

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan pesat perangkat elektronik telah menyebabkan peningkatan limbah elektronik (*e-waste*) yang sulit terurai dan mencemari lingkungan. Berdasarkan *United Nations Global E-Waste Monitor 2020*, produksi *e-waste* secara global mencapai 62 juta ton pada 2022, meningkat 82% sejak 2010 dan diproyeksikan naik menjadi 82 juta ton pada 2030. Limbah ini mengandung logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium yang mencemari lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan material konduktif yang *biodegradable* dan ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif *e-waste* [1].

Saat ini, perangkat elektronik konvensional berbasis semikonduktor, logam, dan bahan anorganik masih mendominasi karena keunggulan seperti konduktivitas tinggi dan sifat mekanis yang baik. Namun, material-material tersebut memiliki kelemahan, seperti kurang fleksibel, bobot yang berat, rentan terhadap korosi, serta memberikan dampak buruk terhadap lingkungan akibat sulitnya terurai secara alami. Oleh karena itu, transisi ke material yang lebih berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak untuk mendukung perkembangan teknologi yang bertanggung jawab secara ekologis [2] [3].

Namun, dalam pengembangan material konduktif yang *biodegradable*, salah satu tantangan utama adalah pengaruh kelembapan yang dapat menurunkan konduktivitas listrik. Perangkat elektronik konduktif sering kali terpapar lingkungan dengan tingkat kelembapan yang tinggi, yang dapat menyebabkan degradasi material, penurunan kinerja, dan gangguan aliran arus listrik [4]. Kelembapan adalah jumlah uap air di atmosfer yang mempengaruhi semua proses biologis dan kimia lingkungan [5] [6]. Kelembapan berinteraksi dengan material konduktif, menyebabkan adsorpsi molekul air yang dapat meningkatkan resistansi dan menurunkan efisiensi konduksi. Oleh karena itu, pengembangan material elektronik yang tahan terhadap pengaruh kelembapan menjadi kunci dalam menciptakan perangkat yang stabil dan berumur panjang.

Selain itu, seiring kemajuan teknologi, kebutuhan akan material elektronik yang fleksibel semakin meningkat, terutama untuk pengembangan perangkat masa depan seperti perangkat yang dapat digunakan (*wearable devices*) dan sensor fleksibel [7] [8]. Berdasarkan *Fortune Business Insights*, pasar elektronik fleksibel global mengalami pertumbuhan pesat, dengan proyeksi peningkatan sebesar 162% dari tahun 2024 hingga 2032. Asia Pasifik berkontribusi 49,61% terhadap pasar global pada tahun 2023, menunjukkan dominasi signifikan dalam pengembangan dan produksi teknologi ini [9]. Namun, material fleksibel dan *biodegradable* seperti

PVA dan polimer konduktif cenderung bersifat hidrofilik, sehingga rentan terhadap kelembapan, yang dapat merusak struktur dan mengurangi konduktivitas.

Untuk mengatasi tantangan ini, dikembangkan material komposit konduktif yang memadukan *Polyvinyl Alcohol* (PVA), *Zinc Oxide* (ZnO), *MXene*, dan *Cellulose Nanocrystal* (CNC). Komposit menggabungkan dua atau lebih bahan dengan sifat unik untuk menciptakan material unggul yang tidak dimiliki masing-masing bahan secara individu [10]. Dalam konteks ini, *Polyvinyl Alcohol* (PVA) adalah polimer *biodegradable* dengan sifat hidrofilik, stabilitas termal, dan kompatibilitas tinggi yang bisa dijadikan matriks dalam komposit, namun konduktivitas listriknya rendah sehingga memerlukan penambahan *filler*.

Zinc Oxide (ZnO) dipilih karena sifat listrik, sifat antibakteri karena kemampuannya menghasilkan ion Zn^{2+} dan spesies oksigen reaktif (ROS) saat terpapar cahaya atau berada di lingkungan yang lembap. Ion-ion ini merusak membran sel bakteri, mengganggu proses metabolisme, dan akhirnya menyebabkan kematian sel, dan optiknya yang unggul, seperti band gap lebar (3,3 eV) dan stabilitas tinggi, yang dapat meningkatkan konduktivitas PVA [11] [12] [13]. *MXene* (Ti_3C_2Tx) adalah material dengan konduktivitas listrik tinggi dan struktur berlapis, menjadikannya kandidat ideal untuk meningkatkan sifat listrik pada komposit [14]. *MXene*, khususnya Ti_3C_2Tx , menjadi sangat populer karena meningkatnya penelitian dan publikasi mengenai bahan konduktif ini dalam beberapa tahun terakhir [15]. Untuk konduktivitas listrik *Mxene* (Ti_3C_2Tx) murni berbentuk film bernilai 2.4×10^5 S/m [16]. Penelitian lainnya juga melaporkan konduktivitas listrik dari *mxene* bernilai 1.5×10^6 S/m [17]. Namun, *MXene* memiliki kekurangan pada stabilitas mekanik [18], sehingga perlu ditambah material lain dalam penelitian ini adalah *Cellulose Nanocrystals* (CNC), yang memiliki kekuatan mekanik tinggi, modulus elastis yang besar, dan mampu mencegah aglomerasi *Mxene* [19]. CNC juga memiliki beberapa sifat fisik dan kimia yang luar biasa, seperti luas permukaan yang besar (~ 250 m²/g), kekuatan tarik yang sangat tinggi (7500 MPa), dan kekakuan yang tinggi (Modulus Young hingga 140 Gpa). [20].

