

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional menjelaskan terkait strategi pemerintah dalam usaha perencanaan energi nasional. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) disusun oleh Pemerintah Pusat dan ditetapkan oleh Dewan Energi Nasional untuk jangka waktu sampai dengan tahun 2050. Energi dikelola berdasarkan asas kemanfaatan, efisiensi, berkeadilan, peningkatan nilai tambah, keberlanjutan, kesejahteraan masyarakat, pelestarian fungsi lingkungan hidup, ketahanan nasional, dan keterpaduan dengan mengutamakan kemampuan nasional sesuai dengan UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi.

Selain melalui RUEN, komitmen Indonesia dalam memberikan kontribusi terhadap solusi perubahan iklim dunia dituang dalam penandatanganan *Paris Agreement* dengan target penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 29% di tahun 2030. Dengan skenario *energy mix* nasional, pemerintah menargetkan peningkatan meningkatkan bauran Energi Baru dan Terbarukan sebesar 23% di tahun 2025 (Dewan Energi Nasional, 2020).

Salah satu usaha dalam menaikkan presentase EBT sesuai bauran energi tahun 2025 adalah dengan gasifikasi biomassa. Gasifikasi adalah proses termokimia dimana bahan bakar karbon diubah menjadi gas yang mudah terbakar, dikenal sebagai *syn-gas* (gas sintetis atau sintesis). *Syn-gas* dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar karena terdiri dari hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), uap air (H_2O), nitrogen (N_2), ter, amonia (NH_3), hidrogen sulfida (H_2S) dan hidrogen klorida (HCl). Proses ini terjadi ketika sejumlah oksidan yang terdiri dari: oksigen murni, udara, dan steam direaksikan pada temperatur tinggi dengan karbon dan bahan bakar dalam gasifier (Doherty, et al., 2013). Tahapan proses gasifikasi dapat dibagi menjadi: (1) tahap pengeringan (pada suhu 100-200 °C), (2) tahap pirolisis (pada suhu 200-500 °C), (3) tahap gasifikasi dan pembakaran (pada suhu 500-1000 °C). Gasifikasi

merupakan proses konversi karbon menjadi gas sintetis menggunakan suatu reaktor yang disebut gasifier. Suatu sistem gasifikasi terdiri atas reaktor gasifikasi yang dilengkapi alat-alat untuk pengkondisian bahan bakar dan gas *producer* (Waliul, 2020). Untuk diperoleh konversi *yield syn-gas* tertinggi, diperlukan kondisi operasi yang optimal. Kondisi operasi yang optimal ditunjukkan dengan tingginya efisiensi gasifikasi dan kemurnian gas sintetis yang dihasilkan. Parameter utama gasifikasi terdiri dari kelembaban biomassa (*moisture*), temperatur gasifier (Tg), *equivalent ratio* (ER), dan *steam to biomass ratio* (STBR).

Penelitian ini menggunakan limbah tandan kosong kelapa sawit Provinsi Riau sebagai objek penelitian. Berdasarkan data Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021, yang dikeluarkan Dirjen Perkebunan Kementerian Pertanian RI, pada tahun 2021 Provinsi Riau merupakan provinsi dengan tingkat produksi kelapa sawit tertinggi di Indonesia, mencapai 10.270.149 ton dimana terbentang pada lahan 2,895 juta hektar. Kelapa sawit ditanam untuk diambil buahnya. Perkebunan kelapa sawit berkontribusi besar terhadap pembangunan daerah sebagai sumber penting dalam pengentasan kemiskinan melalui usaha budidaya dan pengolahan hilirnya (Puig-Gamero, 2021). Limbah padat yang dihasilkan dari sekitar 35-40% dari total Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah dalam bentuk tandan kosong, serat, cangkang buah, abu bakar dan bungkil sawit (Hanif, 2016).

Jika cangkang buah sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit di pabrik pengolahan kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit masih belum *massive* pemanfaatannya. Tandan kosong sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena memiliki nilai kalor sebesar 17,02 MJ/kg (Sanjaya, 2018). Atau nilai karbonnya dimanfaatkan untuk dijadikan gas sintesis bahan bakar.

Potensi pemanfaatan biomassa yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit harus mempertimbangkan beberapa karakteristik utama, praktik, dan jumlah yang tersedia (Nunez, *et al.*, 2016). Evolusi dari pabrik kelapa sawit konvensional menuju modern dengan optimalisasi pemanfaatan limbah biomassa dengan konsep *biorefinery* membutuhkan biaya yang sangat tinggi untuk pengembangannya. Perkembangan serupa telah dilakukan di Malaysia baru-

baru ini dengan menganalisis tujuh teknologi yang memanfaatkan residu kelapa sawit. Teknologi tersebut meliputi produksi etanol, produksi briket, pemulihan metana, biofuel sebagai kombinasi panas listrik, dan pembangkit listrik (CHP). Selain itu, teknologi juga termasuk kompos, produksi serat kepadatan menengah (MDFP), dan produksi pulp dan kertas (Hanif, 2016).

