issues," *Prog Quantum Electron*, vol. 53, pp. 1–37, 2017, [Online]. Available: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:125725637

[7] F. L. de Araújo, A. F. Nogueira, and J. N. de Freitas, "Facile Methods for the Assembly of Large-Area *Perovskite Solar* Cells and Mini-Module: A Step-by-Step Description of Layers Processing," *J Braz Chem Soc*, vol. 34, no. 6, pp. 794–808, 2023, doi: 10.21577/0103-5053.20220148.

[8] Suhendar, *LISTRIK TENAGA SURYA*, Dema Tesniyadi. Tanggerang: Media Edukasi Indonesia, 2022.

[9] N. Li *et al.*, "A low-temperature TiO2/SnO2 electron transport layer for high-performance planar *perovskite solar* cells," *Sci China Mater*, vol. 63, no. 2, pp. 207–215, Feb. 2020, doi: 10.1007/s40843-019-9586-x.

[10] N. Shibayama, S. Fukumoto, H. Sugita, H. Kanda, and S. Ito, "Influence of transparent conductive oxide layer on the inverted *perovskite solar* cell using PEDOT: PSS for hole transport layer," *Mater Res Bull*, vol. 106, pp. 433–438, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.materresbull.2018.06.037.

[11] M. Petrovic, C. Vijila, and S. Ramakrishna, "*Perovskites*: *Solar* cells & engineering applications - materials and device developments," *Solar Energy*, vol. 122, pp. 678–699, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.solener.2015.09.041.

[12] X. Geng, H. Tian, and T.-L. Ren, "Introductory Chapter: *Perovskite* Materials and Advanced Applications," in *Perovskite Materials, Devices and Integration*, IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.92269.

[13] J. H. Im, C. R. Lee, J. W. Lee, S. W. Park, and N. G. Park, "6.5% efficient *perovskite* quantum-dot-sensitized *solar* cell," *Nanoscale*, vol. 3, no. 10, pp. 4088–4093, Oct. 2011, doi: 10.1039/c1nr10867k.

[14] M. K. A. Mohammed, A. K. Al-Mousoi, M. S. Mehde, and A. M. Al-Gebori, "Engineered electronic properties of the spin-coated MAPI for hole-transport-free *perovskite solar* cell (HT-free PSC): Spinning time and PSC performance relationship," *Chem Phys Lett*, vol. 754, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.cplett.2020.137718.

[15] S. Wang *et al.*, "In Situ Self-Elimination of Defects via Controlled *Perovskite* Crystallization Dynamics for High-Performance *Solar* Cells," *Advanced Materials*, vol. 35, Sep. 2023, doi: 10.1002/adma.202305314.

[16] Y. Li *et al.*, "High-Performance Inverted *Perovskite Solar* Cells Enhanced via Partial Replacement of Dimethyl Sulfoxide with N-Methyl-2-Pyrrolidinone," *Solar RRL*, vol. 6, no. 12, Dec. 2022, doi: 10.1002/solr.202200816.

[17] J. Zou, M. Liu, S. Tan, Z. Bi, Y. Wan, and X. Guo, "Rational design and simulation of two-dimensional *perovskite* photonic crystal absorption layers enabling improved light absorption efficiency for *solar* cells," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/en14092460.

[18] C. M. Sutter-Fella *et al.*, "Low pressure vapor-assisted solution process for tunable band gap pinholefree methylammonium lead halide *perovskite* films," *Journal of Visualized Experiments*, vol. 2017, no. 127, Sep. 2017, doi: 10.3791/55404.

[19] J. Zhang *et al.*, "A Two-Stage Annealing Strategy for Crystallization Control of CH3NH3PbI3 Films toward Highly Reproducible *Perovskite Solar* Cells," *Small*, vol. 14, no. 26, Jun. 2018, doi: 10.1002/smll.201800181.

[20] A. Bahtiar, S. Rahmanita, and Y. D. Inayatie, "Pin-Hole Free *Perovskite* Film for *Solar* Cells Application Prepared by Controlled Two-Step Spin-Coating Method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2017. doi: 10.1088/1757-899X/196/1/012037.

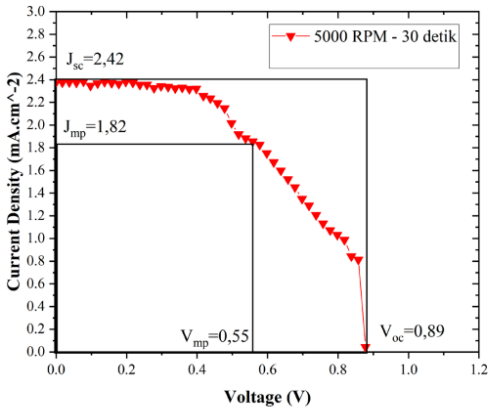
[21] N. Anttu, Z. Zhang, and J. Wallentin, “Beyond ray optics absorption of light in CsPbBr3 *perovskite* nanowire arrays studied experimentally and with wave optics modelling,” *Nanotechnology*, vol. 35, no. 9, Feb. 2024, doi: 10.1088/1361-6528/ad1160.

LAMPIRAN A

CONTOH PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

A.1 Perhitungan PCE



Gambar A.1 Kurva I-V Contoh Perhitungan I-V *Test*

1. Perhitunga P_{in}

   Rumus: $P_{in}= J_{mp} \times V_{mp}$

   Diketahui:

   $J_{mp} = 1{,}79\ mA.cm^{-2}$

   $V_{mp} = 0{,}58\ V$

   Perhitungan:

   $P_{in}= 1{,}79\times 0{,}58$

   $P_{in}= 1{,}0$

2. Perhitungan Nilai FF

   Rumus: $FF= \frac{J_{mp} \times V_{mp}}{J_{sc}\times V_{oc}} \times 100\%$

Diketahui

J_{sc} = 2,42 $mA.cm^{-2}$

V_{oc}=0,89V

Perhitungan

$FF=\frac{179\times0,58}{2,42\times0.89}\times100\%$

FF= 48,02%

3. Perhitungan Nilai PCE (FF)

Rumus: $PCE = FF\frac{J_{sc}\times V_{oc}}{P_{in}}$

$PCE=48,20\frac{2,42\times 0,89}{1,0}\times100\%$

PCE= 1%

A.2 Perhitungan *Band gap*

Rumus:

Persamaan Tauc:

$$(\alpha hv)^n=K(hv-Eg)$$

Perhitungan Nilai Energi

$$Eg=hv,\ hv=\frac{c}{\lambda}$$

$$Eg=\frac{6,62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{\lambda}$$

Mencari nilai α menggunakan hukum Lambert-beer

$$\frac{I}{I_0}=e^{-\alpha l}$$

$$\log\frac{I}{I_0}=\log(e^{-\alpha l})$$

$$A=\alpha L\times\log(e)$$

$$\alpha=\frac{A}{l\times\log(e)}$$

$$\alpha=\frac{A}{1\times 0,4343}$$

$$\alpha=2,303\frac{A}{l}$$

Dimana:

α = koefisen absorbansi

h = konstanta plank

v = frekuensi

n = frekuensi foton (2 untuk direct *band gap*)

