

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ilmiah memerlukan metode untuk menuntun peneliti, khususnya dalam langkah penelitian dan teknik penelitian dalam pengambilan data agar menghasilkan data yang akurat untuk mencapai tujuan penelitian. Metode yang penulis gunakan yaitu metode studi literatur dan eksperimen.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Agustus 2022 yang bertempat di Laboratorium IPA-1 (Lab Basah) Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Kota Bandung, Jawa Barat.

3.2 Metode Penelitian

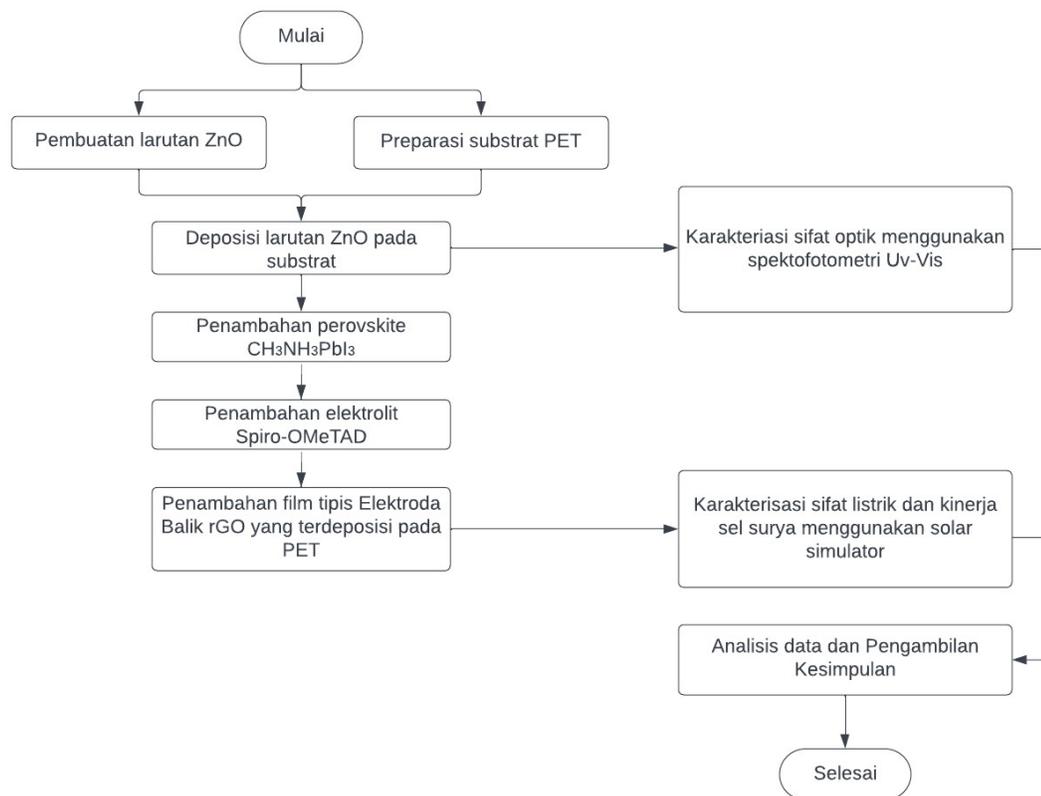
Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode studi literatur dan eksperimen. Studi literatur dilakukan dengan memperoleh informasi terkait topik penelitian dari artikel, karya ilmiah, laporan penelitian, buku digital serta media lainnya sehingga memperoleh hasil penelitian yang sesuai. Metode eksperimen dilakukan dengan membuat PSC dengan fotoelektroda berupa ZnO. Proses ini dimulai dengan preparasi alat dan bahan, kemudian pembuatan fotoelektroda ZnO, deposisi larutan ZnO ke atas substrat, pembuatan perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, penambahan perovskit ke atas substrat, pembuatan larutan elektrolit berupa spiro-OMeTAD, penambahan elektrolit ke atas substrat, dan penambahan rGO sebagai elektroda balik. Setelah selesai menyusun PSC, beberapa pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik sel surya yang telah dibuat.

