

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pendidikan pada abad ke-21 menitikberatkan peserta didik untuk dapat menguasai beberapa keterampilan seperti proses berpikir kritis, kreatif, produktif, inovatif, afektif serta dapat berkontribusi dalam pemecahan masalah baik di lingkungan sekitar maupun berdasarkan kebutuhan dalam dunia kerja (Sartika, 2019)(Firdaus & Wilujeng, 2018). Berbagai keterampilan tersebut dalam proses pembelajaran dapat tercapai secara optimal apabila ditunjang oleh sebuah perangkat pembelajaran yaitu bahan ajar (Anggraini dkk., 2023).

Bahan ajar merupakan bahan yang disusun sebelum proses pembelajaran berisi informasi, alat dan literasi yang dirancang dan disusun secara struktur yang dilengkapi dengan instruksi-instruksi pada setiap langkah pembelajarannya sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai (Magdalena dkk., 2020)(Priscylio dkk., 2019). Terdapat berbagai bentuk bahan ajar seperti modul pembelajaran, buku paket, lembar kerja, dan sebagainya. Salah satu bahan ajar yang dapat memandu peserta didik untuk mencapai aspek keterampilan proses yaitu lembar kerja (Anggraini dkk., 2023). Lembar kerja merupakan kumpulan lembaran yang berisi pertanyaan-pertanyaan ilmiah sebagai acuan untuk mencapai tujuan pembelajaran (Safitri dkk., 2020). Penggunaan lembar kerja dimaksudkan agar peserta didik tidak melakukan aktivitas di luar tujuan pembelajaran serta membuat proses pembelajaran menjadi lebih terarah (Rahmatullah & Fadilah, 2017).

Dalam pembelajaran kimia, lembar kerja ini dapat diterapkan pada pembelajaran berbasis praktikum. Ilmu kimia sebagai bagian dari rumpun sains tidak hanya menekankan pemahaman secara teori, namun juga ditunjang dengan berbagai hasil penemuan melalui kegiatan praktikum sehingga konsep kimia yang sebagian besar bersifat abstrak dapat digambarkan dengan penerapan pembelajaran yang konkret (Lindawati dkk., 2019). Lembar kerja yang biasa digunakan dalam

membantu pembelajaran kimia yaitu lembar kerja berbasis inkuiri (Mayasari dan Yonata., 2019). Keterampilan proses sains pada peserta didik dilaporkan dapat meningkat dengan menggunakan model pembelajaran inkuiri (Apriyana & Herlina, 2019). Pembelajaran berbasis inkuiri dalam pembelajaran kimia dapat membantu peserta didik dalam menganalisis konsep, petunjuk, serta prosedur kerja yang dapat melatih proses berpikir kritis dan keterampilan proses sains (Firdaus & Wilujeng, 2018).

Pada abad ke-21 ini, ilmu kimia yang dipelajari bukan hanya membahas permasalahan secara teoritis, namun juga semakin gencar diterapkan untuk mencari solusi dalam mengatasi permasalahan yang terjadi di lingkungan sekitar. Sebuah konsep mengenai kimia hijau yang berfokus pada penggunaan bahan kimia tak berbahaya yang bersifat ramah lingkungan dan bermanfaat bagi industri bersih terus dikembangkan, contohnya pada teknologi ramah lingkungan (Maulidiningsih & Idha Ayu, 2023). Teknologi ramah lingkungan salah satunya dapat diterapkan pada pemanfaatan energi terbarukan (Hemayanti dkk., 2020).

Energi merupakan salah satu kebutuhan vital bagi kehidupan manusia yang kebutuhannya terus meningkat seiring dengan jumlah populasi manusia (Mayasari dkk., 2022). Sayangnya pemanfaatan energi sebagian besar masih berasal dari energi fosil seperti minyak bumi dan batubara. Ketersediaan energi fosil di alam semakin menipis serta perlu waktu yang lama untuk memperolehnya kembali (Yulnesty dkk., 2024). Penggunaan energi fosil ini juga tidak sejalan dengan konsep kimia hijau karena memberikan beberapa efek negatif seperti pemanasan global, polutan kendaraan, serta harganya yang terus naik seiring dengan semakin langkanya ketersediaan energi fosil di alam (Anggraini dkk., 2023).

