

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dari tahun ke tahun, memberikan potensi peningkatan penggunaan energi terutama ketergantungan penggunaan energi terhadap bahan dasar fosil, misalnya untuk kebutuhan energi listrik, transportasi dan industri. Menurut laporan *Statistical Review of World Energy* menunjukkan konsumsi bahan bakar fosil global dan emisi energi mencapai titik tertinggi sepanjang masa pada tahun 2023. Bahan bakar fosil telah lama menjadi tulang punggung perekonomian dan pembangunan global, memberikan energi yang mendukung revolusi industri dan pertumbuhan ekonomi yang pesat (Hakim., 2020). Konsumsi energi di dunia terdiri sekitar 87,7% bahan bakar fosil yaitu gas, batu bara, dan minyak, 6% pembangkit listrik tenaga air, 6% tenaga nuklir dan sebagian kecil berasal dari biomassa serta sumber energi lainnya (Warisman dan Kusumawardani, 2018). Bahan bakar fosil adalah sumber energi yang berasal dari sisa-sisa organisme hidup yang telah terkubur dalam lapisan tanah dan diproses selama jutaan tahun. Pembentukan bahan bakar fosil merupakan proses alami yang memakan waktu ribuan hingga jutaan tahun, yang melibatkan serangkaian peristiwa geologis kompleks. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Bahan bakar fosil memiliki peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi global, namun penggunaannya juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, seperti efek rumah kaca dan pemanasan global yang semakin lama semakin memburuk. Setiap tahun, industri-industri pembangkit listrik di dunia menghasilkan lebih dari sepuluh juta gigaton CO₂. Sehingga perlu pengembangan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan (Alnavis et al., 2024).

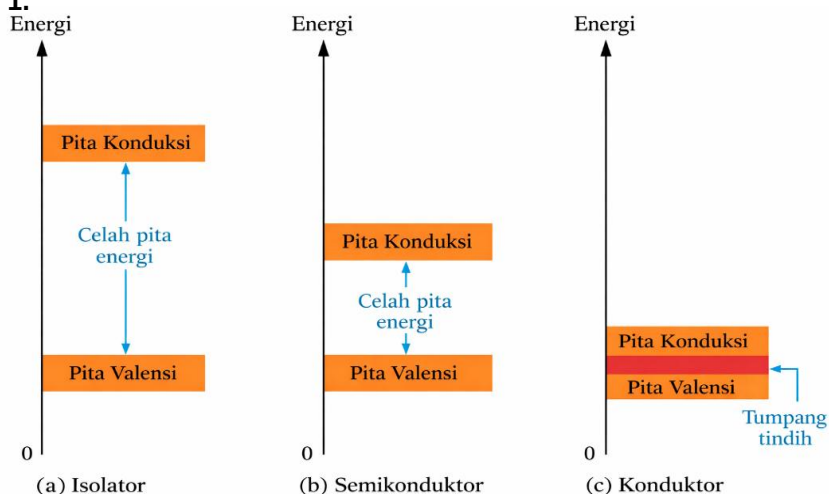
Berdasarkan catatan BMKG (2023), beberapa bulan terakhir ini wilayah Indonesia mengalami cuaca panas dengan suhu mencapai 38,4 °C. Suhu panas yang dipancarkan oleh matahari ke bumi, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Penggunaan sumber daya terbarukan seperti matahari menjadi salah satu langkah untuk mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil. Energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3×10^{24} Joule pertahun, menunjukkan bahwa energi surya merupakan sumber energi yang sangat melimpah. Indonesia sendiri memiliki potensi energi matahari yang tinggi karena letaknya di daerah tropis sehingga menerima radiasi matahari sepanjang tahun dengan lama penyinaran 6-8 jam per hari. Nilai rata-rata insolasi harian di Indonesia sekitar 4 kWh/m², yang menunjukkan potensi besar pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan (Anrokhi et al., 2019). Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik melalui penggunaan *solar cell* (Zambak et al., 2023). Salah satu inovasi pengembangan *solar cell* yaitu penggunaan perovskite sebagai lapisan aktif, karena memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi dengan biaya produksi yang relatif lebih rendah dibandingkan sel surya silikon konvensional. Namun, kebanyakan perovskite yang digunakan berbasis halida timbal, yang memiliki masalah toksisitas dan kestabilan jangka panjang (Ahmad et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan perovskite

berbasis oksida yang lebih ramah lingkungan dan memiliki stabilitas yang baik. Lanthanum ferrite (LaFeO_3) merupakan perovskite berbasis oksida yang memiliki struktur ortorombik dengan ikatan logam-oksigen yang kuat sehingga tahan terhadap degradasi (Theingi et al., 2019).

