

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sektor pertanian dalam proses produksinya, baik dalam kegiatan prapanen maupun kegiatan pascapanen menghasilkan limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal. Maka dari itu sektor pertanian memiliki peran penting dalam pengelolaan limbah biomassa, karena pertanian tidak hanya berfokus pada produksi tanaman saja, tetapi juga harus mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan. Dengan memadukan ilmu pertanian dengan manajemen limbah biomassa, dapat diciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan mendukung ketahanan pangan. Limbah pertanian atau biomassa biasanya diperoleh dari proses produksi pertanian maupun perkebunan, tetapi limbah biasanya terbuang atau dibakar, padahal limbah biomassa ini mempunyai potensi yang sangat besar untuk dikembangkan dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang, termasuk pertanian, energi, dan lingkungan.

Limbah biomassa adalah sisa-sisa organik yang berasal dari makhluk hidup, yang mencakup berbagai jenis bahan organik, termasuk sampah dedaunan, sisa-sisa makanan, limbah pertanian, dan limbah hutan. Sumber biomassa yang bisa dimanfaatkan untuk pirolisis *bio-oil* diantaranya adalah kayu keras, kayu lunak dan limbah biomassa dari tanaman pertanian (Xin *et al.*, 2020). Biomassa merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui dan dapat dihasilkan secara berkelanjutan. Pemanfaatan biomassa tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga meningkatkan nilai tambah dari pengelolaan limbah organik menjadi produk yang bermanfaat. Limbah biomassa berupa material biologis yang digunakan sebagai sumber bahan bakar, baik secara langsung maupun diproses melalui teknik konversi energi biomassa. Potensi energi biomassa Indonesia, secara teori diperkirakan mencapai sekitar 49.810 MW, potensi ini tentu sangat memadai untuk dikembangkan menjadi energi baru dan terbarukan.

Salah satu limbah biomassa yang sangat potensial adalah tempurung kelapa. Data dari Dirjen Perkebunan menunjukkan bahwa pada tahun 2018 perkebunan kelapa telah mencapai luas 3,56 juta hektar. Indonesia merupakan negara yang memiliki lahan tanaman kelapa terbesar di dunia dengan luas areal 3.649.645 ha dengan tingkat produksi

kelapa 2.865.870 ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2018). Areal produksi terkonsentrasi di tiga wilayah, yaitu Sumatera (32,8%), Jawa dan Bali (26,2 %), serta Sulawesi (18,4%).

Salah satu teknik konversi energi biomassa adalah melalui teknik pirolisis yang mengkonversi biomassa menjadi *bio-oil*. Teknik pirolisis merupakan sebuah metode termokimia dimana limbah biomassa dikonversikan menjadi bahan bakar padat (*char*), produser gas (*syngas*), dan *liquid (bio-oil)* tanpa kehadiran oksigen dalam sebuah reaktor (Ohliger *et al.*, 2013). Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia dari material organik, yang berlangsung tanpa udara atau oksigen. Menurut Basu (2010), pirolisis biomassa umumnya berlangsung pada rentang temperatur 300 °C sampai dengan 600 °C. Teknik pirolisis lebih efisien dan fleksibel dibandingkan dengan proses konversi termokimia yang lain. Li *et al.* (2008) menyatakan jumlah *bio-oil* yang dihasilkan meningkat seiring dengan peningkatan suhu optimal setelah itu menurun jika suhunya terlalu tinggi. Teknologi pirolisis saat ini telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas *bio-oil* / biofuel dalam hal nilai kalor, ketercampurannya dengan bahan bakar cair lainnya (Xin *et al.*, 2020). Selain itu, minyak pirolisis mentah / *bio-oil* tidak dapat langsung digunakan dalam infrastruktur energi saat ini, karena sifat yang tidak diinginkan seperti kandungan energi yang rendah dan sifat korosif akibat kandungan oksigennya yang tinggi. *Bio-oil* merupakan produk cair dari pirolisis biomassa, mempunyai potensi sebagai biofuel tingkat lanjut atau bahan kimia yang mengandung oksigen. Komposisi kimia kompleksnya bervariasi dalam sifat fisik dan kimia (Stoš *et al.*, 2020). Oleh karena itu, perlu ditingkatkan dan difraksinasi menjadi spesifikasi yang diinginkan.

