

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki keanekaragaman sektor industri yang luas, mencakup sektor ekstraktif hingga manufakturing bersumber dari sumber daya alam dan teknologi. Keberanekaragaman ini didukung dari pertanian, pertambangan, kehutanan dan perairan yang diolah menjadi produk yang bernilai tambah. Sektor utama yang ada di Indonesia meliputi kimia, logam, dan mesin, serta aneka industri kerajinan dari sumber daya yang ada. Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Sejak tahun 2005, ketika melampaui produksi Australia, Indonesia menjadi eksportir terdepan batu bara thermal. Porsi signifikan dari batu bara thermal yang diekspor terdiri dari jenis kualitas menengah (antara 5100 dan 6100 cal/gram) dan jenis kualitas rendah (di bawah 5100 cal/gram) yang sebagian besar permintaannya berasal dari Cina dan India. (Indonesia Investments Batu Bara, 2026)

Dikarenakan batu bara merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, apabila digunakan terus menerus maka akan mengalami penurunan jumlah batu bara yang ada. Oleh karena itu diperlukan sumber daya alternatif sebagai bahan bakar. Selain sektor pertambangan Indonesia juga memiliki sektor perkebunan salah satunya perkebunan kelapa sawit yang sangat melimpah, hasil produksi CPO bulan Oktober 2025 mencapai 4.352 ribu ton, naik 10,68% dari bulan sebelumnya 3.932 ribu ton. Produksi PKO bulan Oktober juga naik menjadi 405 ribu ton dari 366 ribu ton. Secara YoY sampai dengan bulan Oktober, produksi CPO+PKO tahun 2025 mencapai 48.092 ribu ton atau naik sekitar 9,85% lebih tinggi dari produksi tahun 2024 sebesar 43.780 ribu ton (GAPKI,2025) yang dimana menghasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit yang melimpah, dan belum dimanfaatkan dengan baik. Sehingga perlu adanya pengolahan limbah tandan kelapa sawit tersebut. Namun dengan tingginya jumlah limbah yang tidak terproses atau dimanfaatkan dengan baik hal ini dapat menyebabkan penumpukan di lokasi pabrik, mengganggu keestetikaan, serta resiko kontaminasi lingkungan.

Pabrik kelapa sawit memerlukan energi besar untuk operasionalnya, terutama untuk proses *sterilisasi*, *pressing* dan *klarifikasi* yang menggunakan uap bertekanan tinggi dari boiler untuk menaikkan suhu yang stabil selama proses produksi minyak kelapa sawit (CPO).

Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023), sektor pertanian menyumbang sekitar 23% dari konsumsi energi nasional. Industri ini masih menggunakan energi fosil sebagian besar. Industri pengolahan pangan kelapa sawit masih bergantung dengan ketersediaan energi panas untuk menunjang berbagai unit operasi termal, seperti proses sterilisasi tandan buah segar pada stasiun perebusan, pemanasan pada proses *klarifikasi* minyak atau pemurnian minyak CPO. Kestabilan energi panas pada tahapan tersebut berperan penting untuk mendukung konsistensi mutu proses klarifikasi serta efisiensi proses pengolahan pangan kelapa sawit. Pada penelitian kali ini tidak melakukan audit HACCP maupun GMP, tetapi menggunakan konsep pengendalian proses termal sebagai dasar bahwa kestabilan energi panas merupakan bagian yang penting dalam menjaga konsistensi unit operasi pengolahan CPO. Dalam kerangka ini, boiler berperan penting sebagai utilitas proses pangan yang menghasilkan energi termal untuk mendukung kestabilan suhu pada stasiun klarifikasi, sehingga pemisahan minyak, air, dan kotoran, hal ini memungkinkan proses *klarifikasi* (pemurnian) berjalan efektif, serta meminimalkan titik kritis dalam pemurnian agar proses tersebut berlangsung stabil dan konsisten, sehingga mendukung konsistensi mutu proses klarifikasi (Jan Hary et al., 2025). Bahan bakar konvensional untuk boiler di pabrik kelapa sawit umumnya menggunakan batu bara. Namun, tingginya permintaan ekspor batu bara dan sifat batu bara tidak terbarukan menyebabkan kelangkaan bahan bakar ini di pertambangan domestik.