Di Provinsi Riau, tandan kosong kelapa sawit sudah digunakan sebagai bahan bakar *cofiring* dengan batubara pada beberapa pembangkit. Penggunaan tandan kosong kelapa sawit sudah mampu menurunkan 10-20 % penggunaan batubara. Namun dalam pelaksanaannya, keberadaan *cofiring* biomassa berdampak negatif terhadap operasional pembangkit. Kandungan yang alkali (K, Na) yang cukup tinggi pada tandan kosong saat dibakar dengan temperatur tinggi pada *furnace* akan menghasilkan oksida dalam bentuk gas dan cair. Alkali-oksida ini selanjutnya berikatan pada senyawa SiO_2 yang terkandung pada pasir (media pemanas *furnace* boiler CFB). Senyawa $\text{K}_2\text{O}.\text{SiO}_2$ maupun $\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2$ kemudian menurunkan *melting point* pasir dari 1200 °C ke 750-800 °C (Niu *et al.*, 2016). Fenomena ini menyebabkan terbentuknya proses agglomerasi yang berdampak turunnya *bed temperature* dan pembentukan *clinker* (batuan hasil reaksi alkali-silika) pada *furnace*. Dampak yang ditimbulkan dari masalah ini menyebabkan *shutdown* pada unit *boiler* karena *bottom furnace* dipenuhi material *clinker*.

Gasifikasi dapat dijadikan salah satu opsi pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit dibanding dengan *cofiring* yang masih ditemukan beberapa kendala di Provinsi Riau. Proses gasifikasi biomassa dapat dimodelkan dengan *software* Aspen Plus. Pemodelan dilakukan dengan tujuan diperoleh kondisi operasi yang optimal dalam gasifikasi dengan menguji beberapa parameter utama. *Syn-gas* yang merupakan produk gasifikasi ditinjau nilai energi bersih (MJ) yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan energi yang dihasilkan batubara. Nilai ekonomis pengurangan penggunaan batubara dengan substitusi energi bersumber *syn-gas* melalui gasifikasi selanjutnya dilakukan analisis kelayakan pendirian unit gasifikasi di Provinsi Riau.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan penulis, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pemanfaatan limbah tandan kosong sawit melalui proses gasifikasi?
2. Bagaimana hubungan antara beberapa parameter operasi seperti temperatur gasifikasi (T_g), kelembaban biomassa, rasio udara-bahan bakar (AR) terhadap *yield syn-gas* dari proses gasifikasi biomassa?
3. Bagaimana tinjauan analisis keekonomian pendirian unit gasifikasi tandan kosong kelapa sawit di Provinsi Riau pada kondisi *yield syngas* tertinggi?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

- A. Mengkaji dan menganalisis potensi pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit di Provinsi Riau sebagai sumber energi baru terbarukan.
- B. Menganalisis melalui simulasi komputer faktor-faktor yang mempengaruhi gasifikasi limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi *syn-gas* dengan parameter operasi berupa temperatur gasifikasi; kadar air biomassa; dan nilai *equivalent ratio* (ER).
- C. Menganalisis nilai kelayakan ekonomi dan potensi penurunan emisi pendirian unit PLT Biomassa dengan teknologi gasifikasi di Provinsi Riau.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan diantaranya:

1. Bagi dunia akademis diharapkan penelitian ini dapat memperluas khasanah pengetahuan tentang pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar dengan proses gasifikasi.
2. Bagi professional, dalam hal ini pembangkit maupun industri pengolahan kelapa sawit, dapat menjadi model simulasi dalam memberikan nilai tambah,

menjalankan usaha desulfikasi energi, penanggulangan masalah limbah biomassa, serta menurunkan penggunaan bahan bakar fosil.

3. Bagi masyarakat umum, terutama masyarakat Provinsi Riau diharapkan dapat memberikan gambaran terkait konsep *Waste to Energy*.
4. Bagi pembuat kebijakan, dalam hal ini pemerintah provinsi maupun pusat, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu langkah dalam penyusunan bauran EBT 23% pada Bauran Energi Nasional tahun 2025.