Kedua metode ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain, sehingga memperoleh pengaruh ketebalan lapisan fotoelektroda terhadap kinerja PSC. Eksperimen dilakukan dengan variabel seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Variabel Eksperimen

Variabel kontrol	Variabel bebas	Variabel terikat
Metode deposisi fotoelektroda dan sistem sel surya yang meliputi substrat fleksibel PET, perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, elektrolit Spiro-OMeTAD dan <i>counter electrode</i> rGO	Ketebalan lapisan fotoelektroda ZnO	Sifat optik dan kinerja sel surya

Berikut merupakan langkah-langkah penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Langkah-Langkah Penelitian

3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini untuk membuat perangkat sel surya hingga selesai ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2
Alat yang Digunakan dalam Penelitian

1. <i>Aluminium foil</i>	2. Batang pengaduk (<i>rod</i>)
3. <i>Cleaning frame Cutter</i>	4. Cawan petri
5. Gelas kimia	6. Gunting
7. Kertas saring	8. <i>Magnetic stirrer</i>
9. Multimeter	10. Neraca digital
11. Oven	12. Pinset
13. Pipet	14. Mikrometer
15. Selotip anti panas	16. <i>Solar simulator AM 1,5G filter</i> <i>100 mWcm⁻²</i>
17. Spatula	18. <i>Spin-coater</i>
19. <i>Ultrasonic Cleaner Bath</i>	20. <i>Uv-Vis Spectrophotometer</i>

Bahan yang digunakan untuk membuat fotoelektroda ZnO, perovskit CH₃NH₃PbI₃, elektrolit Spiro-OMeTAD dan elektroda balik rGO pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3
Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

1. rGO powder	2. Aseton
3. Aquades	4. Chlorobenzene
5. Isopropil alcohol (IPA)	6. Kalium Hidroksida (KOH)
7. LiTFSI	8. Metanol (CH ₃ OH)
9. Metilamonium Iodide (MAI)	10. Seng Asetat Dihidrat (Zn(CH ₃ COO) ₂ · 2H ₂ O)
11. Spiro-OMeTAD powder	12. Substrat ITO PET
13. TBP	14. Lead (II) Iodide (PbI ₂)
15. Dimetil Formamide (DMF)	16. Dimetil Sulfokside (DMSO)

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan mulai dari persiapan alat dan bahan, pembersihan substrat, pembuatan dan deposisi elektroda ZnO, *spin-coating* perovskit, penambahan elektrolit spiro-OMeTAD serta penambahan elektroda balik rGO hingga *perovskite solar cell* (PSC) tersusun dan dapat dikarakterisasi.

3.4.1 Preparasi Pembuatan Fotoelektroda ZnO

a. Pembuatan Larutan ZnO

Nanopartikel ZnO dibuat menggunakan prosedur umum yang digunakan untuk pembuatan nanopartikel yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2, yaitu sebagai berikut: seng asetat dihidrat (1,475 g) dilarutkan dalam metanol (62,5 mL) pada suhu 60°C, larutan KOH (0,74 g) dalam metanol ditambahkan dalam 10 menit ke dalam larutan seng asetat dihidrat dengan *magnetic stirrer*. Setelah 1,5 jam, nanopartikel mulai mengendap dan larutan menjadi keruh. Setelah 2 jam dan 15 menit, partikel nano dibiarkan mengendap selama 2 jam tambahan (W. Lee dkk., 2020).



Gambar 3.2 Bahan dan Proses Pembuatan Larutan ZnO

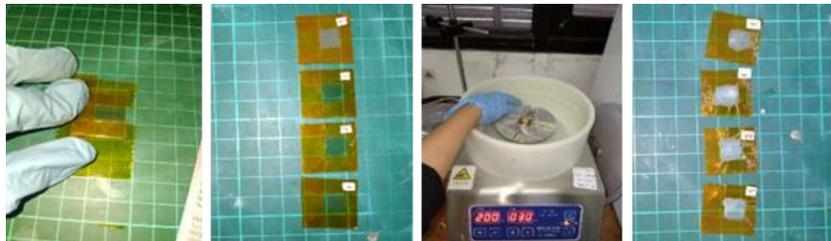
b. Film Tipis ZnO

Pembersihan substrat diperlukan untuk mendeposisi larutan ZnO di atasnya yang diawali dengan menempatkan plastik PET berukuran 25×25 mm pada *cleaning frame* seperti pada Gambar 3.3, PET kemudian direndam di dalam gelas kimia yang berisi IPA, aseton, dan air dengan perbandingan 1:1:1. Gelas kimia tersebut diletakkan ke dalam *ultrasonic cleaner bath* untuk disonifikasi dengan suhu 60°C selama 20 menit agar substrat bersih.



