

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam industri makanan, kemasan makanan memiliki peran penting dalam pasokan makanan dengan berfungsi sebagai penghalang terhadap zat-zat yang tidak diinginkan serta menjaga kualitas makanan (Shao dkk., 2021). Pemilihan kemasan makanan yang tepat dapat mengurangi pemborosan makanan serta menjaga keamanan dan kualitas produk. Menurut data *World Health Organization* (WHO) pada tahun 2017 terdapat lebih dari 600 juta kasus penyakit dan 420.000 kematian yang disebabkan oleh kontaminasi makanan setiap tahunnya (Kusuma dkk., 2024). Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah keamanan dan kualitas produk makanan serta dampak lingkungan maka peran kemasan pangan menjadi sangat penting.

Upaya menjaga kualitas dan keamanan pangan pada proses produksi, distribusi, hingga konsumsi dapat dilakukan melalui kemasan makanan (Kiryukhin dkk., 2018). Selain itu, gaya hidup konsumen juga mendorong peningkatan kebutuhan produk yang higienis, bermutu tinggi, segar, serta memiliki daya simpan yang lebih lama (Shao dkk., 2021). Beberapa indikator pada produk seperti parameter warna, bau, dan tekstur dapat dilihat secara langsung oleh konsumen akan tetapi memiliki kekurangan yaitu tidak dapat dianalisis setelah proses pengemasan (Dirpan dkk., 2022). Permasalahan ini mendorong pengembangan teknologi kemasan makanan yang memungkinkan konsumen dapat mengetahui kualitas produk secara *real time* untuk menghindari risiko akibat konsumsi makanan yang tidak layak.

Permintaan konsumen terhadap kemasan makanan yang dapat memantau kualitas produk secara langsung serta memiliki sifat yang memperpanjang umur simpan makanan meningkat setiap tahunnya yang diakibatkan oleh berkembangnya preferensi konsumen terhadap pangan yang aman dan layak konsumsi. Kemasan makanan ini memiliki nilai pasar global sebesar 24,81 miliar USD pada tahun 2022 dan diproyeksikan terus meningkat sebanyak 10,1% menjadi 64,64 miliar USD pada tahun 2032. Kenaikan ini juga disebabkan oleh meningkatnya permintaan konsumen terhadap produk-produk seperti daging, olahan *seafood* dan komoditas beku lainnya yang harus dijaga tingkat kesegarannya selama proses distribusi (Jaiswal dkk., 2013).

Pemantauan kualitas makanan banyak dikembangkan salah satunya adalah indikator kemasan makanan cerdas (*intelligent food packaging*) dan kemasan makanan aktif (*active food packaging*). Kemasan makanan cerdas (*intelligent food packaging*) menggunakan indikator untuk memantau kualitas dan kesegaran produk makanan. Indikator ini memberi tahu konsumen tentang kondisi produk melalui perubahan visual dan memberikan informasi tentang kualitas dan keamanan makanan (Ma dkk., 2022). Indikator ini dapat berubah dengan merespon berbagai kondisi seperti suhu, pH, maupun komposisi gas dalam makanan (Subramanian dkk., 2022). Beberapa indikator telah diaplikasikan seperti *methyl red* yang berwarna merah saat pH 4,2 dan kuning pada pH 6,2. Indikator pH *methyl red* telah banyak digunakan sebagai indikator *smart food packaging* karena sensitivitas yang baik. Pada penelitian terdahulu, indikator berbasis dasar polimer kitosan dan polivinil alkohol (PVA) dengan penambahan *methyl red* 0,05% digunakan sebagai

sensor pembusukan ikan filet dan menunjukkan perubahan warna dari kuning menjadi kuning kemerahan setelah 7 jam pada suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ (Sariningsih dkk., 2019). Selain itu, *methyl red* digunakan dalam analisis pembusukan buah pepaya yang menunjukkan perubahan warna pada pH 6,5 setelah 9 hari pendiaman (Swaroop dkk., 2024). Akan tetapi penggunaan satu zat warna pada indikator kemasan makanan memiliki kekurangan yaitu rentang pH yang terbatas sehingga membatasi analisis pembusukan makanan (Feliciano, 2009) serta batasan secara visual yang kurang efektif bagi konsumen (Warsiki dan Rofifah, 2018).

Untuk mengatasi keterbatasan ini dilakukan pembuatan indikator berbasis pH warna campuran (*mixed pH dye based indicators*). Pada riset ini dilakukan penambahan zat warna *bromocresol green* yang memiliki warna kuning pada pH 3,8 dan biru pada pH 5,4. *Bromocresol green* telah digunakan dalam analisis pembusukan ikan (Liu dkk., 2020) dan dada ayam (Rukchon dkk., 2014) sehingga aman digunakan sebagai indikator pembusukan makanan. Pencampuran *methyl red* dan *bromocresol green* ini diharapkan akan memperluas rentang pH serta visual yang dapat meningkatkan efektivitas analisis pembusukan makanan.

Sedangkan, kemasan makanan aktif (*active food packaging*) dikembangkan untuk pengawetan dan penyimpanan makanan dengan zat aktif seperti antioksidan dan antimikroba untuk mencegah pertumbuhan bakteri yang dapat menyebabkan pembusukan makanan. Zat aktif ini membantu meningkatkan aktivitas antibakteri, menghambat proses oksidasi dan dekomposisi pada makanan yang dapat memperpanjang masa simpan (Farousha dkk., 2023). *Active food packaging* biasa dikembangkan menggunakan nanomaterial karena morfologi dan ukurannya dapat

meningkatkan sifat ketahanan terhadap air dan gas, kekuatan mekanik, dan sifat termal serta aktivitas antimikroba (Herrera-Rivera dkk., 2024). Beberapa nanomaterial yang umum digunakan berasal dari oksida logam atau logam anorganik, seperti perak, ZnO, TiO₂, grafena oksida dan alotrop karbon lain (Pathakoti dkk., 2017) serta bahan struktur nano seperti pati, selulosa, kitosan, dan *montmorillonite* (MMT) (Kwon dkk., 2018).

Grafena oksida (GO) adalah bentuk oksidasi grafena, bahan *single-atomic-layered* dari grafit dan terdiri atas atom karbon hibridisasi sp² yang tersusun membentuk kisi sarang lebah (Sun, 2019). GO memiliki struktur berlapis seperti grafit tetapi dengan jarak yang lebih besar dan tidak teratur karena terdapat gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti epoksi, hidroksi, dan asam karboksilat (Yadav dkk., 2022). Sintesis GO dapat dilakukan dalam beberapa metode yaitu metode Brodie, metode Staudenmaier, metode Hoffman, dan metode Hummers (Trikkalotis dkk., 2021). Metode Brodie adalah metode pertama yang ditemukan pada tahun 1859 dengan HNO₃ dan KClO₃ sebagai agen interkalasi dan oksidasi (Alam dkk., 2017).

Tahun 1958, Hummers mengembangkan sintesis GO. H₂SO₄ digunakan untuk eksfoliasi grafit dengan NaNO₃ dan KMnO₄ sebagai agen oksidasi. Metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu penggunaan KMnO₄ sebagai pengoksidasi kuat mampu mempercepat reaksi, tidak ada penggunaan klorat yang mencegah kemungkinan ledakan ClO₂, serta tidak menghasilkan gas berbahaya. Selain itu, metode ini dianggap efektif dalam produksi GO dalam skala besar (Chen dkk., 2015).