Ketergantungan ini meningkatkan biaya operasional yang tinggi dan memerlukan bahan bakar alternatif yang dapat mensubstitusi atau dikombinasikan dengan batu bara yaitu TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) yang menjadi kandidat potensial karena ketersediaan yang melimpah dan nilai kalor yang memadai, namun karakteristik pembakaran batu bara dengan TKKS belum banyak diteliti secara komparatif. Selain itu, terdapat boiler yang memanfaatkan bahan

bakar alternatif, seperti limbah industri atau biomassa. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar dalam pembangkit listrik memiliki signifikansi penting sebagai substitusi terhadap penggunaan bahan bakar fosil untuk menghasilkan panas (Tanbar *et al.*, 2021). Menurut (Dwiaji, 2023) Beberapa penelitian di Asia Tenggara telah berupaya mengembangkan boiler yang menggunakan biomassa sebagai bahan bakar, mengingat dampaknya yang dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan batu bara.

Dalam kegiatan produksi di pabrik pengolahan kelapa sawit di daerah luar pulau jawa terkhusus nya di daerah kalimantan dan sumatera, boiler yang digunakan masih menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara dan biomassa berupa kayu glondongan sebagai bahan bakar. Namun sedikit berbeda pada pabrik pengolahan minyak kelapa sawit yang ada di pulau jawa yaitu di PT. XYZ, sistem Boiler dioperasikan dengan menggunakan biomassa, seperti kayu dan limbah padat dari kelapa sawit termasuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), serabut (fiber) dan biji (kernel) sebagai bahan bakar utama. Hal ini bertujuan menghasilkan energi panas dalam skala besar untuk memproduksi uap bertekanan tinggi, yang diperlukan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit. Penggunaan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler telah menjadi praktik standar di industri pengolahan kelapa sawit. Limbah ini memiliki nilai kalor yang cukup sebagai sumber energi terbarukan, sekaligus membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Erivianto *et al.*, 2022). Pemanfaatan TKKS sebagai bahan bakar merupakan bagian dari rekayasa sistem pengolahan pangan berbasis *zero waste*, yang dimana Biomassa ini memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi alternatif terbarukan karena mengandung komponen lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, lignin) yang bisa jadi energi panas saat dibakar. Nilai Kalor dari tandan kosong kelapa sawit sebesar 3.500 – 4.200 kcal/kg, lebih rendah dari batu bara (5.000 – 6.500 kcal/kg). (Hidayat *et al.*, 2021).

Efektivitas penggunaan biomassa ini sangat bergantung pada karakteristik pembakaran masing-masing bahan bakar, seperti kadar air (*moisture content*), nilai kalor (*heating value*), dan komposisi biomassa, yang langsung memengaruhi jumlah energi yang dihasilkan boiler. Selain itu, limbah padat kelapa sawit memiliki

potensi besar sebagai sumber energi dan bahan baku untuk produk bernilai tambah. Penggunaannya sebagai sumber energi dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta menekan emisi gas rumah kaca, berkat sifat netralitas karbonnya (Abdul Rahim *et al.*, 2024). Meskipun nilai kalor dari tandan kosong kelapa sawit lebih rendah daripada batu bara, tandan kosong kelapa sawit bisa menjadi opsi untuk menjadi bahan bakar pendukung yang potensinya dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mengurangi ketergantungan terhadap batu bara dan mendukung kebijakan transisi energi hijau yang dirancang oleh pemerintah. Dengan dilakukannya optimasi kecukupan energi termal pendukung proses pemurnian CPO. Salah satu parameter penting untuk menilai kecukupan energi panas bagi unit operasi termal. Analisis nilai kalor menggunakan alat bomb kalorimeter digunakan sebagai alat bantu untuk memperoleh data kuantitatif untuk menilai energi bahan bakar yang digunakan apakah efektif untuk menjaga kestabilan suhu untuk proses *klarifikasi* (pemurnian) pada sistem pengolahan pangan kelapa sawit. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai “Optimasi Proses Pemurnian *Crude Palm Oil* (CPO) Menggunakan Energi Termal Dari Biomassa TKKS” perlu dilakukan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada upaya untuk meningkatkan efisiensi energi panas di industri pengolahan pangan kelapa sawit, dan penambahan batu bara ke dalam campuran TKKS untuk menurunkan kadar air yang terkandung dalam TKKS agar efisiensi energi panas pada industri pangan kelapa sawit dapat dimaksimalkan agar tetap stabil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai kalor batu bara sebagai bahan pembanding dan biomassa (TKKS) sebagai bahan pengganti utama dengan menggunakan bomb calorimeter. Dalam perspektif Teknologi Rekayasa Pangan, proses pemurnian atau *klarifikasi Crude Palm Oil* (CPO) merupakan salah satu tahapan penting yang membutuhkan kestabilan energi termal. Energi panas dari sistem boiler berperan dalam menjaga suhu proses agar pemisahan minyak, air, dan kotoran berlangsung lebih efektif. Oleh karena itu, kecukupan dan kestabilan energi termal tidak hanya berkaitan dengan aspek mesin, tetapi juga berhubungan dengan keberhasilan unit operasi termal dalam pengolahan pangan kelapa sawit. Penelitian ini diarahkan untuk mengevaluasi potensi biomassa