Para ilmuwan kemudian mengembangkan energi alternatif yang bersumber dari energi terbarukan dan mengkombinasikannya dengan berbagai perangkat teknologi seperti PLTA, PLTS, PLTU, dan sebagainya. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang dilaporkan cocok diterapkan di Indonesia adalah pemanfaatan dari energi surya (matahari)(Anggraini dkk., 2023).

Energi surya adalah energi terbarukan yang paling bersih di antara energi terbarukan lainnya (Artiningrum dkk., 2019). Letak geografis Indonesia juga

mendukung pemanfaatan energi ini karena Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa yang menyebabkan negara Indonesia memperoleh sinar matahari sepanjang tahun (Hamdani dkk., 2019)(Al Hakim, 2020). Perangkat teknologi yang dikembangkan dari pemanfaatan energi surya dikenal dengan sebutan sel surya.

Pembelajaran mengenai sel surya dapat dipelajari oleh peserta didik dari tingkat sekolah dasar berupa pengenalan konsep (Danu Rusmawat & Nurjati, 2021), hingga tingkat perguruan tinggi berupa pembuatan atau pengembangan sel surya maupun komponennya. Pengembangan dari sel surya ini perlu terus dikembangkan dikarenakan masih minimnya penerapan sel surya di Indonesia. Dari berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan, hal tersebut disebabkan biaya pembuatan sel surya yang mahal sehingga harga jual yang ditawarkan pun sangat tinggi (Yuwono dkk., 2021).

Terdapat tipe sel surya yang harganya lebih murah, produksinya lebih mudah, dan bersifat ramah lingkungan yang dikenal dengan sel surya tipe DSSC (*Dye-sensitized Solar Cell*) yang ditemukan oleh O'Regan dan Grätzel pada tahun 1991 (Prima dkk., 2022)(Karim dkk., 2019)(O'Regan & Grätzel, 1991). DSSC merupakan sel surya berbasis zat pemeka warna yang terinspirasi dari cara kerja zat hijau daun (klorofil) yang dapat menyerap foton (cahaya matahari) (Nugroho dkk., 2023). DSSC ini berbahan dasar non-silikon yang menyebabkan harganya relatif lebih murah (Ahmed, 2019).

DSSC terdiri dari empat komponen utama yang disusun seperti roti lapis yaitu fotoanoda, pewarna (*dye*), elektrolit dan elektroda lawan (Fatya dkk., 2020). Di antara keempat komponen tersebut komponen elektroda lawan dari logam platina (Pt) memiliki harga yang paling mahal karena kelangkaannya di Indonesia (Fauziah dkk., 2023).

Para ilmuwan berhasil menemukan material alternatif penyusun elektroda lawan pengganti logam Pt yakni polimer konduktif polianilin (Gurulakshmi dkk., 2019)(Fatya dkk., 2020). Polianilin dengan jenis garam emeraldin (*emeraldine salt*, ES) memiliki konduktivitas listrik yang cukup baik, bersifat stabil, serta memiliki sifat optik yang baik (Wulandari & Putri, 2021). Selain itu, polianilin juga memiliki karakteristik yang sesuai sebagai elektroda lawan yaitu dapat mereduksi ion I_3^-

menjadi I⁻ pada elektrolit DSSC (Fauziah dkk., 2023). Konduktivitas listrik dari polianilin masih terbilang rendah jika dibandingkan dengan platina, maka dari itu digunakan padanan senyawa oksida logam seperti CuO yang dapat meningkatkan konduktivitas listrik polianilin karena memiliki celah pita yang baik dalam proses transfer elektron (Nagaraja dkk., 2021).

Elektroda lawan yang dibuat dari senyawa polianilin/CuO dapat dipelajari oleh peserta didik pada pembelajaran kimia di tingkat Perguruan Tinggi. Materi mengenai komponen sel surya ini dapat bersinggungan dengan beberapa mata kuliah pada ilmu kimia seperti polianilin yang membahas polimer dari Kimia Organik, pemanfaatan energi terbarukan yang beririsan dengan Kimia Fisika dan Kimia Lingkungan. Adapun pembelajaran mengenai DSSC ini secara spesifik dipelajari pada mata kuliah Konservasi Energi. Konsep mengenai sintesis polianilin/CuO ini juga dapat menjadi tantangan dalam melatih proses berpikir kritis peserta didik, hingga menemukan penyelesaian masalah yang erat kaitannya dengan kehidupan sehari-hari (Chien dkk., 2018).