Beberapa tahun terakhir, Warisman dan Kusumarwardani, (2024) melibatkan sintesis sol-gel untuk aplikasi *solar cell*. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode sol-gel lebih sederhana dan menggunakan suhu rendah serta mudah dalam mengontrol parameter seperti komposisi bahan, jenis pelarut, prekursor, temperatur, dan konsentrasi. Penelitian lain juga dilakukan oleh Ozkan et al., (2021) menemukan LaMnO_3 memiliki struktur perovskite ortorombik yang stabil dan konstanta dielektrik yang relatif tinggi. Lanthanum (La) merupakan elemen tanah jarang yang memiliki sifat stabilitas termal yang tinggi. Oleh karena itu, La merupakan elemen yang sangat menjanjikan untuk diterapkan dalam sel surya berbasis perovskite. Penggunaannya juga dapat membantu mengatasi beberapa tantangan utama dalam teknologi sel surya saat ini, termasuk stabilitas jangka panjang dan efisiensi konversi energi. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan serta studi literatur yang telah diuraikan, maka perlu dilakukan penelitian mengenai potensi senyawa perovskite LaFeO_3 yang disintesis melalui metode sol-gel pada perovskite *solar cell*.

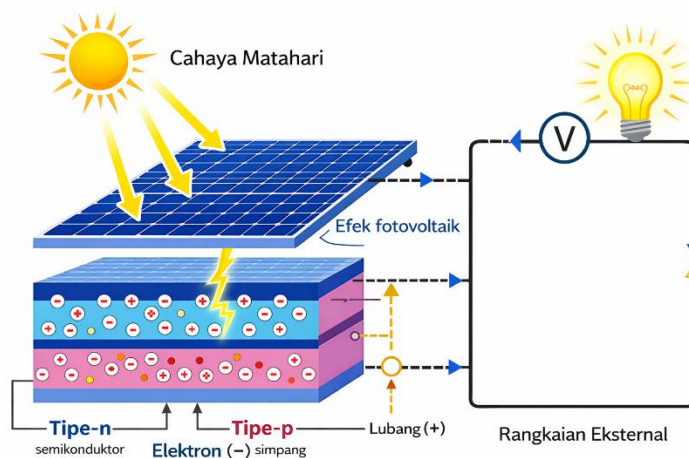
1.2 Landasan Teori

Solar cell (SC) dibuat pertama kali pada tahun 1883 oleh Charles Fritts (Vianika dan Simamora., 2022). *Solar cell* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik pada material semikonduktor (Rastiadi et al., 2023). Semikonduktor adalah material yang memiliki celah pita energi relatif kecil, sehingga elektron dapat tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi ketika diberi energi (Kurniadi, 2021). Celah pita adalah jarak antara pita valensi dan pita konduksi yang menentukan sifat listrik material, dimana konduktor memiliki celah pita sangat kecil, sedangkan isolator memiliki celah pita lebar yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Band gap konduktor, semikonduktor, isolator (Due et al., 2019)

Ketika terpapar radiasi sinar matahari, partikel radiasi sinar matahari yaitu foton menabrak elektron, ketika energi yang terkandung di dalam foton sudah melewati batas, maka akan mengakibatkan elektron keluar dari pita valensi hingga melalui pita pemisah yang akhirnya akan sampai menuju pita konduksi. Kemudian elektron-elektron tersebut akan terkumpul oleh suatu *selective contact* menuju pita konduksi, dan elektron-elektron tersebut dapat bergerak bebas antara satu sama lain, pergerakan elektron tersebut menghasilkan suatu energi yang disebut energi listrik (Ezzi et al., 2022). Skema efek fotovoltaiik dapat dilihat pada **Gambar 2**.