K = *energy independent constan*

Eg = *band gap*

c = kecepatan Cahaya

λ = panjang gelombang

A = nilai absorbansi

l = ketebalan lapisan

A.3 Perhitungan Ketebalan

Menggunakan metode swanpoel

Rumus: $d=\frac{\lambda_1\lambda_2}{2(\lambda_1 n_1-\lambda_2 n_2)}$

$$d=\frac{480\times 410}{2(480\times 1,56-410\times 1,76)}$$

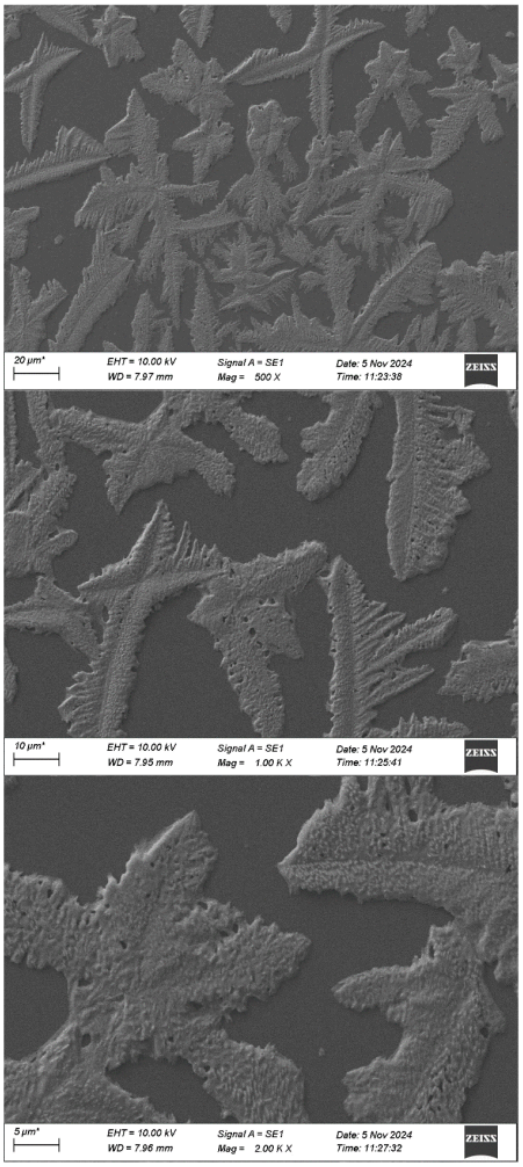
d=66.94

LAMPIRAN B

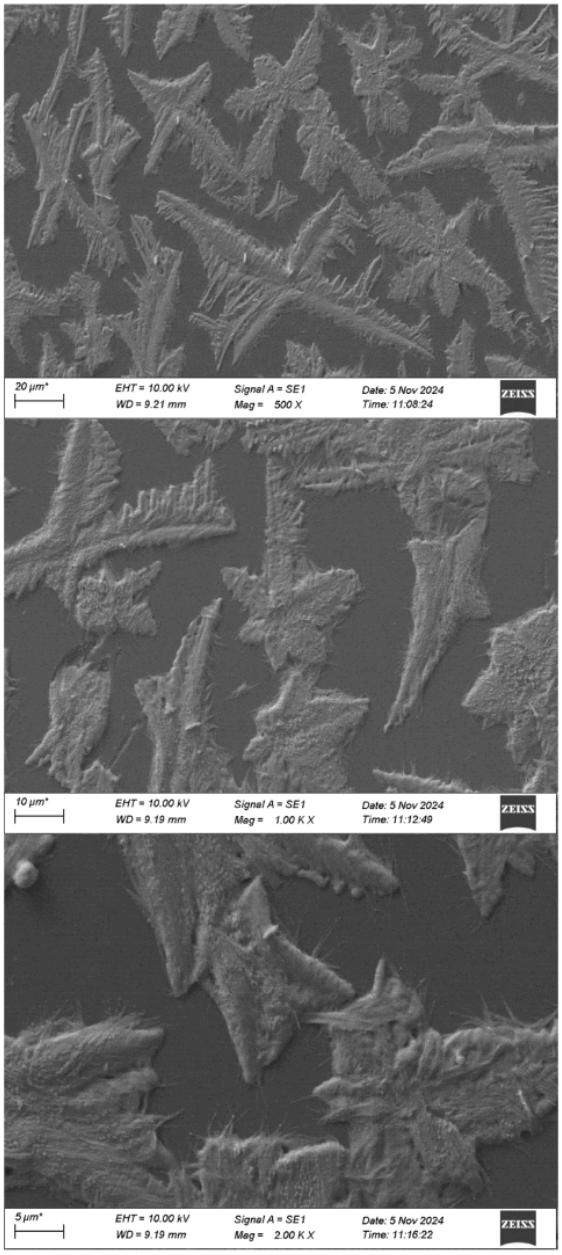
DATA PENELITIAN

Lampiran B. Data penelitian

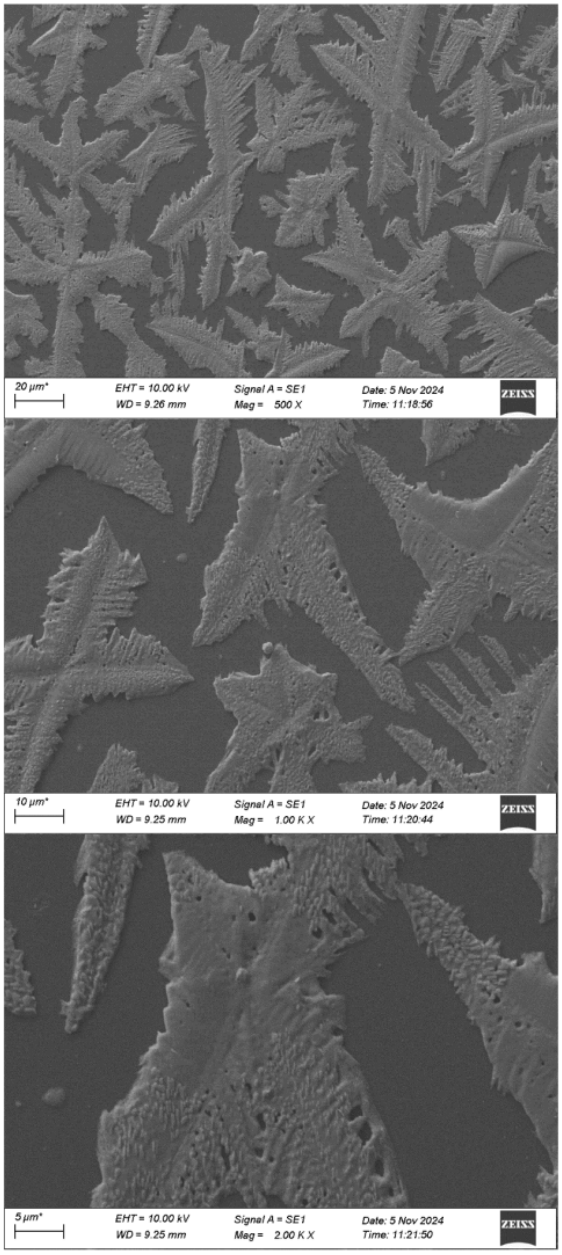
B.1 Data Pengujian SEM



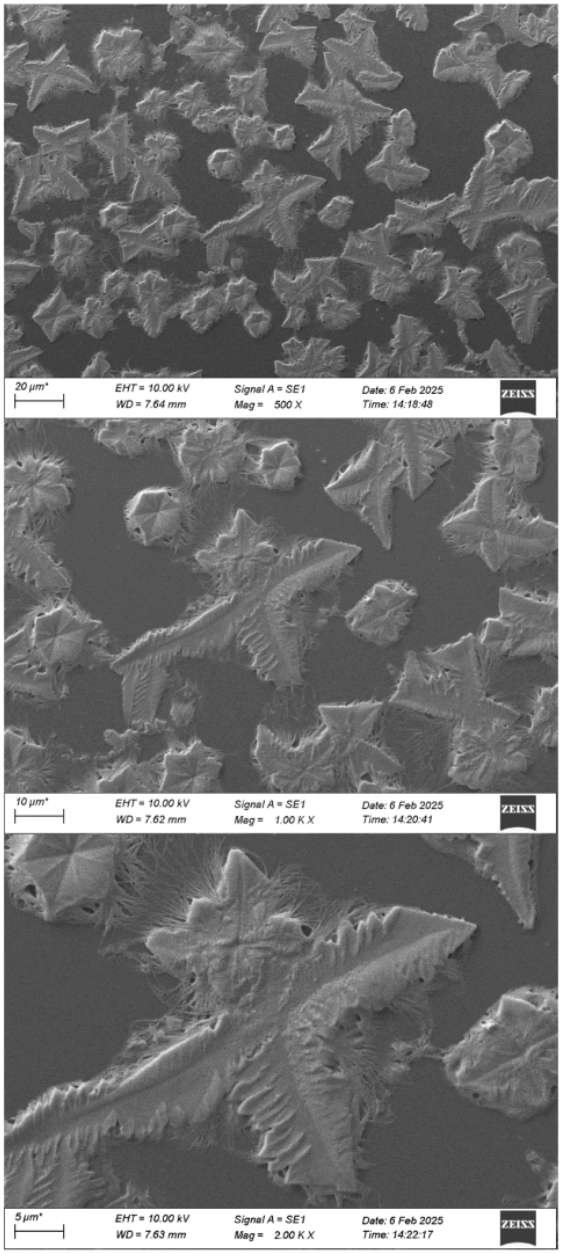
Gambar B.1 SEM Lapisan *Perovskite* 4000 rpm 20 detik