Sintesis dari senyawa polimer konduktif polianilin/CuO dapat dipelajari melalui kegiatan praktikum yang ditunjang dengan sebuah bahan ajar berupa lembar kerja berbasis inkuiri. Lembar kerja berbasis inkuiri ini dapat digunakan peserta didik sebagai acuan dan petunjuk untuk memahami konsep (Priscylio dkk., 2019) mengenai sintesis salah satu komponen DSSC yaitu elektroda lawan yang dibuat dari senyawa polimer konduktif polianilin/CuO.

Untuk dapat menganalisis pengaruh CuO pada senyawa polianilin, maka perlu dilakukan sintesis dari polianilin murni dan polianilin/CuO (pada suhu ruang). Sebagai referensi untuk pengujian elektroda lawan dari polianilin/CuO yang dibuat terhadap efisiensi kerja DSSC, maka dilakukan pula sintesis polianilin/CuO pada berbagai yaitu pada suhu 10°C dan 50°C. Karakteristik dari hasil sintesis polianilin murni dan polianilin/CuO tersebut diuji melalui analisis spektroskopi FT-IR untuk menganalisis kesesuaian gugus fungsi senyawa hasil sintesis dan uji SEM untuk menganalisis tampak permukaan (morfologi) dari senyawa hasil sintesis (Nagaraja dkk., 2021).

Berdasarkan pemaparan tersebut, peneliti melakukan penelitian mengenai “Pengembangan Lembar Kerja Berbasis Inkuiri Pada Sintesis Polimer Konduktif Polianilin/CuO Sebagai Elektroda Lawan Pada DSSC”.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana desain lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC?
2. Bagaimana hasil uji validasi dari lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC?
3. Bagaimana hasil uji kelayakan dari lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC?
4. Bagaimana karakteristik senyawa polianilin murni dan polianilin/CuO hasil sintesis pada suhu 10°C, 25°C, serta 50°C sebagai material elektroda lawan pada DSSC?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mendeskripsikan desain lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC.
2. Untuk menganalisis hasil uji validitas lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC.
3. Untuk menganalisis hasil uji kelayakan lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC.
4. Untuk menganalisis karakteristik senyawa polianilin murni dan polianilin/CuO hasil sintesis pada suhu 10°C, 25°C, serta 50°C sebagai material elektroda lawan pada DSSC.

D. Kerangka Pemikiran

Semakin menipisnya ketersediaan energi tak terbarukan yang sebagian besar masih dimanfaatkan di Indonesia menjadi salah satu masalah yang perlu dicari solusinya. Energi terbarukan menjadi solusi alternatif yang dapat dikembangkan, terutama energi matahari karena keuntungan geografis yang dimiliki Indonesia. Selain itu, energi matahari juga disinyalir merupakan energi terbarukan yang bersih

dari polutan. Energi matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui sebuah perangkat yang dikenal dengan sebutan sel surya (Anggraini dkk., 2023).

Pengembangan mengenai aplikasi sel surya di Indonesia dapat secara gencar diperkenalkan pada peserta didik dalam proses pembelajaran. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kesadaran peserta didik yang kelak dapat memiliki inovasi dalam pengembangan energi terbarukan, salah satunya sel surya. Salah satu jenis sel surya yang memiliki keunggulan seperti fabrikasinya yang cukup sederhana, harganya relatif murah, dan stabil terhadap lingkungan yaitu DSSC (*Dye Sensitized Solar Cells*) (O'Regan & Gratzel, 1991).

Dilakukan analisis terhadap silabus perkuliahan mengenai DSSC hingga komponen penyusunnya, konsep mengenai DSSC ini ditemukan dalam mata kuliah Konservasi Energi di Prodi Pendidikan Kimia UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang ditempuh oleh mahasiswa semester keenam. Pada mata kuliah ini, terdapat materi yang secara khusus membahas sel surya dan tipe-tipe sel surya yang sudah dikembangkan hingga saat ini. Tipe sel surya tersebut antara lain sel surya berbahan dasar silikon, sel surya berlapis tipis serta sel surya generasi ketiga berbasis non-silikon yakni DSSC (Fauziah dkk., 2023).