Penelitian yang telah dilakukan adalah merancang alat pirolisis untuk memproduksi *bio-oil*, dimana alat ini menggunakan tungku pembakaran kompor gas dan kayu bakar (Novita *et al.*, 2014). Tungku pembakaran menggunakan kompor gas dan kayu bakar, biaya operasionalnya cukup tinggi dan kayu bakar sulit didapatkan. Biaya yang mahal ini dapat meningkatkan biaya pokok produksi *bio-oil*, untuk mengurangi biaya operasional produksi *bio-oil*, maka dirancang reaktor pirolisis berbasis energi surya terkonsentrasi, sehingga diharapkan biaya operasionalnya lebih murah, karena bahan baku dan sumber energi yang digunakan *renewable, suistainable*, dan ramah

lingkungan.

Sinar matahari sebagai sumber energi utama yang luar biasa besarnya memancarkan energi ke permukaan bumi. Pada cuaca cerah, permukaan bumi menerima lebih dari 1.000 W/m^2 energi matahari. Indonesia menerima energi matahari yang radiasi energi harian rata-rata sebesar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ (Duffie, 1980). Penggunaan energi surya bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi panas pembakaran pada reaktor produksi *bio-oil*. Energi surya bisa ditingkatkan intensitasnya jika menggunakan kolektor surya dengan *concentrated solar power* (CSP). Dalam penelitian ini reaktor pirolisis *bio-oil* menggunakan energi panas yang berasal dari CSP atau lebih dikenal dengan *solar pyrolysis*. CSP dianggap sebagai teknologi energi terbarukan yang sangat menjanjikan karena kemampuannya menghasilkan panas dan listrik serta mudah penyimpanan energi panasnya ke perangkat penyimpanan termal (Monnerie *et al.*, 2020). Radiasi sinar matahari terkonsentrasi mampu menghasilkan suhu tinggi untuk memanaskan pirolisis biomassa (Piatkowski *et al.*, 2011).

Energi surya dan biomassa adalah dua sumber energi utama dalam energi terbarukan yang dapat diintegrasikan untuk memproduksi panas, tenaga, bahan bakar transportasi, bahan kimia dan biomaterial dengan menggunakan pirolisis (Weldekidan *et al.*, 2019). *Parabolic solar collector* merupakan salah satu jenis dari sistem CSP yang banyak dikembangkan di berbagai negara karena hingga saat ini teknologi tersebut dianggap paling matang dan telah terbukti penggunaannya (Aringhoff *et al.*, 2005).

Rangkaian kolektor panas ini diharapkan dapat menghasilkan suhu pembakaran pirolisis $300 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai $600 \text{ }^\circ\text{C}$ yang termasuk dalam kategori *fast pyrolysis*. Produk utama dalam *fast pyrolysis* adalah *bio-oil*. *Fast pyrolysis* pada selulosa, xilan dan lignin dilakukan secara ekperimental antara 350 dan $650 \text{ }^\circ\text{C}$ dalam reaktor dengan mengetahui pengaruh suhu terhadap rendemen produk pirolisis (Qu *et al.*, 2011). *Fast pyrolysis* dapat mengubah biomassa menjadi bahan bakar cair berkualitas tinggi atau bahan kimia bernilai tambah tinggi (Qu *et al.*, 2011). *Fast pyrolysis* menggunakan laju pemanasan yang cepat (umumnya $> 100 \text{ }^\circ\text{C/s}$) dan suhu antara 450 dan $550 \text{ }^\circ\text{C}$, sehingga memaksimalkan hasil *bio-oil* (Nachenius *et al.*, 2013).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Novita *et al.* (2017) dengan pembakaran

menggunakan suhu 200–400 °C mampu memproduksi *bio-oil* dengan rata-rata rendemen 35-40%. Bahan baku yang digunakan adalah limbah biomassa seperti tempurung kelapa. Dalam penelitian ini diharapkan peningkatan jumlah hasil / rendemen yang didapatkan. Rancangan alat pirolisis dengan menggunakan konsentrator parabola ini diharapkan dapat meningkat suhu proses pirolisis, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, ramah lingkungan, meningkatkan rendemen hasil dan meningkatkan kualitas *bio-oil* yang dihasilkan.

B. Rumusan Masalah

Salah satu limbah biomassa yang sangat potensial adalah tempurung kelapa yang umumnya diabaikan dan seringkali menjadi sumber polusi lingkungan jika tidak dikelola dengan baik serta dapat dikembangkan menjadi sumber *renewable energy*. Potensi tempurung kelapa di Sumatera Barat dan di Indonesia sangat besar, karena kelapa sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Tempurung kelapa memiliki sifat difusi termal yang baik dibandingkan dengan bahan lain seperti kayu sehingga menjadikannya memiliki peluang besar sebagai bahan bakar pengganti (Budi, 2011). Tempurung kelapa mempunyai mempunyai nilai kalor 18.388 kJ/kg dan memiliki komponen karbon 18,29% dan *volatile* 67,67% yang tinggi yang lebih mudah untuk dikonversi menjadi *liquid* (Mozammel *et al.*, 2002).