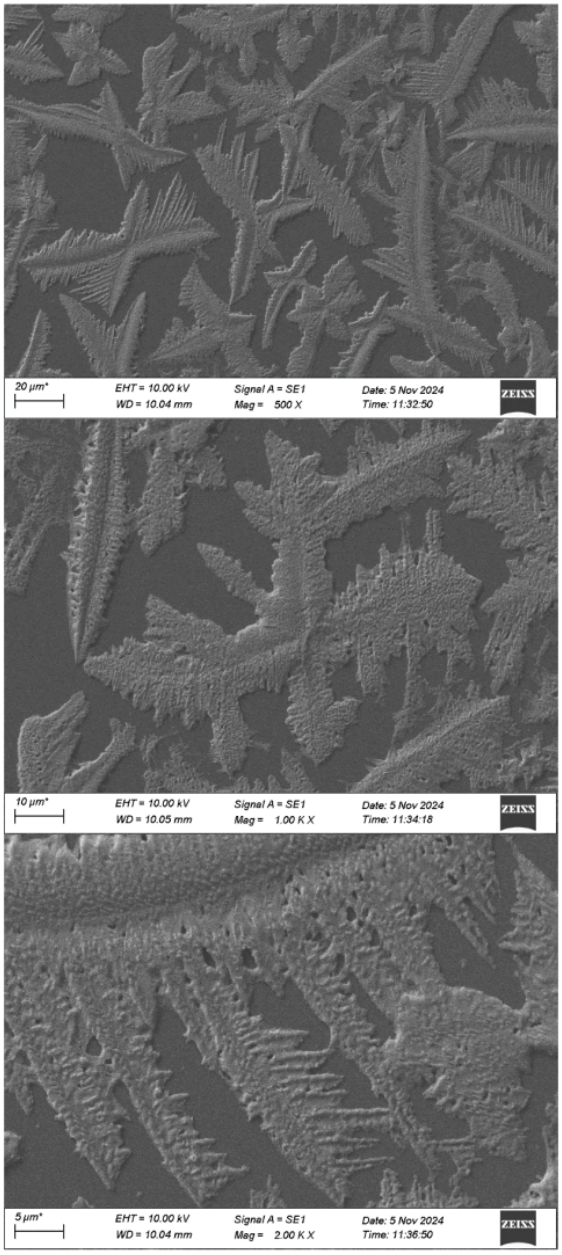
Gambar B.2 SEM Lapisan *Perovskite* 4000 rpm 30 detik



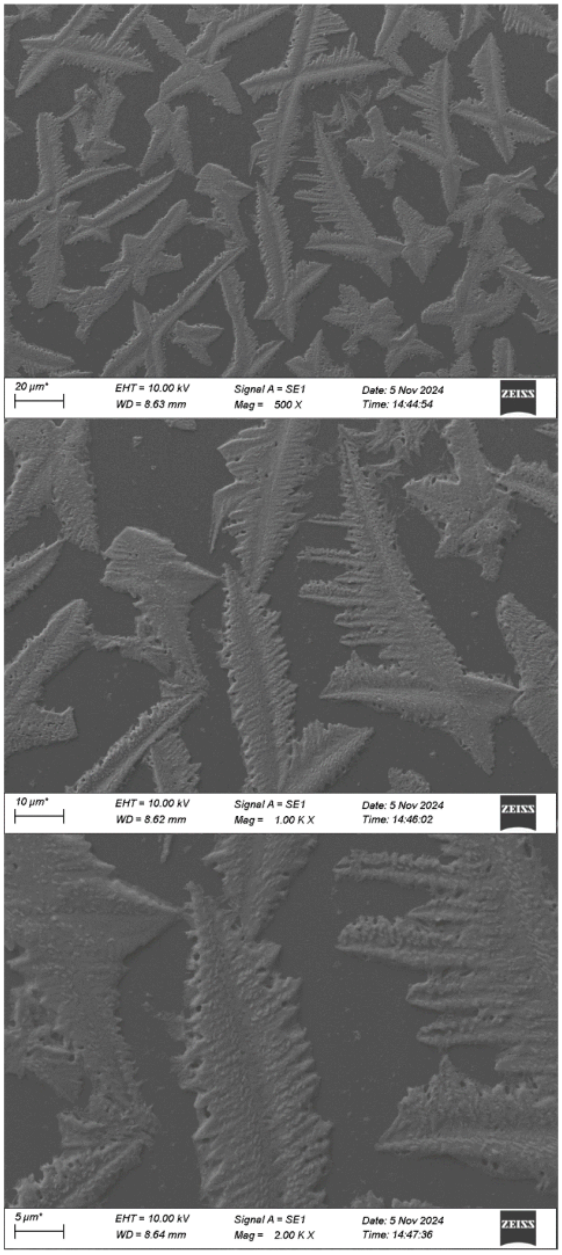
Gambar B.3 SEM Lapisan *Perovskite* 4000 rpm 40 detik



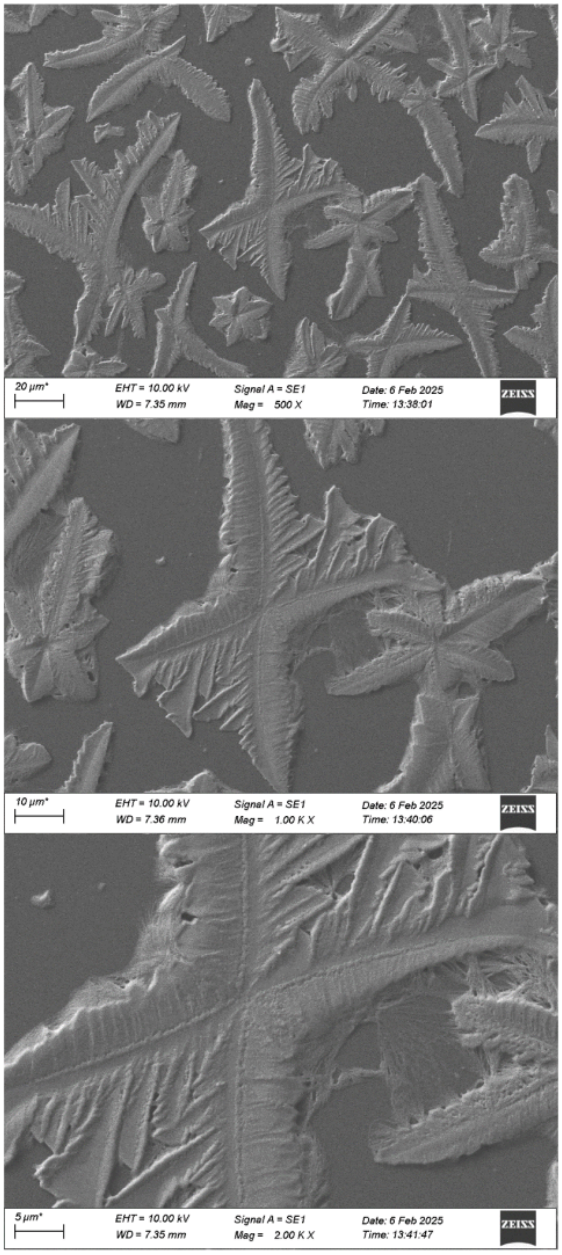
Gambar B.4 SEM Lapisan *Perovskite* 4500 rpm 20 detik



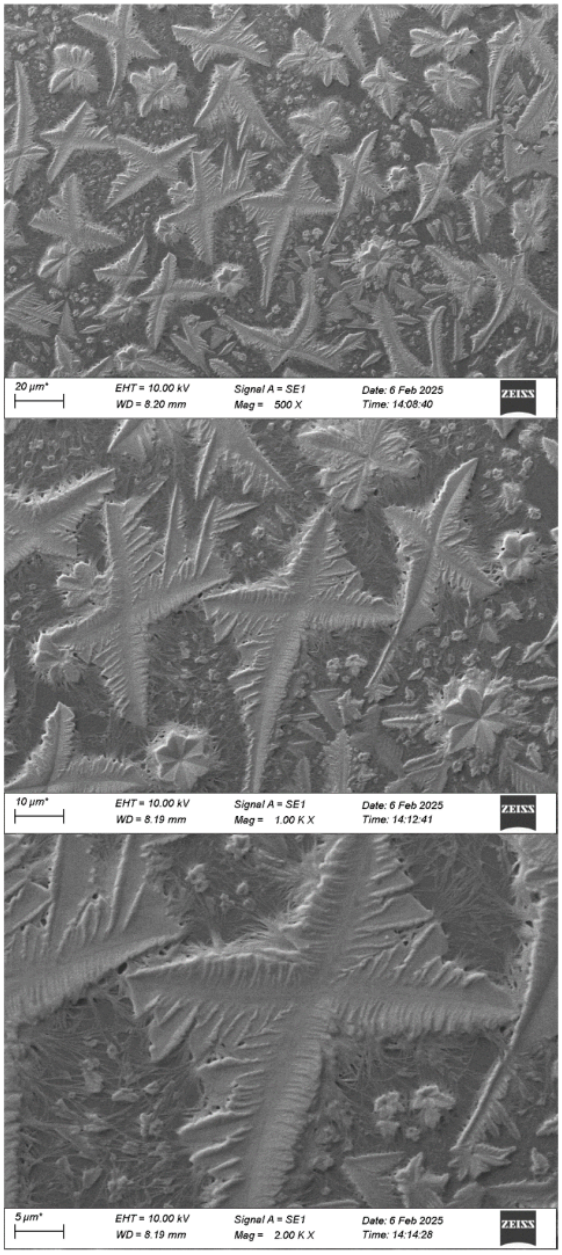
Gambar B.5 SEM Lapisan *Perovskite* 4500 rpm 30 detik



