

BAB I. PENDAHULUAN

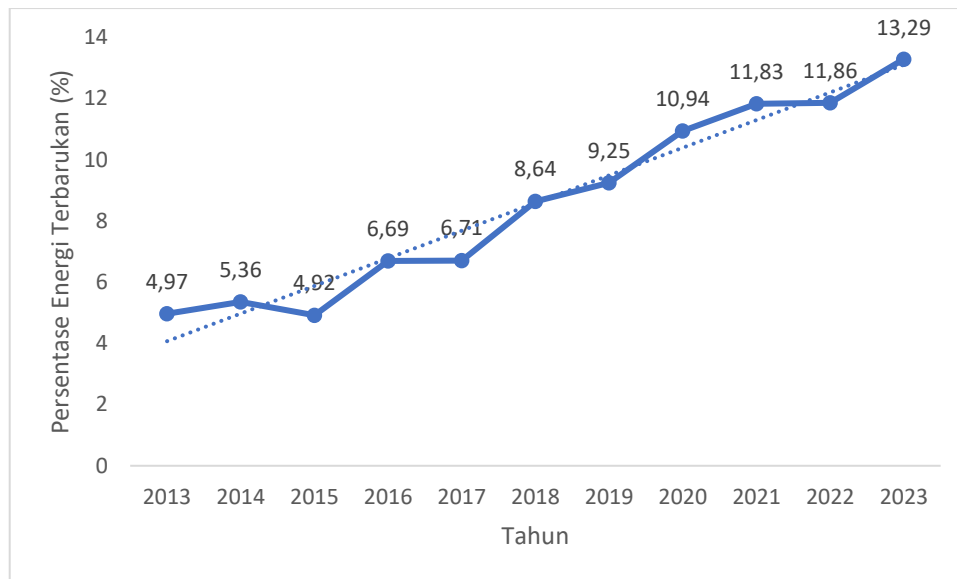
1.1 Latar Belakang

Sumber energi utama di Indonesia adalah bahan bakar fosil, khususnya minyak bumi. Bahan bakar fosil atau minyak bumi merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbarui dan memiliki keterbatasan. Kebutuhan akan bahan bakar minyak terus meningkat, seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Indonesia saat ini, masih sangat bergantung pada sumber energi fosil. Penggunaan energi tertinggi di Indonesia adalah batu bara dengan persentase sebesar 21%, disusul minyak bumi dengan persentase sebesar 20%, dan gas alam dengan persentase sebesar 10%. Namun demikian, terjadi peningkatan dalam penggunaan sumber energi terbarukan seperti biomassa, bioenergi modern, panas bumi, dan surya (Wibowo, 2023)

Seiring dengan meningkatnya permintaan energi, ketersediaan bahan bakar fosil semakin berkurang. Krisis energi dipicu oleh berbagai faktor, antara lain keterbatasan cadangan energi, pemenuhan kebutuhan, keterbatasan pasokan dan produksi, serta dampak lingkungan dari pemanasan global. Upaya untuk mengatasi masalah tersebut yaitu beralih pada sumber energi alternatif. Energi alternatif meliputi sumber daya terbarukan yang tersedia secara alami dan dapat diperbarui, seperti energi matahari, angin, udara, biomassa, dan panas bumi. Sumber energi baru dan terbarukan di Indonesia memiliki peningkatan dan potensi besar untuk menggantikan ketergantungan terhadap energi fosil, seperti minyak bumi (Wusnah *et al.*, 2019).

Peningkatan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia merupakan salah satu upaya strategis dalam mengatasi krisis bahan bakar fosil. Upaya tersebut diwujudkan melalui pengembangan berbagai jenis energi terbarukan, seperti bioenergi, energi surya, angin, udara, dan panas bumi. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia menunjukkan tren pertumbuhan yang stabil selama sepuluh tahun terakhir. Pada tahun 2013, kontribusi energi terbarukan terhadap total bauran energi nasional sebesar 4,97%. Seiring dengan berbagai kebijakan dan inisiatif pemerintah yang mendorong pengembangan energi bersih, persentase tersebut terus meningkat setiap tahunnya hingga tahun 2023 mencapai 13,29% dari total sumber energi nasional. Peningkatan tersebut menunjukkan komitmen Indonesia dalam pengembangan sumber energi dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, sekaligus mendukung

pencapaian target bauran energi baru (Marsa, 2024). Data bauran energi terbarukan dapat dilihat pada **Gambar 1. 1**



Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2024

Gambar 1.
Energi Terbarukan Indonesia

Upaya pencegahan terhadap kelangkaan bahan bakar secara global yang disebabkan oleh peningkatan energi, yaitu dengan memanfaatkan biomassa sebagai bahan tambahan pengganti bahan bakar yang umum digunakan. Biomassa memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan dan merupakan bahan bakar organik yang berasal dari hasil fotosintesis, baik dalam bentuk produk utama maupun limbah, biomassa dapat dikonversi secara efisien menjadi bioetanol. Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang diproduksi dari sumber daya terbarukan seperti tumbuhan. Pemanfaatan bioetanol tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak negatif terhadap lingkungan dan ekosistem (Abdelhafez *et al.*, 2014)

Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Senyawa ini diperoleh melalui proses fermentasi glukosa, yang kemudian dilanjutkan dengan tahap pemurnian. Fermentasi merupakan proses pemecahan glukosa menjadi etanol dan karbondioksida yang berlangsung dalam kondisi anaerobik, dengan bantuan mikroorganisme. Mikroorganisme yang umum digunakan dalam proses ini adalah *Saccharomyces cerevisiae* yang berperan dalam mengubah gula menjadi etanol. Bahan baku utama bioetanol berasal dari tanaman yang mengandung karbohidrat atau pati, seperti singkong, nipah,

sorgum, ganyong, tebu, dan ubi jalar. Namun, sebagian besar bahan tersebut termasuk dalam kelompok tanaman pangan seperti jagung, tebu, dan singkong. Penggunaan tanaman pangan dalam jumlah besar untuk produksi bioetanol berpotensi mengganggu ketersediaan pangan. Oleh karena itu, diperlukan bahan baku alternatif non-pangan yang tidak bersaing dengan kebutuhan konsumsi masyarakat, serta mampu memberikan nilai tambah dan efisiensi yang lebih optimal. Salah satu bahan alternatif yang berpotensi untuk dimanfaatkan adalah kulit singkong (Praputri *et al.*, 2018)

Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) merupakan salah satu tanaman penghasil pati yang melimpah. Singkong umumnya diolah sebagai bahan makanan pokok atau diolah menjadi tepung tapioka. Komoditas ini memegang peranan penting dalam konsumsi masyarakat, dengan rata-rata konsumsi sebesar 5,3 kg per kapita per tahun dan meningkat sebesar 1,52% pada tahun 2023. Seiring dengan meningkatnya konsumsi singkong, volume limbah kulit ubi kayu yang dihasilkan juga meningkat, yakni mencapai sekitar 15-20% dari berat total umbi (Suryati *et al.*, 2016). Limbah kulit singkong umumnya hanya dibuang begitu saja atau dimanfaatkan sebagai pakan ternak yang bernilai ekonomis rendah, sehingga berisiko menimbulkan masalah lingkungan (Azzahra dan Halkis, 2022). Limbah ini memiliki potensi ekonomi yang cukup besar karena kandungan pati yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai substrat atau media pertumbuhan mikroorganisme (Artiyani dan Soedjono, 2011).

Kulit singkong merupakan bagian terluar dari umbi singkong yang umumnya kurang dimanfaatkan secara optimal saat umbinya diolah, dan lebih sering digunakan sebagai pakan ternak. Kulit singkong mengandung karbohidrat dalam jumlah cukup tinggi dan memiliki kadar selulosa sekitar 80-85%, sehingga berpotensi untuk dijadikan bahan baku produksi bioetanol. Limbah ini tergolong biomassa lignoselulosa yang kaya akan senyawa penyusun dinding sel tumbuhan. Lignoselulosa merupakan suatu struktur kompleks yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ketiga komponen ini juga terdapat pada kulit singkong yang merupakan membentuk struktur utama bahan lignoselulosa (Arlianti, 2018)

Selulosa dan hemiselulosa merupakan polisakarida yang memerlukan hidrolisis untuk diubah menjadi gula sederhana yang dapat digunakan. Selulosa terdiri dari rantai panjang unit D-glukosa yang terikat erat satu sama lain, sedangkan hemiselulosa mengandung berbagai jenis monomer gula dan biasanya

dihidrolisis menjadi xilosa. Lignin merupakan struktur kompleks yang terdapat pada dinding sel primer, sebagai pendukung struktur lignoselulosa. Lignin merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan lignoselulosa sulit didegradasi dengan enzim. Permasalahan yang menghambat pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku bioetanol adalah struktur lignoselulosa yang kompleks. Oleh karena itu, diperlukan metode *pretreatment* yang efektif untuk mengubah lignoselulosa menjadi bentuk gula sederhana yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan baku bioetanol (Darojati, 2017)

Proses konversi biomassa lignoselulosa menjadi etanol dapat dibagi menjadi lima unit operasi. Pertama reduksi ukuran untuk meningkatkan luas permukaan dan keseragaman, kedua *pretreatment* untuk memecah lignin dan hemiselulosa, mengurangi kristalinitas selulosa dan meningkatkan porositas biomassa, ketiga hidrolisis enzimatik untuk mengubah polimer gula menjadi gula monomer, keempat fermentasi untuk menghasilkan etanol dari gula monomer tersebut, dan kelima pemulihan etanol menggunakan distilasi atau teknologi pemisahan lainnya. Lignoselulosa adalah matriks jaringan polisakarida yang berikatan silang, terutama selulosa dan hemiselulosa, yang terikat erat dengan lignin (Bellido *et al.*, 2011).

