

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama beberapa dekade, permintaan akan energi bersih terus meningkat seiring dengan penurunan cadangan bahan bakar fosil. Menurut proyeksi badan energi dunia (Internasional Energy Agency-IEA, 2024) bahwa tahun 2030 mengalami peningkatan energi sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% pertahun. Sebagian besar atau sekitar 80% kebutuhan energi bersih tersebut dari bahan bakar fosil. Tantangan perubahan iklim dan krisis energi telah mendorong pencarian solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Salah satu energi alternatif yang berpotensi besar adalah energi surya (*solar cell*). Energi surya telah banyak digunakan di berbagai belahan dunia dan jika energi surya digunakan dan dimanfaatkan dengan tepat maka besar kemungkinan energi surya menjadi sumber energi untuk waktu yang lama (Widayana, 2020).

Energi surya atau *solar cell* merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang diperoleh melalui pancaran sinar matahari, untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik diperlukan sel surya (Gultom dan Suhelmi, 2024). Sel surya dikategorikan menjadi tiga generasi yaitu generasi pertama berbasis silikon tunggal, generasi kedua berbasis film tipis, dan generasi ketiga perovskite. Bertahun-tahun sel surya generasi pertama dan kedua telah digunakan, namun biaya tinggi, teknologi persiapan yang rumit, sifat yang tidak ramah lingkungan membatasi penggunaannya. Oleh karena itu, pengembangan material baru seperti perovskite menjadi penting dalam meningkatkan efisiensi sekaligus menurunkan biaya produksi (Wendari, 2024).

Perovskite menjadi salah satu material yang menarik dalam penelitian energi surya karena sifat elektronik dan optiknya yang unik. Material perovskite menunjukkan efisiensi konversi daya (PCE) yang tinggi hingga 22,1% serta dapat disintesis dengan biaya rendah dan proses yang relatif sederhana (Wendari, 2024). Salah satu senyawa perovskite yang menarik perhatian dalam penelitian energi surya adalah Neodymium(III) Chromium (NdCrO_3). NdCrO_3 memiliki struktur kristal perovskite yang stabil dan band gap yang ideal untuk menyerap cahaya matahari, yakni sekitar 2,0 eV (Waruwu dan Zebua, 2024). Material dengan band gap yang relatif besar, seperti NdCrO_3 , memiliki potensi untuk menyerap panjang gelombang cahaya yang lebih luas, memberikan keunggulan dalam aplikasi fotovoltaik. Keberadaan ion Nd^{3+} juga dapat berperan dalam memperbaiki kinerja penyerapannya dengan meningkatkan transisi elektronik di dalam material (Zulhadjri et al., 2024).

Upaya meningkatkan senyawa perovskite yang efektif dan daya tahan serap tinggi maka perlu dilakukan sintesis khusus, proses sintesis memiliki peran penting dalam menentukan kualitas struktur dan daya serap perovskite (Devi et al., 2022). Berbagai Metode telah digunakan seperti metode kopresipitasi, reaksi fasa padat, sintesis hidrotermal, pembakaran suhu rendah, dan sol-gel. Namun, diantara semua Metode tersebut, Metode sol-gel menjadi salah satu Metode yang paling menjanjikan, terutama karena kemampuannya menghasilkan morfologi seragam, ukuran partikel nanoskal, dan kemurnian fasa yang tinggi (Assirey, 2019).

