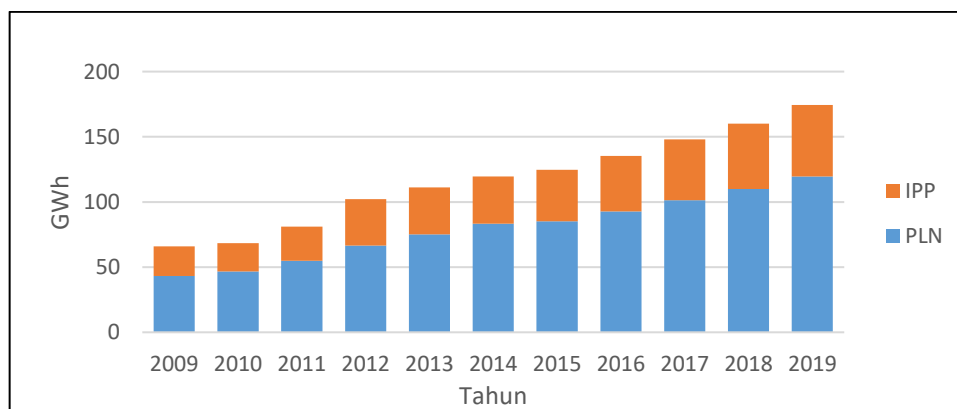


# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia masih banyak pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil antara lain, minyak, gas dan batubara untuk membangkitkan energi listrik. Bahan bakar fosil berasal dari zat-zat organik di dalam bumi yang membentuk endapan selama berjuta tahun dan tidak dapat diperbarui (Maulana *et al.*, 2020). Sampai dengan tahun 2019 produksi batubara nasional terus mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya sebesar 10,5% sehingga mencapai 616,2 juta ton. Kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional pada tahun 2019 yaitu sebesar 69,7 GW dengan kepemilikan PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Pemerintah), *Independence Power Producer* (IPP), PPU dan IO dengan kapasitas terpasang PLTU Batubara sebesar 34,7 GW. Gambar 1.1 menunjukkan bahwa produksi listrik PLTU Batubara yang berasal dari PLN dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, pada tahun 2019 sebesar 68% yaitu sebesar 119.520 GWh (Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, 2020).



Gambar 1.1 Produksi Listrik PLTU Batubara  
Sumber : (HEESI, 2019)

Jika bahan bakar fosil tersebut terus menerus digunakan untuk sumber energi listrik makasemakin lama akan menipis dan akan habis. Perlu adanya pemanfaatan sumber energi lain yang ada di alam ini sebagai sumber energi baru dan terbarukan.

UU No 30 tahun 2007 tentang Energi, mempunyai tujuan bahwa energi dikelola berdasarkan asas kemanfaatan, rasionalitas, efisiensi berkeadilan, peningkatan nilai tambah, keberlanjutan, kesejahteraan masyarakat, pelestarian lingkungan hidup, ketahanan nasional dan keterpaduan dengan mengutamakan kemampuan nasional pemerintah mempunyai tujuan tentang pengelolaan energi antara lain supaya termanfaatkannya energi secara efisien di semua sektor. Selain itu dalam undang-undang tersebut diharapkan adanya penganekaragaman pemanfaatan sumber energi. Dengan demikian diharapkan sumber-sumber energi baru dan terbarukan mulai di kembangkan dan dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dan sumber energi lainnya dengan didasarkan pada asas-asas di atas.

Peraturan Pemerintah No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi nasional (KEN) menyebutkan bahwa sumber energi baru adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan antara lain nuklir, hidrogen, gas metana batubara (*coal bed methane*), batubara tercairkan (*liquified coal*) dan batubara tergaskan (*gasified coal*). Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (Presiden Republik Indonesia, 2014).

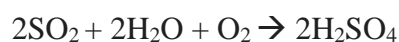
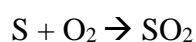
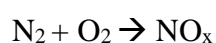
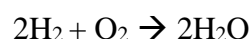
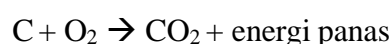
Kebijakan Energi Nasional (KEN) menerangkan bahwa untuk melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatannya maka di harapkan tercapainya bauran energi primer yang optimal. Bauran energi primer ditargetkan pada tahun 2025 peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% sepanjang keekonomiannya terpenuhi, sedangkan peran batubara minimal 30% dan pada tahun 2025 dan minimal 25% pada tahun 2050.

Salah satu tantangan umum yang dihadapi banyak negara berkembang akhir-akhir ini adalah degradasi lingkungan akibat emisi CO<sub>2</sub> (Yoro dan Daramola, 2020). Kegiatan industri menyebabkan peningkatan tingkat emisi karbon di atmosfer sehingga terjadi peningkatan yang signifikan dalam konsentrasi atmosfer global dari gas rumah kaca antropogenik, seperti CO<sub>2</sub>, yang menyebabkan pemanasan

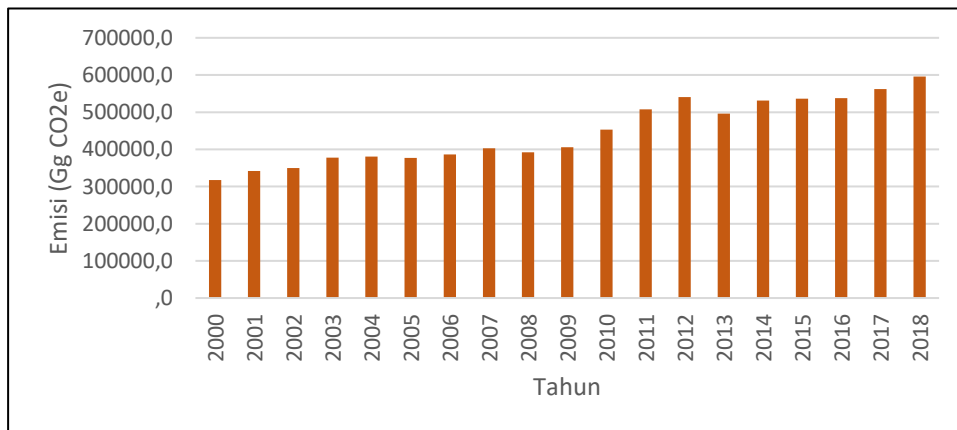
global dan perubahan iklim (Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM 2020; IPCC 2019). *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC) sebagai suatu organisasi antarpemerintah ilmiah yang terdiri dari para ilmuwan dari seluruh dunia untuk memajukan pengetahuan tentang perubahan iklim akibat aktivitas manusia menyatakan dalam laporannya bahwa pemanasan yang lebih besar dari 1,5°C tidak dapat dihindari secara geofisika, apakah itu akan terjadi tergantung pada tingkat pengurangan emisi di masa depan (Allen *et al.*, 2020).

Pada pertemuan para pihak penandatanganan konvensi perubahan iklim ke-13 di Bali (*The 13<sup>th</sup> Conference of the Parties/COP-13 UNFCCC*) tahun 2007 dan pertemuan G-20 di Pittsburgh–USA pada 25 September 2009 telah menyatakan komitmen Pemerintah Indonesia (sifatnya tidak mengikat) untuk mengurangi tingkat emisi GRK sebesar 26% di tahun 2020 dengan usaha sendiri dan sampai dengan 41% di tahun 2020 dengan bantuan pendanaan dari luar (Kementerian ESDM, 2018). Dengan target bauran energi sebesar 25% pada tahun 2050 tersebut beberapa hal yang sudah diterapkan antara lain saat ini masif penggunaan pembangkit listrik tenaga surya skala kecil yaitu pada rumah tangga dan perkantoran maupun pembangkit listrik tenaga surya skala besar di beberapa tempat. Pemanfaatan tenaga angin juga mulai masif dikembangkan yaitu dengan dibangunnya pembangkit listrik tenaga bayu di beberapa tempat salah satunya di daerah Sulawesi.

Emisi CO<sub>2</sub> sekarang ini menjadi perhatian global dan Indonesia. Emisi CO<sub>2</sub> banyak dihasilkan oleh penggunaan batubara untuk sektor industri produsen energi salah satunya pembangkit listrik yang menggunakan boiler (Labiba dan Pradoto, 2018). Batubara dan energi fosil lainnya menghasilkan emisi gas buang karena di dalam batubara terdapat properties C, H, O, N, S dan secara umum reaksi kimia pembakaran batubara adalah sebagai berikut (Samlawi, 2017) :



Emisi yang dihasilkan dari reaksi diatas antara lain CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Emisi tersebut berdampak pada timbulnya efek Gas Rumah Kaca (GRK). Emisi Gas Rumah Kaca yang dikeluarkan oleh sektor energi menurut pendekatan kategori sumber emisi sebanyak 638.452 Gigagram (Gg) CO<sub>2</sub>e pada Tahun 2019 (Pusat Data dan Tekonlogi Informasi ESDM, 2020).



Gambar 1.2 Emisi CO<sub>2</sub>

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019)

Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> setiap tahunnya seperti pada gambar 1.2 menjadi perhatian banyak pihak untuk mencari solusi menurunkan emisi tersebut. Sumber energi lain yang mampu menurunkan emisi tersebut antara lain dengan memanfaatkan energi baru terbarukan. Salah satu teknologi yang dapat menurunkan efek GRK menurut beberapa penelitian adalah digunakannya biomassa untuk menghasilkan energi.

Didalam Permen LHK No 15 tahun 2019 telah diatur mengenai baku mutu emisi dan diwajibkan untuk melakukan pemantauan atas emisi tersebut salah satunya CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>2</sub>. Dampak dihasilkannya CO<sub>2</sub> pada proses pembakaran energi fosil yaitu emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga uap menurut Permen LHK No 15 tahun 2019 antara lain SO<sub>2</sub> kadar maksimum 550 mg/Nm<sup>3</sup> dan NO<sub>x</sub> kadar maksimum 550 mg/Nm<sup>3</sup>.

Biomassa adalah sumber daya alam terbarukan yang berasal dari alam hayati dan mudah diperoleh dari berbagai industri. Pertanian, kehutanan, perikanan, peternakan, dan limbah kota seperti jerami, sekam padi, selulosa, serbuk gergaji,

dan kotoran hewan adalah jenis biomassa yang umum dalam jumlah besar sebagai sumber energi terbarukan (Cao *et al.*, 2020). Proses biologis paling penting yang terlibat dalam produksi alami biomassa adalah fotosintesis (Neminda *et al.*, 2017). Klasifikasi biomassa antara lain, biomassa kayu, biomassa herba, biomassa air, limbah termasuk kotoran ternak, limbah, sampah yang mengandung bahan biologis. Tumbuhan berkayu banyak tumbuh di hutan dan banyak diolah manusia untuk berbagai keperluan (Gunawan *et al.*, 2019).

Sejak tahun 1996 Pemerintah Sulawesi Utara mengembangkan agroindustri berupa industri rumah kayu (Rumagit dan Gonarsyah, 1999). Kayu yang digunakan dalam bahan baku utama rumah adat ini menggunakan kayu cempaka sedangkan kayu lain yang digunakan adalah kayu nantu dan pulutan (Kawalo *et al.*, 2021). Hasil pengolahan kayu tentunya akan menghasilkan limbah berupa sebetan, serbuk gergaji dan potongan kayu. Pada umumnya limbah kayu tersebut merupakan bahan yang mudah terbakar karena mengandung unsur kimia karbon yang cukup tinggi, namun saat ini tidak di manfaatkan secara maksimal sebagai bahan bakar. Dengan adanya penggunaan limbah kayu sebagai kombinasi batubara maka limbah kayu tersebut mempunyai nilai ekonomi bagi masyarakat sekitar unit pembangkit.

Beberapa negara di dunia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi misalnya, Amerika Serikat telah menggunakan biomassa untuk memenuhi sekitar 3% dari kebutuhan energi negara itu, setara dengan sekitar 3,2 juta TJ/tahun (70 Mtoe/tahun), di Eropa 3,5% kebutuhan energinya dipenuhi dari biomassa (sekitar 40 Mtoe/tahun), sedangkan beberapa negara seperti Finlandia, Swedia, dan Austria masing-masing menghasilkan 18%, 17%, dan 13% dari total energi mereka dari biomassa (Tursi, 2019).

Pembakaran bersama biomassa dengan batubara di sebagian besar negara merupakan salah satu teknologi paling ekonomis yang ada saat ini untuk menghasilkan pengurangan pulutan CO<sub>2</sub> yang signifikan (Xu *et al.*, 2020). Biomassa memiliki emisi CO<sub>2</sub> bersih nol, sedangkan batubara merupakan penghasil emisi CO<sub>2</sub> paling intensif per kWh produksi listrik (Kmieć dan Hrabak, 2018). Penkombinasi biomassa dengan batubara untuk pembakaran boiler bisa diaplikasikan pada beberapa tipe boiler antara lain tipe *pulverized combustion* atau

boiler PC, *circulation fluidized bed combustion* atau boiler CFB serta pada boiler *stocker* (Wasielewski *et al.*, 2020), (Ulhaq *et al.*, 2021), (Hariana *et al.*, 2021). Unsur kimia yang terkandung dalam biomassa yang berbeda dengan batubara jika di campur dan dibakar di dalam boiler akan menghasilkan reaksi-reaksi tertentu yang dapat mempengaruhi proses pembakaran di boiler. Disamping itu hasil reaksi kimia dari proses pembakaran tentunya akan mempengaruhi material-material yang ada di dalam boiler. Unsur kimia klorin (Cl) terdapat pada batubara juga terdapat pada kayu. Unsur kimia tersebut jika dibakar akan berpotensi menghasilkan *slagging*, *fouling* dan korosi pada material boiler (Chen *et al.*, 2021), (Niu *et al.*, 2016). Apabila terjadi *slagging* dan *fouling* akan menurunkan kinerja dari boiler karena untuk penyerapan panas akan memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak sehingga efisiensi boiler akan menurun.

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2018 luas wilayah hutan di Sulawesi Utara seluas 64.367,45 Ha dan pada tahun 2016 hasil produksi kayu baik kayu bulat, kayu gergajian dan kayu lapis total sebesar 1402 m<sup>3</sup>. Dengan besaran tersebut dimungkinkan banyaknya limbah hutan berupa kayu yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Dengan harga jual serbuk kayu yang lebih rendah daripada harga batubara maka apabila digunakan untuk kombinasi batubara akan di dapatkan penghematan biaya bahan bakar

## **1.2 Perumusan Masalah**

Penggunaan batubara sebagai bahan bakar fosil pada pembangkit listrik masih banyak digunakan oleh pembangkit-pembangkit di Indonesia. Dengan demikian konsumsi batubara masih tinggi untuk keperluan tersebut. Selain itu tingkat pencemaran dari hasil pembakaran energi fosil juga selalu meningkat setiap tahunnya. Solusi penghematan penggunaan batubara dan melaksanakan program pemerintah untuk meningkatkan bauran energi baru terbarukan salah satunya pembakaran kombinasi biomassa dengan batubara. Solusi tersebut dilakukan juga oleh PLTU II Sulawesi Utara sebagai perusahaan pembangkit listrik tenaga uap. PLTU II Sulawesi Utara Unit 2 menggunakan boiler tipe *Circulating Fluidized Bed* (CFB). Untuk menjamin program tersebut terus berlanjut perlu adanya kajian

mengenai unjuk kerja pembangkit saat menggunakan bahan bakar kombinasi batubara dan biomassa. Terdapat permasalahan mendasar yaitu bahwasannya pembangkit ini sudah berumur 10 tahun dimana terdapat beberapa modifikasi antara lain tidak digunakannya *limestone* saat proses pembakaran dan digunakannya pasir sungai sebagai media *material bed*. Kedua hal tersebut tentunya sudah tidak sesuai dengan desain awal dari pembangkit tersebut.

Dengan adanya permasalahan yang mendasar di atas dan untuk keberlanjutan dalam melaksanakan program pembakaran kombinasi batubara dengan biomassa terdapat beberapa hal yang perlu di analisis antara lain:

1. Bagaimana kinerja pembangkit saat digunakan kombinasi batubara dan biomassa sebagai bahan bakar?
2. Bagaimana potensi terjadinya *slagging* dan *fouling* jika menggunakan bahan bakar kombinasi batubara dan biomassa?
3. Bagaimana emisi yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar kombinasi batubara dengan biomassa?
4. Berapa penghematan biaya bahan bakar saat menggunakan bahan bakar kombinasi batubara dan biomassa?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang dan perumusan beberapa masalah di atas, tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis unjuk kerja pembangkit saat digunakan bahan bakar kombinasi biomassa dengan batubara.
2. Menganalisis potensi terjadinya *slagging* dan *fouling* pada boiler saat digunakan kombinasi pembakaran biomassa dengan batubara.
3. Menganalisis emisi gas buang boiler saat penggunaan bahan bakar kombinasi batubara dengan biomassa.
4. Menganalisis penghematan biaya bahan bakar saat menggunakan bahan bakar kombinasi batubara dan biomassa ?

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa kalangan diantaranya, akademisi, professional, masyarakat umum, dan pembuat kebijakan diantaranya sebagai berikut :

1. Bagi akademisi, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan mengenai pembakaran kombinasi batubara dengan biomassa sehingga dan dapat memberi beberapa peluang pengembangan penelitian teknologi kombinasi pembakaran batubara dengan biomassa.
2. Bagi professional yang berkecimpung dalam pengelolaan dan pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap, penelitian ini dapat dijadikan referensi terkait perubahan parameter pembangkit terutama boiler yang terjadi sehingga boiler tetap aman dan andal dioperasikan saat dilakukan kombinasi pembakaran batubara dengan biomassa.
3. Bagi masyarakat umum, penelitian ini dapat dijadikan wawasan bahwasannya limbah kayu yang sebelumnya dimanfaatkan untuk kerajinan dengan program ini limbah kayu dapat dijual kepada pemasok biomassa untuk kebutuhan bahan bakar boiler sehingga dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru.
4. Bagi pembuat kebijakan khususnya Pemerintah Pusat atau Daerah, dengan penelitian ini dapat membuat kebijakan-kebijakan untuk mendukung keberlanjutan program penggunaan biomassa untuk bahan bakar kombinasi di boiler.

#### **1.5 Originilitas Penelitian**

Penelitian mengenai analisis pembakaran kombinasi biomassa dengan batubara telah banyak dilakukan, namun demikian dari penelitian yang sudah dilakukan diharapkan bisa menjadi referensi untuk penelitian yang sedang dilaksanakan ini. Berikut ringkasan beberapa penelitian yang sudah dilakukan.



Tabel 1.1 Gap Penelitian

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
1	(Mun et al., 2016)	Performance evaluation of co-firing various kinds of biomass with low rank coals in a 500 MWe coal- fired power plant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini membahas pembakaran kombinasi batubara dengan biomassa dengan metode direct pembakaran kombinasi batubara dengan biomassa pada boiler <i>pulverized combustion</i> (PC) kapasitas 500 MW dan menggunakan biomassa pelet kayu, pelet tandan kosong, cangkang inti sawit, cangkang kenari, dan biomassa <i>torrefied</i>.</li> <li>• Studi ini menganalisis efisiensi boiler, Nett plant efficiency, dan karakteristik pembakaran dengan menggunakan simulator proses komersial (gCCS).</li> </ul> <p>Hasil penelitian :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menunjukkan bahwa biomassa torefaksi dapat menjadi salah satu pilihan yang menguntungkan untuk meningkatkan penggunaan bahan bakar terbarukan pada boiler tipe <i>pulverized combustion</i> (PC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian Mun (2016) dilakukan pada boiler tipe PC dengan kapasitas 500 MW dengan menghitung efisiensi boiler dan konsumsi auxiliary power, namun tidak terlihat menggunakan pemodelan untuk analisis datanya.</li> <li>• Penelitian yang akan dilakukan nanti pada boiler tipe CFB kapasitas 25 MW dengan dua jenis biomassa dan metode analisisnya menggunakan <i>cycle tempo</i> untuk mengetahui efisiensi dan unjuk kerja pembangkit.</li> <li>• Penelitian yang dilakukan saat ini menggunakan biomassa sawdust, woodchip dengan eceng gondok yang dicampur dengan batubara dengan fraksi massa biomas sebesar 5% dan batubara 95%.</li> </ul>

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
2	(Sathitruangsak & Madhiyanon, 2017)	Effect of operating conditions on the characteristics of coal, rice husk, and co-firing of coal and rice husk in a circulating fluidized bed combustor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki karakteristik pembakaran batubara dan sekam padi dan pembakaran bersama mereka dalam ruang bakar bersirkulasi fluidized bed (CFB) 100 kW (dia.: 150 mm, tinggi: 6000mm)</li> <li>• Sistem uji CFB skala lab, terdiri dari ruang bakar unggun terfluidisasi yang bersirkulasi dengan kapasitas termal 100 kW.</li> <li>• Emisi yang diteliti adalah CO dan NO<sub>x</sub></li> <li>• Hasil penelitian :</li> <li>• Peningkatan <i>flow Primary Air</i> dan <i>Secondary Air</i> akan mengurangi emisi CO tetapi tampaknya sangat meningkatkan NO<sub>x</sub>. Tapi, flow <i>Secondary Air</i> terlalu banyak mengakibatkan peningkatan CO karena efek pendinginan.</li> <li>• Direkomendasikan jumlah sekam tidak lebih besar dari 30% (berat) untuk menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> &lt; 200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian Sathitruangsak &amp; Madhiyanon (2017) menggunakan biomassa sekam padi dengan boiler tipe CFB kapasitas 100 kW skala laboratorium.</li> <li>• Penelitian Sathitruangsak (2017) hanya meneliti karakteristik pembakaran bersama sekan dan batubara.</li> <li>• Penelitian yang dilakukan saat ini di dilakukan pada boiler tipe CFB kapasitas 25 MW dengan bahan bakar kombinasi sawdust dan batubara, woodchip dan eceng gondok dengan batubara yang terhubung dengan peralatan lain untuk menghasilkan energi listrik.</li> <li>•</li> </ul>

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			ppm dan emisi CO < 120 ppm.	
3	(Unchaisri et al., 2019)	Experimental Study on Combustion Characteristics in a CFB during Co-firing of Coal with Biomass Pellets in Thailand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percobaan dilakukan dalam reaktor unggun terfluidisasi (CFB) dengan kapasitas 80 kWth. Biomassa yang digunakan jerami padi, kayu putih dan tandan buah kosong dalam bentuk pelet sebagai bahan bakar untuk pembakaran bersama dengan batubara. Fraksi massa pelet biomassa pada 25% berat dan 50% berat.</li> <li>• Untuk menyelidiki pengaruh penkombinasi pelet biomassa dengan karakteristik abu, abu terbang dan abu dasar dikumpulkan dan dianalisis dengan <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> dan <i>Scanning Electron Microscope</i> dengan <i>Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM-EDS)</i></li> <li>• Hasil penelitian :</li> <li>• Emisi CO menurun, dan efisiensi pembakaran meningkat.</li> <li>• Tingkat efisiensi pembakaran antara 97% dan 99% untuk pembakaran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian Unchaisri <i>et al.</i> (2019) difokuskan pada hasil pembakaran bersama biomassa dan batubara pada suatu perangkat CFB kapasitas 80 kW thermal. Alat tersebut tidak terhubung dengan peralatan lain seperti halnya pembangkit listrik.</li> <li>• Penelitian yang dilakukan saat ini dilakukan pada boiler tipe CFB kapasitas 25 MW dengan bahan bakar kombinasi sawdust dan batubara, woodchip dan eceng gondok dengan batubara dengan masing-masing fraksi massa biomassa sebesar 5% yang terhubung dengan peralatan lain untuk menghasilkan energi listrik.</li> <li>•</li> </ul>

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			<p>batubara dan pembakaran bersama batubara dengan pelet biomassa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisi NOx yang rendah diamati pada tingkat udara berlebih yang rendah, karena NOx dapat direduksi oleh CO dan karbon, yang biasanya digunakan dalam reaksi reduksi NOx. Emisi NOx tertinggi ditemukan dalam kasus pembakaran batu bara bersama dengan pelet kayu putih pada 50% berat karena kandungan nitrogen yang tinggi dalam pelet kayu putih.</li> <li>• Emisi SO2 untuk pembakaran batu bara lebih tinggi dibandingkan dengan co-firing batu bara dengan pelet biomassa karena kandungan sulfur yang tinggi dalam batu bara</li> </ul>	
4	(Milicevi et al., 2021)	Numerical study of co-firing lignite and agricultural biomass in utility boiler under variable operation conditions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki secara numerik proses kompleks pada boiler tipe <i>pulverizer combustion</i> (PC) kapasitas 900 MW dengan tipe burner tangensial.</li> <li>• Pembakaran kombinasi batubara lignit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian Milicevi <i>et al.</i> (2021) pada boiler tipe <i>Pulverized Combustion</i> (PC) kapasitas 900 MW</li> <li>• Penelitian yang dilakukan sekarang ini pada boiler tipe CFB (<i>circulating Fluidized Bed</i>) kapasitas 25 MW.</li> </ul>

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			<p>dan biomassa dengan komposisi kombinasi 10% residu pertanian (jerami gandum, jerami jagung dan jerami kedelai) pada beban boiler 100 %, 85% dan 70%.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisi yang di tinjau adalah SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>.</li> <li>• Menggunakan pemodelan CFD untuk mengetahui karakteristik pembakaran bersama</li> </ul> <p>Hasil penelitian :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pembakaran bersama residu pertanian dapat mengurangi emisi polutan, FEGT yang sedikit lebih tinggi, dan meningkatkan C yang tidak terbakar dalam <i>fly ash</i>, dibandingkan dengan pembakaran lignit saja.</li> <li>• Simulasi pembakaran bersama jerami gandum dan batubara lignit pada variasi beban menyebabkan pengurangan emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> masing-masing hingga 34% dan 9,5%.</li> <li>• Pengaturan burner dan strategi</li> </ul>	<p>Pengujian dilakukan pada beban 20 MW (80%) dengan bahan bakar batubara sub bituminous dan Biomassa sawdust (serbuk gergaji) dan woodchip dengan komposisi 5% biomassa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian yang dilakukan sekarang menggunakan <i>cycle tempo</i> untuk mengetahui unjuk kerja proses menghasilkan energi listrik</li> </ul>

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			pembakaran memainkan peran kunci untuk operasi peralatan tungku boiler dan untuk pemanfaatan yang tepat dari batubara dan biomassa dalam proses (co)combustion.	
5	(Ulhaq et al., 2021)	Proses Pembakaran Menggunakan Co-Firing Sistem Fluidized Bed Dengan Penkombinasi Antara Batubara dan Kayu Lamtoro Sebagai Energi Baru Terbarukan Untuk Bahan Bakar PLTU ABC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari biomassa yang digunakan, suhu <i>furnance</i> yang optimal untuk dilakukan pembakarannya, pengaruh komposisi penambahan biomassa terhadap batubara, karakteristik pembakaran, dan setelah itu dapat menganalisis parameter – parameter yang mempengaruhi kinerja dari PLTU. Penelitian proses <i>co-firing</i> pada reaktor <i>fluidized bed</i> dilakukan pada skala laboratrium dengan bahan substitusi kayu lamtoro dan batubara peringkat lignit, lalu komposisi bahan bakar yang digunakan adalah 85% batubara dan 15% biomassa</li> </ul> <p>Hasil Penelitian :</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian Ulhaq (2021), membahas kombinasi pembakaran batubara dengan biomassa kayu lamtoro dan skala laboratorium dengan komposisi 15% biomassa dan 85% batubara.</li> <li>• Penelitian yang dilakukan saat ini menggunakan biomassa sawdust, woodchip dengan eceng gondok yang dicampur dengan batubara dengan fraksi massa biomas sebesar 5% dan batubara 95%.</li> <li>• Penelitian yang dilakukan saat ini akan menganalisis unjuk kerja pembangkit dengan menggunakan <i>tool cycle tempo</i> dan menghitung penghematan biaya bahan bakar, analisis emisi dan penghematan biaya bahan bakar.</li> </ul>

No	Penelitian / Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suhu yang optimal untuk pembakaran adalah suhu 950°C.</li> <li>• Komposisi optimum penkombinasi rasio kayu lamtoro sebesar 15%.</li> <li>• Nilai efisiesnsi boiler meningkat sebesar 82,09 %.</li> <li>• Nilai faktor emisi CO2, untuk skema normal sebesar 1,15 kg CO2/kwh dan skema carbon netral sebesar 0,85 kgCO2/kwh. Yang mana dengan meningkatkan efisiensi boiler akan mengurangi emisi CO2 yang dihasilkan sehingga mengurangi dampak pencemaran udara.</li> </ul>	

Tabel 1.2 Perbedaan Penelitian Sebelumnya

No	Peneliti	Jenis Batubara				Jenis Biomassa								Bentuk Biomassa			Emisi yang di amati			
		1				2								3			4			
		L	SB	B	A	K	TK	CS	JG	JJ	JK	SP	JP	CK	SD	WC	P	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
1	(Mun <i>et al.</i> , 2016)	•	•				•	•						•	•					
2	(Sathitruangsak & Madhiyanon, 2017)			•												•	•	•		
3	(Unchaisri <i>et al.</i> , 2019)	•				•	•									•	•	•	•	
4	(Milicevi <i>et al.</i> , 2021)	•						•	•	•				•			•	•	•	
5	(Ulhaq <i>et al.</i> , 2021)		•			•											•			
6	Penelitian Saya	•				•								•	•		•	•	•	

Tabel 1.3 Perbedaan Penelitian Sebelumnya Lanjutan

No	Peneliti	Tool Analisis Data				Metode Pembakaran				Tipe Boiler			
		5				6				7			
		CFD	CT	HP	CD	D	ID	P	T	PC	CFB	STK	CFBL
1	(Mun <i>et al.</i> , 2016)			•		•			•	•			
2	(Sathitruangsak & Madhiyanon, 2017)				•	•							•
3	(Unchaisri <i>et al.</i> , 2019)	•		•				•			•		
4	(Milicevi <i>et al.</i> , 2021)	•				•				•			
5	(Ulhaq <i>et al.</i> , 2021)			•	•								•
6	Penelitian Saya		•	•	•	•					•		



**Keterangan :**

1. Jenis Batubara

L : Lignite  
SB : Sub Bituminus  
B : Bituminus  
A : Antrachite

2. Jenis Biomassa

K : Kayu  
TKCS : Tandan Kosong Cangkang Sawit  
JG : Jerami Gandum  
JJ : Jerami Jagung  
JK : Jerami Kedelai  
SP : Sekam Padi  
JP : Jerami Padi

3. Bentuk Biomass

SD : Saw Dust  
WC : Wood Chip  
P : Pellet

4. Emisi yang di amati

CO<sub>2</sub> : Karbon dioksida  
NO<sub>x</sub> : Nitrogen dioksida  
SO<sub>2</sub> : Sulfur dioksida

5. Tool Analisa Data

CFD : Computational Fluid  
Dynamic  
CT : Cycle Tempo  
HP : Hitung Performance  
CD : Comparation Data

6. Metode Pembakaran

D : Direct pembakaran  
ID : In Direct pembakaran  
P : Paralel pembakaran  
T : Torefaksi

7. Tipe Boiler

PC : Pulverized Combustion  
CFB : Circulating Fluidized Bed  
STK : Stocker  
CFBL : CFB skala Laboratorium

Dari penjelasan pada Tabel 1.3 dan 1.4 dapat dijelaskan bahwa penelitian yang dilakukan adalah menggunakan bahan bakar kombinasi antara batubara dengan *sawdust* dan *woodchip* sebagai bahan bakar boiler tipe *Circulating Fluidized Bed* (CFB). Metode pembakaran menggunakan tipe *Direct Co-firing* yaitu batubara dan *sawdust* serta *woodchip* dicampur di *stock pile* kemudian dialirkan menuju ruang bakar boiler. Komposisi kombinasinya ada dua antara lain 5% *sawdust* dan 95% batubara dan 5% *woodchip* dengan 95% batubara. Emisi dari hasil pembakaran yang adalah , CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub>. Analisis data yang digunakan adalah dengan membandingkan parameter pembangkit saat 100% batubara dan bahan bakar kombinasi biomass dan batubara. Beban untuk pengujian pada 20 MW selama durasi waktu tertentu. Analisis data juga dilakukan dengan memasukkan unsur kimia kombinasi batubara dan biomassa kayu pada tool *cycle tempo* untuk mengetahui efisiensi pembangkit. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik biomassa dari bahan kayu untuk digunakan kombinas pembakaran dengan batubara di boiler CFB. Parameter yang dihasilkan dari penelitian digunakan sebagai data acuan untuk penelitian berikutnya serta menentukan pola operasi yang aman dan efisien untuk unit pembangkit. Data yang didapatkan juga dapat digunakan sebagai dasar menentukan jenis pemeliharaan sehingga dapat mengurangi tingkat kerusakan unit pembangkit.