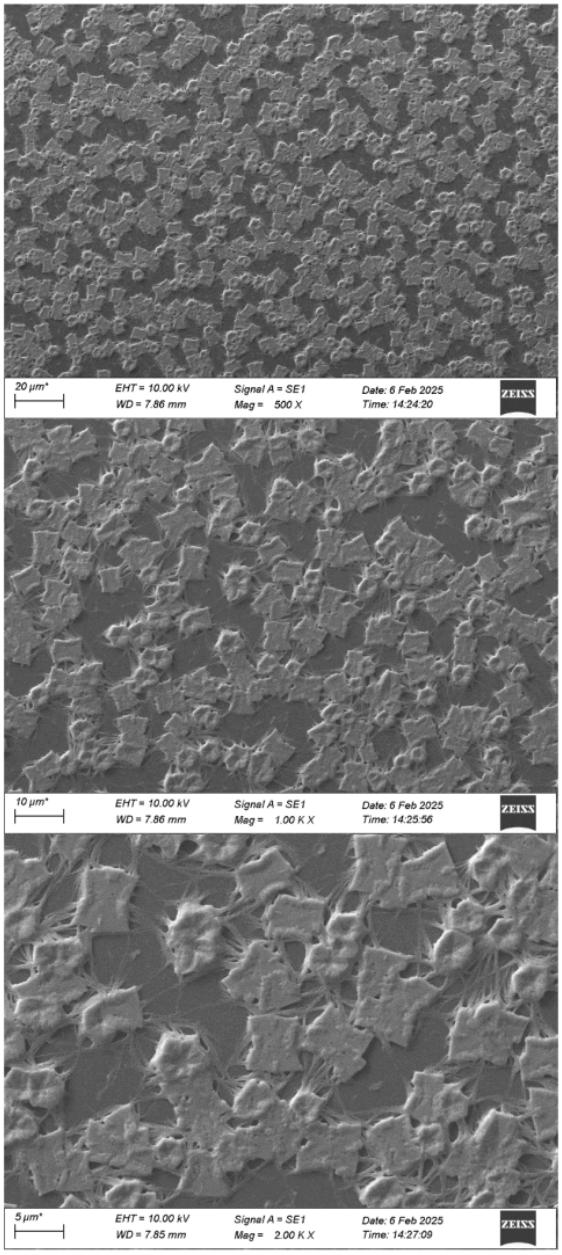
Gambar B.6 SEM Lapisan *Perovskite* 4500 rpm 40 detik



Gambar B.7 SEM Lapisan *Perovskite* 5000 rpm 20 detik

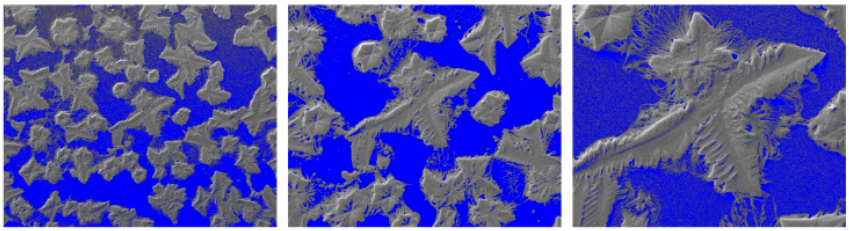


Gambar B.8 SEM Lapisan *Perovskite* 5000 rpm 30 detik

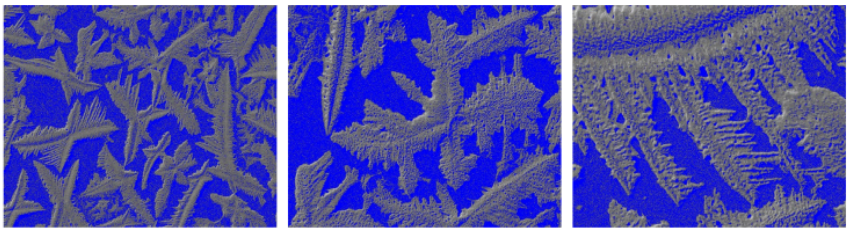


Gambar B.9 SEM Lapisan *Perovskite* 5000 rpm 40 detik

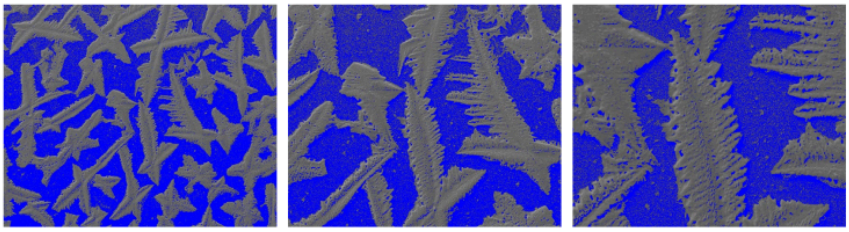
B.2 SEM Tiga Pembesaran setelah Dilakukan *Tresshold* pada *software* ImageJ



20 Detik, 500 × 20 Detik, 1000 × 20 Detik, 2000 ×



30 Detik, 500 × 30 Detik, 1000 × 40 Detik, 2000 ×

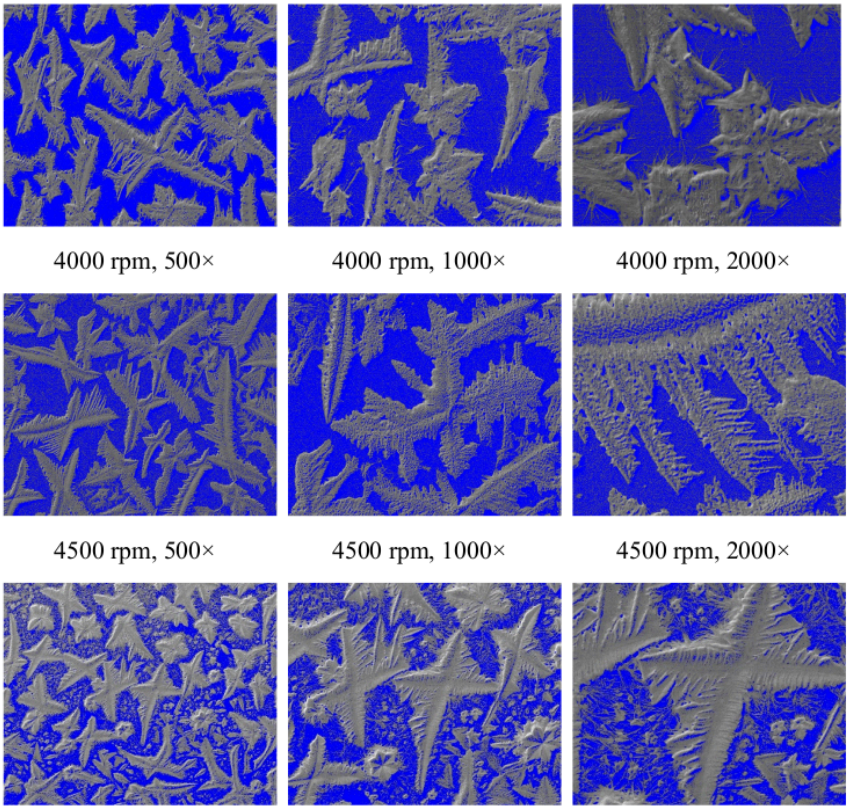


40 Detik, 500 × 40 Detik, 1000 × 40 Detik, 2000 ×

Gambar B.10 SEM Tiga Pembesaran setelah *Tresshold* Variasi Durasi Putar

Tabel B.1 Data Persen *Coverage* Variasi Durasi Putar

Durasi putar (Detik)	***% Coverage***			
	Pembesaran 500×	**Pembesaran 1000×**	**Pembesaran 2000×**	**Rata-rata**
20	54,073	49,499	52,416	51,996
30	67,526	54,151	53,937	58,538
40	58,873	54,545	71,105	61,50767



4000 rpm, 500× 4000 rpm, 1000× 4000 rpm, 2000×

4500 rpm, 500× 4500 rpm, 1000× 4500 rpm, 2000×

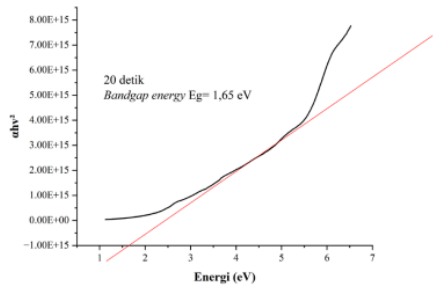
5000 rpm, 500× 5000 rpm, 1000× 5000 rpm, 2000×

Gambar B.11 SEM Tiga Pembesaran setelah *Tresshold* Variasi Kecepatan Putar

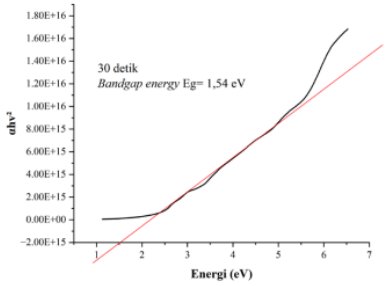
Tabel B.2 Data Persen *Coverage* Variasi Kecepatan Putar

