

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan dasar yang memiliki peran penting dalam mendukung berbagai aktivitas manusia serta pembangunan di berbagai sektor. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pesatnya perkembangan industri, kebutuhan energi juga mengalami peningkatan yang signifikan. Hingga saat ini, pemenuhan kebutuhan energi masih didominasi oleh sumber energi fosil yang bersifat tidak terbarukan serta menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran dan peningkatan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan menjadi suatu kebutuhan yang mendesak (Qolbi dkk., 2025).

Indonesia dikenal memiliki potensi biomassa yang melimpah, khususnya yang berasal dari industri kelapa sawit. Salah satu limbah padat yang dihasilkan dalam jumlah besar adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pemanfaatan limbah ini masih belum optimal dan sering kali hanya ditimbun atau dibakar, sehingga dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Padahal, TKKS memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, sehingga sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi energi terbarukan melalui proses konversi termokimia, seperti pirolisis (Rezki dkk., 2023; Febriyanti dkk., 2020).

Pirolisis merupakan proses penguraian biomassa secara termal yang berlangsung pada kondisi tanpa oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, sehingga menghasilkan produk berupa bio-oil, gas, dan biochar. Berdasarkan karakteristik prosesnya, pirolisis dapat dibedakan menjadi pirolisis lambat (slow pyrolysis) dan pirolisis cepat (fast pyrolysis). Fast pyrolysis ditandai dengan laju

pemanasan yang tinggi serta waktu tinggal yang sangat singkat, sehingga mampu menghasilkan bio-oil dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan metode pirolisis lainnya (Rahimi dkk., 2024).

Perkembangan pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan telah menjadi perhatian dunia sejak krisis energi fosil pada akhir abad ke-20. Teknologi pirolisis sendiri mulai dikembangkan secara intensif sejak tahun 1980-an, diawali dengan penelitian mengenai *slow pyrolysis* untuk produksi arang (biochar), kemudian berkembang menjadi *fast pyrolysis* pada tahun 1990-an setelah ditemukan bahwa laju pemanasan tinggi dan waktu tinggal uap yang singkat mampu meningkatkan rendemen produk cair (bio-oil) secara signifikan. Di Indonesia, riwayat pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai bahan baku energi terbarukan mulai berkembang seiring meningkatnya luas perkebunan kelapa sawit nasional, yang menghasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam jumlah besar setiap tahunnya. Sejak awal 2010-an, berbagai perguruan tinggi dan lembaga riset di Indonesia mulai melakukan kajian konversi TKKS melalui proses termokimia, khususnya pirolisis, sebagai upaya menekan praktik penimbunan dan pembakaran terbuka yang selama ini menjadi metode pengelolaan limbah yang tidak ramah lingkungan. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari rangkaian riwayat riset tersebut, dengan fokus khusus pada kombinasi variasi suhu dan waktu pemanasan pada proses *fast pyrolysis* TKKS yang masih jarang dikaji secara simultan di Indonesia.

Bio-oil yang dihasilkan dari proses *fast pyrolysis* memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif maupun bahan baku industri kimia. Namun, kualitas bio-oil sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi yang digunakan. Parameter seperti suhu dan waktu pemanasan berperan penting dalam menentukan tingkat dekomposisi komponen utama biomassa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, kedua parameter tersebut juga memengaruhi terjadinya reaksi sekunder, seperti cracking dan repolimerisasi uap pirolisis, yang berdampak langsung terhadap sifat fisik dan kimia bio-oil yang dihasilkan (Maulinda dkk., 2023; Jamilatun dkk., 2024).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa suhu pirolisis merupakan faktor utama yang memengaruhi hasil dan karakteristik bio-oil. Akan tetapi, pada proses fast pyrolysis, waktu pemanasan dan waktu tinggal uap juga memiliki pengaruh yang signifikan. Variasi waktu pemanasan dapat menentukan apakah proses dekomposisi berlangsung secara optimal atau justru memicu reaksi sekunder yang dapat menurunkan kualitas bio-oil, seperti meningkatnya kadar air, menurunnya stabilitas, serta perubahan komposisi kimia produk cair (Agrawal & Yadav, 2025). Waktu pemanasan yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi senyawa volatil menjadi gas, sedangkan waktu yang terlalu singkat dapat menghambat proses konversi biomassa secara optimal. Dengan demikian, pengaturan waktu proses yang tepat menjadi faktor penting dalam memperoleh bio-oil dengan kualitas dan rendemen yang optimal (Utomo dkk., 2025).

Upaya pengembangan proses pirolisis juga dilakukan melalui berbagai pendekatan, salah satunya dengan memodifikasi bahan baku dan kondisi operasi. (Valentino dkk. 2025) melaporkan bahwa co-pyrolysis antara TKKS dan polipropilena dapat memberikan efek sinergis dalam meningkatkan kualitas produk pirolisis. Selain itu, (Unsomsri dkk. 2025) menunjukkan bahwa bio-oil hasil pirolisis biomassa kelapa sawit berpotensi sebagai bahan bakar alternatif, meskipun kualitasnya sangat dipengaruhi oleh kondisi proses serta komposisi bahan baku yang digunakan.

Penelitian terkait pirolisis TKKS telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan, baik melalui eksperimen maupun simulasi. Studi simulasi berbasis temperatur menunjukkan bahwa variasi suhu operasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distribusi produk pirolisis (Utomo dkk., 2025). Sementara itu, hasil penelitian eksperimental menunjukkan bahwa kombinasi suhu dan waktu pirolisis berpengaruh terhadap sifat bio-oil, seperti densitas, pH, dan komposisi kimia (Maulinda dkk., 2023). Selain itu, variasi waktu tinggal uap dalam proses fast pyrolysis juga terbukti memengaruhi pembentukan fase bio-oil serta kualitas fraksi cair yang dihasilkan (Agrawal & Yadav, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa analisis

yang hanya berfokus pada satu parameter belum cukup untuk menggambarkan kinerja proses secara menyeluruh.

Meskipun demikian, penelitian mengenai fast pyrolysis biomassa di Indonesia masih didominasi oleh kajian yang hanya meninjau satu parameter, khususnya suhu, dan sebagian besar dilakukan pada kondisi pirolisis konvensional (slow pyrolysis). Kajian yang secara bersamaan menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu pemanasan pada proses fast pyrolysis, terutama dengan menggunakan bahan baku TKKS, masih sangat terbatas dan belum dilakukan secara komprehensif. Selain itu, evaluasi kualitas bio-oil dalam penelitian sebelumnya umumnya masih berfokus pada aspek rendemen, tanpa diikuti dengan analisis mendalam terhadap sifat fisik dan kimia sebagai indikator kinerja proses (Talwar dkk., 2025; Vilas-Boas dkk., 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu penelitian yang mengkaji secara sistematis pengaruh variasi suhu dan waktu pemanasan pada proses fast pyrolysis TKKS terhadap kualitas bio-oil yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai hubungan antara parameter operasi dan kinerja proses, serta menjadi dasar dalam menentukan kondisi operasi yang optimal dan aplikatif untuk pengembangan teknologi konversi biomassa di Indonesia.