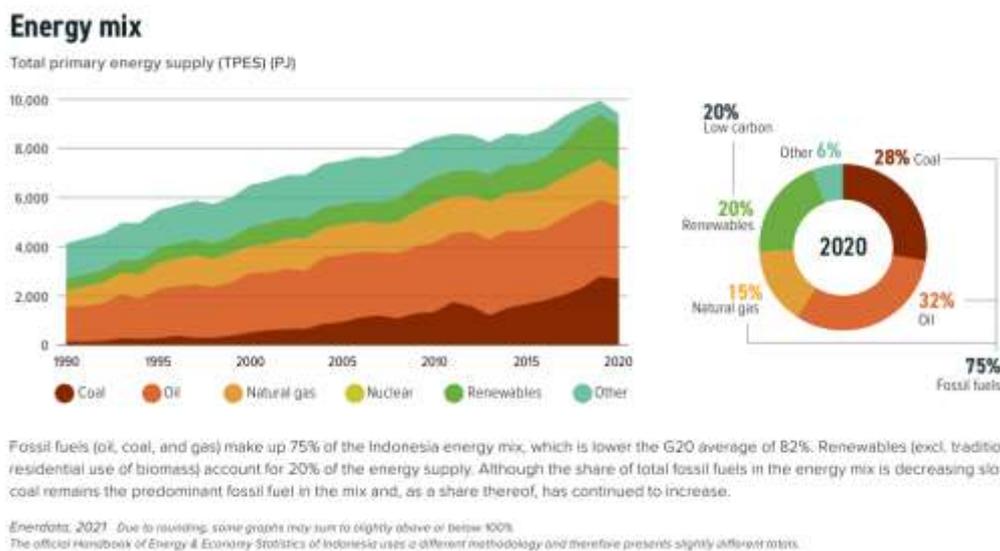


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan sumber energi ramah lingkungan semakin mendesak seiring meningkatnya dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil dan ketidakstabilan geopolitik global. Pada 2020, lebih dari 82 % listrik nasional Indonesia masih bergantung pada energi fosil, dengan batu bara menyumbang sekitar 60–62 % dari total pembangkitan (IEA, 2021) [1].



Gambar 1. 1 Data Penggunaan Bahan Bakar Fosil [1]

Ketergantungan ini tidak hanya menghadirkan risiko pasokan jangka panjang tetapi juga memperbesar emisi gas rumah kaca, sehingga menjadi tantangan serius bagi pencapaian SDG 7 tentang akses energi bersih dan terjangkau [2]. Data penggunaan bahan bakar fosil pada Gambar 1.1 menegaskan dominasi energi fosil dalam bauran energi Indonesia, mendorong urgensi pengembangan teknologi energi terbarukan yang berkelanjutan.

Salah satu solusi yang menjanjikan adalah *Microbial fuel cell* (MFC), yaitu sistem bio-elektrokimia yang mengubah substrat organik menjadi listrik melalui metabolisme mikroba. Sejak diperkenalkan pada 1970-an dan diaplikasikan untuk pengolahan limbah rumah tangga pada 1991, MFC telah berkembang menjadi pendekatan ganda: menghasilkan energi terbarukan sekaligus mengelola limbah organik[3], [4]. Proses ini melibatkan konversi senyawa organik menjadi energi listrik melalui reaksi redoks berkelanjutan, menghasilkan produk sampingan seperti air dan karbon dioksida, sehingga mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

Namun, performa MFC masih menghadapi kendala, terutama pada komponen anoda. Anoda, yang terdiri dari bakteri elektrogenik, substrat organik, dan elektroda konduktif, memainkan peran kunci dalam oksidasi substrat dan transfer elektron. Material anoda konvensional seperti grafit atau logam memiliki keterbatasan, termasuk luas permukaan yang sempit, biokompatibilitas rendah, dan konduktivitas listrik yang kurang optimal. Akibatnya, keterbatasan tersebut berdampak pada rendahnya densitas daya dan efisiensi sistem MFC secara keseluruhan, sehingga mendorong perlunya inovasi dalam pengembangan material anoda yang lebih unggul.

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan material nanokomposit PVA/CQD yang diterapkan melalui teknik elektrospinning langsung pada permukaan elektroda grafit. Polyvinyl alcohol (PVA) dipilih sebagai matriks karena sifatnya yang biokompatibel dan hidrofilik, sehingga mendukung pertumbuhan biofilm dan transfer elektron pada sistem Microbial Fuel Cell (MFC)[5]. Matriks ini kemudian diperkaya dengan penambahan carbon quantum dots (CQDs) berukuran <10 nm yang disintesis dari limbah sekam padi, sebagai upaya meningkatkan konduktivitas dan luas permukaan elektroda[6].

Bacillus subtilis dipilih sebagai biokatalis utama karena kemampuannya membentuk biofilm konduktif stabil dan menghasilkan *extracellular electron transfer* hingga 105 mW/m^2 (ACS Sustainable Chem. Eng., 2019)[7]. Untuk mendukung aktivitas metabolik mikroorganisme, substrat yang digunakan adalah sari tebu, yang merupakan limbah agroindustri tropis berkelimpahan dan kaya akan senyawa organik. Sari tebu telah terbukti efektif dalam menunjang proses oksidasi mikroba secara efisien, sebagaimana dibuktikan dalam studi penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* pada sistem MFC ruang tunggal [8].

Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk mengembangkan anoda nanokomposit berbasis PVA/CQD secara eksperimental melalui teknik elektrospinning langsung pada permukaan elektroda grafit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui efektivitas fabrikasi bioanoda nanofiber berbasis PVA–CQDs yang diinokulasi dengan *Bacillus subtilis* dalam meningkatkan luas permukaan dan konduktivitas elektroda, mengkaji karakteristik gugus fungsional serta sifat optik material, serta menganalisis dampaknya terhadap kinerja listrik Microbial Fuel Cell (MFC), yang meliputi tegangan harian, impedansi internal, dan aktivitas elektrokimia. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan performa sistem MFC yang dikembangkan dengan hasil dari penelitian terdahulu.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memfabrikasi *bioanoda Microbial fuel cell* (MFC) berbasis nanokomposit melalui *elektrospinning* langsung pada permukaan elektroda grafit, guna meningkatkan luas permukaan, konduktivitas, dan biokompatibilitas anoda.
2. Mengintegrasikan bakteri (*Bacillus subtilis*) ke dalam matriks nanofiber untuk memperkuat pembentukan biofilm konduktif dan meningkatkan efisiensi transfer elektron dalam reaksi bioelektrokimia.
3. Melakukan karakterisasi bioanoda secara menyeluruh untuk mengidentifikasi struktur dan sifat material, serta menguji performa elektrokimia guna mengevaluasi pengaruhnya terhadap tegangan harian, impedansi internal, dan aktivitas listrik MFC berbasis sari tebu, serta membandingkan hasilnya dengan data dari penelitian terdahulu.

1.4 Manfaat

Manfaat langsung dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan prototipe MFC ramah lingkungan dengan substrat limbah tebu.
2. Memberikan data eksperimental yang dapat digunakan untuk optimasi lebih lanjut, seperti penyesuaian komposisi anoda, peningkatan kondisi operasional, dan penskalaan sistem untuk aplikasi praktis dalam pengelolaan limbah dan produksi energi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan oleh penulis kali ini adalah:

1. Bakteri yang digunakan adalah *Bacillus subtilis*.
2. Modifikasi anoda terbatas pada pelapisan batang grafit dengan *nanofiber* komposit yang tersusun dari *Polyvinyl Alcohol* (PVA) sebagai polimer dan *Carbon Quantum dots* (CQDs) sebagai material peningkat konduktivitas.
3. Substrat yang digunakan sebagai sumber karbon tunggal adalah sari tebu murni yang telah dinetralkan pH-nya.
4. Sistem yang digunakan adalah *Microbial fuel cell* (MFC) tipe-H dual-chamber dengan volume kerja 50 mL.
5. Elektroda katoda menggunakan platina (Pt) dan larutan katolit adalah aquades yang diaerasikan.
6. Monitoring kinerja kelistrikan MFC dibatasi pada jangka waktu pendek (5 hari) untuk mengamati fase aklimatisasi dan pembentukan biofilm awal.
7. Pengujian dilakukan pada kondisi temperatur ruang dan tekanan atmosfer. Parameter operasi seperti nilai resistor eksternal (100 Ω) dijaga konstan selama proses

monitoring kelistrikan dan tidak dilakukan analisis kurva polarisasi untuk mencari daya maksimum.

8. Penelitian difokuskan pada skala laboratorium dan tidak mencakup skala industri atau komersialisasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB I Pendahuluan

Bab ini memaparkan latar belakang penelitian, tujuan yang hendak dicapai, perumusan masalah, serta manfaat penelitian. Di bagian akhir, disajikan gambaran umum struktur laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat kajian teori dan referensi ilmiah yang mendasari penelitian, termasuk teori-teori pendukung dan temuan dari penelitian sebelumnya, serta identifikasi kesenjangan penelitian yang menjadi dasar dilakukannya studi ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan, mencakup uraian peralatan dan bahan, desain eksperimen, serta prosedur kerja secara rinci.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil yang diperoleh dari pelaksanaan penelitian dan menganalisis data yang diperoleh, kemudian mengaitkannya dengan teori atau penelitian sebelumnya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab terakhir memuat kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.