

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri dalam negeri dan pertambahan penduduk menyebabkan peningkatan kebutuhan energi listrik nasional. Dalam pemenuhan kebutuhan listrik nasional, pembangunan pembangkit listrik termasuk salah satunya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di dalam negeri sangatlah pesat, baik sebagai Badan Usaha Milik Nasional (BUMN) maupun kontrak swasta. PLTU sebagai pemasok pemasok sumber daya listrik terbesar di Indonesia saat ini, membutuhkan batubara sebagai bahan bakar utama, sedangkan cadangan batubara dalam negeri semakin berkurang dan diasumsikan tersisa untuk 56 tahun lagi apabila tidak ada cadangan batubara baru (Sirait, 2021) (Tambunan, 2021) (Rizal, 2021).

Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (COP21-2015), yang diadakan di Paris, Perancis pada tanggal 12 Desember 2015, merupakan perjanjian internasional yang mengikat secara hukum terkait perubahan iklim, yang bertujuan untuk membatasi pemanasan global hingga 1,5°C serta membatasi rumah kaca emisi gas. harus mencapai puncaknya paling lambat pada tahun 2025 dan menurun 43% pada tahun 2030. Kebijakan Energi Nasional (KEN) merupakan langkah transisi energi Indonesia menuju net zero emisi dan penggunaan energi baru dan terbarukan. Poin penting dalam KEN adalah target bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025 (Dwiaji, 2023) dan 31% pada tahun 2050, serta menuju *net zero emission* di tahun 2060 (PT. PLN, 2020). Indonesia memiliki potensi bioenergi dari sumber biomassa yang sangat besar, setara dengan 56,97 GW listrik dan lebih dari 700 GW energi terbarukan pada tahun 2060, dimana 60 GW di antaranya berasal dari pembangkit listrik bioenergy (Kementrian ESDM, 2023). Pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit listrik dioptimalkan melalui program co-firing biomassa pada pembangkit listrik tenaga batubara (PLTU) atau Coal Fired Power Plant (CFPP) yang sudah ada. Co-firing telah diterapkan sejak tahun 2020 dengan rasio pencampuran berkisar antara 1% hingga 15% tergantung jenis boiler dan

ketersediaan bahan baku. (Kementrian ESDM, 2023). Hingga paruh pertama tahun 2023, *co-firing* telah diterapkan di 36 lokasi dan menghasilkan energi hijau sebesar 325 GWh, yang mengurangi emisi sebesar 321 ktCO₂, dengan total biomassa yang digunakan sebesar 306 kiloton (Kementrian ESDM, 2023).

Istilah *co-firing* pada sebuah PLTU berbahan bakar batubara, merupakan suatu metode proses pembakaran dengan penambahan campuran biomassa di dalamnya sebagai pengganti batubara pada sebuah PLTU (Rizal, 2021). Biomassa yang digunakan dapat bermacam-macam, seperti serbuk kayu, sekam padi, jerami, batang jagung, cangkang sawit, kelapa dan limbah organik lainnya yang masih dalam bentuk *raw material* atau dari bahan organik yang sudah diolah dalam bentuk briket atau pellet seperti *wood pellet* (Tajalli, 2015). Variasi rasio pencampuran biomassa dapat berbeda-beda pada setiap unit PLTU, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan rasio pencampuran *co-firing* yang paling efektif. PLTU Paiton XY secara desain menggunakan batubara dengan nilai kalori 4600 sampai 5100 kalori dengan konsumsi rata-rata 60 ton/ jam/ *pulverizer*. Karena keterbatasan batubara yang sesuai desain maka dilakukanlah program *coal switching* dengan metode *coal blending* dengan mencampurkan antara *Low Range Coal* (LRC) dan *Medium Range Coal* (MRC), selain itu pengujian *co-firing* dengan menggunakan campuran 1% *wood pellet* dengan nilai kalori berkisar 4700 Kcal/kg pada 31 Mei 2023 (PT. ITS Tekno, 2023).