Selain menganalisis silabus perkuliahan yang relevan, peneliti juga menganalisis berbagai jurnal yang relevan mengenai DSSC hingga memperoleh permasalahan dari DSSC yakni komponen alternatif yang diperlukan sebagai elektroda lawan pengganti logam platina. Elektroda lawan yang digunakan harus memiliki aktivitas katalitik yang baik yang dapat mereduksi ion I_3^- menjadi I^- pada elektrolit di dalam DSSC (Fatya, dkk., 2020).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian, senyawa yang memenuhi karakteristik sebagai elektroda lawan pada DSSC yaitu polimer konduktif polianilin. Sifat konduktivitas listrik dari polianilin yang ternyata tidak sebaik logam platina dengan hasil efisiensi sebesar 7,78 %, perlu dipadukan dengan material semikonduktor lain dengan sifat konduktivitas listrik yang baik. Hal tersebut ditemukan pada senyawa tembaga (II) oksida atau CuO (Nagaraja dkk., 2021).

Analisis mengenai polianilin dan polianilin/CuO terus dilakukan hingga ditemukan berbagai prosedur sintesis baik dari senyawa polianilin murni maupun

polianilin/CuO. Dari hasil analisis prosedur tersebut, sintesis dari senyawa polianilin/CuO sebagai elektroda lawan dapat dilakukan pada mahasiswa semester keenam prodi Pendidikan Kimia.

Selain menganalisis silabus perkuliahan yang relevan, peneliti juga mencoba mengumpulkan data dan informasi dari berbagai jurnal yang relevan di antaranya mengenai hasil dari pengembangan maupun penerapan lembar kerja berbasis inkuiri terhadap hasil belajar, tahapan pembelajaran inkuiri, konsep mengenai sel surya tipe DSSC, komponen DSSC, polimer konduktif, prosedur sintesis polianilin dan polianilin/CuO sebagai elektroda lawan pada DSSC hingga uji pendahuluan pada sintesis polianilin dan polianilin/CuO.

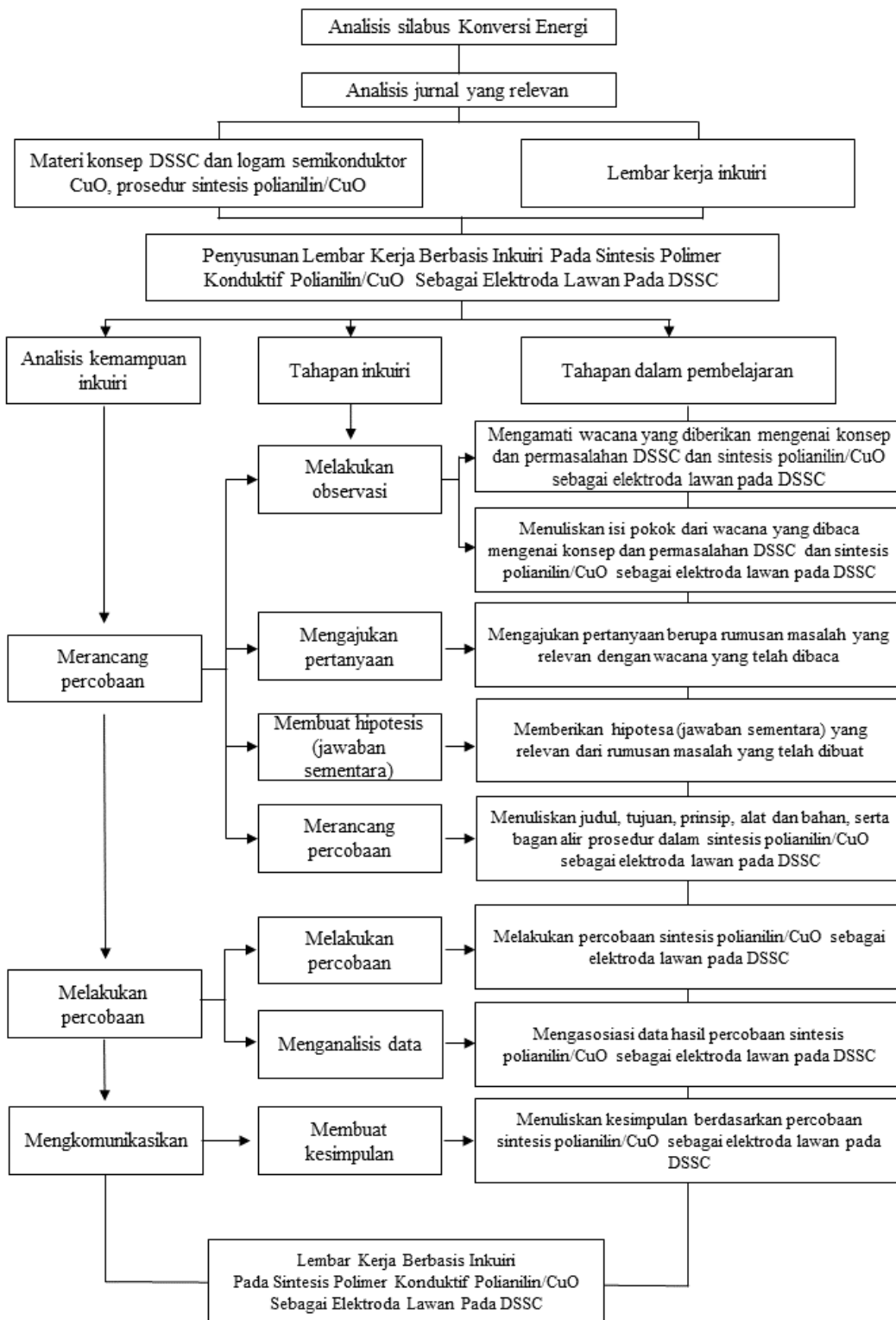
Dari hasil analisis silabus dan jurnal-jurnal yang relevan tersebut, peneliti mulai menyusun “Lembar Kerja Berbasis Inkuiri Pada Sintesis Polimer Konduktif Polianilin/CuO sebagai Elektroda Lawan Pada DSSC.