Gambar 3.3 Pembersihan Substrat PET

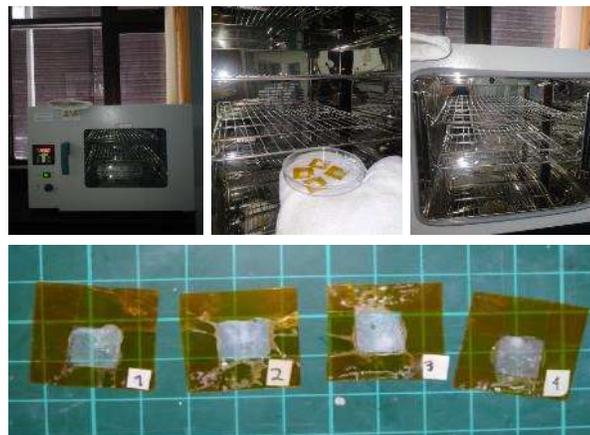
Gambar 3.4 menunjukkan proses deposisi fotoelektroda ZnO ke atas substrat ITO PET. Substrat diberi selotip anti panas yang digunakan untuk melapisi bagian substrat yang tidak ditambahkan larutan ZnO dengan lebar 1×1 cm di atasnya. Fotoelektroda ZnO dideposisi ke atas substrat PET menggunakan metode *spin-coating* dua tahap. Tahap pertama lapisan ZnO terdiri dari 4 kecepatan yang berbeda, yaitu 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm, dan 4000 rpm dengan meneteskan larutan ZnO sebanyak 3 kali ke atas substrat, kemudian untuk *spin-coating*. Tahap kedua dilakukan dengan kecepatan putaran yang sama yaitu 2000 rpm selama 30 detik sehingga menghasilkan ketebalan yang berbeda.



Gambar 3.4 Proses deposisi fotoelektroda ZnO ke atas substrat ITO PET

c. Pemanasan Film Tipis ZnO

Sebagian besar metode konvensional melibatkan *sintering* suhu tinggi pada 450-500°C untuk pemanasan partikel nano ZnO, agar mendapatkan koneksi yang baik antar partikel, namun suhu tinggi ini tidak dapat digunakan untuk substrat plastik PET. Oleh karena itu, dalam kasus substrat plastik, metode fabrikasi dilakukan dengan suhu di bawah 150°C (Tan dkk., 2013). Sehingga ZnO yang telah dideposisi tersebut diletakkan di dalam cawan petri kemudian dipanaskan dengan suhu 120°C selama 1 jam menggunakan oven seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pemanasan Film Tipis ZnO

d. Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri adalah pengukuran kuantitatif sifat pantulan atau transmisi suatu bahan sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometri serapan di daerah ultra-violet dan cahaya tampak dianggap sebagai salah satu teknik penting untuk analisis kuantitatif. Penerapan kuantitatif dari metode absorpsi didasarkan pada fakta bahwa jumlah foton yang diserap berbanding lurus dengan jumlah atau konsentrasi atom, ion, atau molekul (L.C. Passos & M.F.S. Saraiva, 2019). Spektrofotometri Uv-Vis terlihat seperti Gambar 3.6, urutan peristiwa dalam spektrofotometri Uv-Vis adalah sebagai berikut: (1) Sumber cahaya menyinari sampel, (2) Sampel menyerap cahaya, (3) Detektor mendeteksi berapa banyak cahaya yang diserap sampel, (4) Detektor kemudian mengubah seberapa banyak cahaya yang diserap sampel menjadi angka, (5) Angka-angka tersebut langsung diplot atau dikirim ke komputer untuk dianalisis

lebih lanjut. Oleh karena itu, pemindaian dilakukan menunjukkan absorbansi pada panjang gelombang tertentu untuk film tipis ZnO (Mäntele & Deniz, 2017).



Gambar 3.6 Spektrofotometri Uv-Vis

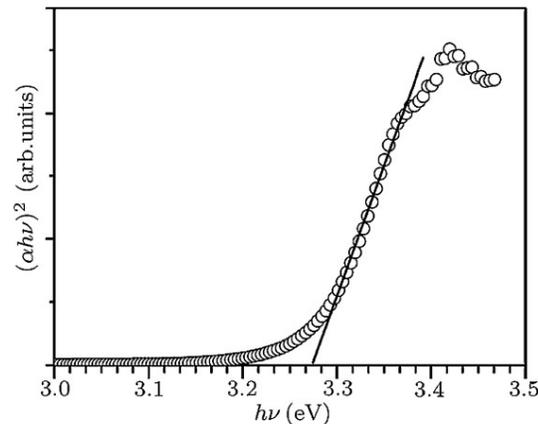
e. Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui respon material ZnO terhadap cahaya. Dengan menggunakan dari alat karakterisasi spektrofotometri Uv-Vis diperoleh absorbansi dan transmitansi dari lapisan tipis ZnO. Selain itu, nilai *band gap* dari lapisan tipis ZnO juga dapat diketahui dengan menggunakan metode Tauc plot.