Tempurung biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak dan diproses menjadi arang. Limbah tempurung kelapa merupakan biomassa yang mempunyai potensi untuk ditingkatkan kegunaan dan nilai ekonominya, salah satunya melalui proses pirolisis (Sa'diyah *et al.*, 2018). Jika tempurung diolah dengan menggunakan proses pirolisis maka dapat menghasilkan produk seperti *bio-oil*, arang dan gas. *Bio-oil* yang diperoleh mempunyai kualitas yang tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil serta produknya lebih ramah lingkungan (Ajayi *et al.*, 2021). Produk dari proses ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik, pemanas, dan bahan baku industri. Namun, tempurung kelapa memiliki komponen utama seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang dapat diubah menjadi produk bernilai tinggi melalui proses pirolisis.

Proses pirolisis memerlukan energi panas yang cukup tinggi untuk menghasilkan suhu tinggi, tetapi masih memanfaatkan energi yang tidak bisa diperbaharui yaitu gas dan kayu bakar. Kebutuhan bahan bakar gas dan kayu sangat banyak sehingga membutuhkan biaya yang cukup besar dalam proses pembakarannya. Karena Indonesia merupakan daerah tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun, maka kami berusaha untuk mengembangkan energi matahari dengan potensi yang besar untuk menghasilkan energi panas. Pemanfaatan energi matahari ini menggunakan konsentrator surya yang berbentuk parabola, yang mampu memfokuskan energi panas pada satu titik fokus. Efisiensi energi terkonsentrasi ini jauh lebih tinggi dari menggunakan panel surya yaitu 70-95% energinya bisa dimanfaatkan secara langsung.

Energi surya berpotensi untuk menghasilkan kalor yang tinggi dalam proses pirolisis dalam menghasilkan *bio-oil* dengan emisi CO₂ lebih rendah dibandingkan dengan pirolisis konvensional (Zeng *et al.*, 2017). Salah satu pemanfaatan energi surya untuk memanaskan reaktor pirolisis adalah dengan menggunakan teknologi CSP. Konsentrator surya dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis yaitu menurut perolehan konsentrasi geometrisnya, persyaratan pelacakan elektro-mekanik untuk sistem, jenis dan bahan lensa/reflektor (Alamoudi *et al.*, 2019). Pemanfaatan energi surya terkonsentrasi untuk menghasilkan panas pada proses pirolisis merupakan salah satu teknik yang cukup baru, sehingga perlu dikembangkan dan diteliti lebih lanjut.

Suhu yang dihasilkan oleh konsentrator surya dapat mempengaruhi tinggi atau rendahnya rendemen yang diperoleh pada proses pirolisis. Faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi diantaranya adalah bentuk reaktor, bahan yang digunakan untuk pembuatan reaktor pirolisis, diameter parabola, bahan *receiver* yang digunakan pada parabola, kondisi cuaca, desain kondensator ukuran bahan tempurung kelapa dan suhu yang dihasilkan. Desain dan material reaktor pirolisis yang efisien dan tahan terhadap suhu tinggi untuk tempurung kelapa, yang dapat meningkatkan konduktivitas termal dan daya tahan reaktor. Material bahan yang digunakan dalam penelitian adalah *stainless steel* yang merupakan konduktor yang sangat baik dalam menghantarkan panas. Untuk mengetahui bagaimana konduktivitas panas bahan ini maka dilakukan penelitian ini lebih lanjut.

Pada penelitian ini mempelajari tentang pengaruh ukuran tempurung kelapa dan suhu

yang diperoleh terhadap rendemen *bio-oil* yang dihasilkan serta model matematis dari dua faktor tersebut. Model matematis ini menghasilkan rumusan matematis yang diolah dari data yang diperoleh yang kemudian diuji dan diverifikasi untuk validasi model yang dihasilkan. Ukuran tempurung kelapa dan suhu sangat mempengaruhi rendemen *bio-oil*. Semakin tinggi suhu pirolisis, semakin tinggi pula konversinya, dan semakin besar ukuran partikelnya, maka semakin rendah pula rendemen *bio-oil*, fase air, dan gas untuk semua suhu yang diuji (Jamilatun, 2022). Ukuran partikel bahan yang biasanya digunakan setelah pemotongan bahan adalah 10-30 mm dan penggilingan adalah 0,3-1,5 mm (Cheng dan Zhao, 2019). Ukuran bahan tempurung kelapa dan suhu yang dihasilkan oleh CSP perlu dipelajari lebih lanjut dan pengaruhnya terhadap rendemen *bio-oil* yang dihasilkan.