Kecepatan putar (rpm)	***% Coverage***			
	Pembesaran 500×	**Pembesaran 1000×**	**Pembesaran 2000×**	**Rata-rata**
4000	56,608	63,956	67,532	62,69867
4500	67,526	54,151	53,937	58,538
5000	72,044	69,48	69,806	70,44333

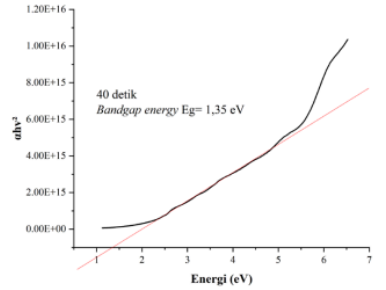
B.3 Data *Band gap*



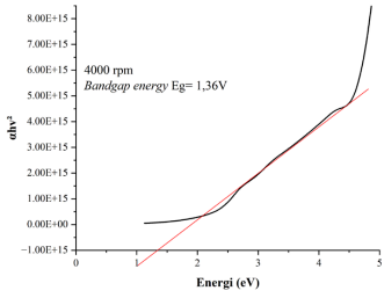
Gambar B.12 Grafik *Band gap* 20 Detik



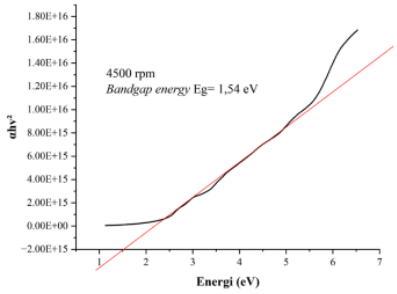
Gambar B.13 Grafik *Band gap* 30 Detik



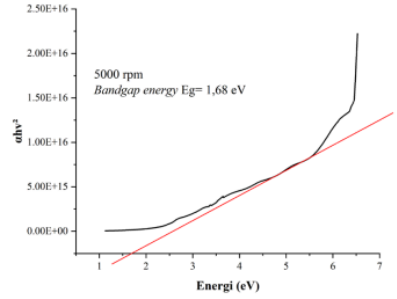
Gambar B. 14 Grafik *Band gap* 40 Detik



Gambar B.15 Grafik *Band gap* 4000 rpm



Gambar B.16 Grafik *Band gap* 4500 rpm



Gambar B.17 Grafik *Band gap* 5000 rpm

B.4 Data Karakterisasi IV

Tabel B.3 Data IV *Test* 20 detik 4000 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0,137664	27,13533	-2,06655	0,245493
2	0,008913	19,8746	-2,00108	0,022412
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0,568704	89,44985	-2,05238	0,309777
6	2,343456	98,1539	-2,06082	1,158534
7	0,109799	25,40428	-2,05129	0,210701
8	0,033935	24,54782	-2,03651	0,067881

Tabel B.4 Data IV *Test* 30 detik 4000 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0,137664	27,13533	-2,06655	0,245493
2	0,008913	19,8746	-2,00108	0,022412
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0,568704	89,44985	-2,05238	0,309777
6	2,343456	98,1539	-2,06082	1,158534
7	0,109799	25,40428	-2,05129	0,210701
8	0,033935	24,54782	-2,03651	0,067881

Tabel B.5 Data IV *Test* 40 detik 4000 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0,0990	25,3329	-2,2869	0,1709
2	1,0418	59,4675	-2,2878	0,7657
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	1,8726	109,9216	-2,2871	0,7449
7	0	0	0	0
8	1,8379	80,8402	-2,2959	0,9902

Tabel B.6 Data IV *Test* 20 detik 4500 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0,858897	33,23254	-2,21779	1,165355
5	0,025815	22,44214	-2,14688	0,05358
6	0,023137	21,35791	-2,15989	0,050155
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0

Tabel B.7 Data IV *Test* 30 detik 4500 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0,016991	24,89649	-1,99226	0,034257
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0,019503	24,78852	-2,31168	0,034035
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	2,125156	98,19756	-2,36306	0,915832

Tabel B.8 Data IV *Test* 40 detik 4500 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	1,04378	74,07282	-2,3534	0,598761
2	0,037681	24,60706	-2,33765	0,065506
3	0	0	0	0
4	2,496961	98,09268	-2,33815	1,088684
5	0,004308	12,44638	-2,22723	0,015542
6	0	0	0	0
7	0,01839	24,74374	-2,29729	0,032353
8	0,004308	12,44638	-2,22723	0,015542

Tabel B.9 Data IV *Test* 20 detik 5000 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0,037001	24,80397	-2,24651	0,066402
2	0,050934	23,97049	-2,24693	0,094567
3	0,008757	18,63057	-2,15159	0,021847
4	0,015952	24,4361	-2,19723	0,02971
5	0,054538	24,80223	-2,24987	0,097735
6	0,283452	59,22935	-2,29701	0,208343
7	0	0	0	0
8	0,056329	21,98409	-1,67364	0,064826

Tabel B.10 Data IV *Test* 30 detik 5000 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA.cm^{-2})	Voc
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0,013925	22,44667	-2,33946	0,026517
5	1,227998	55,31019	-2,36788	0,937634
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0

Tabel B.11 Data IV *Test* 40 detik 5000 rpm

Pixel	PCE%	FF%	Jsc (mA,cm^{-2})	Voc
1	0,211	48,588	-2,664	0,163
2	0,515	32,339	-2,671	0,596
3	0,192	22,125	-2,624	0,330
4	0	0	0	0
5	0,400	27,358	-2,658	0,551
6				
7	1,654	56,841	-2,656	1,096
8	0	0	0	0

Tabel B.12 Data lengkap hasil pengukuran IV

Kecepatan (rpm)	Durasi (detik)	Rata-rata PCE (%)	Rata-rata FF (%)	J_{sc} (mA. cm$^{-2)}$	V_{oc} (V)	PCE Terbaik (%)
	40	0,594	37,450	-2,655	0,547	1,654
5000	30	0,469	36,409	-2,360	0,401	1,228
	20	0,075	29,312	-2,232	0,086	0,283
	40	0,601	41,068	-2,297	0,303	2,497
4500	30	0,498	39,273	-2,149	0,330	2,125
	20	0,303	25,678	-2,175	0,423	0,859
	40	1,004	64,907	-2,287	0,561	1,873
4000	30	0,534	47,428	-2,045	0,336	2,343
	20	0,282	32,244	-2,216	0,307	1,225

B.5Data XRD

Name and formula

Reference code:	96-413-4352
Compound name:	4134351
Common name:	4134351
Chemical formula:	$Pb_{2.00}I_{8.00}Br_{4.00}N_{4.00}H_{36.00}C_{28.00}$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Monoclinic
Space group:	P 1 21 1
Space group number:	4
a (Å):	8.6330
b (Å):	8.9480
c (Å):	15.9330
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	95.5590
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	2.95
Volume of cell (10^6 pm^3):	1225.01
RIR:	67.28

Subfiles and Quality

Subfiles:	User Organic
Quality:	None ( )

Comments

Creation Date:	5/6/2024 09:34:37
Modification Date:	5/6/2024 09:34:37
Crystal color:	orange
	Crystal description: lath
Structure TIDY: TRANS Origin 0 .31470 1/2	
Publication title: Control of crystal symmetry breaking with halogen substituted benzylammonium in layered hybrid metal-halide *perovskite*s.	
COD database code: 4134351	

References

Structure:	Schmitt, Tanja, Bourelle, Sean, Tye, Nathaniel, Soavi, Giancarlo, Bond, Andrew D., Feldmann, Sascha, Traore,

47
Boubacar, Katan, Claudine, Even, Jacky, Dutton, Si^an E, Deschler, Felix , *Journal of the American Chemical Society*, **0**, 0, (2020)