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai sumber energi termal pendukung proses pemurnian CPO. Batu bara digunakan sebagai kontrol pembanding karena masih menjadi bahan bakar konvensional dengan nilai kalor tinggi. Dengan demikian, fokus penelitian bukan pada pengujian mutu CPO secara langsung, melainkan pada karakterisasi bahan bakar melalui nilai kalor, kadar air, dan kadar abu sebagai indikator kemampuan bahan bakar dalam menyediakan energi panas bagi proses pemurnian CPO.

Secara teoritis, hasil penelitian ini akan memperkaya literatur mengenai karakterisasi termal biomassa kelapa sawit serta memberikan kontribusi baru dalam bidang efisiensi energi industri, dan Perlu dicatat bahwa penelitian ini tidak melakukan optimasi proses pemurnian secara langsung, tetapi hanya mengoptimalkan sumber energi termal pendukung. Studi ini tidak menguji kualitas minyak seperti kadar asam lemak bebas (FFA), DOBI, warna, dan rendemen. Dalam penelitian ini, proses pemurnian CPO atau klarifikasi diposisikan sebagai komponen operasi termal yang membutuhkan energi panas yang memadai dari sistem boiler (Hidayat et al., 2021). Dan penelitian ini menempatkan boiler sebagai utilitas proses pangan dalam pengolahan CPO. Energi termal yang dihasilkan boiler digunakan untuk mendukung proses klarifikasi atau pemurnian CPO. Energi termal yang dihasilkan boiler digunakan untuk mendukung proses klarifikasi atau pemurnian awal CPO, khususnya menjaga suhu operasi agar pemisahan minyak, air, dan kotoran berlangsung efektif pada rentang suhu 90–100°C. Dalam penelitian ini, istilah optimasi proses pemurnian CPO dibatasi pada pemilihan komposisi campuran batu bara–TKKS yang paling prospektif sebagai sumber energi termal pendukung proses klarifikasi atau pemurnian awal CPO.

Penelitian tidak melakukan optimasi terhadap desain boiler, efisiensi aktual boiler, parameter operasi klarifikasi, maupun mutu CPO secara langsung. Dengan demikian, evaluasi karakteristik bahan bakar dalam penelitian ini secara langsung berhubungan dengan keberhasilan unit operasi termal pengolahan pangan kelapa sawit, bukan hanya sekedar kajian energi yang berdiri sendiri (Kumar & Saini, 2021). Dan secara tidak langsung dan praktis penelitian ini dapat menjadi dasar

bagi industri kelapa sawit untuk merancang strategi *co-firing* antara batu bara dan biomassa, sebagai langkah awal *zero waste*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diperoleh beberapa rumusan permasalahan yakni :

1. Bagaimana karakteristik nilai kalor batu bara, TKKS, dan campuran batu bara– TKKS sebagai sumber energi termal pendukung proses pemurnian CPO?
2. Bagaimana pengaruh ukuran partikel terhadap kadar air, kadar abu, dan nilai kalor bahan bakar campuran batu bara–TKKS?
3. Komposisi campuran manakah yang paling layak digunakan sebagai bahan bakar pendamping boiler dengan mempertimbangkan kecukupan nilai kalor dan pemanfaatan biomassa TKKS?

1.3 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan, maka diperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai kalor batu bara serta biomassa (tandan kosong kelapa sawit) menggunakan bomb calorimeter sebagai parameter kecukupan energi panas pada unit operasi termal pada proses pemurnian (*klarifikasi*) pada produksi pengolahan pangan kelapa sawit.
2. Menentukan tingkat kehalusan bahan bakar biomassa (TKKS) dan batu bara terhadap efisiensi pembakaran dalam mendukung kestabilan proses termal pengolahan pangan kelapa sawit.
3. Untuk mengetahui bentuk optimalisasi penggunaan bahan bakar alternatif yang efisien dan ramah lingkungan dengan penggunaan biomassa (tandan kosong kelapa sawit) sebagai bahan bakar alternatif berbasis by – product pangan untuk meningkatkan efisiensi energi proses pengolahan pangan kelapa sawit.