Pada penelitian ini membahas tentang *coal blending* menggunakan MRC dan LRC dan *co-firing* yang menggunakan biomassa jenis *wood pellet*, dengan uji simulasi menggunakan *software Cycle-Tempo* dan kajian tekno ekonomi, dimana penggunaan biomassa akan menurunkan penggunaan bahan bakar batubara serta kelebihan dari *carbon trading* dengan berkurangnya gas CO dan CO₂ pada emisi gas buang. Memang penelitian tentang *co-firing* telah banyak dilakukan seperti dijelaskan diatas, akan tetapi penelitian kombinasi antara *coal blending* antara MRC dan LRC dengan biomassa terutama *wood pellet*, dengan menggunakan simulator masih sangat terbatas. Seperti penelitian oleh Han et al. (2019) mempelajari pencampuran antara LRC dan MRC bersama biomassa seperti limbah kelapa sawit atau *wood pellet* mampu mengurangi masalah pembentukan abu halus dan slagging

yang sering muncul dalam pembakaran biomassa murni. Penelitian Han J, Yu D, Wu J, et al. (2019), membahas pembentukan abu halus dan slagging pada pembakaran biomassa yang kaya silikon bersama low-rank coal (LRC). Dan Idris SS, Rahman NA, Ismail K. (2012), Studi ini menganalisis karakteristik pembakaran biomassa kelapa sawit dan batubara sub-bituminous (low-rank coal) menggunakan analisis termogravimetri. Sehingga harapan dari penelitian ini dapat memberikan referensi keterbaruan dari penelitian sebelumnya. Tujuan lainnya, hasil dari pengujian menggunakan *software* tersebut dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan untuk mensukseskan program transisi energi melalui program *co-firing* dan mengetahui pada rasio berapakah peralatan yang terpasang dapat mencapai performa terbaiknya. selain itu sebagai bentuk komitmen dan dukungan bagi pemerintah untuk mensukseskan program *green energy*, serta Indonesia *zero emission* di tahun 2060.

1.2 Rumusan masalah

Memperhatikan konteks permasalahan di atas, maka rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimanakah simulator *Cycle-Tempo* dapat diwujudkan untuk mempelajari *co-firing*?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi rasio *co-firing* batubara dan biomassa terhadap operasional PLTU?
3. Bagaimanakah pengaruh variasi *co-firing* antara batubara dan biomassa terhadap performa peralatan *auxiliary boiler*?
4. Berapa persen efisiensi unit pembangkit pada pembakaran *co-firing* sesuai desain PLTU?
5. Bagaimanakah pengaruh *co-firing* terhadap tekno ekonomi perusahaan dari sisi bahan bakar?

1.3 Batasan Masalah.

Dalam penyusunan tesis ini, materi dari permasalahan yang diambil oleh penulis mempunyai cakupan yang luas, untuk menghindari kesalahpahaman dan

lebih mengarahkan pada pembahasan, maka beberapa batasan ditentukan sebagai berikut:

1. Analisa berdasarkan data desain *heat balance* diagram PLTU Paiton XY dengan beban 100%. 75% dan 50%
2. Penelitian hanya membahas tentang pengujian pembakaran *co-firing* campuran batubara MRC-LRC dan biomassa jenis *wood pellet*, untuk mencari rasio campuran manakah yang memungkinkan untuk proses pembakaran yang mendekati desain batubara dari sistem *boiler* yang tersedia.
3. Analisa tekno ekonomi hanya sebatas pembahasan dari sisi bahan bakar dimana campuran *co-firing* terhadap operasional perusahaan dan *carbon trading*, dengan sumber biomassa didatangkan dari luar wilayah.

1.4 Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan hasil simulasi *co-firing* yang sesuai dengan kondisi kinerja aktual dengan program *Cycle-Tempo*.
2. Mengkaji variasi rasio *co-firing* campuran batubara dan biomassa terhadap operasional PLTU.
3. Mengkaji variasi *co-firing* antara batubara dan biomassa terhadap peralatan *auxiliary boiler*.
4. Mengkaji efisiensi unit pembangkit pada pembakaran *co-firing* sesuai desain peralatan pada PLTU.
5. Analisa tekno-ekonomi dari program *co-firing* terhadap perusahaan berkaitan dengan *carbon trading*.

1.5 Manfaat penelitian

1.5.1 Manfaat Keilmuan

1. Memberikan pengetahuan tentang peralatan dan operasional pada PLTU, terutama tentang peralatan *boiler* sebagai peralatan utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara.

2. Mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi pada unit pembangkit listrik tenaga uap menggunakan *software Cycle-Tempo*, terutama bahan bakar campuran batubara dan biomassa secara optimal untuk meningkatkan produktivitas serta hasil yang berguna bagi kemaslahatan umat manusia.
3. Mempersiapkan mahasiswa menjadi individu yang kompeten secara akademis dan mampu menerapkan, mengembangkan dan menciptakan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang transisi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

1.5.2 Manfaat Pelayanan

Penelitian ini diharapkan nantinya akan memberikan informasi awal bagi perusahaan sebelum melakukan pengujian secara riil, dan memberikan petunjuk rasio persentase campuran biomassa untuk performa terbaik, pengaruhnya terhadap peralatan *auxiliary* baik secara teknik dan operasional serta langkah pengembangannya lainnya pada PLTU XY.

1.6 Originalitas Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai *co-firing* dengan simulasi menggunakan *software* berikut ringkasan daftar penelitian sesuai tabel berikut ini

Tabel 1. 1 Parameter Orisinalitas Penelitian

No	Peneliti (tahun)	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Puspitasari (2022)	Analisis Pengaruh Rasio Bahan Bakar Biomassa Pada Proses <i>Co-firing</i> Terhadap Performa Boiler PLTU 660 MW PT PJB UBJ	Simulasi menggunakan <i>Software Cycle-Tempo</i> 5.0. -beban 100%, 75%, dan 50%. Setiap beban dilakukan simulasi injeksi biomassa 2%, 8%, 10%,	Peningkatan rasio <i>Co-firing</i> berpengaruh terhadap performa boiler dan pembangkit listrik secara keseluruhan. Semakin besar	Menggunakan campuran batubara LRC, MRC dan biomassa wood pellet, dan rasio <i>Co-Firing</i> sampai 50%.

		O&M Paiton Menggunakan Simulasi <i>Cycle-Tempo</i> 5.0. (Puspita, 2022)	12%, dan 15%. Jenis biomassa sawdust (serbuk gergaji). Objek dalam penelitian ini PLTU 660 MW.	rasio biomassa semakin besar pula konsumsi bahan bakar yang digunakan dan sebaliknya	Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
2	Sirait (2021)	Simulasi <i>Cycle-Tempo</i> Pengaruh Rasio <i>Co-firing</i> Dengan Variasi Jenis Biomassa Terhadap Performa PLTU 710 MW (Sirait, 2021)	Simulasi <i>software Cycle-Tempo</i> . Variasi nilai kalor konstan sehingga daya setiap variasi sama, sebesar 710 MW. Menggunakan batubara 5710 kcal/kg. Pada variasi, bahan bakar yang digunakan adalah campuran batu bara 5100 kcal/kg, variasi biomassa berupa serbuk gergaji, pelet kayu, sekam padi, serpihan kayu halus, dan cangkang kelapa sawit. Variasi rasio <i>Co-firing</i> sebesar 0,1%, 1%, 5%, 7,5%, dan 10%.	Hasil simulasi, peningkatan rasio <i>Co-firing</i> menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar. Peningkatan rasio <i>Co-firing</i> juga menyebabkan penurunan mass flow rate udara. Hasil lainnya lebih kepada hasil dan pengaruh perbedaan biomassa terhadap performa dan proses pembakaran.	Menggunakan campuran batubara LRC, MRC dan biomassa <i>wood pellet</i> , dan rasio <i>Co-Firing</i> sampai 50%. Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
3	Tambunan (2021)	Simulasi <i>Cycle-Tempo</i> Pengaruh Rasio <i>Co-firing</i> dan Variasi Biomassa	Menggunakan metode studi numerik dengan <i>software Cycle-</i>	Hasil simulasi <i>Co-firing</i> menunjukkan kesesuaian dengan teori. Semakin	Menggunakan campuran batubara LRC, MRC dan biomassa <i>wood</i>

		Terhadap Performa PLTU Kapasitas 695,7 MW (Tambunan, 2021)	<i>Tempo</i> . Analisis system menggunakan data desain salah satu PLTU berkapasitas 695,7 MW. Dengan dua kali simulasi pertama 100% coal 5710 kCal/kg sebagai <i>baseline</i> . Simulasi kedua dijalankan dengan variasi jenis biomassa dengan menggunakan batubara 5100 kCal/kg.	besar rasio <i>Co-firing</i> , maka performa pembangkit seperti kebutuhan batu bara, kebutuhan udara, efisiensi <i>boiler</i> , efisiensi pembangkit, konsumsi daya <i>auxiliary equipment</i> dan <i>net plant heat rate</i> akan berubah dari kondisi <i>baseline</i> .	<i>pellet</i> , dan rasio <i>Co-Firing</i> sampai 50%. Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
4	Arisandi dan Putra (2023)	Simulasi <i>Cycle-Tempo</i> 5.0 Dampak Variasi Rasio <i>Co-firing</i> Batubara dan Biomassa Jenis Tongkol Jagung terhadap Performa PLTU 400 MW (Arisandi & Putra, 2023)	Penelitian ini menggunakan <i>software Cycle-Tempo</i> 5.0 dengan objek penelitian PLTU 400 MW dengan batubara HHV 4200 kcal/kg dan pembebanan 100%, 75%, 50%, 30%. Biomassa yang digunakan adalah tongkol jagung, dengan rasio maksimal di 10%	Dalam penelitian ini, dilakukan analisis dan didapatkan hasil Daya Pemakaian Sendiri (DPS), <i>Net Plant Heat Rate</i> , Efisiensi <i>Boiler</i> , dan ekonomi pembangkit.	Menggunakan campuran batubara LRC, MRC dan biomassa <i>wood pellet</i> , dan rasio <i>Co-Firing</i> sampai 50%. Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
5	Aditya, Haryadi, dan	Analisis Pengujian <i>Co-</i>	Bahan bakar <i>Co-firing</i> biomassa	Hasil dari penelitian ini	Dilakukan pada <i>boiler</i> dengan

	Haryani (2022)	<i>firing</i> Biomassa Cangkang Kelapa Sawit Pada PLTU <i>Circulating Fluidized Bed (CFB)</i> Sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan (Aditya , Haryadi, & Haryani, 2022)	dengan komposisi sekenario <i>Co-firing</i> yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20% dari cangkang sawit untuk uji bakar. Data operasi diambil setelah periode stabilisasi dan kemudian secara otomatis dicatat oleh sistem akuisisi data.	mengetahui pengaruh <i>Co-firing</i> terhadap potensi korosi, slagging, fouling dan specific <i>Fuel consumption</i> (SFC) berfokus pada efek dari pembakaran <i>Co-firing</i> .	<i>Pulverize Fuel boiler</i> dengan biomassa <i>wood pellet</i> . Serta berfokus pada performa dengan simulator <i>software</i> . Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
6	Dwiaji (2023)	Analisis Pengaruh <i>Co-firing</i> Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan <i>Boiler</i> PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ (Dwiaji, 2023)	Pendekatan observasi serta teknik wawancara digunakan untuk mengumpulkan data. Dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel secara manual, kemudian dibandingkan dengan data <i>benchmark</i> atau data <i>commissioning</i> .	Memastikan efek dari <i>Co-firing</i> biomassa yang sedang berlangsung pada efisiensi peralatan <i>boiler</i> di berbagai skenario beban pembangkit. Dengan menggunakan biomassa serbuk gergaji	Penelitian yang akan dilakukan menggunakan simulator <i>software</i> , dengan biomassa <i>wood pellet</i> , Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
7	Milicevic et al 2021	<i>Numerical study of Co-Firing lignite and agricultural biomass in utility boiler under</i>	Melakukan simulasi dengan <i>Computational fluid dynamics (CFD)</i> , dengan variasi load 70%,	Hasil dari studi tersebut untuk menentukan biomassa manakah yang paling sesuai dan mengukur	Menggunakan campuran batubara LRC, MRC dan biomassa <i>wood pellet</i> , dan rasio

		<i>variable conditions.</i> (Milicevic, et al., 2021)	85% dan 100% dengan variasi biomassa jerami gandum, Jerami jagung dan Jerami kedelai. Dengan rasio <i>Co-firing</i> 10%	penurunan NOx serta SOx pada gas buang pada campuran batubara jenis lignite untuk pembakaran pada <i>boiler</i> dengan kapasitas 900MW. Dan simulasi 3D memberikan gambaran performa pada <i>boiler</i> .	<i>Co-Firing</i> sampai 50%, dengan simulator. Analisa potensi keekonomian dari <i>Carbon Trading</i> .
8	Lui et all 2023	Recent advances of research in coal and biomass <i>Co-firing</i> for electricity and heat generation. (Liu, et al., 2023)	Review karakteristik biomassa pada unit pembangkit di china dan mengumpulkan data penelitian terkait phenomena antara <i>Co-firing</i> dari Batubara dan biomassa. Kemudian membandingkan keduanya dengan pembakaran menggunakan batubara saja.	Hasil dari review penelitian tersebut adalah penambahan biomassa cenderung menurunkan pembentukan polutan udara biasa seperti CO2 dan SOx pada gas buang.	Pada penelitian yang akan dilakukan analisa menggunakan simulator <i>software</i> dan menganalisis performa unit pembangkit dan tekno ekonomi
9	Margawadi 2024	Simulasi <i>Co-Firing</i> Dengan Low Range Coal Dan Medium Range Coal Terhadap	Simulasi dengan menggunakan software cycle tempo dengan campuran batubara MRC dan LRC	Memperoleh data prosentase campuran batubara MRC dan LRC dengan prosentase <i>Co-Firing</i> yang	Dengan semua penelitian sebelumnya Analisa potensi keekonomian biaya bahan

		Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap 615 MW	dengan <i>co-firing</i> <i>wood pellet</i> sebesar 1%, 2%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%.	menghasilkan kinerja sesuai desain, kajian tekno ekonomi dari <i>Carbon Trading</i>	bakar dari <i>Carbon Trading</i> .
--	--	--	--	---	------------------------------------

Berdasarkan pada tabel 1.1 diatas peneliti ingin menganalisis potensi untuk meningkatkan rasio *co-firing* sebagai lanjutan program *coal switching* pada PLTU XY. Dimana campuran batubara MRC dan LRC dikombinasikan dengan biomassa jenis *wood pellet* dengan peningkatan rasio biomassa diatas rata-rata penelitian sebelumnya. Peneliti juga akan menganalisis pengaruh *co-firing* terhadap peralatan *auxiliary* pada unit pembangkit, serta memberikan rekomendasi untuk program coal switching kedepan, berdasarkan kapasitas desain dari peralatan *auxiliary* yang terpasang, dengan menggunakan simulator program *Cycle-Tempo*. Penulis juga akan menganalisis dari aspek biaya/ekonomi dalam perencanaan program *co-firing* tersebut dari sisi biaya bahan bakar terkait *Carbon Trading*.

Sehingga pada penelitian kali ini, peneliti memberikan cakupan yang lebih komprehensif dengan melakukan simulasi menggunakan campuran batubara LRC dan MRC, serta variasi rasio *co-firing* hingga 50%, yang belum diteliti secara luas oleh penelitian sebelumnya. Puspitasari (2022) hanya meneliti rasio biomassa yang lebih rendah hingga 15% dan menggunakan biomassa tunggal, sedangkan Sirait (2021) terbatas pada rasio *co-firing* 10% tanpa campuran batubara LRC dan MRC. Tambunan (2021) tidak menganalisis campuran batubara LRC dan MRC serta tidak mengeksplorasi rasio *co-firing* tinggi, sedangkan Arisandi dan Putra (2023) fokus pada satu jenis biomassa dan rasio *co-firing* rendah. Haryadi dan Haryani (2022) serta Dwiaji (2023) memiliki fokus pada aspek korosi dan efisiensi boiler, tetapi tidak mencakup analisis performa keseluruhan pembangkit atau rasio *co-firing* tinggi. Milicevic et al. (2021) fokus pada pengurangan emisi gas buang dengan batubara lignit, sementara Lui et al. (2023) hanya melakukan review tanpa hasil simulasi langsung. Dengan demikian, gap utama dari penelitian sebelumnya terletak pada variasi biomassa yang terbatas, rasio *co-firing* yang lebih rendah, dan

kurangnya perhatian terhadap campuran batubara LRC dan MRC, serta analisis tekno-ekonomi yang diangkat dalam penelitian ini. Hasil penelitian tersebut diharapkan dapat memberikan acuan dan pertimbangan perusahaan pemilihan campuran batubara dan biomassa, terhadap performa operasional, bisnis dan program pemerintah menuju *green energy*.



BAB II