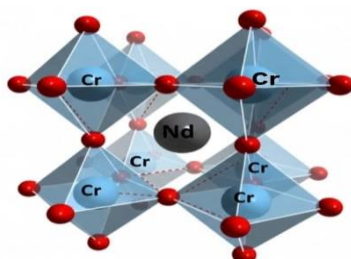
Metode sol-gel merupakan salah satu teknik paling sederhana untuk mensintesis nano dan mikrostruktur berkualitas tinggi. Metode sol-gel memberikan beberapa keuntungan dibandingkan sintesis lainnya seperti kontrol atas tekstur, ukuran, dan sifat permukaan material, mudah diterapkan, biaya rendah, kualitas tinggi, dan produksi material dengan luas permukaan yang besar (Navas et al., 2021). Fleksibilitas dan kesederhanaan tersebut membuatnya sangat populer dalam produksi bubuk skala nano dan banyak digunakan sebagai metode pelapisan. Metode sol-gel merupakan salah satu “*wet method*” atau metode basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai mediana. Metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol (Sujoto et al., 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya oleh Pimentel et al., (2022) mengemukakan sintesis perovskite LnCrO_3 ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}$) dan memiliki struktur kristal perovskite yang stabil dengan fasa tunggal serta ukuran kristalit berskala nano. Penelitian tersebut berfokus pada sifat struktural dan optik serta aplikasinya sebagai pigmen keramik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa LnCrO_3 merupakan material perovskite yang cukup stabil dan memiliki karakteristik struktural yang baik. Mayasari et al., (2020) berhasil menyintesis nano-perovskite NdFeO_3 menggunakan metode sol-gel yang memiliki struktur dengan fasa tunggal dan ukuran partikel yang relatif kecil. Ukuran kristalit yang berskala nano ini berpengaruh terhadap sifat dielektrik NdFeO_3 , sehingga material tersebut dinilai berpotensi untuk diaplikasikan perangkat elektronik berbasis perovskite. Warisman dan Kusumarwardani (2018) melibatkan sintesis sol-gel dalam pembuatan material perovskite untuk aplikasi sel surya. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode sol-gel mampu menghasilkan lapisan perovskite yang lebih merata dan memiliki kualitas struktur yang cukup baik dan memiliki *band gap* ideal 3,02-3,17 eV. Kondisi sintesis seperti pemilihan prekursor dan proses pemanasan terbukti berperan penting dalam menentukan sifat optik serta stabilitas material, yang pada akhirnya mempengaruhi kinerja perangkat sel surya. Namun, dari penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun sintesis NdCrO_3 melalui metode sol-gel belum banyak diteliti untuk aplikasi sel surya, penelitian terkait pada senyawa perovskite lain dan material magnetik memberikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut serta metode sol-gel yang efektif dalam sintesis lapisan perovskite untuk aplikasi sel surya terbaru. Penelitian ini juga mencakup karakterisasi lebih rinci untuk mengevaluasi dampaknya terhadap stabilitas dan efisiensi, yang lebih jarang ditemukan pada studi sebelumnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material perovskite yang lebih stabil dan efisien untuk aplikasi energi surya, dengan memahami karakterisasi struktur Kristal NdCrO_3 yang disintesis menggunakan Metode Sol-gel. Penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan material fotovoltaik generasi mendatang.

1.2 Landasan Teori

Permintaan energi yang meningkat dan dampak negatif dari emisi karbon yang berdampak pada lingkungan mendorong para peneliti untuk berinovasi dalam pengembangan teknologi sel surya, perovskite *solar cell*. Perovskite menjadi salah satu bahan yang digunakan dalam pembuatan panel surya. Pada panel surya, jenis perovskite yang digunakan merupakan jenis senyawa metal halida organik-anorganik dengan struktur

perovskite (Saleh et al., 2023). Sel surya jenis perovskite merupakan sel film tipis yang dibuat melalui proses pelapisan, sintering, dan kristalisasi dengan bahan larutan. Jika dibandingkan dengan sel surya silikon, maka perovskite *solar cell* memiliki keunggulan fabrikasi yang sederhana dengan biaya rendah (Adachi et al., 2015). Perovskite *solar cell* (PSC) adalah jenis sel surya berstruktur perovskite **Gambar 1**, yang memiliki formula umum ABX_3 , dengan A dan B adalah kation dengan ukuran berbeda dan X adalah anion. Kation B memiliki koordinasi 6, sedangkan kation A memiliki koordinasi 12. Atom B berada di sudut kubus dan A berada di pusat, sementara atom X terletak di tengah-tengah sisi kubus (Handayani et al., 2024). Perovskite tersusun atas bahan timbal organik, anorganik hibrida, timah halidida sebagai lapisan penangkap cahaya (Moore dan Wei, 2021).



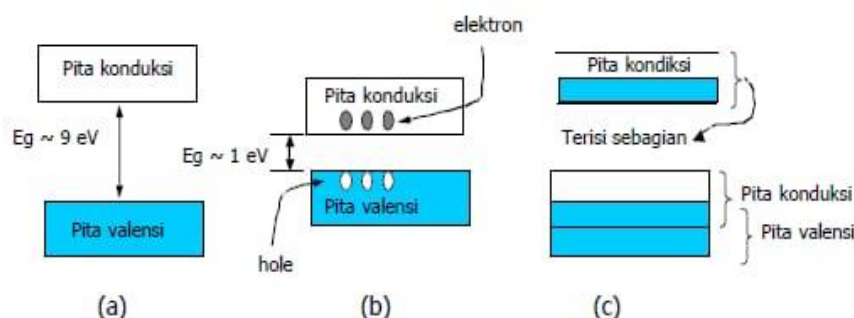
Gambar 1. Struktur Kristal Perovskite (Aftab et al, 2021)