6
Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	15.85807	5.568	100.0
2	1	0	0	8.59240	10.287	0.4
3	0	0	2	7.92903	11.150	26.0
4	-1	0	1	7.88126	11.218	0.0
5	0	1	1	7.79301	11.345	1.5
6	1	0	1	7.26565	12.172	0.1
7	1	1	0	6.19765	14.279	41.4
8	-1	0	2	6.13059	14.436	0.0
9	0	1	2	5.93438	14.916	0.1
10	-1	1	1	5.91427	14.967	12.2
11	1	1	1	5.64039	15.699	10.0
12	1	0	2	5.56463	15.914	0.3
13	0	0	3	5.28602	16.758	3.9
14	-1	1	2	5.05744	17.522	0.8
15	1	1	2	4.72540	18.764	2.0
16	-1	0	3	4.71051	18.823	0.0
17	0	1	3	4.55120	19.489	0.1
18	0	2	0	4.47400	19.828	14.1
19	1	0	3	4.31939	20.546	0.1
20	0	2	1	4.30591	20.611	0.3
21	2	0	0	4.29620	20.658	4.0
22	-2	0	1	4.25198	20.875	5.0
23	-1	1	3	4.16822	21.299	0.2
24	2	0	1	4.04891	21.935	0.0
25	1	2	0	3.96828	22.386	8.1
26	0	0	4	3.96452	22.408	12.2
27	-2	0	2	3.94063	22.545	1.7
28	0	2	2	3.89650	22.804	2.0
29	-1	2	1	3.89079	22.838	0.4
30	1	1	3	3.88989	22.843	0.7
31	2	1	0	3.87293	22.945	2.2
32	-2	1	1	3.84044	23.141	9.1
33	1	2	1	3.80966	23.331	2.8
34	-1	0	4	3.74028	23.770	0.4
35	2	1	1	3.68884	24.106	0.5
36	2	0	2	3.63282	24.484	3.3
37	0	1	4	3.62468	24.540	3.2
38	-1	2	2	3.61397	24.613	1.9
39	-2	1	2	3.60639	24.666	9.2
40	-2	0	3	3.50422	25.397	3.0
41	1	2	2	3.48678	25.526	4.4
42	1	0	4	3.47407	25.621	0.0
43	-1	1	4	3.45093	25.796	2.4
44	0	2	3	3.41500	26.072	5.2
45	2	1	2	3.36599	26.458	0.9
46	-2	1	3	3.26293	27.310	4.4
47	-1	2	3	3.24399	27.473	3.4
48	1	1	4	3.23854	27.520	10.3
49	2	0	3	3.18629	27.980	2.3
50	0	0	5	3.17161	28.112	20.4
51	1	2	3	3.10749	28.705	0.8

52	2	2	0	3.09882	28.787	24.5
53	-2	2	1	3.08210	28.946	13.4
54	-1	0	5	3.07369	29.027	0.6
55	-2	0	4	3.06529	29.109	0.6
56	2	2	1	3.00207	29.736	5.9
57	0	1	5	2.98938	29.865	0.5
58	0	2	4	2.96719	30.093	0.7
59	-2	2	2	2.95713	30.198	1.8
60	0	3	1	2.93127	30.471	3.0
61	-1	1	5	2.90696	30.732	9.3
62	-2	1	4	2.89986	30.809	1.9
63	1	0	5	2.88596	30.961	0.0
64	-1	2	4	2.86959	31.142	2.5
65	-3	0	1	2.86754	31.165	0.4
66	3	0	0	2.86413	31.203	0.1
67	2	2	2	2.82020	31.702	1.3
68	1	3	0	2.81773	31.731	10.6
69	0	3	2	2.79168	32.035	0.1
70	-1	3	1	2.78958	32.059	5.9
71	2	0	4	2.78231	32.145	1.0
72	-3	0	2	2.78124	32.158	0.1
73	3	0	1	2.77196	32.269	0.4
74	1	3	1	2.75922	32.422	2.2
75	-2	2	3	2.75874	32.427	0.5
76	1	1	5	2.74663	32.574	6.4
77	1	2	4	2.74396	32.607	0.1
78	-3	1	1	2.73074	32.769	4.5
79	3	1	0	2.72780	32.806	12.4
80	-1	3	2	2.68208	33.381	1.2
81	-2	0	5	2.67862	33.425	1.2
82	2	1	4	2.65684	33.708	1.5
83	-3	1	2	2.65590	33.720	1.5
84	3	1	1	2.64782	33.826	2.0
85	0	0	6	2.64301	33.889	3.7
86	1	3	2	2.62884	34.078	1.0
87	-3	0	3	2.62709	34.101	0.0
88	3	0	2	2.61408	34.276	0.2
89	-1	0	6	2.59791	34.496	0.3
90	2	2	3	2.59537	34.531	1.2
91	0	2	5	2.58742	34.640	3.1
92	-2	1	5	2.56611	34.937	1.4
93	0	1	6	2.53475	35.384	0.2
94	-1	2	5	2.53342	35.403	1.1
95	-2	2	4	2.52872	35.471	3.7
96	-3	1	3	2.52069	35.587	0.1
97	-1	3	3	2.51997	35.598	1.1
98	3	1	2	2.50919	35.756	0.3
99	-1	1	6	2.49489	35.968	1.5
100	1	0	6	2.46012	36.494	0.0
101	1	3	3	2.45437	36.583	0.1
102	2	3	0	2.45009	36.649	0.8
103	-2	3	1	2.44180	36.778	0.2
104	2	0	5	2.44113	36.788	0.3
105	-3	0	4	2.43639	36.862	0.0
106	1	2	5	2.42518	37.039	2.3
107	3	0	3	2.42188	37.091	0.0
108	-3	2	1	2.41422	37.213	1.1
109	3	2	0	2.41219	37.246	0.3
110	2	3	1	2.40142	37.419	1.2

111	0	3	4	2.38345	37.711	1.9
112	-2	3	2	2.37823	37.797	0.2
113	1	1	6	2.37210	37.899	0.9
114	2	2	4	2.36270	38.055	8.5
115	-3	2	2	2.36204	38.066	0.5
116	3	2	1	2.35635	38.162	0.3
117	-2	0	6	2.35526	38.180	0.7
118	-3	1	4	2.35080	38.255	1.6
119	3	1	3	2.33777	38.477	0.5
120	-1	3	4	2.33198	38.576	3.1
121	2	3	2	2.30523	39.042	0.9
122	-2	2	5	2.29821	39.166	6.8
123	-2	1	6	2.27768	39.534	1.1
124	0	2	6	2.27560	39.572	0.1
125	-2	3	3	2.27131	39.649	0.5
126	0	0	7	2.26544	39.756	1.3
127	1	3	4	2.26303	39.801	2.2
128	3	2	2	2.25705	39.910	0.3
129	-1	2	6	2.24662	40.104	0.0
130	-1	0	7	2.24484	40.137	0.0
131	0	4	0	2.23700	40.284	1.7
132	-3	0	5	2.23614	40.300	0.1
133	3	0	4	2.22173	40.573	0.1
134	0	4	1	2.21507	40.700	2.0
135	0	1	7	2.19615	41.066	0.4
136	2	3	3	2.17749	41.434	0.3
137	0	3	5	2.17279	41.528	0.1
138	-3	1	5	2.16942	41.596	6.0
139	1	4	0	2.16484	41.688	0.5
140	2	0	6	2.15970	41.792	0.2
141	-4	0	1	2.15663	41.854	1.3
142	3	1	4	2.15626	41.861	3.3
143	1	2	6	2.15571	41.873	0.5
144	0	4	2	2.15296	41.929	0.3
145	-1	4	1	2.15199	41.948	4.4
146	4	0	0	2.14810	42.028	2.7
147	2	2	5	2.14290	42.135	5.9
148	-1	3	5	2.14052	42.184	5.3
149	1	0	7	2.14007	42.193	0.0
150	-3	2	4	2.13969	42.201	0.6
151	1	4	1	2.13796	42.237	0.3
152	-2	3	4	2.13768	42.243	1.3
153	3	2	3	2.12985	42.405	0.5
154	-4	0	2	2.12599	42.486	0.1
155	4	0	1	2.10175	43.000	0.1
156	-1	4	2	2.10147	43.006	1.3
157	2	1	6	2.09941	43.051	0.3
158	-4	1	1	2.09659	43.111	0.6
159	-2	0	7	2.08914	43.273	0.0
160	4	1	0	2.08875	43.281	1.8
161	-2	2	6	2.08411	43.383	2.9
162	1	1	7	2.08137	43.443	0.3
163	1	4	2	2.07557	43.570	0.3
164	1	3	5	2.07403	43.604	2.7
165	-4	1	2	2.06841	43.729	1.1
166	-3	3	1	2.06716	43.757	0.3
167	3	3	0	2.06588	43.785	0.5
168	-4	0	3	2.06090	43.896	0.0
169	0	4	3	2.06012	43.914	0.2

170	4	1	1	2.04607	44.231	1.1
171	-3	0	6	2.04353	44.289	0.2
172	-2	1	7	2.03443	44.498	1.5
173	-3	3	2	2.03412	44.505	0.3
174	3	3	1	2.03048	44.589	0.0
175	3	0	5	2.03009	44.598	0.1
176	4	0	2	2.02445	44.729	0.2
177	0	2	7	2.02110	44.807	0.1
178	-1	4	3	2.02071	44.816	0.3
179	-4	1	3	2.00832	45.108	0.6
180	-1	2	7	2.00644	45.153	0.0
181	-3	2	5	2.00022	45.301	0.1
182	-2	3	5	1.99292	45.476	0.5
183	-3	1	6	1.99224	45.493	2.2
184	3	2	4	1.98989	45.549	0.7
185	1	4	3	1.98641	45.633	2.1
186	2	4	0	1.98414	45.689	2.5
187	0	0	8	1.98226	45.734	0.0
188	3	1	5	1.97978	45.795	2.7
189	0	3	6	1.97812	45.835	0.5
190	4	1	2	1.97455	45.923	0.7
191	-1	0	8	1.97386	45.940	0.1
192	-3	3	3	1.97142	46.000	0.6
193	-4	0	4	1.97031	46.028	0.0
194	3	3	2	1.96591	46.137	0.2
195	-1	3	6	1.95900	46.309	2.7
196	2	4	1	1.95803	46.333	0.5
197	0	4	4	1.94825	46.579	1.9
198	-2	4	2	1.94540	46.652	0.1
199	2	2	6	1.94495	46.663	3.1
200	-4	2	1	1.94271	46.720	1.6
201	4	2	0	1.93646	46.880	2.3
202	0	1	8	1.93534	46.909	0.5
203	1	2	7	1.93057	47.031	1.2