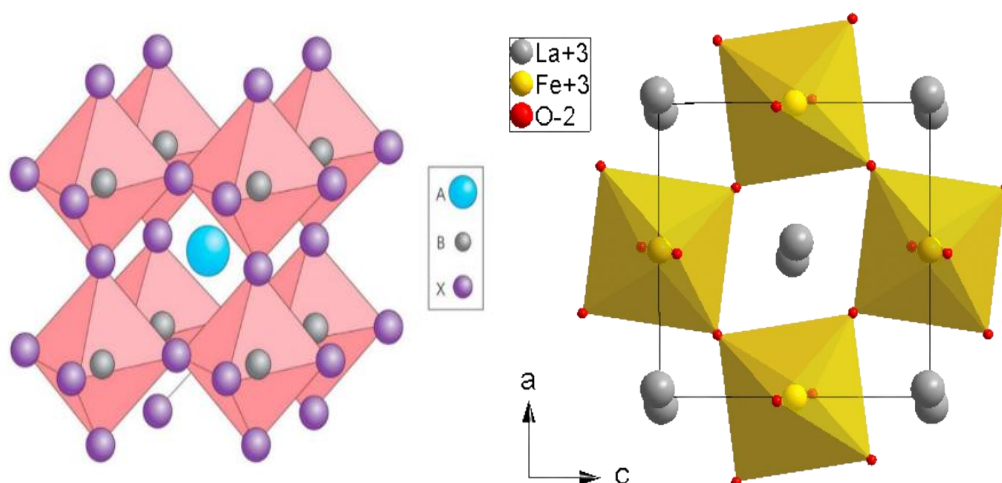


Gambar 2. Skema efek fotovoltaiik (Ezzi et al., 2022)

Saat ini terdapat tiga generasi dalam pengembangan sel surya, yaitu sel surya berbahan silikon (sel konvensional), sel surya film tipis berbahan *Cadmium Telluride* (CdTe) dan *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS), dan sel surya berbahan perovskite sebagai lapisan aktifnya (Choudhary & Srivastava, 2019). Sel surya generasi pertama yaitu sel surya berbahan silikon. Sel surya ini memiliki efisiensi yang tinggi sekitar 26,1%-26,7%, namun pembuatan sel surya silikon masih tergolong sangat mahal dan memerlukan energi besar, terutama dalam tahap pemurnian silikon dan pembuatan silikon monokristalin (Liu et al., 2020). Sehingga dikembangkan lagi sel surya dengan teknologi film tipis sebagai generasi kedua dengan keuntungannya yaitu pada penggunaan bahan yang lebih murah dikarenakan pada pembuatannya hanya menggunakan kurang dari 1% silikon dibandingkan dengan generasi pertama. Selain menggunakan silikon sel surya generasi kedua ini juga menggunakan bahan semikonduktor lainnya seperti *Cadmium Telluride* (CdTe) dan *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS) dengan efisiensi tertinggi hingga saat ini sebesar 19,5% (Putri et al., 2025). Sel surya berbasis CdTe ini bila terbakar dapat menimbulkan polusi udara yang membahayakan sehingga menjadikan kekurangan dari generasi ini. Oleh karena itu, para ilmuwan terus mengembangkan sel surya baru yang ramah lingkungan. Sel surya perovskite merupakan alternatif untuk sel surya berbahan silikon karena mampu mencapai efisiensi konversi daya hingga 22,1% (Ahmad et al., 2025).

Sel surya jenis perovskite ini merupakan sel film tipis yang dibuat melalui proses kristalisasi, lalu dikemas menjadi sel surya yang dapat menghasilkan listrik dengan biaya rendah dan dapat diakui sebagai sel surya generasi berikutnya yang menjanjikan (Huang

et al., 2020). Perovskite *solar cell* (PSC) merupakan sel surya yang menggunakan bahan berstruktur perovskite sebagai lapisan aktif. Perovskite *solar cell* memiliki keunggulan dalam bahan dan pembuatannya yang mudah dan murah sehingga menarik untuk diaplikasikan secara komersial. Struktur perovskite memiliki struktur kimia dengan rumus umum ABX_3 , elemen A merupakan jenis kation yang memiliki jari-jari ion lebih besar dan merupakan unsur golongan tanah jarang (*rare-earth ion*) dan elemen B merupakan jenis kation yang mempunyai ukuran jari-jari ion lebih kecil (*medium-sized*) dari kation A yang merupakan ion dari logam transisi. Sementara itu X merupakan jenis anion (Aji dan Sutrisno, 2022). Struktur kristal perovskite dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Struktur kristal perovskite (Moore & Wei, 2021)