Keberhasilan proses *solar* pirolisis ini tergantung pada suhu dan rendemen yang dihasilkan oleh *receiver* parabola, jika mencapai suhu 400-650 °C, maka rendemen yang dihasilkan 30-40%. Faktor-faktor pengaruh ukuran tempurung kelapa dan suhu perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui terhadap pengaruhnya terhadap rendemen *bio-oil* yang dihasilkan. Perhitungan efisiensi konversi energi matahari menjadi panas yang optimal pada sistem pirolisis tempurung kelapa. Perhitungan kelayakan ekonomi dari implementasi teknologi *solar pyrolysis* pada tempurung kelapa. Teknologi *solar pyrolysis* ini diharapkan dapat bersaing dengan metode lain dalam hal biaya produksi dan keuntungan ekonomi.

Beberapa saran penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CSP memiliki potensi besar sebagai sumber energi panas, yang memerlukan penelitian lebih lanjut. Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan menggunakan peralatan skala laboratorium, sehingga penelitian lapangan yang lebih aktual diperlukan, termasuk pengujian kinerja alat yang belum optimal, beragam parameter, pemilihan bahan baku yang sesuai, evaluasi kinerja CSP, *bio-oil* yang dihasilkan, dan lainnya. Desain reaktor pirolisis bervariasi tergantung pada penggunaan, bahan materialnya, serta ukuran dan kapasitas alat, yang berpengaruh signifikan terhadap rendemen. Parameter seperti kondisi cuaca, intensitas cahaya, kecepatan angin, jenis bahan baku, dan orientasi matahari juga membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memahami dampaknya terhadap kondisi pirolisis. Analisis energi *input* dari *receiver* dan *output* yang diterima oleh reaktor pirolisis serta kinerja alat

juga perlu dipelajari lebih lanjut. Pengembangan pirolisis surya perlu mempertimbangkan berbagai parameter dan potensi bahan baku limbah pertanian lainnya. Identifikasi area penelitian selanjutnya diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kemajuan teknologi pirolisis surya.

Penelitian ini dilakukan untuk pengembangan alat pirolisis surya yang berbentuk parabola, dimana masih diperlukan penelitian yang komprehensif sehingga didapatkan data penelitian yang benar dan akurat. Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana bentuk desain dan material reaktor pirolisis dan *receiver* parabola yang tepat dengan menggunakan CSP untuk mentransfer panas ke seluruh tempurung selama pirolisis?
2. Bagaimana pengaruh ukuran tempurung kelapa dan suhu pirolisis terhadap rendemen *bio-oil* yang dihasilkan?
3. Bagaimana model matematis dari parameter ukuran tempurung kelapa dan suhu yang dihasilkan mempengaruhi proses pirolisis?
4. Bagaimana perhitungan analisis ekonomi teknik reaktor pirolisis?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendesain reaktor pirolisis *bio-oil* dengan menggunakan kolektor surya berbasis *concentrated solar pyrolysis* (CSP)
2. Menganalisis pengaruh ukuran tempurung kelapa dan suhu pirolisis terhadap rendemen produk pirolisis
3. Mendesain model matematis faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis
4. Melakukan analisis ekonomi teknik reaktor *solar* pirolisis

D. Keterbaruan Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan adanya keterbaruan dalam

pengembangannya yaitu:

1. Diperolehnya desain reaktor pirolisis berbentuk *parabolic* dengan sumber energi matahari terkonsentrasi untuk memproduksi *bio-oil* dari tempurung kelapa
2. Dihasilkan suatu model matematis untuk memprediksi rendemen *bio-oil* yang dipengaruhi oleh faktor ukuran tempurung kelapa dan suhu

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam:

1. Memberikan nilai tambah dalam pengelolaan limbah biomassa
2. Menambah pengetahuan dan wawasan dalam konversi energi biomassa menjadi *bio-oil (biorefinery)* dari segi epistimologi
3. Menambah pengetahuan tentang produksi *bio-oil* dengan menggunakan teknik pirolisis dan sumber energi panas dari *concentrated solar power (CSP)*
4. Memberikan rekomendasi kepada pemerintah dan masyarakat dalam peluang pemanfaatan limbah pertanian seperti; tempurung kelapa, sabut kelapa, sekam menjadi produk yang mempunyai nilai tambah yaitu *bio-oil* dan bioarang
5. Memberikan rekomendasi kepada pemerintah dalam kebijakan energi dan dukungan pemerintah untuk pengembangan teknologi pirolisis berbasis energi surya terkonsentrasi