18

Name and formula

Reference code:	96-400-3376
Compound name:	4003375
Common name:	4003375
Chemical formula:	$Pb_{56.22}I_{61.92}$

12

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	P -4 3 m
Space group number:	215
a (Å):	23.2900
b (Å):	23.2900
c (Å):	23.2900
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm^3):	2.56
Volume of cell (10^6 pm^3):	12633.06
RIR:	39.92

8

Subfiles and Quality

Subfiles:	User Inorganic
Quality:	None ( )

Comments

Creation Date:	5/6/2024 00:06:06
Modification Date:	5/6/2024 00:06:06

Structure TIDY: TRANS Origin 1/2 1/2 1/2
Publication title: Solution Processing of Methylammonium Lead Iodide *Perovskite* from g-Butyrolactone: Crystallization Mediated by Solvation Equilibrium
COD database code: 4003375

References

Structure: Fateev, Sergey A., Petrov, Andrey A., Khrustalev, Victor N., Dorovatovskii, Pavel V., Zubavichus, Yan V., Goodilin, Eugene A., Tarasov, Alexey B., *Chemistry of Materials*, **30**, 5237, (2018)

Peak list

No.	h	k	l	d [A]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	0	23.29000	3.791	1.0
2	0	1	1	16.46852	5.362	100.0
3	1	1	1	13.44649	6.568	0.2
4	0	2	0	11.64500	7.586	5.1
5	0	2	1	10.41560	8.483	0.0
6	1	2	1	9.50810	9.294	4.9
7	0	2	2	8.23426	10.736	1.0
8	1	2	2	7.76333	11.389	1.2
9	0	3	1	7.36494	12.007	0.0
10	1	3	1	7.02220	12.595	0.6
11	2	2	2	6.72324	13.158	0.1
12	0	3	2	6.45948	13.698	0.0
13	1	3	2	6.22451	14.217	0.1
14	0	4	0	5.82250	15.205	0.4
15	2	3	2	5.64865	15.676	2.3
16	1	4	1	5.48951	16.133	0.3
17	1	3	3	5.34309	16.578	0.2
18	0	4	2	5.20780	17.012	0.0
19	1	4	2	5.08229	17.435	0.0
20	2	3	3	4.96544	17.849	0.1
21	2	4	2	4.75405	18.650	0.0
22	0	5	0	4.65800	19.038	0.0
23	0	5	1	4.56754	19.418	0.1
24	1	5	1	4.48216	19.792	0.1
25	2	4	3	4.32484	20.519	1.1
26	1	5	2	4.25215	20.874	1.0
27	0	4	4	4.11713	21.567	0.0
28	2	5	2	4.05427	21.905	0.1
29	3	4	3	3.99420	22.239	0.0
30	1	5	3	3.93673	22.568	0.0
31	0	6	0	3.88167	22.892	7.9
32	0	6	1	3.82885	23.212	0.0
33	1	6	1	3.77814	23.528	0.3
34	0	6	2	3.68247	24.149	0.0
35	3	4	4	3.63729	24.453	1.1
36	1	5	4	3.59372	24.754	0.1
37	3	5	3	3.55169	25.052	0.1
38	2	6	2	3.51110	25.346	0.4
39	2	5	4	3.47187	25.638	0.2
40	1	6	3	3.43392	25.926	0.2
41	4	4	4	3.36162	26.494	0.0
42	2	6	3	3.32714	26.773	0.0
43	0	7	1	3.29370	27.050	18.1
44	1	5	5	3.26125	27.324	0.0
45	0	6	4	3.22974	27.596	0.0
46	0	7	2	3.19913	27.866	0.1
47	1	7	2	3.16937	28.133	0.0
48	2	6	4	3.11226	28.660	0.0
49	4	5	4	3.08484	28.920	0.1
50	0	7	3	3.05813	29.178	0.1
51	3	5	5	3.03210	29.434	0.0
52	0	6	5	2.98198	29.941	0.0

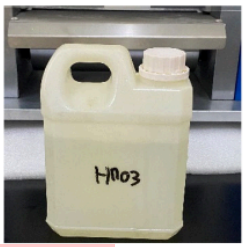
LAMPIRAN C

GAMBAR ALAT DAN BAHAN

Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan

Gambar C.1 Air Deionisasi

Gambar C.2 Ag *Paste*

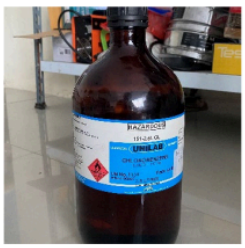


Gambar C.3 Asam Nitrat

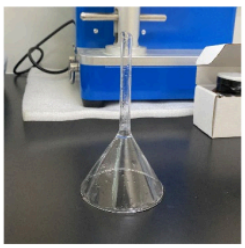
Gambar C.4 Aseton

Gambar C.5 Asetonitril

Gambar C.6 Botol Kaca

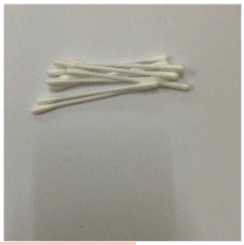


Gambar C.7 Chlorobenzene



Gambar C.8 Corong

Gambar C.9 *Cutter*



Gambar C.10 *Cotton Bud*

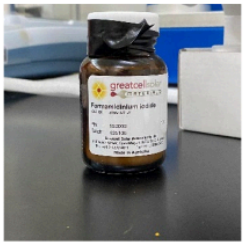
Gambar C.11 Detergen

Gambar C.12 DMF

Gambar C.13 DMSO

Gambar C.14 *Dry Cabinet*

Gambar C.15 Etanol

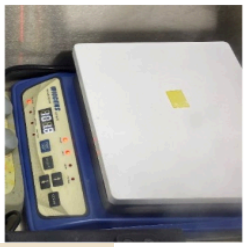


Gambar C.16 FAI

Gambar C.17 Gas Nitrogen

Gambar C.18 Gelas Beker

Gambar C.19 *Glove Box*

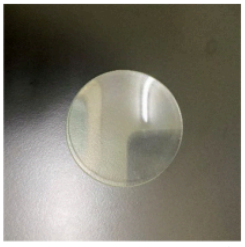


Gambar C.20 *Hot Plate*

Gambar C.21 Hygrometer

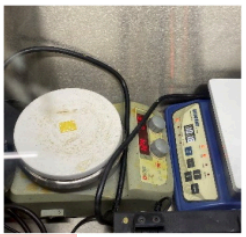
Gambar C.22 Isopropanol

Gambar C.23 ITO *Glass*



Gambar C.24 Kaca Arloji

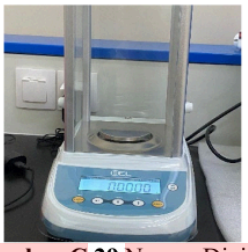
Gambar C.25 Li-TFSI



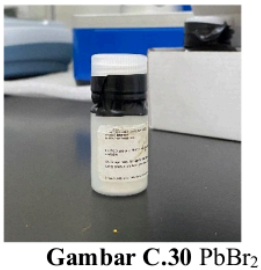
Gambar C.26 *Magnetic Stirrer*

Gambar C.27 MAI

Gambar C.28 Mikropipet 10-100 µl



Gambar C.29 Neraca Digital

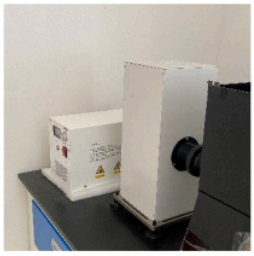


Gambar C.30 $PbBr_2$

Gambar C.31 Pbi_2

Gambar C.32 Sablon

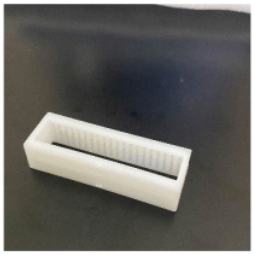
Gambar C. 33 *Scanning Electron Microscope* SEM