Susunan dari model pembelajaran inkuiri yang didapatkan dari hasil analisis jurnal yang relevan, antara lain adalah sebagai berikut (Simatupang & Santika, 2021).

1. **Melakukan observasi.** Pada tahap ini, peserta didik akan disuguhkan sebuah wacana mengenai urgensi penggunaan sumber energi terbarukan berupa sel surya, pengenalan sel surya tipe DSSC, polianilin/CuO sebagai pengganti logam platina pada komponen elektroda lawan DSSC, dan gambaran umum mengenai prosedur untuk mensintesis polianilin dan polianilin/CuO. Setelah itu, peserta didik diminta untuk menuliskan gagasan pokok dari wacana yang telah mereka baca dan analisis.
2. **Mengajukan pertanyaan.** Pada tahap ini, peserta didik diminta untuk menuliskan rumusan masalah berupa pertanyaan dari hasil analisis wacana yang telah dibaca.
3. **Membuat hipotesis (jawaban sementara).** Pada tahap ini, peserta didik diminta untuk menuliskan jawaban dari tiap rumusan masalah yang telah dibuat. Jawaban ini dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti buku atau jurnal yang relevan yang diarahkan oleh peneliti (dalam penerapannya pembuatan hipotesis ini dibimbing oleh pengajar).

4. **Merancang percobaan.** Pada tahap ini, peserta didik akan diberikan gambaran mengenai prosedur sintesis polianilin murni dan polianilin/CuO pada lembar kerja. Dari gambaran tersebut, peserta didik kemudian diminta menuliskan judul percobaan, tujuan, prinsip, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur percobaan (dalam bentuk bagan alir).
5. **Mengumpulkan dan mengasosiasi data.** Pada tahap ini, peserta didik dapat melakukan percobaan, serta mengamati dan menganalisis hasil percobaan. Hasil percobaan ini dapat dituliskan pada kolom yang disediakan pada lembar kerja. Selain itu, peserta didik juga diberikan beberapa pertanyaan yang bertujuan untuk membantunya mengumpulkan lebih banyak informasi, sehingga tujuan pembelajaran yang diharapkan pun dapat dicapai dengan optimal.
6. **Membuat kesimpulan.** Setelah berhasil memperoleh data mengenai hasil sintesis polianilin dan polianilin/CuO, peserta didik diberikan kolom pada lembar kerja untuk membuat kesimpulan yang merupakan jawaban dari rumusan masalah yang sebelumnya dibuat berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan.

