

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Krisis energi global dan permasalahan lingkungan akibat ketergantungan pada bahan bakar fosil telah mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Indonesia, sebagai negara dengan konsumsi energi yang terus meningkat, menghadapi tantangan serius dalam memenuhi kebutuhan energi nasional. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia terus mengalami penurunan, sementara permintaan bahan bakar terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan populasi. Kondisi ini menuntut adanya diversifikasi energi melalui pemanfaatan sumber daya terbarukan, salah satunya adalah bioetanol (Lestariningsih & Fatimah, 2024).

Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang dihasilkan melalui proses fermentasi gula sederhana oleh mikroorganisme, khususnya khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Sebagai bahan bakar alternatif, bioetanol memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bahan bakar fosil, antara lain menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah, bersifat terbarukan, dan dapat diproduksi dari berbagai jenis biomassa. Bioetanol dengan kadar minimal 99,5% (*fuel grade*) dapat digunakan sebagai campuran bensin atau bahan bakar mandiri untuk kendaraan bermotor (Mgeni et al., 2025). Pengembangan bioetanol di Indonesia sejalan dengan kebijakan pemerintah tentang

penggunaan bahan bakar nabati sebagaimana tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 66 Tahun 2018 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Bioetanol bisa diproduksi dari tiga jenis bahan utama, yaitu tanaman berpati, bahan dengan kadar gula sederhana tinggi, dan bahan berserat selulosa. Bahan berpati memiliki keunggulan produktivitas tinggi dan melimpah, tapi bersaing dengan pangan sehingga bisa memengaruhi harga. Bahan gula sederhana bisa difermentasi langsung tanpa hidrolisis, sehingga lebih cepat dan hemat energi, namun terbatas oleh musim panen dan daya simpan yang pendek. Bahan berserat selulosa tidak bersaing dengan pangan dan tersedia banyak, tetapi memerlukan proses pretreatment yang mahal dan kompleks (Lestariningsih & Fatimah, 2024).

Dari berbagai bahan tersebut, pati sangat menjanjikan sebagai sumber bioetanol. Contohnya berasal dari umbian seperti ubi jalar, singkong, dan ubi talas, serta biji-bijian seperti sorgum. Namun, penggunaan bahan pangan utama sebagai bahan baku bioetanol menimbulkan kontroversi terkait kompetisi dengan kebutuhan pangan (*food versus fuel*). Oleh karena itu, eksplorasi bahan baku alternatif non-pangan atau limbah pertanian menjadi fokus penelitian yang sangat relevan. Salah satu bahan baku potensial yang belum banyak dieksplorasi adalah biji cempedak (*Artocarpus champeden sp.*).

Biji cempedak (*Artocarpus champeden sp.*) merupakan salah satu sumber potensial yang memenuhi kriteria tersebut. Pemanfaatannya masih terbatas pada daging buah, sedangkan bijinya sering terbuang begitu saja. Keunggulan lain biji cempedak adalah tidak termasuk bahan pangan pokok,

sehingga penggunaannya tidak menimbulkan konflik dengan kebutuhan konsumsi harian masyarakat. Pati biji cempedak dengan komposisi kimianya yang menunjukkan kandungan pati sebesar 71.8 % , protein 0,47%, abu 0,32%, amilosa 27,31%, dan lignin 2.1% (Pui et al., 2018). Pati biji cempedak yang tinggi berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan dalam pembuatan bioetanol.

Proses produksi bioetanol dari bahan berpati seperti tepung biji cempedak melibatkan dua tahapan utama yang saling berkaitan, yaitu hidrolisis enzimatis dan fermentasi. Pada tahap hidrolisis enzimatis, pati yang merupakan polisakarida kompleks harus dipecah terlebih dahulu menjadi gula-gula sederhana yang dapat difermentasi oleh khamir. Proses hidrolisis ini memerlukan kerja sinergis dari dua jenis enzim, yaitu alfa-amilase (α -amilase) dan glukoamilase.

Enzim alfa-amilase merupakan enzim endo-amilase yang bekerja dengan cara memutus ikatan glikosidik α -1,4 secara acak pada rantai pati di bagian dalam molekul. Aktivitas enzim ini menghasilkan oligosakarida dengan berbagai ukuran, terutama dekstrin, maltotriosa, dan maltosa. Alfa-amilase bekerja optimal pada suhu tinggi (90-105°C) sehingga proses ini sering disebut sebagai tahap likuifikasi. Pada tahap ini, suspensi pati yang kental akan mengalami penurunan viskositas secara drastis karena pemecahan rantai pati menjadi fragmen-fragmen yang lebih pendek. Proses likuifikasi juga membantu gelatinisasi granula pati sehingga lebih mudah diakses oleh enzim pada tahap selanjutnya.