Perovskite bekerja dengan menyerap cahaya matahari dan menghasilkan pasangan elektron-lubang. Foton yang diserap menyebabkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron yang terbentuk bergerak menuju lapisan transport elektron (ETL). Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) merupakan ETL yang umum digunakan dalam sel surya perovskite. Lapisan FTO bersifat konduktif dan transparan serta berperan sebagai substrat elektroda negatif. ETL memiliki afinitas elektron tinggi yang menarik elektron dari perovskite ke elektroda. Lubang bergerak ke arah berlawanan melalui lapisan transport hole (HTL). HTL memiliki afinitas hole tinggi yang menyalurkan lubang ke elektroda positif. Pemisahan elektron dan lubang menimbulkan medan listrik internal pada sel surya. Medan listrik tersebut menghasilkan arus yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik (Das dan Jarayan, 2014)

Sel surya atau yang disebut sebagai *Solar Cell* merupakan suatu teknologi yang tersusun dari bahan material yang bersifat semikonduktor dengan prinsip mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltai (Rizaldi et al., 2021). Terdapat karakteristik yang menggambarkan bahan fotovoltai yang memiliki struktur pada perovskite antara lain, zat-zat yang memiliki energi ikatan eksiton yang tereduksi dan koefisien penyerapan optik yang tinggi, memiliki konstanta dielektrik tinggi yang dapat secara efektif mengangkut dan mengumpulkan elektron dan hole, serta memungkinkan transmisi simultan elektron dan hole dengan jarak transmisi hingga 100 nm atau lebih dari 1 mikrometer (Vicente dan Chen, 2018). Namun, salah satu aspek penting dalam kinerja bahan fotovoltai adalah band gap, yaitu perbedaan energi antara pita valensi dan pita konduksi. $NdCrO_3$ merupakan salah satu material yang memenuhi syarat karakteristik bahan dan memiliki band gap ideal. $NdCrO_3$ memiliki band gap sekitar 2,0 eV yang ideal untuk menyerap spektrum cahaya tampak, sehingga mendukung efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. $NdCrO_3$ memiliki struktur kristal

perovskite yang dstabil, yang memungkinkan untuk digunakan dalam berbagai aplikasi energi terbarukan, seperti sel surya dan sensor cahaya (Waruwu dan Zebua, 2024). Salah satu faktor yang membuat NdCrO_3 menarik adalah band gap-nya. Sebuah band gap yang tepat sangat penting dalam menentukan efisiensi bahan fotovoltaiik karena kemampuan bahan mampu mengonversi foton menjadi energi listrik (Tema et al., 2021)

Celah pita (*band gap*) adalah perbedaan energi antara pita valensi (*valence band*) dan pita konduksi (*conduction band*) dalam suatu material. Semakin besar celah pita, semakin sulit bagi elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, yang menyebabkan material bersifat isolator. Sebaliknya, celah pita yang sempit memungkinkan pergerakan elektron yang lebih mudah, sehingga material bersifat konduktor. Semikonduktor memiliki celah pita yang berada di antara keduanya, memungkinkan kontrol terhadap konduktivitasnya, yang sangat penting dalam aplikasi perangkat elektronik dan fotovoltaiik. Hubungan antara celah pita dan sifat konduktivitas ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. *Band gap* (a) Isolator, (b) semikonduktor, (c) konduktor (Singh et al., 2021).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil dan karakterisasi sintesis perovskite NdCrO_3 ?
2. bagaimana kinerja hasil sintesis NdCrO_3 pada perovskite *solar cell*?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menyintesis dan mengkarakterisasi struktur kristal NdCrO_3 menggunakan metode sol-gel
2. menganalisis potensi kinerja NdCrO_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 NdCrO_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 fotovoltaiik.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Logam NdCl_3 , $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Merck), Asam Sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) (Merck), Gliserol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) (Merck), Akuades (H_2O), 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), Amonium Hidoksida (NH_4OH) (Merck), etanol 98% (Merck), Ethyl Cellulose, sunlight, *aluminium foil*, kertas pH, parafilm, *wrapping* plastik, *handscoon*, selotip, cutter, tissue.