Pada halaman awal lembar kerja, dibuat judul lembar kerja, kolom untuk pengisian identitas peserta didik, tujuan pembelajaran, serta petunjuk pengisian lembar kerja. Berdasarkan dasar kerangka berpikir tersebut, maka diperoleh desain dari “Lembar Kerja Berbasis Inkuiri Pada Sintesis Polimer Konduktif Polianilin/CuO sebagai Elektroda Lawan Pada DSSC”. Kerangka berpikir dari peneliti dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Kerangka Pemikiran

E. Hasil Penelitian Terdahulu

Sebuah penelitian mengenai pengembangan lembar kerja berbasis inkuiri pada materi laju reaksi dilaporkan menunjukkan hasil positif dari peserta didik. Hasil analisis rata-rata dari keterampilan berpikir kritis peserta didik di antaranya pada aspek keterampilan berpikir kelancaran, berpikir fleksibilitas, dan berpikir elaborasi secara berurutan sebesar 80,56%, 78,13%, 87,50%, dan 83,33% dengan interpretasi kategori sangat baik (Mayasari dan Yonata., 2019). Penelitian lain melaporkan hasil yang serupa dengan hasil respon terhadap media lembar kerja peserta didik (LKPD) berbasis inkuiri memperoleh skor 89,39% yang termasuk dalam kategori sangat tinggi (Lusiana dkk., 2021).

Penelitian lain mengenai penerapan lembar kerja berbasis inkuiri pada mata Pelajaran IPA kelas VI mendapatkan hasil efektivitas belajar yang baik dengan hasil uji *effect size* sebesar 0,85 yang diujicobakan pada 34 siswa (Nahak & Bulu, 2020). Lembar kerja berbasis inkuiri yang diterapkan pada mahasiswa dalam mata kuliah Kimia Dasar I juga menghasilkan hasil belajar yang baik berdasarkan hasil analisis nilai *post-test* dengan membandingkan kelas dengan lembar kurja inkuiri dengan kelas yang tidak menggunakannya (kelas kontrol) (Saija dkk., 2022).

Pada penelitian mengenai sintesis polianilin yang diaplikasikan sebagai elektroda lawan pada DSSC dilaporkan bahwa efisiensi kerja dari polianilin hasil sintesis yaitu sebesar 7.45% dengan campuran grafena sebesar 9%. Hasil tersebut menunjukkan efisiensi kerja yang cukup baik dibandingkan efisiensi kerja dari elektroda lawan berbahan platina sebesar 7.63% (Mehmood dkk., 2020). Penelitian lainnya melaporkan bahwa hasil sintesis polianilin (PANI) dengan jenis PAN/PANI/WO₃ sebagai elektroda lawan pada DSSC memiliki hasil yang baik dengan tampilan uji SEM pada perbesaran 482 sampai 88 nm dan efisiensi kerja sebesar 2.72. dengan hasil tersebut dilaporkan bahwa hasil sintesis PANI dan campurannya layak digunakan sebagai katalis elektroda lawan pada DSSC (Eslah & Nouri, 2019).

Adapun untuk padanan polianilin/CuO dilaporkan bahwa hasil sintesis campuran polianilin dan CuO setelah melalui uji FT-IR, FESEM, XRD, dan UV-VIS dilaporkan cocok untuk diaplikasikan sebagai sel surya, superkapasitor,

optoelektronik, sensor, dan perangkat penyimpanan (Ashokkumar dkk., 2020).

Penelitian lain dari Amerika Serikat mengenai pembelajaran dalam membuat polimer PANI dan MEH-PPV menggunakan kit laboratorium yang diterapkan pada siswa SMA dan mahasiswa dilaporkan dapat diterapkan dengan baik sebagai salah satu pembelajaran praktek pada materi polimer (Enlow dkk., 2017).

Dari berbagai penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa polimer konduktif polianilin/CuO memberikan hasil yang positif untuk diterapkan sebagai elektroda lawan pada DSSC. Selain itu, pembelajaran mengenai sintesis polimer konduktif polianilin juga dapat diterapkan pada siswa di Amerika Serikat, namun belum ditemukan penelitian serupa yang diterapkan di Indonesia terutama lembar kerja sebagai media pembelajarannya.

Penelitian mengenai lembar kerja pada sintesis polianilin/CuO sebelumnya pernah dikembangkan juga namun diaplikasikan pada hal yang berbeda yakni digunakan sebagai komponen pendegradasi metilen biru.

Dari pemaparan hasil penelitian terdahulu dan hasil riset terhadap jurnal yang relevan, dapat dilaporkan bahwa kebaruan dari penelitian ini yakni belum adanya suatu bahan ajar berupa lembar kerja berbasis inkuiri pada sintesis polimer konduktif polianilin/CuO yang diperuntukkan sebagai komponen elektroda lawan pada DSSC.