

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konsumsi bahan bakar minyak bumi (BBM) secara global telah mengalami peningkatan signifikan dalam beberapa dekade terakhir, baik di negara maju maupun berkembang termasuk Indonesia (Indonesia Investment, 2024). Ketergantungan yang tinggi pada sumber daya fosil ini telah memicu kekhawatiran akan krisis energi di masa depan. Sebagai respons, pengembangan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi semakin mendesak. Energi terbarukan bersifat dapat diperbarui dan berkelanjutan, menawarkan solusi potensial untuk mengatasi permasalahan energi global. Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan adalah biomassa.

Menurut Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) (2024), Indonesia sebagai negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan biomassa, khususnya tandan kosong kelapa sawit sebagai energi terbarukan. Potensi energi biomassa ini dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, sekaligus mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Dengan perkiraan potensi sumber daya biomassa mencapai 48.810 MW, Indonesia memiliki cadangan energi terbarukan yang melimpah untuk mendukung ketahanan energi nasional karena memiliki banyak perusahaan kelapa sawit. Menurut Badan Pusat Statistika (BPS)(2023), terdapat 1.700 perkebunan kelapa sawit di Indonesia dan terdapat di 25 provinsi. Pada tahun 2023 Indonesia memproduksi kelapa sawit sebanyak 46.986,10 ribu ton dan provinsi Jambi menyumbang sebanyak 2.533,60 ribu ton yang mana menjadi 7 teratas dari semua provinsi di Indonesia.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat hasil samping industri kelapa sawit yang dihasilkan dalam jumlah cukup besar. Meskipun memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, terutama selulosa, pemanfaatan TKKS saat ini masih terbatas pada penggunaan sebagai kompos atau bahan pengeras jalan (Muhammad & Widayat, 2022). Padahal, setiap satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah menghasilkan sekitar 22-23% TKKS, yang setara dengan 220-230 kg. Komposisi TKKS terdiri dari berbagai komponen, termasuk selulosa, hemiselulosa dan lignin yang merupakan senyawa polimer kompleks (Utami dkk, 2024). Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada TKKS berkisar 40-50%, menjadikan limbah ini sebagai sumber potensial glukosa yang dapat dikonversi menjadi bioetanol melalui proses

fermentasi (Athanasia dkk, 2018). Pemanfaatan TKKS sebagai biomassa untuk produksi bioetanol menawarkan beberapa keunggulan. Selain tidak bersaing dengan sumber pangan, konversi TKKS menjadi bioetanol juga berkontribusi pada upaya mengurangi limbah industri dan meningkatkan nilai tambah produk kelapa sawit. Bioetanol sebagai *biofuel* memiliki potensi besar sebagai alternatif bahan bakar fosil yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan beberapa kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak (BBM) dan mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan. Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Alternatif secara tegas menetapkan bahan bakar nabati sebagai salah satu alternatif pengganti BBM. Lebih lanjut, Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) memberikan perhatian khusus pada pengembangan bioetanol dari tebu sebagai upaya untuk mencapai swasembada gula dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Peraturan tersebut menargetkan tercapainya swasembada gula untuk kebutuhan industri paling lambat pada tahun 2030.

Walaupun dalam peraturan tersebut hanya tanaman tebu yang disebutkan tetapi melihat potensi biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan baku bioetanol menjadi alternatif lain untuk mewujudkan kebutuhan bioetanol dalam negeri sesuai target yang sudah disebutkan. Produksi bioetanol generasi pertama umumnya mengandalkan bahan baku yang kaya pati atau gula, seperti jagung atau tebu. Penggunaan bahan baku pangan ini berpotensi meningkatkan harga produksi bioetanol dan bersaing dengan sektor pangan. Oleh karena itu, pengembangan bioetanol generasi kedua yang memanfaatkan limbah lignoselulosa, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi alternatif yang lebih menarik (Dwi dkk., 2023). Proses konversi lignoselulosa pada TKKS menjadi glukosa merupakan langkah awal dalam produksi bioetanol generasi kedua.