Metode *Tauc plot* didasarkan pada asumsi bahwa koefisien serapan (α) bergantung energi dapat dinyatakan dengan persamaan 3.1.

$$(\alpha \cdot hv)^{1/n} = A(hv - E_g) \quad (3.1)$$

di mana h adalah konstanta Planck, ν adalah frekuensi foton, E_g adalah energi celah pita (*band gap*), dan A adalah konstanta. Nilai eksponen menunjukkan sifat transisi elektronik yaitu $n = 1/2$ untuk transisi langsung (*direct bandgap*) (Makuła dkk., 2018).



Gambar 3.7 Contoh *Tauc Plot* dari Analisis Uv-Vis Film Tipis ZnO (Wang dkk., 2008)

Gambar 3.7 merupakan salah satu contoh *Tauc plot* untuk ZnO dimana koefisien absorpsi dikalikan dengan energi foton pangkat dua diplot versus energi foton datang. $(\alpha h\nu)^2$ digunakan karena ZnO dikenal memiliki transisi langsung. Ciri khas *Tauc plot* terlihat pada energi foton rendah, penyerapan mendekati nol karena bahannya transparan. Di dekat nilai celah pita, penyerapan semakin kuat dan menunjukkan wilayah linearitas dalam plot eksponen kuadrat ini. Wilayah linier ini telah digunakan untuk mengekstrapolasi ke perpotongan sumbu X untuk menemukan nilai celah pita (sekitar 3,27 eV pada Gambar 3.7).

3.4.2 Preparasi Pembuatan Sel Surya

a. Preparasi Pembuatan Lapisan Sensitizer Perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

Pembuatan sensitizer perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ terlihat seperti Gambar 3.8 diawali dengan menyiapkan bahan berupa Metilamonium Iodide (MAI) 190,9 mg, Lead (II) Iodide (PbI_2) 553,2 mg yang ditimbang menggunakan neraca digital, kemudian menambahkan Dimetil Formamide (DMF) 100 μl , Dimetil Sulfolkside (DMSO) 900 μl ke dalam botol sampel yang telah terisi MAI dan PbI_2 . Setelah seluruh bahan berada dalam botol sampel digunakan *magnetic stirrer* untuk membuat perovskit dengan suhu 60°C dan kecepatan 500 rpm selama 2 jam lamanya.



Gambar 3.8 Proses Pembuatan Perovskit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

Perovskit ditambahkan menggunakan *spin-coater* ke atas lapisan fotoelektroda ZnO yang selesai dipanaskan, melalui dua tahap dengan kecepatan putaran 4000 rpm selama 5 detik kemudian 1000 rpm selama 30 detik. Larutan $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ yang ditambahkan sebanyak 8 μl , setelah selesai *dispin-coating* sampel dipanaskan kembali menggunakan oven dengan suhu 100°C dengan waktu 10 menit.

b. Preparasi Pembuatan Lapisan Elektrolit Spiro-OMeTAD

Proses pembuatan spiro-OMeTAD sebagai elektrolit ditunjukkan oleh Gambar 3.9 langkah pertama yaitu menyiapkan bahan berupa spiro-OMeTAD powder (72 mg) dan LiTFSI (18,2 mg) yang diambil dengan spatula kemudian ditimbang menggunakan neraca digital. Selanjutnya, memasukkan bahan tersebut ke dalam botol sampel. Campuran pada botol sampel tersebut ditambahkan TBP sebanyak 28,6 μl dan chlorobenzene 1000 μl , aduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran 500 rpm bersuhu 60°C selama 3 jam.



Gambar 3.9 Proses Pembuatan Spiro-OMeTAD

Spiro-OMeTAD sebanyak 8 μ l ditambahkan ke atas film tipis menggunakan *spin-coater* dengan kecepatan putaran 3000 rpm selama 30 detik. Kemudian dipanaskan di dalam oven dengan suhu 100°C selama 20 menit.

c. Preparasi Pembuatan Lapisan Elektroda Balik rGO

Gambar 3.10 menunjukkan pembuatan rGO atau *reduced Graphene Oxide* yang berperan sebagai elektroda balik, dibuat dengan menambahkan rGO powder sebanyak 150 mg kemudian dilarutkan ke dalam 50 mL air. Larutan tersebut disonifikasi dalam *ultrasonic cleaner bath* selama 2 jam hingga powder rGO terdispersi di dalam air.