Enzim glukamilase yang juga dikenal sebagai amiloglukosidase, merupakan enzim ekso-amilase yang bekerja dengan memutus ikatan glikosidik α -1,4 dari ujung non-reduksi rantai pati atau dekstrin secara berurutan, menghasilkan unit-unit glukosa bebas. Selain itu, glukamilase juga mampu memutus ikatan α -1,6 pada titik percabangan amilopektin, meskipun dengan kecepatan yang lebih lambat. Enzim ini bekerja optimal pada suhu yang lebih rendah (55-65°C) dan pH asam (4,0-5,0), sehingga tahap ini disebut sebagai sakarifikasi. Produk akhir dari tahap sakarifikasi adalah glukosa yang merupakan substrat langsung untuk proses fermentasi alkohol.

Konsentrasi enzim merupakan faktor kritis yang memengaruhi efisiensi hidrolisis pati menjadi gula sederhana. Konsentrasi enzim yang terlalu rendah akan menyebabkan proses hidrolisis berjalan lambat dan tidak sempurna, sehingga ketersediaan gula untuk fermentasi menjadi terbatas. Sebaliknya, konsentrasi enzim yang berlebihan tidak memberikan peningkatan hasil yang signifikan dan justru meningkatkan biaya produksi. Oleh karena itu, penentuan konsentrasi optimal enzim alfa-amilase dan glukamilase sangat penting untuk menghasilkan kadar gula reduksi maksimal yang akan mendukung proses fermentasi selanjutnya.

Setelah tahap hidrolisis enzimatik, larutan gula yang dihasilkan akan difermentasi oleh khamir *Saccharomyces cerevisiae* untuk menghasilkan etanol. Lama fermentasi merupakan variabel penting yang menentukan seberapa banyak gula yang dapat dikonversi menjadi etanol. Pada fase awal fermentasi, khamir mengalami fase adaptasi (*lag phase*) terhadap kondisi

lingkungan baru. Selanjutnya, khamir memasuki fase pertumbuhan eksponensial (*log phase*) di mana aktivitas metabolisme dan produksi etanol mencapai puncaknya. Seiring berjalannya waktu, akumulasi etanol dan berkurangnya substrat menyebabkan khamir memasuki fase stasioner dan akhirnya fase kematian (Yuliani et al., 2024).

Pemilihan variasi lama fermentasi 2, 4, dan 6 hari dalam penelitian ini didasarkan pada pertimbangan kinetika fermentasi alkohol. Fermentasi selama 2 hari diharapkan dapat menggambarkan kondisi awal di mana konversi gula menjadi etanol mungkin belum maksimal. Fermentasi selama 4 hari merepresentasikan fase pertengahan di mana produksi etanol diperkirakan mencapai titik optimal. Sedangkan pada fermentasi selama 6 hari diduga terjadi penurunan kadar etanol akibat faktor-faktor seperti degradasi etanol, kontaminasi, atau kematian sel khamir. Variasi waktu fermentasi ini penting untuk menentukan titik waktu optimal yang menghasilkan rendemen dan kualitas bioetanol terbaik.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini penting dilakukan untuk mengeksplorasi potensi biji cempedak sebagai bahan baku bioetanol sekaligus menentukan kondisi proses optimal melalui variasi konsentrasi enzim alfa-amilase, enzim glukoamilase, dan lama fermentasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan bioetanol dari sumber daya lokal Indonesia serta mendukung upaya diversifikasi energi nasional yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perbandingan antara konsentrasi enzim alfaamilase dan enzim glukamilase terhadap kadar etanol yang dihasilkan dari biji cempedak?
2. Pada kombinasi konsentrasi berapakah enzim alfa-amilase dan glukamilase menghasilkan rendemen bioetanol yang paling optimal dari substrat biji cempedak?
3. Berapakah waktu fermentasi yang paling optimal untuk menghasilkan kadar bioetanol tertinggi?

1.3 Tujuan

Adapun Tujuan dari Penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh perbandingan enzim alfaamilase dan enzim glukamilase terhadap sifat sifat bioetanol yang dihasilkan dari tepung biji cempedak.
2. Mengetahui pengaruh lama waktu fermentasi terhadap sifat sifat bioetanol dari biji cempedak.
3. Menentukan perbandingan enzim alfa amilase dan glukamilase serta lama fermentasi yang menghasilkan kadar alkohol bioetanol tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah berupa data dan informasi mengenai potensi tepung biji cempedak sebagai bahan baku bioetanol, sekaligus memperkaya khazanah teknologi bioenergi dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Secara praktis, hasil penelitian ini menyediakan informasi penting bagi industri bioetanol terkait alternatif bahan baku dan kondisi proses optimal yang dapat diterapkan secara industri. Selain itu, penelitian ini juga memberikan nilai tambah ekonomis bagi masyarakat dengan membuka peluang usaha baru dari limbah biji cempedak, serta mendukung upaya pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.