Gambar C.34 *Solar Simulator*

Gambar C.35 *Solar Test* I-V *System*

Gambar C. 36 Spatula



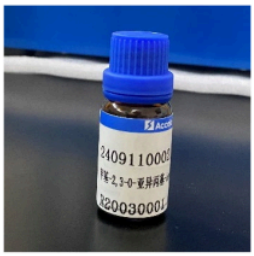
Gambar C.37 Substrat Rak

Gambar C.38 *Spin Bar*

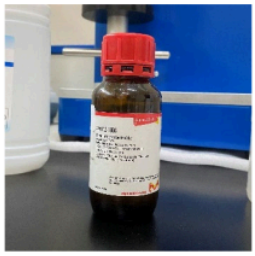
Gambar C.39 *Spin Coater*

Gambar C.40 Spiro-Ometad

Gambar C.41 *Syringe Filter*

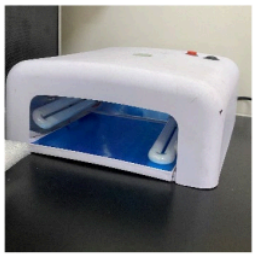


Gambar C.42 Tetrabutyl Pytidine



Gambar C.43 Tetrabutyl Titanate

Gambar C.44 *Ultrasonic Bath*



Gambar C.45 UV *Curing Lamp*

Gambar C. 46 UV-Vis Spektrofotometer

Turnitin

ORIGINALITY REPORT

15%	14%	7%	7%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	eprints.untirta.ac.id Internet Source	2%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	jurnal.uisu.ac.id Internet Source	1%
4	docplayer.info Internet Source	1%
5	www.scribd.com Internet Source	<1%
6	Submitted to Universiti Putra Malaysia Student Paper	<1%
7	text-id.123dok.com Internet Source	<1%
8	scholar.unand.ac.id Internet Source	<1%
9	learnsolarblog.wordpress.com Internet Source	<1%

10	123dok.com Internet Source	<1%
11	pdfcoffee.com Internet Source	<1%
12	Submitted to itera Student Paper	<1%
13	Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Student Paper	<1%
14	repository.uhn.ac.id Internet Source	<1%
15	Submitted to University of Sheffield Student Paper	<1%
16	qdoc.tips Internet Source	<1%
17	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1%
18	Ton Duc Thang University Publication	<1%
19	Submitted to Higher Education Commission Pakistan Student Paper	<1%
20	digilib.unimed.ac.id Internet Source	<1%

21	pubs.rsc.org Internet Source	<1%
22	eurekaunima.com Internet Source	<1%
23	pt.scribd.com Internet Source	<1%
24	uinmataram.ac.id Internet Source	<1%
25	Submitted to Staffordshire University Student Paper	<1%
26	pesquisa.bvsalud.org Internet Source	<1%
27	kamilpasca.itb.ac.id Internet Source	<1%
28	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1%
29	repository.untirta.ac.id Internet Source	<1%
30	www.researchgate.net Internet Source	<1%
31	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1%
32	scholarscompass.vcu.edu Internet Source	<1%

33	repository.ubb.ac.id Internet Source	<1%
34	Submitted to University of Nottingham Student Paper	<1%
35	www.tdx.cat Internet Source	<1%
36	orca.cardiff.ac.uk Internet Source	<1%
37	etheses.uinsgd.ac.id Internet Source	<1%
38	pdffox.com Internet Source	<1%
39	Submitted to Universitas Sebelas Maret Student Paper	<1%
40	mamadtama.wordpress.com Internet Source	<1%
41	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1%
42	sumberbelajar.seamolec.org Internet Source	<1%
43	Rodolfo Keesey, Armi Tiihonen, Alexander E. Siemenn, Thomas W. Colburn et al. "An Open-Source Environmental Chamber for Materials-	<1%

	Stability Testing Using an Optical Proxy", Digital Discovery, 2023 Publication	
44	Submitted to Universitas Andalas Student Paper	<1 %
45	pureadmin.qub.ac.uk Internet Source	<1 %
46	www.freepatentsonline.com Internet Source	<1 %
47	crystallography.io Internet Source	<1 %
48	fdocumenti.com Internet Source	<1 %
49	repositori.uma.ac.id Internet Source	<1 %
50	repository.unikama.ac.id Internet Source	<1 %
51	Jun Zhu, Tangming Li. "Photonic crystal and Ti nanoparticles enhanced high-absorption GaAs thin-film solar cell", Materials Science in Semiconductor Processing, 2024 Publication	<1 %
52	repositorio.ufscar.br Internet Source	<1 %

53	Carlson Ntum Jua, Mercel Vubangsi, Ekane Peter Etape, Edwin Akongnwi Nforna, Julius N. Ghogomu. "DFT study of the effects of substitution of Pb by Ca, Co and Fe on the structural, electronic and optical properties of methylammonium and formamidinium lead chlorides", Computational Condensed Matter, 2025 Publication	<1%
54	Cherukara Rajan, Grace. "Optimization of Top Contact for Cu(In,Ga)Se2 Solar Cells.", Old Dominion University, 2018 Publication	<1%
55	Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia Student Paper	<1%
56	Julianti Lestari, Helga Dwi Fahyuan, Ngatijo Ngatijo. "PENGARUH DOPING Al TERHADAP TiO2 SEBANGAI PENDEGRADASI LIMBAH TEKSTIL METYELENE BLUE", JOURNAL ONLINE OF PHYSICS, 2018 Publication	<1%
57	Ratcliff, Christopher. "Growth and Characterization of III-Phosphide Materials and Solar Cells for III-V/Si Photovoltaic Applications.", Proquest, 2015. Publication	<1%

58	Submitted to Universidad Rey Juan Carlos Student Paper	<1%
59	Submitted to University of Ulster Student Paper	<1%
60	etd.aau.edu.et Internet Source	<1%
61	Ichsan, Zahrotul Muna. "Studi Indikator Green Construction Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2024 Publication	<1%
62	dokumen.pub Internet Source	<1%
63	journal.upgris.ac.id Internet Source	<1%
64	sir.stikom.edu Internet Source	<1%
65	thesis.univ-biskra.dz Internet Source	<1%
66	www.slideshare.net Internet Source	<1%
67	Submitted to Universitas Jenderal Achmad Yani Student Paper	<1%

68	m.tribunnews.com Internet Source	<1%
69	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1%
70	repository.ub.ac.id Internet Source	<1%
71	repository.untag-sby.ac.id Internet Source	<1%
72	Submitted to Defense University Student Paper	<1%
73	Renatha Ayu Rossdiana. "The Urgency of China's Crypto Mining Ban in Relation to the Carbon Neutral Policy 2060", Jurnal Global & Strategis, 2023 Publication	<1%
74	acikerisim.karabuk.edu.tr:8080 Internet Source	<1%
75	ilmugeografi.com Internet Source	<1%
76	jurnal.akfarsam.ac.id Internet Source	<1%
77	repository.stiesia.ac.id Internet Source	<1%
78	www.coursehero.com Internet Source	

		<1%
79	Maziyatul Faiqoh, Tri Fitri Yana Utami, Yuniariana Pertiwi. "Uji Antioksidan Sediaan Stick Balm Ekstrak Daun Rhizophora Mucronata Dengan Metode Dpph", Jurnal Ilmiah JOPHUS : Journal Of Pharmacy UMUS, 2020 Publication	<1%
80	Satrio Amrullah, Darmawati Darwis, Iqbal Iqbal. "Dye Sensitized Solar Cell Nanokristal TiO2 Menggunakan Ekstrak Antosianin Melastoma malabathricum L", Natural Science: Journal of Science and Technology, 2017 Publication	<1%
81	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1%
82	es.scribd.com Internet Source	<1%
83	journal.student.uny.ac.id Internet Source	<1%
84	repository.unpas.ac.id Internet Source	<1%
85	scholarspace.manoa.hawaii.edu Internet Source	<1%

86	Submitted to unimal Student Paper	<1%
87	www.jimmychooshoes-outlet.us.com Internet Source	<1%
88	www.kaskus.co.id Internet Source	<1%
89	www.mdpi.com Internet Source	<1%
90	Aprilia Aslah, Widya A. Lolo, Imam Jayanto. "AKTIVITAS ANTIBAKTERI DAN ANALISIS KLT-BIOAUTOGRAFI DARI FRAKSI DAUN MENGKUDU (Morinda citrifolia L.)", PHARMACON, 2019 Publication	<1%
91	artikelpendidikan.id Internet Source	<1%
92	cienciamerica.edu.ec Internet Source	<1%
93	conservancy.umn.edu Internet Source	<1%
94	digilib.unhas.ac.id Internet Source	<1%
95	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	<1%

96	digitum.um.es Internet Source	<1%
97	docobook.com Internet Source	<1%
98	julharman.blogspot.com Internet Source	<1%
99	jurnal.polinema.ac.id Internet Source	<1%
100	metalurgi.untirta.ac.id Internet Source	<1%
101	ojs.unud.ac.id Internet Source	<1%
102	poskupangwiki.tribunnews.com Internet Source	<1%
103	repositori.uin-alauddin.ac.id Internet Source	<1%
104	repository.aust.edu.ng Internet Source	<1%
105	repository.uksw.edu Internet Source	<1%
106	repository.usd.ac.id Internet Source	<1%
107	vdocuments.mx Internet Source	<1%

108	core.ac.uk Internet Source	<1%
109	mediatum.ub.tum.de Internet Source	<1%

Exclude quotes	On	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	On		