Senyawa $LaFeO_3$ adalah salah satu perovskite yang sangat menarik karena sifat magnetik dan optiknya yang unik, dengan rumus umum ABO_3 , di mana A adalah ion lantanida (La^{3+}) dan B adalah ion transisi (Fe^{3+}). Struktur kristal $LaFeO_3$ adalah ortorombik. $LaFeO_3$ memiliki sifat sebagai semikonduktor aktif cahaya tampak dengan band gap sempit sekitar 2,08 eV yang membuat material ini menyerap cahaya tampak secara efektif. Selain itu, kestabilan termal dan kimia yang tinggi pada $LaFeO_3$ menjadikannya material yang lebih tahan lama dibandingkan dengan perovskite berbasis halida yang cenderung mengalami degradasi lebih cepat. Stabilitas ini sangat penting dalam pengembangan Perovskite *solar cell* (PSC) yang memiliki masa pakai lebih lama dan lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Selain itu, $LaFeO_3$ memiliki konduktivitas elektronik yang baik, yang berkontribusi pada efisiensi transportasi muatan dalam perangkat. Struktur elektroniknya yang unik memungkinkan mobilitas elektron yang cukup tinggi, sehingga mengurangi rekombinasi pasangan elektron-hole yang dapat menurunkan efisiensi sel surya (Boulahouache et al., 2023).

Sintesis $LaFeO_3$ dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti metode keramik (*solid state reaction*) dan metode sol-gel. Setiap metode ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Metode keramik (*solid state reaction*) merupakan metode yang melibatkan pencampuran fisik antara oksida logam atau garam logam, kemudian dipanaskan pada suhu tinggi (di atas $1000^{\circ}C$). Metode ini cenderung menghasilkan ukuran partikel yang

besar, distribusi ukuran yang tidak seragam, serta keterbatasan dalam homogenitas kimia karena pencampuran hanya terjadi secara makroskopik. Dalam penelitian ini menggunakan metode sol-gel yang lebih sederhana dan hemat energi karena menggunakan suhu rendah. Selain itu, metode sol-gel mudah dalam mengontrol parameter seperti komposisi bahan, jenis pelarut, prekursor, temperatur, dan konsentrasi. Metode sol gel dapat menghasilkan material dengan ukuran partikel yang seragam dan lebih kecil kisaran nanometer (Theingi et al., 2019). Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol yang merupakan sistem koloid di mana partikel padat tersuspensi secara merata dalam medium cair. Seiring proses pemanasan dan pengadukan, terjadi penggabungan antar partikel (*polycondensation*) yang menyebabkan transformasi sol menjadi gel, yaitu sistem koloid yang lebih padat, di mana fraksi padat (*solid fraction*) lebih dominan dibandingkan sol (Ibrahim et al., 2024).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil dan karakterisasi sintesis perovskite LaFeO_3 menggunakan metode sol-gel ?
2. bagaimana kinerja hasil sintesis LaFeO_3 pada perovskite *solar cell* ?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah:

1. menyintesis dan mengkarakterisasi struktur kristal LaFeO_3 menggunakan metode sol-gel
2. menganalisis potensi kerja LaFeO_3 dalam aplikasi perovskite *solar cell*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengembangkan material baru yang dapat meningkatkan efisiensi sel surya perovskite, dengan memanfaatkan senyawa perovskite LaFeO_3 yang disintesis melalui metode sol-gel. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya dalam menciptakan sel surya yang lebih efisien, murah, dan ramah lingkungan, serta memperkaya pengetahuan tentang metode sol-gel dalam sintesis material fotovoltaik.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu LaCl_3 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Merck), asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) (Merck), gliserol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) (Merck), amonium hidroksida (NH_4OH) (Merck), kaca FTO, aseton ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) (Merck), isopropanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) (Merck), terpeniol ($\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$) (Merck), etanol 98% (Merck), ethyl cellulose, akuades (H_2O) (Merck), kertas pH, aluminium foil, parafilm, wrapping plastik, sunlight, selotip, dan tissue.