Hasil fermentasi glukosa dapat dikonversi menjadi bioetanol ( $C_2H_5OH$ ). Bioetanol merupakan senyawa organik yang dihasilkan melalui proses biokimia, di mana mikroorganisme menguraikan gula menjadi etanol. Perubahan kimiawi pada substrat organik yang dihasilkan dari mikroorganisme melalui aktivitas enzim yang terjadi disebut dengan fermentasi. Bakteri, ragi dan jamur adalah mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi. Prinsip utama fermentasi adalah mengaktifkan aktivitas mikroba tertentu untuk mengubah sifat bahan, sehingga menghasilkan produk fermentasi yang bermanfaat (Herliati dkk, 2018). Fermentasi terjadi dimana gula akan dipecah menjadi

alkohol dan karbondioksida, terutama oleh khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae* lebih efektif menghasilkan etanol sebesar 5,1 – 91,8 %. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan jenis mikroba yang sering digunakan dalam proses fermentasi. Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* ini dipengaruhi oleh nutrisi. Pada saat proses fermentasi, *Saccharomyces cerevisiae* memerlukan nutrisi dalam pertumbuhan dan perkembangannya, misalnya penambahan unsur nitrogen. Menurut Zakyia dkk (2024), proses reaksi etanol atau alkohol yang terjadi akan menghasilkan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang lebih rendah melalui reaksi :



Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi fermentasi adalah mikroba, pH (keasaman), suhu, oksigen, dan makanan pada mikroba (nutrisi). Hasil penelitian Putri dkk (2024); Zakyia dkk (2024) menunjukkan bahwa semakin banyak massa nutrisi yang digunakan maka semakin besar persentase bioetanol yang dihasilkan.

Ketersediaan nutrisi yang tepat merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan produksi bioetanol. Mikroorganisme yang digunakan dalam proses fermentasi membutuhkan berbagai nutrisi untuk tumbuh dan menghasilkan etanol secara efisien. Sebagai contoh adalah pupuk NPK dan pupuk urea. Pupuk NPK adalah pupuk lengkap yang mengandung tiga nutrisi utama tanaman, yaitu nitrogen, fosfor, dan kalium. Berbeda dengan pupuk NPK, pupuk urea hanya mengandung nitrogen dalam jumlah yang sangat tinggi, yaitu 46%. Pupuk urea ini mudah larut dalam air dan sangat cepat menyerap air (Zakyia dkk, 2024). Selain mikroba, nutrisi, suhu, pH dan oksigen, fermentasi juga dipengaruhi oleh variabel waktu yang akan mempengaruhi hasil fermentasi. Apabila fermentasi hanya dilakukan dalam waktu singkat, maka bioetanol yang dihasilkan sedikit. Jika waktu fermentasi dilakukan dalam waktu lama, maka bioetanol yang dihasilkan banyak (Illiya dkk, 2019).

Sumber bahan baku untuk produksi bioetanol dapat dikategorikan menjadi tiga generasi. Generasi pertama berasal dari tanaman yang mengandung glukosa, generasi kedua dari tanaman yang mengandung lignoselulosa, dan generasi ketiga memanfaatkan mikroalga. Saat ini, perhatian global tertuju pada pengembangan produksi bioetanol generasi kedua (G2) yang memanfaatkan biomassa lignoselulosa, karena tidak bersaing dengan sumber pangan dan pakan. Biomassa lignoselulosa terutama terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen selulosa dan hemiselulosa memiliki kandungan berkisar antara 23-52% dan 12-30%, yang menunjukkan potensi

untuk diolah menjadi bioetanol. Produksi bioetanol generasi kedua (G2) yang menggunakan bahan baku lignoselulosa dapat diperoleh dari berbagai jenis limbah, termasuk limbah dari sektor pertanian, perkebunan, kehutanan, industri, serta limbah organik yang dihasilkan di daerah perkotaan (Mulyadi dkk, 2023).

Pada tahun 2021, Khairiah dan Ridwan telah berhasil memproduksi bioetanol generasi kedua dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui empat tahap proses utama, yaitu *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi dan destilasi. Penelitian tersebut menghasilkan 14,4 ml bioetanol dengan densitas 0,8757 gr/ml menggunakan konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* sebesar 5%. Anugrah dkk (2020), melakukan karakterisasi bioetanol TKKS dengan metode pemurnian adsorpsi, didapatkan kadar bioetanol sebesar 1,71227 g/L. Darsono & Sumarti (2014), juga melakukan penelitian terkait bioetanol dari TKKS menggunakan *pretreatment* iradiasi berkas elektron dan NaOH 6% menghasilkan kadar bioetanol maksimum 6,55 g/L. Dalam penelitian Putri dkk (2024), dengan memanfaatkan pisang kapok kuning sebagai bahan baku bioetanol dengan metode menambahkan starter dalam perlakuannya menghasilkan kadar bioetanol tertinggi pada penambahan nutrisi 75% urea dan 25% NPK dengan waktu fermentasi 25 hari dengan kadar bioetanol 31,67%. Zakky dkk (2024) juga melakukan penelitian terkait pengaruh penambahan *nutrient* terhadap bioetanol dari biji alpukat, mendapatkan hasil kadar bioetanol terbaik pada perlakuan penambahan NPK 75% dan pupuk urea 25% selama 25 hari dengan kadar bioetanol 29,7%. Dari penelitian di ataslah, penulis berinisiatif melakukan penelitian terkait bioetanol dari TKKS dengan penambahan starter dan nutrisi pada proses fermentasi sehingga diharapkan mendapatkan hasil kadar bioetanol yang tinggi.