Pengembangan indikator makanan secara umum membutuhkan media. Media yang umum digunakan pada aplikasi *smart and active food packaging* adalah polimer alam seperti polihidroksialkanoat (PHA) (Penkhrue dkk., 2020), polikaprolakton (PCL) (Ferreira dkk., 2022), dan asam polilaktat (PLA) (Açık, 2020) yang termasuk dalam golongan poliester alifatik dan merupakan polimer yang dapat terurai secara hayati. Sebagai polimer ramah lingkungan, *food packaging* berbasis asam polilaktat telah diteliti dalam beberapa tahun terakhir. Asam polilaktat atau disebut juga *polylactic acid* (PLA) adalah polimer yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbarui seperti jagung, singkong, serta selulosa dari jerami (Decorosi dkk., 2019). Dibandingkan dengan polimer lain, PLA memiliki beberapa keunggulan yaitu biokompatibilitas yang baik, tidak beracun, dan tidak menyebabkan iritasi sehingga cocok digunakan sebagai bahan dasar *food packaging* (Farah dkk., 2016).

Namun, pemanfaatan PLA sebagai *food packaging* memiliki kekurangan yaitu rapuh, laju kristalisasi yang lambat, serta stabilitas termal yang rendah (Ahmed dkk., 2016). Maka dari itu, diperlukan pengembangan untuk mengatasi kekurangan tersebut. Pendekatan yang bisa digunakan adalah penambahan material berukuran nano atau nanomaterial ke dalam matriks polimer. Luas permukaan yang besar pada nanomaterial memungkinkan peningkatan sifat termo mekanik pada PLA (Armentano dkk., 2013). Beberapa penelitian menggunakan alotrop karbon telah dilakukan untuk mengatasi kekurangan ini seperti grafena oksida (Li dkk., 2020), *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs), *single-walled carbon*

nanotubes (SWCNTs) (Gonçalves dkk., 2017), dan *carbon nanofibers* (CNFs) (Bikiaris dkk., 2023).

Penambahan GO ke dalam matriks polimer dapat meningkatkan *tensile strength* dan fleksibilitas film PLA. Selain itu, GO memiliki sifat penghalan (*barrier*) yang baik sehingga dapat menghalangi oksigen dan mengurangi kelembaban pada makanan (Barletta dkk., 2016). Adanya GO pada PLA juga dapat meningkatkan sifat antibakteri karena GO dapat merusak membran sel bakteri sehingga menyebabkan kematian sel. Sifat hidrofobik GO memungkinkan adanya interaksi dengan lipid bilayer membran bakteri sehingga merusak struktur mikroorganisme (Gong dkk., 2023).

Penambahan GO ke dalam polimer PLA memiliki beberapa keuntungan diantaranya adalah peningkatan sifat ketahanan oksigen dan uap air, memperkuat sifat mekanis dan termal, serta efektivitas antimikroba yang lebih baik (Rossa dkk., 2022). Penelitian mengenai penggunaan PLA dan GO sebagai Penggunaan 2 zat warna yaitu *methyl red* dan *bromocresol green* dapat membantu peningkatan visualitas konsumen dalam analisis kebusukan makanan. Hasil penelitian ini berupa film dengan matriks polimer PLA dengan penambahan GO serta zat warna MR dan BCG (PLA/MR/BCG/GO) diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pembuatan indikator kemasan makanan cerdas yang memiliki sifat antibakteri (*smart and active food packaging*) berbahan dasar polimer ramah lingkungan yaitu *polylactic acid* (PLA) dengan bahan pengisi nanomaterial grafena oksida (GO) menggunakan indikator zat warna gabungan *methyl red/bromocresol green* yang dapat membantu pengembangan industri kemasan makanan.

I.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Melakukan sintesis dan karakterisasi serta analisis data grafena oksida.
2. Melakukan sintesis dan karakterisasi serta analisis data indikator *active and intelligent food packaging* PLA/GO/MR/BCG.
3. Melakukan analisis variasi penambahan grafena oksida pada indikator *active and intelligent food packaging* PLA/MR/BCG.
4. Melakukan pengujian respon indikator pada pembusukan udang menggunakan indikator *active and intelligent food packaging* PLA/GO/MR/BCG.