

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Bioanoda MFC berhasil difabrikasi melalui elektrosinning langsung pada elektroda grafit dengan parameter optimal (18 kV, 0,3 mL/jam, jarak 15 cm). Struktur nanofiber PVA–CQDs yang dihasilkan memiliki luas permukaan elektrokimia tinggi dan konduktivitas yang meningkat, serta tetap mempertahankan sifat hidrofilik dan biokompatibilitas PVA yang mendukung kolonisasi biofilm dan efisiensi transfer elektron. Hal ini dibuktikan oleh karakterisasi **FTIR**, yang menunjukkan gugus O–H ($\sim 3272\text{ cm}^{-1}$), C–H ($\sim 2921\text{ cm}^{-1}$), dan C–O ($\sim 1081\text{ cm}^{-1}$) dari PVA, serta C–O ($\sim 1704\text{ cm}^{-1}$) dari CQDs. Sementara itu, analisis **EIS** menunjukkan peningkatan EASA dan **R_{ct}** rendah ($\sim 200\ \Omega$), menandakan konduktivitas elektroda yang baik.
2. Integrasi *Bacillus subtilis* ke dalam matriks nanofiber berhasil, ditunjukkan oleh puncak Amida I ($\sim 1704\text{ cm}^{-1}$) dan Amida III ($\sim 1326\text{ cm}^{-1}$) pada spektrum FTIR, yang mengindikasikan keberadaan protein dan ikatan peptida dari sel bakteri. Interaksi hidrogen antara PVA, CQDs, dan biomolekul bakteri memberikan stabilitas kimia dan mekanis pada struktur komposit. Keberhasilan ini didukung oleh data tegangan harian, di mana sistem mencapai puncak **407 mV** pada hari ke-4, menunjukkan biofilm terbentuk optimal. Peningkatan performa juga terlihat dari densitas daya yang mencapai **1754,62 mW/m²**, selaras dengan fase metabolik aktif bakteri.
3. Karakterisasi struktur dan sifat bioanoda menunjukkan integrasi komponen yang berhasil dan mendukung kinerja elektrokimia yang tinggi. Spektroskopi UV–Vis menampilkan dua puncak serapan khas CQDs pada 230–240 nm (π – π^*) dan 320–370 nm (n – π^*), mengonfirmasi sintesis CQDs berkualitas dan integrasinya ke dalam matriks. Pengujian EIS menunjukkan nilai **R_{ct}** rendah ($\sim 200\ \Omega$), menandakan efisiensi transfer elektron yang baik, sementara hasil CV mengungkap mekanisme mediated electron transfer (MET) dengan puncak arus

anodik sebesar $15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Performa listrik MFC meningkat dari 128 mV (hari ke-1) hingga mencapai 407 mV (hari ke-4), dengan densitas daya maksimum $1,75 \text{ W}/\text{m}^2$, melebihi performa MFC laboratorium berbasis substrat sederhana. Dibandingkan dengan Zhou et al. ($R_{\text{ct}} 148 \Omega$; arus $625 \mu\text{A}/\text{cm}^2$; substrat asetat), sistem ini tetap kompetitif meskipun menggunakan substrat kompleks seperti sari tebu, menunjukkan potensi optimalisasi lebih lanjut.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan beberapa modifikasi guna meningkatkan efisiensi pengeringan. Beberapa saran perbaikan antara lain:

1. Penggantian jembatan garam dengan membran Nafion 117 berpotensi meningkatkan efisiensi transfer ion dan menurunkan resistansi internal, sehingga dapat mengatasi hambatan difusi yang teridentifikasi melalui analisis impedansi (Warburg impedance). Selain itu, penggunaan Nafion 117 juga dinilai lebih efektif dalam menjaga kestabilan elektrokimia sistem dibandingkan jembatan garam konvensional
2. Menggunakan reaktor berkapasitas lebih besar atau mengoperasikan sistem dalam mode *fed-batch* atau kontinu untuk memastikan ketersediaan substrat dan menjaga kondisi anoda tetap optimal bagi aktivitas mikroba jangka panjang.
3. Hasil uji Cyclic Voltammetry (CV) mengindikasikan mekanisme transfer elektron termediasi dengan kerapatan arus puncak sebesar $15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, yang masih lebih rendah dibandingkan sistem dengan transfer elektron langsung. Untuk meningkatkan performa, penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi penggunaan kokultur *Bacillus subtilis* dengan bakteri exoelectrogen seperti *Shewanella* atau *Geobacter*, guna membentuk jalur transfer elektron hibrida yang lebih efisien.