Bioetanol sebagai salah satu jenis *biofuel* telah menarik perhatian sebagai alternatif bahan bakar yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, yang mana emisi hidrokarbon yang lebih rendah, menjadikan bioetanol sebagai bahan bakar yang lebih aman (Arifia dkk, 2022). Potensi pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku bioetanol telah diteliti seperti pada (Christyfani dkk, 2021); (Khairiah & Ridwan, 2021); (Anugrah dkk, 2020); (Sartini dkk, 2018); (Darsono & Sumarti, 2014), tetapi penggunaan kombinasi dua starter nutrisi yang berbeda pada substrat ini masih relatif jarang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi optimal penambahan pupuk urea dan NPK, serta waktu fermentasi yang menghasilkan kadar bioetanol tertinggi dari tandan kosong kelapa sawit. Dengan demikian,

penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi produksi bioetanol yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan *nutrient* (pupuk urea dan NPK) dalam produksi bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit ?
2. Berapa konsentrasi terbaik penambahan *nutrient* (pupuk urea dan NPK) yang menghasilkan hasil produksi bioetanol tertinggi dari tandan kosong kelapa sawit ?
3. Berapa waktu fermentasi yang optimal untuk menghasilkan produksi bioetanol tertinggi dari tandan kosong kelapa sawit dengan suplementasi nutrisi pupuk urea dan NPK ?

## 1.3 Hipotesis

Adapun hipotesis penulis dari rumusan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

1. Hipotesis nol ( $H_0$ ) : Penambahan *nutrient* (pupuk urea dan NPK) tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap produksi bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit

Hipotesis satu ( $H_1$ ) : Penambahan *nutrient* (pupuk urea dan NPK) memberikan pengaruh signifikan terhadap produksi bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit

2. Hipotesis nol ( $H_0$ ) : Tidak ada perbedaan signifikan dalam produksi bioetanol pada berbagai konsentrasi *nutrient* (pupuk urea dan NPK) yang diuji

Hipotesis satu ( $H_1$ ) : Terdapat perbedaan signifikan dalam produksi bioetanol pada berbagai konsentrasi *nutrient* (pupuk urea dan NPK) yang diuji, dengan salah satu konsentrasi menghasilkan produksi bioetanol tertinggi

3. Hipotesis nol ( $H_0$ ) : Tidak ada perbedaan signifikan dalam produksi bioetanol pada berbagai waktu fermentasi yang diuji

Hipotesis satu ( $H_1$ ) : Terdapat perbedaan signifikan dalam produksi bioetanol pada berbagai waktu fermentasi yang diuji, dengan salah satu waktu fermentasi menghasilkan produksi bioetanol tertinggi.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan *nutrient* (pupuk urea dan NPK) dalam produksi bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit
2. Mengetahui konsentrasi terbaik dari penambahan *nutrient* (pupuk urea dan NPK) yang menghasilkan hasil produksi bioetanol tertinggi dari tandan kosong kelapa sawit
3. Mengetahui waktu fermentasi yang optimal untuk menghasilkan produksi bioetanol tertinggi dari tandan kosong kelapa sawit dengan suplementasi nutrisi urea dan NPK.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Memenuhi sebagai syarat-syarat yang diperlukan untuk melakukan penelitian tugas akhir pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi
2. Memberikan mahasiswa kesempatan untuk mendalami konsep-konsep dasar dalam bidang bioteknologi, khususnya fermentasi dan produksi bioenergi. Mahasiswa akan memahami secara mendalam tentang proses konversi biomassa menjadi bioetanol, peran nutrisi dalam pertumbuhan mikroorganisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi produksi bioetanol
3. Melalui penelitian ini, mahasiswa dapat mengembangkan berbagai keterampilan yang sangat berguna dalam dunia akademik maupun industri, seperti keterampilan eksperimental di laboratorium, analisis data, menulis ilmiah dan persentasi
4. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang bioenergi tetapi juga memiliki kontribusi terhadap pengembangan teknologi produksi bioetanol dari limbah pertanian. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan.