

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini negara-negara di seluruh dunia sedang berupaya untuk melakukan substitusi energi fosil menuju ke energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi bersih yang dapat dimanfaatkan dengan minimum gas rumah kaca. Manfaat dari energi terbarukan yaitu menjamin ketersediaan akses energi yang aman dan bersih.

Kapasitas energi terbarukan di Indonesia ditargetkan sebesar 23% yaitu >400 MTOE pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 yaitu >1000 MTOE (Dewan Energi Nasional, 2020). Amerika Serikat menggunakan biomassa untuk memenuhi sekitar 3% dari kebutuhan energinya setara dengan 3,2 juta TJ/tahun (70 MTOE/tahun), di Eropa 3,5% kebutuhan energinya menggunakan biomassa (sekitar 40 MTOE/tahun), sedangkan beberapa negara seperti Finlandia, Swedia, dan Austria masing-masing menghasilkan 18%, 17%, dan 13% dari total energi mereka menggunakan biomassa (Tursi, 2019).

Biomassa adalah sumber daya alam yang berasal dari alam hayati yang tidak pernah habis. Biomassa disebagian besar negara digunakan sebagai bahan bakar yang dicampur dengan batubara sebagai teknologi pembakaran yang paling ekonomis yang ada saat ini untuk mengurangi polutan CO₂ yang signifikan. Biomassa memiliki emisi CO₂ netral, sedangkan batubara merupakan penghasil emisi CO₂ paling intensif dalam memproduksi listrik per kWh (Kmieć & Hrabak, 2019).

PLTU Tembilahan di Provinsi Riau, berhasil melakukan pengujian 100% biomassa cangkang kelapa sawit sebagai upaya substitusi batubara. Hasil evaluasi dan pemantauan teknis menunjukkan parameter operasi masih dalam batas normal yaitu pada beban 7 MW dapat beroperasi dengan stabil dan tidak terjadi *load derating*. Data menunjukkan potensi perbaikan fuel flow dan indikator kehandalan

dan efisiensi atau *Net Plant Heat Rate* (NPHR) cukup signifikan karena prosentase cangkang sawit memiliki nilai kalori yang tinggi (Nurhayati, 2022). Cangkang kelapa sawit memiliki kadar sulfur yang lebih rendah dari batu bara sehingga emisi yg dihasilkan juga menunjukkan penurunan. Cangkang yang digunakan berasal dari limbah perkebunan kelapa sawit, rendah abu dan termasuk sebagai karbon netral, sehingga akan berimbang kepada lingkungan yang lebih baik (Ahmad dkk., 2022).

Jika dilihat pada tabel 1.1. karakteristik berdasarkan analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor biomassa tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit tidak berbeda signifikan. Dengan demikian menunjukkan peluang bahwa tempurung kelapa dapat dipertimbangkan sebagai alternatif sumber energi terbarukan.

Tabel 1.1 Hasil Pengujian *Proximate*, *Ultimate* dan Nilai Kalor Tempurung Kelapa dan Cangkang Kelapa Sawit

Parameter	Tempurung Kelapa Najib & Darsopuspito (2012)	Cangkang Kelapa Sawit Sugiyanto (2021)
Moisture (wt. %)	6.51	12.21
Fix Carbon (wt. %)	17.11	18.38
Volatile Matter (wt. %)	68.82	68.67
Ash (wt. %)	7.56	0.74
Carbon (C) (wt. %)	47.89	48.01
Hydrogen (H) (wt. %)	6.09	5.51
Nitrogen (N) (wt. %)	0.22	0.18
Sulphur (S) (wt. %)	0.05	0.05
Oxygen (O) (wt. %)	45.75	33.30
LHV (MJ/kg)	20.89	19.00

Luas area pekebunan kelapa di Maluku Utara pada tahun 2019 yaitu sebesar 202.796 Ha (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020). Limbah kelapa terdiri dari Sabut Kelapa (SK) kurang lebih 27%-30% dan Tempurung Kelapa (TK) kurang lebih 10%-12% (Simpala dan Kusuma, 2017) Sehingga rata-rata limbah yang dihasilkan yaitu sebesar 40%. Jika diasumsikan kelapa dapat menghasilkan buah

10.000 butir per hektar dan berat per butir kelapa adalah 1 kg maka total limbah yang dihasilkan kurang lebih 811.184 Ton/ Tahun (Luas area perkebunan kelapa x jumlah butir kelapa per hektar x berat butir kelapa x limbah per butir kelapa). Limbah TK dan SK dicampur agar semua limbah kelapa dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar dan tidak menjadi sampah.

Untuk meningkatkan kualitas nilai kalor biomassa maka dilakukan proses pirolisis (Ridhuan dkk., 2019). Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia menggunakan pemanasan dengan sedikit atau tanpa menggunakan oksigen dalam pembakarannya. Kualitas produk hasil pirolisis lebih unggul dibandingkan dengan teknik konversi termokimia lainnya. Produk hasil pirolisis mengandung sulfur dan gas NO_x yang rendah sehingga ramah terhadap lingkungan (Novita dkk., 2021). Proses pirolisis dalam skala besar memiliki biaya proses produksi yang lebih efisien (Wang dkk., 2017).

Tanpa melakukan eksperimen secara langsung, proses produk pirolisis dapat diprediksi dengan melakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak Aspen Plus dengan *error*/ketidaksesuaian kurang dari 5% (Liu dkk., 2022). Hasil simulasi menggunakan Aspen Plus dapat digunakan dikarenakan respon dari hasil simulasi memiliki kesesuaian terhadap hasil pirolisis eksperimen. Aspen Plus merupakan suatu perangkat lunak pemodelan proses yang digunakan untuk memprediksi proses yang terjadi dan hasil prosesnya.

Dengan beberapa pertimbangan yang dikemukakan maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih komprehensif terkait simulasi pirolisis menggunakan Aspen Plus dengan bahan baku yang digunakan yaitu limbah kelapa yang berasal dari Maluku Utara untuk memprediksi hasil proses pirolisis berupa produk bio-arang dan gas sehingga menjadi pertimbangan melakukan substitusi batu bara 100% atau substitusi partial (*co-firing*) pada PLTU.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dari variasi komposisi tempurung dan sabut kelapa dari Maluku Utara berdasarkan hasil analisis dan perhitungan?
2. Bagaimana memodelkan proses pirolisis tempurung dan sabut kelapa menggunakan perangkat lunak Aspen Plus?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi umpan tempurung dan sabut kelapa terhadap hasil bio-arang dan gas?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik dari variasi komposisi tempurung dan sabut kelapa dari Maluku Utara menggunakan analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor.
2. Mengetahui cara memodelkan proses pirolisis tempurung dan sabut kelapa menggunakan perangkat lunak Aspen Plus
3. Mengetahui pengaruh komposisi umpan tempurung dan sabut kelapa terhadap hasil bioarang dan gas

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang akan dihasilkan dari penelitian ini antara lain:

1. Manfaat Teoritis

Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai referensi/ kajian literatur untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi khususnya bio energi.

2. Manfaat Praktis

- a. Hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan kelayakan limbah kelapa sebagai sumber energi pembangkit listrik EBT sebagai salah satu misi

dari pemerintah untuk mewujudkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yaitu meningkatkan bauran EBT di Indonesia.

- b. Hasil penelitian ini dapat dijadikan wawasan bahwasannya limbah kelapa dapat dijual kepada pemasok biomassa untuk kebutuhan bahan bakar boiler PLTU sehingga dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru.

1.5 Orisinalitas Penelitian

Penelitian ini terdiri dari penjabaran, analisis karakteristik limbah kelapa, dan pemodelan simulasi proses pirolisis menggunakan perangkat lunak Aspen Plus. Penelitian ini melakukan analisis karakteristik dari variasi komposisi tempurung dan sabut kelapa menggunakan analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor. Setiap masing-masing karakteristik variasi komposisi tempurung dan sabut kelapa akan dilakukan simulasi proses pirolisis suhu operasi pirolisis tetap yaitu 300°C. Beberapa variabel menggunakan asumsi yang digunakan pada penelitian sebelumnya pada Tabel 1.2. Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terdahulu yaitu peneliti melakukan penelitian terkait karakteristik biomassa limbah kelapa yang berasal dari Maluku Utara dengan variasi komposisi tempurung dan sabut kelapa kemudian melakukan pemodelan proses pirolisis menggunakan perangkat lunak Aspen Plus untuk mengetahui hasil bio-arang yang dihasilkan pada setiap umpan dengan variasi komposisinya. Ringkasan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Ringkasan penelitian sebelumnya

No.	Penelitian	Alat/Metode	Variabel Pengamatan	Hasil
1	<p>Pengaruh komposisi campuran sabut dan tempurung kelapa terhadap nilai kalor biobriket dengan perekat molase (Nurhilal & Suryaningsih, 2018)</p>	<p>Berikut metode yang dilakukan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sabut Kelapa (SK) dan tempurung kelapa (TK) dikeringkan dibawah sinar matahari 2) SK dan TK dikarbonisasi selama 4 jam 3) SK dan TK dihaluskan dengan ayakan ukuran 60 mesh 4) Pencampuran arang SK dan TK menggunakan perekat tetes tebu (molase) 10% dengan variasi komposisi sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> • SK : TK = 90% : 10% • SK : TK = 80% : 20% • SK : TK = 70% : 30% • SK : TK = 60% : 40% • SK : TK = 50% : 50% 	<p>Nilai kalor biobriket</p>	<p>Komposisi yang optimal pada pembuatan briket campuran sabut dan tempurung kelapa adalah 50% : 50% dengan nilai kalor sebesar 6211 kal/g dan telah memenuhi Standar Briket Nasional. Hasil uji pembakaran didapatkan efisiensi pembakaran sebesar 9,861%.</p>

		<p>5) Proses pencetakan menjadi biobriket</p> <p>6) Pengujian karakteristik meliputi uji proksimat dan nilai kalor.</p>		
2	<p><i>Feasibility studies of coconut shells biomass for downdraft gasification</i> (Menon dkk., 2021)</p>	<p>Berikut metode yang dilakukan:</p> <p>1) Pemilihan tempurung kelapa dengan rata-rata diameter sekitar 90 mm dikumpulkan di sekitar Coimbatore wilayah Tamil Nadu</p> <p>2) Melakukan analisis ultimat menggunakan The elemental analyzer Vario EL III</p> <p>3) Melakukan analisis proksimat menggunakan Dengan menggunakan tungku berbentuk tabung</p> <p>4) Menghitung nilai kalor menggunakan persamaan berdasarkan hasil analisis proksimat dan ultimat</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fixed Carbon • Ash • Moisture • Volatile matter • C,H,O,N,S • HHV • Kurva TG/DTG • Produksi syngas • Karakteris morfologi 	<p>Melalui proses Analisis Nilai Kalor, diketahui kelapa cangkang memiliki nilai kalor 18,21 MJ/kg. Hasil yang diperoleh dari Analisis Ultimate menunjukkan bahwa tempurung kelapa ditemukan memiliki kandungan Oksigen 52,03%, Karbon 42,31%, Hidrogen 4,649%, Nitorgen 0,565%, dan Sulfur 0,447%. Hasil yang diperoleh dari Analisis Proksimat menunjukkan bahwa kelapa cangkang ditemukan memiliki kandungan volatile matter 71,65%, fixed carbon 11,82%, moisture 8,29%, dan ash 5,254%. Komposisi dari syngas yang terkait dengan percobaan menunjukkan 26,35% CO₂ karena untuk aliran udara</p>

		<p>5) Melakukan eksperimen gasifikasi menggunakan downdraft gasification untuk mendapatkan komposisi syngas</p> <p>6) Melakukan studi thermal meliputi Termogravimetri (TG) dan Termogravimetri Derivatif (DTG)</p>		<p>yang tidak terkontrol. Temuan kromatografi gas mengungkapkan bahwa lebih banyak jumlah Metana (CH₄) dibuat sekitar 10,34% karena ketersediaan Karbon. Hasil Analisis Morfologi mengkonfirmasi ekspansi pori-pori pada permukaan biomassa karena hilangnya bahan yang mudah menguap. Dengan demikian, hasil dari berbagai percobaan tersebut memang telah menunjukkan kelayakan tempurung kelapa untuk digunakan sebagai bahan baku gasifikasi biomassa.</p>
3	<p><i>Pyrolysis Study of Different Fruit Wastes Using an Aspen Plus Model</i> (AlNouss dkk., 2021)</p>	<p>Berikut metode yang dilakukan:</p> <p>1) Memperoleh karakteristik biomassa kulit jeruk, kulit mangga, kulit inti apricot dan biji kurma dari literatur sebelumnya</p> <p>2) Karakteristik biomassa sebagai</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah hasil arang • Komposisi syngas 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua limbah buah menunjukkan hasil syngas yang tinggi (46–55%), hasil biochar yang tinggi (39-51%), namun hasil bio-minyak rendah (<11.00%). biji kurma menghasilkan arang

		<p>inputan pada proses pirolisis</p> <p>3) Buat flowchart pirolisis pada aspen plus</p> <p>4) Masukkan suhu pirolisis yang akan diujikan yaitu suhu 300°C, 400°C, 500°C, dan 600°C dengan tekanan tetap 1 atm</p> <p>5) Amati hasil biochar dan syngas</p> <p>Mbandingkan hasil ekperimen dan simulasi pirolisis</p>		<p>tertinggi yaitu 50,92 wt.%</p> <p>Kulit mangga menghasilkan syngas tertinggi yaitu 54,23 wt.%</p>
4	<p><i>Process Simulation of Preparing Biochar by Biomass Pyrolysis Via Aspen Plus and Its Economic Evaluation</i> (Liu dkk., 2022)</p>	<p>Berikut metode yang dilakukan:</p> <p>1) Memperoleh karakteristik biomassa Jerami padi dan ampas tebu dari literatur sebelumnya</p> <p>2) Karakteristik biomassa sebagai inputan pada proses pirolisis</p> <p>3) Buat flowchart pirolisis pada aspen plus</p> <p>4) Masukkan suhu pirolisis yang</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu pirolisis • Jumlah hasil arang • Reaksi eksotermik /endotermik • Biaya produksi 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasilnya menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan suhu, hasil biochar menunjukkan tren menurun. Tren penurunan relatif sedang ketika suhu di bawah 500°C. Ketika suhu lebih tinggi dari 500°C, tren penurunan lebih terlihat, karena retakan sekunder biochar terjadi pada suhu yang lebih tinggi.

		<p>akan diujikan yaitu suhu 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C</p> <p>5) Amati hasil biochar dan reaksi endotermik/eksotermis yang dihasilkan pada setiap suhu pirolisis.</p> <p>6) Membandingkan hasil ekperimen dan simulasi pirolisis</p> <p>7) Hitung biaya produksi biomassa diantaranya biaya transport, listrik, nitrogen, pekerja, lahan dan peralatan.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Panas pada reaktor RGibbs pada suhu pirolisis yang berbeda pada Jerami padi merupakan reaksi eksotermik pada suhu 300°C, 400 °C, dan reaksi endotermik ketika suhu pirolisis lebih tinggi dari 500°C. Ampas tebu merupakan reaksi eksotermik hanya pada 300°C, dan reaksi endotermik ketika suhu pirolisis lebih tinggi dari 400°C. • jerami padi membutuhkan energi panas yang lebih sedikit selama proses pirolisis dan dapat menghasilkan lebih banyak biochar dibandingkan ampas tebu. • Berdasarkan hasil simulasi, Sebagian besar nilai eksperimental hasil biochar sedikit lebih rendah dari nilai simulasi. perbedaan antara nilai eksperimental dan
--	--	--	--	--

				<p>simulasi tidak signifikan, terutama pada suhu yang lebih rendah dengan rata-rata error simulasi kurang dari 5%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analisis ekonomi biochar menunjukkan bahwa biaya produksi biochar jerami padi dan ampas tebu masing-masing adalah 0,79 dan 0,93 USD/kg.
5	<i>Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production</i> (Ahmad dkk., 2022)	<p>Berikut metode yang dilakukan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Bahan baku berasal dari Perak, Malaysia. Bahan baku dibersihkan secara manual, kemudia digerus menggunakan granulator menjadi 5 mm, dan beberapa digiling menggunakan grinder dan diayak hingga ukuran 250 µm. 2) Melakukan analisis proksimat menggunakan Thermogravimetric analyzer (STA 6000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixed Carbon • Ash • Moisture • Volatile matter • C,H,O,N,S • Densitas • Nilai kalor • Struktur Biomassa • Kurva TG/DTG 	<p>Hasil yang diperoleh dari Analisis Ultimate menunjukkan bahwa tempurung kelapa ditemukan memiliki kandungan Oksigen 54,31%, Karbon 40,08%, Hidrogen 5,22%, Nitrogen 0,22%, dan Sulfur 0,17%. Hasil yang diperoleh dari Analisis Proksimat menunjukkan bahwa kelapa cangkang ditemukan memiliki kandungan volatile matter 70,82%, fixed carbon 21,80%, moisture 5,56%, dan ash 1,80%. Komposisi mineral biomassa tersebut</p>

		<p>dengan standar ASTM E1131-08</p> <p>3) Melakukan analisis ultimat menggunakan CHNS-932 Leko dengan metode ASTM D3176-09</p> <p>4) Mengetahui Densitas biomassa menggunakan standar ASTM E873-82</p> <p>5) Melakukan analisis nilai kalor menggunakan IKA Kalorimeter isoperibol C6000 menurut standar ASTM D4809-18</p> <p>6) melakukan analisis struktur biomassa menggunakan pencitraan, pemetaan, dan EDX dengan model Zeiss SUPRA 55 VP, FESEM, dan mesin EDX.</p> <p>7) Komposisi mineral diukur dengan mesin XRF Bruker S8 Tiger dalam mg/100 g. struktur</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Produksi syngas • Karakteris morfologi • Komposisi mineral 	<p>terdiri dari kalium (42.5% K), klorin (11.1% Cl), fosfor (4.52% P), and sulfur (1.66% S), silicone (1.45% Si), iron (18.2% Fe), nikel (0.49% Ni), tembaga (0.55% Cu), ruthenium (0.44% Ru), zinc (0.39% Zn), rubidium (0.19% Rb), and magnesium (1.20% Mg), dan calcium (17.4% Ca). Hasil Spektroskopi FTIR menunjukkan bahwa spektrum berkorelasi dengan baik yang artinya jumlah yang relatif tinggi dan kandungan oksigen yang tertahan. Densitas tempurung kelapa adalah 412 kg/m³. Ini menunjukkan bahwa tempurung kelapa bisa menjadi sumber energi yang baik karena memiliki nilai densitas yang tinggi yang dapat meningkatkan nilai kalori yang tinggi. Nilai kalori biomassa diketahui 19,4MJ/kg. Sampel penelitian menunjukkan kandungan nilai energi</p>
--	--	--	--	--

		<p>dan kategori fungsional organik diperoleh dengan spektrofotometer FTIR dengan modul vakum dan aliran (Perkin Elmer) untuk mengidentifikasi bahan organik, struktur molekul dan ikatan kimia yang terkandung dalam biomassa tempurung kelapa.</p> <p>8) Sampel tempurung kelapa dianalisis dengan XRD analyzer untuk menentukan struktur biomassa tempurung kelapa</p>		<p>yang tinggi. mikroanalisis grafik mikroskop elektron scanning (FESEM) yang menunjukkan morfologi permukaan mikro/fisik tempurung kelapa tidak akan menyerap banyak kelembaban dari sekitarnya. Elemen yang dideteksi oleh EDX pada permukaan sampel adalah 59,4% karbon, 49,2% oksigen, 0,1% klorin dan 0,3% kalium. Karakterisasi biomassa memiliki struktur mikro yang mirip dengan arang kayu.</p>
--	--	--	--	--