

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi global akibat menurunnya ketersediaan bahan bakar fosil dan meningkatnya emisi gas rumah kaca mendorong upaya pencarian sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Laporan Global Energy Review 2026) dari Badan Energi Internasional mencatat bahwa emisi karbon dioksida (CO₂) global yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil sebesar 38,4 miliar ton. Solusi potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah bioetanol, bahan bakar nabati hasil fermentasi biomassa yang mengandung gula, pati, atau lignoselulosa. Bioetanol memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi, yaitu sekitar 35%, sedangkan bahan bakar minyak hanya 16,66%. Kandungan oksigen tersebut mendukung proses pembakaran yang lebih sempurna. Bioetanol juga memiliki nilai oktan lebih tinggi, yakni 118, sementara bahan bakar minyak sebesar 88. Emisi CO₂ yang dihasilkan bioetanol hanya sekitar 0,89%. Berdasarkan data tersebut, bioetanol dapat dinyatakan lebih ramah lingkungan dalam penggunaannya (Siskayanti *et al.*, 2023). Pemerintah Indonesia juga telah menginisiasi kebijakan energi hijau melalui program bahan bakar campuran etanol (E10) sebagai langkah diversifikasi energi nasional.

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan bioetanol karena melimpahnya bahan baku dari sektor pertanian. Salah satu limbah pertanian yang berpotensi adalah kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*), yang jumlahnya mencapai 15–20% dari total umbi segar (Permatasari *et al.*, 2023). Data Kementrian Pertanian (2025), mencatat produksi ubi kayu di Indonesia sebanyak 16.720.000 ton pada tahun 2025, terkonsentrasi pada tujuh provinsi sentra utama. Provinsi Lampung merupakan wilayah produksi terbesar dengan kontribusi produksi nasional mencapai 7.910.000 ton pada tahun 2024. Provinsi sentra lainnya meliputi Jawa Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, Sumatera Utara, DI Yogyakarta, dan Nusa Tenggara Timur menyumbang 7.210.000 ton. Wilayah luar sentra menyumbang sebanyak 1.600.000 ton. Kulit singkong umumnya belum dimanfaatkan secara optimal dan sering kali menjadi limbah yang mencemari lingkungan. Faktanya kulit singkong mengandung selulosa 32-40%, hemiselulosa 20-30%, dan lignin 13-20%. Potensi hemiselulosa mencapai 502.000 ton dan selulosa sebanyak 803.000 ton yang menjadikannya bahan baku potensial untuk konversi menjadi bioetanol. Pemanfaatan limbah ini dapat mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus meningkatkan nilai tambah ekonomi pada

komoditas singkong (Lauwly *et al.*, 2022).

Kendala utama produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa adalah kompleksitas struktur lignin yang membatasi akses enzim terhadap selulosa. Untuk mengatasinya, diperlukan tahap *pretreatment* yang bertujuan memecah ikatan lignin–hemiselulosa agar enzim dapat lebih mudah menghidrolisis selulosa menjadi gula sederhana. Metode *pretreatment* yang telah dikembangkan meliputi pendekatan kimiawi yaitu menggunakan asam atau alkali, fisik dengan pemanasan, ultrasonik, microwave, dan iradiasi, serta biologis menggunakan mikroorganisme pelapuk lignin. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan keterbatasan dalam hal efisiensi, biaya, dan dampak lingkungan (Hartulistiyoso *et al.*, 2022).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode *pretreatment* tunggal, seperti asam atau alkali, belum memberikan hasil konversi gula dan etanol yang optimal. Metode fisik seperti iradiasi gamma (*γ-irradiation*) menunjukkan kemampuan memecah struktur lignoselulosa tanpa menghasilkan residu kimia berbahaya (Darojati *et al.*, 2019). Kombinasi antara metode kimia dan fisik juga telah dikaji dan terbukti meningkatkan efisiensi konversi biomassa menjadi bioetanol secara signifikan (Fansuri *et al.*, 2025). Pendekatan kombinasi *pretreatment* dinilai lebih efektif dalam mempercepat proses hidrolisis dan fermentasi dibanding metode tunggal (Gharib *et al.*, 2023).

Penelitian relevan dilakukan oleh Fansuri *et al.*, (2025) di Universitas Trunodjoyo Madura, yang mengeksplorasi potensi kulit singkong sebagai bahan baku bioetanol melalui pendekatan *pretreatment* iradiasi gamma. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi mampu meningkatkan efisiensi konversi lignoselulosa menjadi gula fermentabel dan berdampak positif terhadap hasil bioetanol. Penelitian tersebut masih terbatas pada satu jenis *pretreatment* tanpa adanya perbandingan sistematis dengan metode lain seperti alkali, asam, ultrasonik, atau gelombang mikro.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat celah penelitian bahwa belum ada studi yang secara komprehensif mengevaluasi dan membandingkan efektivitas berbagai strategi *pretreatment*, baik metode tunggal maupun kombinasi, terhadap peningkatan hasil bioetanol dari kulit singkong. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi berbagai strategi *pretreatment* secara sistematis guna menentukan metode yang paling efisien dalam meningkatkan *yield* bioetanol dari kulit singkong.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh berbagai jenis *pretreatment* (tanpa *pretreatment*, alkali, asam, microwave, ultrasonik, dan iradiasi gamma) terhadap kadar gula reduksi pada kulit singkong?
2. Metode *pretreatment* mana yang memberikan *yield* bioetanol tertinggi dan paling efektif untuk meningkatkan konversi kulit singkong menjadi bioetanol?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh enam jenis *pretreatment* terhadap kadar gula reduksi kulit singkong.
2. Menentukan strategi *pretreatment* terbaik yang mampu menghasilkan *yield* bioetanol tertinggi dari kulit singkong.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan alternatif strategi *pretreatment* yang efisien bagi produksi bioetanol
2. Mendukung pengelolaan limbah pertanian menjadi sumber energi terbarukan bernilai tambah tinggi.
3. Menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan teknologi biofuel berbasis bahan lignoselulosa di Indonesia.