Gambar 3.10 Proses Pembuatan rGO

Elektroda balik pada film tipis ZnO ini berupa rGO yang ditambahkan pada sel dengan cara menempelkan rGO yang telah dipanaskan pada substrat PET hingga menutupi permukaan substrat yang tidak diberi selotip. Pada kedua sisi film tipis selotip dibuka pada bagian samping sehingga dapat ditempelkan tembaga untuk memudahkan proses karakterisasi. Film tipis tersebut ditempel menggunakan resin kemudian sel surya diletakkan dalam UV LED seperti pada Gambar 3.11 hingga kering dan menempel sehingga siap untuk dikarakterisasi.



Gambar 3.11 Proses Pengeringan Sel Surya

d. Karakterisasi *Standard Solar Simulator 1,5 AM Filter 100 Wm/cm²*

Alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kurva J-V yaitu *Standard Solar Simulator 1,5 AM filter 100 mWcm⁻²* yang terlihat seperti Gambar 3.12. Proses karakterisasi dilakukan untuk memperoleh nilai densitas arus *short-circuit* (J_{sc}), tegangan *open-circuit* (V_{oc}), *fill factor* (FF), dan efisiensi (η).

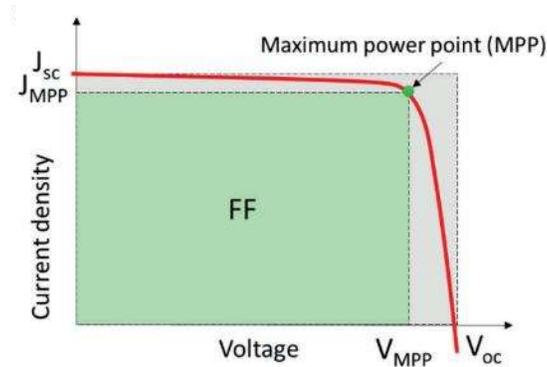


Gambar 3.12 *Standard Solar Simulator 1,5 AM Filter 100 mWcm⁻²*

AM (*air mass*) = $1/\cos \theta$ dimana, θ adalah sudut vertikal (sudut zenith). Ketika sudut zenit adalah nol (matahari tepat di atas kepala), nilai Massa Udara sama dengan 1. Koefisien massa udara umumnya digunakan untuk menggambarkan kinerja kondisi standar sel surya. Nilainya direpresentasikan sebagai AM1,5 dimana 1,5 adalah ketebalan atmosfer dengan sudut zenit matahari $48,2^\circ$. Umumnya, spektrum standar dan kerapatan daya digunakan untuk perbandingan yang akurat dan tepat antara kinerja sel pada waktu dan lokasi yang berbeda (Emery, 1986).

e. Analisis Kinerja Sel Surya

PCE (*power conversion efficiency*) dari PV sel ditentukan dengan kurva J-V yang dihasilkan dari penyinaran dengan intensitas standar matahari sebesar 100 mWcm^{-2} dengan spektrum AM1.5G. Hasilnya adalah kurva yang memotong tegangan seperti pada Gambar 3.13 sumbu x pada titik yang disebut tegangan *open-circuit* (V_{oc}) dan arus, sumbu y pada titik yang disebut kerapatan arus *short-circuit* (J_{sc}).



Gambar 3.13 Karakterisasi Sel Surya berupa Kurva J-V

Titik daya maksimum (MPP) dimana tegangan dan arus menghasilkan daya maksimum (P_{max}) yang diambil dari perangkat. Untuk menentukan PCE, P_{max} harus dibagi dengan densitas daya cahaya insiden (P_{in}). *Fill factor* (FF) merupakan faktor geometris untuk menghubungkan V_{oc} dan J_{sc} . Nilai PCE ini merupakan ukuran global untuk menentukan kualitas kinerja suatu sel surya (Green dkk., 2021). Kinerja sel surya dapat diketahui dari menghitung efisiensi sel surya (PCE) yang ditentukan oleh persamaan 3.2.

$$PCE = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{MPP} J_{MPP}}{P_{in}} = FF \frac{V_{oc} J_{sc}}{P_{in}} \quad (3.2)$$