Metode *pretreatment* dapat dibagi menjadi beberapa kategori yaitu *pretreatment* fisik, *pretreatment* kimia, dan *pretreatment* biologi (Saini *et al.*, 2015). Metode *pretreatment* fisik terdiri dari penggilingan, perendaman, pencucian, pengeringan, penyaringan, dan *pretreatment* iradiasi gamma. Penggilingan merupakan proses penggilingan untuk mendapatkan ukuran sampel yang diinginkan dan mengurangi kristalinitas selulosa. Proses perendaman dan pencucian dilakukan dengan penambahan air. Pengeringan dilakukan agar sampel kering. Proses pengeringan dilakukan dengan sinar matahari, udara kering, atau pengering. Penyaringan dilakukan agar ukuran pada sampel homogen (Nasution *et al.*, 2022).

Metode *pretreatment* kimia terdiri dari perlakuan asam, perlakuan basa, organosolv, peledakan uap, dan oksidasi basah. Bahan kimia yang umumnya digunakan dalam proses *pretreatment* dengan asam adalah asam klorida, besi klorida, asam sulfat, asam sitrat, dan asam fosfat dapat menghilangkan hemiselulosa. Namun asam fosfat kurang efektif dalam memisahkan selulosa dan lignin. *Pretreatment* kimia memiliki beberapa kelemahan, yaitu risiko lingkungan dan kesehatan akibat penggunaan bahan kimia berbahaya, biaya produksi yang

meningkat karena proses yang kompleks, dampak lingkungan negatif akibat limbah berbahaya, kerusakan peralatan yang memerlukan perawatan khusus, serta kualitas biomassa yang terganggu sehingga *yield* bioetanol dapat menurun. (Nasution *et al.*, 2022).

Metode *pretreatment* biologi melibatkan penggunaan mikroorganisme, seperti jamur dan bakteri, yang secara alami menguraikan lignoselulosa. Proses ini kurang agresif dibandingkan metode kimia atau termal, tetapi membutuhkan waktu lebih lama dan kondisi lingkungan yang optimal, seperti kelembapan, suhu, dan ketersediaan oksigen. Kelemahan metode biologis meliputi waktu dekomposisi yang lama dan kebutuhan untuk mempertahankan kondisi tertentu, yang sulit dicapai dalam skala industri. Selain itu, efisiensi pemecahan lignin oleh mikroorganisme terbatas, yang berarti metode ini sering digunakan dalam kombinasi dengan teknik praperlakuan lainnya (Wozniak *et al.*, 2025)

Pretreatment iradiasi dianggap sebagai metode *pretreatment* yang menjanjikan diantara *pretreatment* yang lain karena efisiensinya yang tinggi dalam meningkatkan hidrolisis enzimatis biomassa. Metode *pretreatment* iradiasi dapat secara efektif menguraikan biomassa lignoselulosa yang membandel menjadi konformasi amorf dan mendukung konversi karbohidrat molekul rendah dari selulosa. Lebih lanjut, praperlakuan iradiasi memiliki beberapa karakteristik seperti waktu proses yang singkat, suhu sedang, dan hampir tidak terdapat substrat penghambat yang tidak diinginkan yang terbentuk selama praperlakuan kimia, selain itu iradiasi lebih ramah lingkungan (Liu *et al.*, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas iradiasi adalah frekuensi radiasi, waktu paparan radiasi, komposisi biomassa, dan ketahanan terhadap radiasi oleh medium antara radiasi dan biomassa. Radiasi berenergi tinggi dapat meningkatkan luas permukaan spesifik biomassa, menurunkan derajat polimerisasi dan kristalinitas selulosa, serta menghidrolisis sebagian hemiselulosa dan lignin (Saini *et al.*, 2015). Penggunaan radiasi dapat meningkatkan produksi gula dan merusak struktur lignoselulosa yang signifikan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi terbarukan, teknologi ini semakin banyak digunakan, terutama pada proses awal pengolahan biomassa dan serat untuk produksi biofuel cair. Efektivitas radiasi gamma dalam menghancurkan struktur lignoselulosa berasal dari kemampuannya membentuk radikal bebas, yang dapat memutus ikatan kimia pada komponen utama lignoselulosa seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa (Baghel *et al.*, 2024)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *gamma irradiation pretreatment* pada kulit singkong dalam pembuatan bioetanol

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh *gamma irradiation pretreatment* pada kulit singkong dalam pembuatan bioetanol terhadap uji warna, morfologi permukaan, kadar glukosa, *yield*, pH, dan kadar etanol

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah limbah kulit singkong yang dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol melalui proses *gamma irradiation pretreatment*, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan nilai ekonomi limbah singkong.