2.2 Alat Penelitian

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

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

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

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi dan Sintesis Perovskite (Warisman dan Kusumawardani, 2018) (Pimentel et al., 2022)

Preparasi dan sintesis perovskite dilakukan menggunakan Metode Sol-Gel. Senyawa perovskite NdCrO_3 disintesis menggunakan prekursor NdCl_3 sebagai sumber Nd dan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber Cr. Dalam proses sintesis, masing-masing prekursor ditimbang sebanyak 2,19 gram NdCl_3 dan 2,00 gram $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, kemudian dilarutkan dalam 25 mL etanol 98%. Larutan yang terbentuk diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 280 rpm hingga tercapai homogenitas. Selanjutnya, ditambahkan asam sitrat sebanyak 1,89 gram secara bersamaan dengan larutan gliserol sebanyak 1,6 mL dimasukkan perlahan ke dalam campuran tersebut, dengan tetap mengaduk selama 2-3 jam suhu 80 °C. Setelah itu, larutan NH_4OH pekat ditambahkan sedikit demi sedikit

hingga pH larutan mencapai rentang pH 7-8, yang menyebabkan terbentuknya endapan berwarna ungu.

Endapan yang terbentuk didalam gelas kimia ditutup menggunakan parafilm kemudian didiamkan di ruangan tertutup hingga endapan terbentuk gel. Material padat yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 2 jam, kemudian dilakukan proses kalsinasi untuk memperoleh senyawa NdCrO_3 dalam bentuk kristalin. Kalsinasi perovskite menggunakan serbuk kering hasil pengendapan, serbuk kering dimasukkan ke dalam cawan porselin, kemudian wadah tersebut dimasukkan ke dalam *furnance* (tanur listrik). Dipanaskan pada suhu 800 °C selama 3 jam, kemudian didinginkan pada suhu ruang.

2.4.2 Identifikasi dan karakterisasi NdCrO_3 (Pimentel et al., 2022)

Identifikasi dan Karakterisasi NdCrO_3 dengan FT-IR. Karakterisasi menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan kimia dalam perovskite NdCrO_3 . Langkah pertama adalah mencampur serbuk NdCrO_3 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. Pelet KBr NdCrO_3 yang terbentuk kemudian dianalisis menggunakan instrumen FT-IR pada rentang Panjang gelombang tertentu untuk memperoleh spektrum serapan inframerah. Spektrum yang dihasilkan digunakan untuk mengkonfirmasi keberadaan vibrasi khas ikatan logam-oksigen (Nd-O dan Cr-O) sebagai ciri struktur perovskite NdCrO_3 .

Identifikasi dan Karakterisasi NdCrO_3 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 $0,02^\circ$ dan laju $2^\circ/\text{menit}$. Sampel serbuk NdCrO_3 diletakkan pada holder dan dianalisis untuk menentukan struktur kristal dan fasa yang terbentuk. Pola difraksi yang diperoleh dibandingkan dengan data Materials Project (2023) untuk mengonfirmasi keberhasilan sintesis fasa NdCrO_3

Identifikasi dan Karakterisasi NdCrO_3 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 NdCrO_3 kemudian ditempelkan pada stub SEM menggunakan karbon konduktif dengan tegangan akselerasi 5-20 kV. Pengukuran EDX dilakukan dengan pengaktifan *detector* kemudian terjadi pemindaian *spectrum x-ray* untuk mengidentifikasi unsur-unsur dalam sampel.

Identifikasi dan Karakterisasi NdCrO_3 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 NdCrO_3 dalam pelarut etanol kemudian pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.

2.4.3 Karakterisasi NdCrO_3 dengan Fotovoltaik (Pimentel et al., 2022) (Sankapal et al., 2023).

Preparasi Kaca FTO. Preparasi kaca *fluorin-doped tin oxide* (FTO) dilakukan dengan memotong kaca dengan ukuran 2,5x2,5 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 anatomi 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 NdCrO_3 . Pembuatan pasta NdCrO_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 NdCrO_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 NdCrO_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 NdCrO_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 NdCrO_3 selanjutnya siap untuk dilakukan pengujian fotovoltaik.

Karakterisasi Fotovoltaik NdCrO_3 Menggunakan Solar Simulator. Karakterisasi Fotovoltaik bertujuan untuk mengetahui efisiensi konversi sel surya yang ditentukan berdasarkan kurva rapatarus-votase. Pengukuran dilakukan dengan mendeposisi lapisan NdCrO_3 pada substrat FTO, menggunakan solar simulator (AM 1.5G, 100 mW/cm²)