Dengan kombinasi ini, komposit PVA/ZnO/MXene/CNC diharapkan dapat menciptakan material elektronik yang tidak hanya konduktif, tetapi juga fleksibel dan *biodegradable*, sehingga cocok untuk aplikasi elektronik masa depan. Metode paling efektif untuk mencapai dispersi partikel yang homogen adalah dengan menggunakan sonikasi berbasis *ultrasound* [21]. Ultrasonikasi adalah proses mekanis yang menghasilkan kavitasi, yaitu pembentukan gelembung kecil yang berkembang dan meledak dalam cairan [22]. Semakin lama proses sonikasi, semakin kecil ukuran partikel yang dihasilkan, karena semakin banyak partikel yang terpecah menjadi ukuran nano. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan konduktivitas listrik komposit. Kelebihan utama sonikasi adalah prosesnya yang mudah, cepat, dan dapat meningkatkan kualitas produk akhir secara signifikan [23].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO ke dalam PVA meningkatkan sifat listrik dan viskoelastik membran komposit, sekaligus mengurangi konstanta dielektrik yang hilang [24]. Selain itu, komposit Ti_3C_2Tx MXene/PVA menghasilkan konduktivitas listrik hingga $2,2 \times 10^4$ S/m dan peningkatan kekuatan tarik dari 22 ± 2 menjadi 91 ± 10 MPa, dengan fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan Ti_3C_2Tx murni [25]. Pada penelitian lain, kombinasi MXene/CNC meningkatkan sifat mekanik film, dengan kuat tarik meningkat dari 18 MPa menjadi 57 MPa dan konduktivitas listrik tetap tinggi hingga 10^4 S/m [26].

Penelitian terkait serat nano PVA/MXene/CNC melalui metode *electrospinning* juga menunjukkan hasil signifikan. MXene meningkatkan konduktivitas listrik serat nano hingga 0,8 mS/cm, sementara penambahan CNC memperbaiki modulus elastisitas serat dari 392 MPa menjadi 855 MPa pada suhu $25^\circ C$ [27]. Penemuan-penemuan ini menunjukkan bahwa kombinasi PVA, MXene, CNC, dan ZnO berpotensi menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang kuat serta konduktivitas listrik yang baik.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana **Pengaruh Kelembapan Terhadap Konduktivitas Konduktor Komposit Polyvinyl Alcohol, Zinc Oxide, Mxene, Celulose Nanocrystal untuk Perangkat Elektronik**. Penelitian ini berfokus untuk menghasilkan film komposit yang memiliki nilai konduktif serta dilakukan variasi kelembapan RH 50%, RH 75%, dan RH 95% untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai konduktivitas listrik material komposit PVA/ZnO/Mxene/CNC serta juga memiliki sifat yang kuat, ringan, fleksibel, dan *biodegradable*. Uji konduktivitas dilakukan dengan dengan metode *four-point probe* dimana pengukuran dilakukan dengan empat posisi yang berjarak sama antar titiknya. Penelitian ini juga dilakukan uji karakteristik FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk melihat gugus fungsi penyusunnya dan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk melihat morfologi material komposit tersebut. Penelitian ini diharapkan menghasilkan sebuah material komposit konduktif yang memiliki sifat, fleksibel, *biodegradable*, *wearable*, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif konduktor pada perangkat elektronik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi kelembapan RH 50%, RH 75%, dan RH 95% terhadap konduktivitas listrik dan karakteristik dari film komposit PVA/ZnO/Mxene/CNC?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kelembapan 50%, 75% dan 95% terhadap nilai konduktivitas dan mendapatkan karakterisasi dari film komposit PVA/ZnO/Mxene/CNC.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi kelembapan terhadap sifat konduktivitas listrik material komposit PVA/ZnO/Mxene/CNC juga untuk menghasilkan sebuah film komposit PVA/ZnO/Mxene/CNC yang memiliki konduktivitas serta sifat mekanik yang kuat, ringan, fleksibel, *wearable*, dan *biodegradable* sehingga dapat diaplikasikan dalam pengembangan alternatif material konduktor pada perangkat elektronik, seperti sensor fleksibel.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengujian sifat listrik yang dilakukan adalah uji konduktivitas menggunakan metode empat titik (*four-point probe*).
2. Variasi nilai kelembapan yang dilakukan dengan variasi RH 50%, RH 75%, dan RH 95%.
3. Pengujian karakteristik yang dilakukan adalah uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).
4. Hanya terbatas pada pembuatan sampel, uji konduktivitas, uji karakteristik, dan belum diaplikasikan langsung pada perangkat elektronik.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun dengan sistematika berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan penelitian dan bagaimana sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang mendukung penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjabarkan tentang model perancangan sistem dan metode-metode yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan semua penjelasan mulai dari perancangan sistem, hasil dan analisa dari sistem yang dirancang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian lanjutan dengan topik yang serupa.