2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu adalah alat-alat gelas berkualitas pyrex, cawan petri, cawan porselin, spatula, pinset, gunting, botol semprot, *Muffle furnace*, seperangkat alat *magnetic stirrer* Multistirrer 6 Velp Scientifica, timbangan analitik Ohaus, oven model Spnisosfd, *hot plate*, *sonicator ultrasonic* krisbow. Karakterisasi dan pengujian efisiensi substrat perovskite menggunakan instrumen spektrofotometer FT-IR SHIMADZU, instrumen XRD (X-Ray Diffraction) SHIMADZU, spektrofotometer UV Vis, instrumen Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) FiexSEM 1000 II, dan instrument Solar Simulator Class AAA.

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga November 2025 di Laboratorium Kimia Anorganik Departemen Kimia untuk sintesis perovskite dan pengukuran FT-IR di Laboratorium Kimia Terpadu Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Pengukuran Spektrofotometer UV Vis dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains (LPPS). Pengukuran XRD dilakukan di Laboratorium Analisis Pengolahan Bahan Galian Fakultas Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin serta SEM-EDX dilakukan di Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar. Selanjutnya pengujian Fotovoltaik dilakukan di Universitas Indonesia, Jawa Barat.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi dan Sintesis Perovskite LaFeO_3 (Warisman dan Kusumawardani, 2018) (Patil et al., 2024)

Preparasi dan sintesis perovskite dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel. Sintesis diawali dengan persiapan larutan prekursor LaCl_3 sebagai sumber La dan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber Fe, masing-masing prekursor ditimbang sebanyak 1,2263 gram LaCl_3 dan 2,0201 gram $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan dimasukkan ke dalam gelas kimia, kemudian dilarutkan dalam 25 mL etanol. Larutan yang terbentuk diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga tercapai homogenitas. Selanjutnya, ditambahkan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) sebanyak 0,9606 gram dan gliserol ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$) dipipet sebanyak

3,6 mL, dengan tetap mengaduk selama 3 jam menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 80°C dengan 280 rpm. Setelah itu, larutan amonium hidroksida (NH₄OH) ditambahkan sedikit demi sedikit hingga pH larutan mencapai rentang 7-8, kemudian di homogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Lalu di diamkan selama 48 jam. Gel padat yang terbentuk kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 2 jam. Kemudian digerus, lalu dilakukan proses kalsinasi. Serbuk kering hasil pengendapan dimasukkan ke dalam wadah tahan panas (*crucible*), kemudian wadah tersebut dimasukkan ke dalam *furnance* (tanur listrik). Dipanaskan pada suhu 800°C selama 3 jam, kemudian didinginkan pada suhu ruang. Setelah proses kalsinasi selesai, sampel didinginkan hingga suhu ruang sebelum dilanjutkan dengan karakterisasi.

2.4.2 Identifikasi dan Karakterisasi LaFeO₃ (Warisman dan Kusumawardani, 2018) (Patil et al., 2024)

Karakterisasi LaFeO₃ dengan FT-IR. Karakterisasi menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan kimia dalam perovskite LaFeO₃. Langkah pertama adalah mencampur Serbuk LaFeO₃ dengan bubuk KBr murni di dalam mortal hingga homogen dan sangat halus, campuran tersebut kemudian dimasukkan dalam cetakan (*die*) dan ditekan kuat menggunakan alat *Hydraulic Press*.

Karakterisasi LaFeO₃ dengan XRD. Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dan mengidentifikasi fasa produk sintesis. Pengukuran dilakukan menggunakan XRD dengan sumber radiasi Cu K α pada rentang $2\theta = 10-80^\circ$ pada interval scan 0,02° dan laju 2°/menit. Sampel serbuk LaFeO₃ diletakkan pada holder dan dianalisis untuk menentukan struktur kristal dan fasa yang terbentuk. Pola difraksi yang diperoleh dibandingkan dengan database JCPDS untuk mengonfirmasi keberhasilan sintesis fasa LaFeO₃.