1.5. Originalitas Penelitian

Terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan gasifikasi biomassa sebagai sumber energi. Penelitian ini terdiri dari: penjabaran, simulasi dan optimasi, faktor yang berpengaruh terkait pengembangan biomassa menjadi bahan bakar menjadi *syn-gas*, dimana terdiri dari sumber bahan limbah sawit maupun lainnya. Penelitian ini menguji beberapa variabel (temperatur gasifier, kadar air, *equivalent ratio*, *steam biomass ratio*) sekaligus terhadap yield *syn-gas* yang dihasilkan dari gasifier. Selain itu pada penelitian ini juga dilakukan analisis kelayakan keekonomian dan dampak terhadap lingkungan pendirian unit gasifikasi di lokasi penelitian. Ringkasan penelitian sebelumnya dapat dilihat dalam Tabel I.1.

Tabel 1.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti/tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
1	Wayne Doherty, Anthony Reynolds, David Kennedy (2013)	<i>Aspen Plus Simulation of Biomass Gasification in a Steam Blown Dual Fluidised Bed</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Simulasi Aspen Plus <i>dual fluidised bed</i> (FICFB) <i>gasifier</i> dengan menggunakan model energi bebas Gibbs dan metode reaksi kesetimbangan terbatas. - Mengidentifikasi beberapa parameter proses seperti: temperatur gasifikasi, kadar air biomassa, <i>steam to biomass ratio</i> (STBR) terhadap komposisi syngas, kalor jenis, <i>cold gas efficiency</i> (CGE) - Hasil komposisi syngas (%): H₂ 45.8, CO 21.59, CH₄ 11.02, CO₂ 20.19, N₂ 1.4, dengan LHV: 11.6 MJ/m³. - Variasi temperatur gasifikasi pada kisaran 650 - 1050 °C. Mencapai temperatur 950 °C tidak ada perubahan signifikan terhadap produk gas. - Kadar air biomassa tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil gas producer, pada range 44.76 - 48.03% kenaikan gas H₂ hanya 3.27%. - STBR <i>Steam to biomass ratio</i> penelitian pada 0.5-1, dimana diatas 1.35 tidak memberi yield <i>syngas</i> yang signifikan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Penelitian Doherty dkk, menggunakan chip kayu sebagai sumber biomassa dengan karakteristik berbeda dengan tandan kosong sawit (C: 51%, H: 6.1%, O: 41.3%, N: 0.2% dan LHV: 19.09 MJ/kg) - Sebagai variabel proses digunakan variasi temperatur gasifikasi, namun kisaran berbeda karena perbedaan jenis reaktor <i>gasifier</i>. - Range variasi kadar air penulis berbeda, kisaran 20-40%, dibawah penelitian yang dilakukan Doherty dkk. Tujuan penulis dengan variasi lebih besar, diamati pengaruh kadar air biomassa secara komprehensif. - Tidak menguji analisis keekonomian pendirian PLTBm.

- | | | | | |
|---|---|--|---|--|
| 2 | <p>Ingrid Lopes Motta, Andressa Neves Marchesan, Rubens Maciel Filho, Maria Regina Wolf Maciel (2022)</p> | <p><i>Correlating biomass properties, gasification performance, and syngas applications of Brazilian feedstocks via simulation and multivariate analysis</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> - Peneliti menggunakan simulasi pada ASPEN Plus dengan model gasifier CFB. - Simulasi dijalankan pada kondisi gasifikasi yang terdiri dari tiga biomassa dalam gasifier CFB skala pilot dengan T= 831–836 C, P = 1 bar, S/B 1,0–1,2, rasio ekivalensi 0,35, dan penggunaan alas magnesit). - Komposisi syngas yang disimulasikan (H₂, CO, kandungan CO₂, dan CH₄) dibandingkan dengan data eksperimen, dan <i>the root-mean-square error</i> (RMSE), selanjutnya diolah dengan HGA hingga direkomendasi limbah <i>bagasse</i> yang paling potensial. | <ul style="list-style-type: none"> - Penelitian Motta, I.L dkk menggunakan beberapa sumber limbah biomassa di Negara Brasil, dengan data proksimat dan ultimat masing-masing ditinjau secara satu per satu. Sedangkan penelitian penulis berfokus terhadap limbah tandan kosong kelapa sawit. - Peneltian berfokus melihat pengaruh beberapa variabel proses, bukan membandingkan data simulasi dengan eksperimen. -Tidak menguji analisis keekonomian pendirian PLTBm. |
| 3 | <p>Sharmina Begum, Mohammad Rasul, Delwar Akbar, Naveed Ramzan (2013)</p> | <p><i>Performance Analysis of an Integrated Fixed Bed Gasifier Model for Different Biomass Feedstocks</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> - Rasio udara-bahan bakar 0,3 dan Temperatur gasifier 700 °C memberikan kinerja optimal untuk gasifikasi empat sumber biomassa MSW, limbah kayu, limbah dedaunan, dan sekam biji kopi. | <ul style="list-style-type: none"> - Terdapat beberapa jenis sumber biomassa, berbeda dengan penulis. - Begum S. dkk menggunakan variasi temperatur gasifikasi 500-1000 °C. - Pomodelan dengan menggunakan 3 reaktor berbeda pada Aspen plus: RStoic, RYield and Rgibbs dengan karakteristik masing-masing dan persamaan dari Fortran, sedang penulis menggunakan asumsi reaksi orde satu. |

