

## BAB V

### KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Bab ini menyajikan kesimpulan yang disusun berdasarkan hasil analisis kuantitatif dan interpretasi kualitatif dari data karakterisasi lapisan tipis *Aluminium-doped Zinc Oxide* (AZO) yang disintesis dengan metode *dip-coating*. Kesimpulan ini dirancang untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian terkait pengaruh jumlah celupan terhadap sifat optik, struktur kristal, dan komposisi, serta penentuan jumlah celupan optimal untuk aplikasi sel surya transparan. Rekomendasi diberikan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian lanjutan guna meningkatkan kinerja material AZO.

#### 5.1. Kesimpulan

1. Pengaruh jumlah celupan terhadap sifat optik film tipis AZO menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki transparansi tinggi (>80%) pada daerah cahaya tampak, sehingga sesuai untuk aplikasi TCO. Transmittansi tertinggi (~90%) diperoleh pada celupan rendah (1–3), kemudian menurun bertahap menjadi ~80% pada celupan tinggi (7–9) akibat bertambahnya lapisan dan peningkatan hamburan cahaya. Absorbansi maksimum tercatat pada daerah ultraviolet (330–380 nm) dengan puncak pada celupan 4–7, lalu menurun kembali pada celupan >7 karena efek defek dan inhomogenitas. Nilai bandgap relatif stabil pada 3,23–3,26 eV, sedikit lebih rendah dari ZnO murni (3,37 eV), yang menandakan keberhasilan doping Al tanpa mengubah karakteristik dasar material secara signifikan.
2. Pengaruh Jumlah Celupan terhadap Resistansi Listrik Film Tipis AZO menunjukkan pola non-linier terhadap jumlah celupan, dengan nilai terendah sekitar 14-15 M $\Omega$ /square pada celupan 6 dan 7, menandakan konduktivitas optimal di rentang ini. Resistansi meningkat menjadi 32-33 M $\Omega$ /square pada celupan 8 dan 9, yang dapat dikaitkan dengan akumulasi defek atau ketidakhomogenan lapisan. Hubungan ini menunjukkan bahwa celupan menengah memberikan keseimbangan terbaik antara

konduktivitas dan sifat optik, sementara celupan tinggi cenderung mengurangi performa listrik.

3. Pengaruh jumlah celupan terhadap komposisi unsur film tipis AZO menunjukkan bahwa distribusi Zn, O, dan Al relatif seragam pada sampel dengan 4, 6, dan 7 celupan. Kandungan Zn yang dominan (sekitar 72–77 wt%) mendukung terbentuknya lapisan mendekati stoikiometri ZnO, sedangkan kadar O yang lebih tinggi cenderung berkaitan dengan meningkatnya absorbansi dan resistansi. Doping Al terdeteksi pada kisaran rendah (0,6–1 wt%) sesuai target, yang berkontribusi pada peningkatan konduktivitas tanpa mengubah bandgap secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi jumlah celupan tidak mengubah komposisi unsur secara drastis, tetapi tetap memengaruhi keseimbangan sifat optik dan listrik melalui perbedaan distribusi Zn, O, dan Al.
4. Penentuan Jumlah Celupan Optimal untuk Aplikasi Sel Surya Transparan: Jumlah celupan optimal untuk aplikasi sel surya transparan adalah 6-7 celupan, yang menghasilkan kombinasi terbaik antara transparansi optik di atas 80%, absorbansi rendah (<20% di cahaya tampak), resistansi listrik rendah (~14-15 MΩ/square), dan bandgap stabil (~3,24 eV). Kondisi ini mendukung persyaratan *Transparent Conductive Oxide* (TCO) untuk memaksimalkan penetrasi cahaya dan efisiensi arus listrik, dengan performa yang menurun pada celupan di luar rentang ini akibat peningkatan defek dan resistansi.

## 5.2. Rekomendasi

1. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mengeksplorasi variasi laju celupan (kecepatan pencelupan) untuk mengoptimalkan lapisan dan homogenitas lapisan AZO, karena laju celupan yang lebih lambat mungkin mengurangi defek dan meningkatkan sifat optoelektronik.
2. Proses pencelupan disarankan dilakukan di ruang tertutup untuk mencegah kontaminasi dari debu atau kelembaban lingkungan, yang dapat

memengaruhi kualitas lapisan dan mengurangi fluktuasi resistansi pada celupan tinggi.

3. Untuk setiap proses pencelupan, setelah proses oven pada suhu 120°C, langsung lakukan *annealing* pada suhu tinggi (misalnya, 450°C) sebelum melanjutkan ke celupan berikutnya, guna memperbaiki struktur kristal secara bertahap dan menghindari akumulasi defek pada lapisan berlebih.
4. Disarankan untuk melibatkan teknik karakterisasi tambahan seperti *X-ray diffraction* (XRD) untuk analisis struktur kristal yang lebih rinci, serta simulasi komputasional untuk memprediksi efek jumlah celupan terhadap sifat optik dan listrik, mendukung pengembangan material TCO yang lebih canggih.
5. Pengujian aplikasi langsung pada prototipe sel surya transparan menggunakan AZO dengan 6–7 celupan perlu dilakukan untuk memverifikasi efisiensi konversi energi, memberikan data praktis untuk aplikasi nyata.