Karakterisasi LaFeO₃ dengan SEM-EDX. Karakterisasi menggunakan SEM-EDX bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi dan komposisi unsur-unsur yang terkandung dalam produk sintesis. Produk hasil sintesis dianalisa menggunakan Instrumen SEM-EDX. Pengukuran SEM dilakukan dengan mengambil sedikit sampel serbuk LaFeO₃ kemudian ditempelkan pada stub SEM menggunakan karbon konduktif dengan tegangan akselerasi 5-20 kV. Pengukuran EDX dilakukan dengan pengaktifan detektor kemudian terjadi pemindaian spektrum x-ray untuk mengidentifikasi unsur-unsur dalam sampel.

Karakterisasi LaFeO₃ dengan UV-Vis. Karakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis bertujuan untuk memperoleh informasi berupa aktivitas absorbansi dan energi celah pita (eV). Pengukuran UV-Vis dilakukan dengan melarutkan serbuk LaFeO₃ dalam pelarut etanol kemudian pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.

2.4.3 Karakterisasi LaFeO₃ dengan Fotovoltaik (Freeman et al., 2020)

Preparasi Kaca FTO. Preparasi kaca *fluorin-doped tin oxide* (FTO) dilakukan dengan memotong kaca dengan ukuran 2,5 cm x 2,5 cm menggunakan pemotong kaca. Setelah

kaca dipotong, kaca dicuci menggunakan *decon laboratory detergent* dan disonikasi selama 30 menit, lalu dicuci kembali menggunakan 100 mL isopropanol dan disonikasi selama 20 menit lalu larutan dibuang. Kemudian dicuci menggunakan 100 mL etanol 98% dan disonikasi selama 5 menit lalu larutan dibuang, pencucian terakhir ditambahkan 100 mL akuades dan disonikasi selama 5 menit lalu larutan dibuang. Kaca FTO yang telah dicuci diambil menggunakan pinset lalu diletakkan di dalam cawan petri, kaca FTO di masukkan di oven dengan suhu 80 °C selama 15 menit. Kaca FTO diambil kembali menggunakan pinset lalu didinginkan di ruang asam. Setelah kaca FTO dingin, dilakukan pengukuran konduktivitas pada kaca FTO dan blank pada sisi konduktivitas kaca FTO menggunakan metode *doctor blade*.

Pembuatan Pasta LaFeO_3 . Pembuatan pasta LaFeO_3 menggunakan metode *doctor blade* diawali dengan pengujian konduktivitas pada kaca FTO untuk menentukan sisi yang bersifat konduktif. Setelah sisi konduktif teridentifikasi, proses pembuatan pasta dilakukan dengan menimbang serbuk LaFeO_3 sebanyak 0,30 gram, kemudian dimasukkan ke dalam mortar dan dihaluskan. Selanjutnya, *ethyl cellulose* ditimbang sebanyak 0,03 gram dan ditambahkan ke dalam mortar. Terpeniol sebanyak 1,6 mL kemudian dipipet dan dicampurkan secara perlahan ke dalam campuran sebelumnya. Seluruh bahan diaduk dan dihaluskan hingga membentuk pasta homogen. Pasta LaFeO_3 yang telah terbentuk kemudian dioleskan pada batang pengaduk. Kaca FTO yang telah diuji konduktivitasnya disiapkan dengan menempelkan selotip pada bagian kiri dan kanan permukaan kaca sehingga hanya tersisa bagian tengah yang merupakan area konduktif. Pasta LaFeO_3 kemudian dilapiskan pada area tengah menggunakan metode *doctor blade* dengan cara menggeser batang pengaduk secara merata di atas permukaan kaca. Setelah proses pelapisan selesai, kaca FTO dibiarkan mengering di ruang asam hingga lapisan pasta mengering sempurna. Selotip pada kedua sisi kemudian dilepas, dan kaca FTO dipanaskan menggunakan *hotplate* untuk membantu proses pengikatan lapisan pasta. Kaca FTO yang telah dilapisi pasta LaFeO_3 kemudian ditutup dengan kaca FTO lainnya sehingga berbentuk seperti sandwich. Selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan fotovoltaiik.

Karakterisasi Fotovoltaiik LaFeO_3 Menggunakan Solar Simulator. Karakterisasi fotovoltaiik bertujuan untuk mengetahui efisiensi konversi sel surya yang ditentukan berdasarkan kurva *rapatarus-votase*. Pengukuran dilakukan dengan mendeposisi lapisan LaFeO_3 pada substrat FTO, menggunakan solar simulator.