- | | | | | |
|---|---|--|--|--|
| 4 | <p>Siti Suhaili
Shahlan, Kamarizan
Kidam, Tuan
Amran Tuan
Abdullah,
Mohamad
Wijayanuddin Ali,
Ljiljana Medic
Pejic, Hamidah
Kamarden (2018)</p> | <p><i>Hydrogen Gas Production from Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) in a Fluidized Bed Reactor</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan Aspen Plus dalam simulasi proses produksi hidrogen (yield utama disamping gas lainnya) dengan pirolisis dan gasifikasi sumber biomassa di Negara Malaysia, berupa tandan kosong sawit (EFB). - Jenis reaktor yang digunakan <i>fluidized bed</i> dengan proses pemurnian char menggunakan <i>gas cleaning agend</i> - Dari hasil simulasi diperoleh Tgasifikasi optimum 850 °C dan tekanan 1.035 bar dengan produk gas hidrogen 21% yield. | <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan bahan baku yang sama dengan penulis. - Objektif penelitian melihat hubungan antara temperatur dengan yield gas hidrogen, dengan meninjau konversi ke syngas lainnya. Sedang penelitian penulis seluruh gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. - Range Tgasifikasi Shahlan dkk E15 500-1300 °C. Pada temperatur optimum 850 °C, tidak ada perubahan temperatur. Penelitan penulis menggunakan range lebih rendah (600-800 °C). |
| 5 | <p>Bemgba Bevan
Nyakumaa, Arshad
Ahmada, Anwar
Joharia, Tuan A. T.
Abdullah, Olagoke
Oladokuna, Habib
Alkalia (2016)</p> | <p><i>Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Briquettes for Bio-Syngas Production</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> - Basis penelitian di laboratorium dengan menggunakan <i>fluidized bed gasifier</i> dengan <i>bed temperature</i> 600-800 °C, equivalen ratio 0.25. - Hasil menunjukkan bahwa dengan menjadikan bentuk pellet, nilai kadar air menurun dan HHV meningkat. - Yield gas H₂ tertinggi pada Temperatur 600 °C dengan HHV bio-syngas pada <i>range</i> 4 - 8 MJ/Nm³ | <ul style="list-style-type: none"> - Penelitian Nyakuma dkk dilakukan dengan pilot gasifier yang dirancang dilaboratorium, sedang penulis menggunakan pemodelan simulasi. - Nyakumba dkk menggunakan bahan berupa tandan kosong <i>pellet</i> (OPEFB), sedang penulis menggunakan EFB yang dicacah. |

6	Mahmut C. Acar, Yakup E. Böke (2018)	<i>Simulation of Biomass Gasification Process Using Aspen Plus</i>	<p>- Penelitian menggunakan jenis gasifier berupa <i>fluidized bed gasifier</i> sumber biomassa berupa limbah sekam padi dengan C: 46%, H: 6%, O: 39% dan kondisi operasi berupa laju umpan 0.3 kg/jam, SBR 0.5-1, Temperatur gasifikasi 700-800 C, dan tekanan 1 atm.</p> <p>- Hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimen skala laboratorium dengan bahan dan kondisi operasi yang sama diperoleh gas H₂: 59.7%, CO:23%, CO₂: 16.29% dan LHV: 9.5 MJ/Nm³ gas kering</p>	<p>- Penelitian Acar dkk hanya menggunakan <i>gasification agent</i> berupa steam, sedangkan penulis udara dan steam.</p> <p>- Penelitian hanya fokus melihat hubungan antara temperatur gasifikasi dan SBR terhadap syngas (H₂, CO, CO₂) yang dihasilkan, sedangkan penulis lebih lengkap.</p>
---	--	--	---	---

Berdasarkan penelitian sebelumnya, gap analisis penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- Jenis *gasifier* yang dilakukan adalah *circulating fluidized bed*.
- Hasil penelitian berupa *yield syn-gas* yang diperoleh dari simulasi *software*. Dengan menguji beberapa parameter diantaranya: temperature, equaivalent ratio, moisture biomassa.
- Hasil simulasi digunakan sebagai referensi pendirian unit PLT Biomassa sesuai dengan lokasi penelitian.