

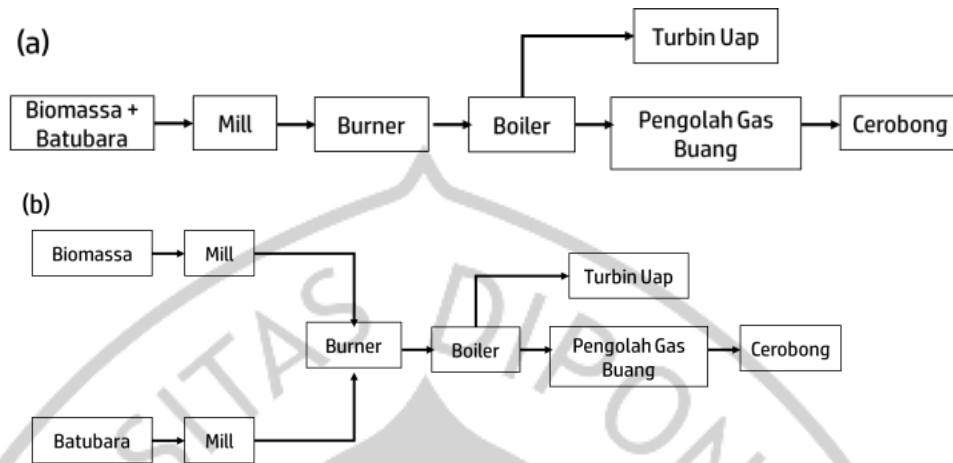
## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Ketersediaan potensi energi terbarukan (ET) di Indonesia diprediksi dapat menggantikan sumber energi fosil seperti batubara terutama untuk penyediaan tenaga listrik (Erdiwansyah, dkk, 2021). Pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pemerintah telah menargetkan pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025 (Perpres No. 22, 2017). Dalam rangka mencapai target bauran energi tersebut, program *co-firing* menjadi salah satu strategi untuk peningkatan bauran EBT dan merupakan salah satu program terobosan PLN dalam peningkatan bauran ET yang dilakukan tanpa memerlukan biaya investasi yang signifikan. Implementasi *co-firing* PLTU secara komersial didasari pada uji coba *co-firing* yang menunjukkan hasil layak secara teknis dan tidak mengganggu keandalan operasional pembangkit (PLN RUPTL 2021-2030, 2021). Di sisi lain seiring dengan kesadaran akan terjadinya peningkatan emisi gas rumah kaca di seluruh dunia akibat penggunaan bahan bakar *fossil*, biomassa yang merupakan sumber energi terbarukan dianggap memiliki *net zero emission* terhadap efek gas rumah kaca karena biomassa merupakan bahan bakar dari tumbuhan yang menyerap CO<sub>2</sub> selama pertumbuhan dan mengeluarkannya selama proses pembakaran (Roni, dkk., 2017) atau dikenal juga dengan istilah CO<sub>2</sub> *neutral* (Tillman, dan Harding, 2004). Penggunaan *co-firing* biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan lainnya seperti SO<sub>2</sub> karena kandungan sulfur pada biomassa yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara (Ndibe, Maier, dan Scheffknecht, 2015).

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batubara merupakan pembangkit listrik yang banyak digunakan untuk proyek penyediaan listrik 35000 MW di Indonesia. berdasarkan data kementerian ESDM, PLTU mempunyai persentase 57,22% dari total 60 GW daya terpasang, hal tersebut dikarenakan PLTU konvensional mempunyai efisiensi yang cukup baik sekitar 30-35% dan mempunyai biaya produksi yang rendah sekitar Rp 500- Rp 600 per KWh, jika dibandingkan pembangkit dengan bahan bakar lain seperti gas sekitar Rp 900 per KWh dan BBM sekitar Rp 1.800 per KWh menurut kementerian ESDM. Biaya produksi yang rendah tersebut dikarenakan harga batubara yang lebih murah dibanding bahan bakar fosil lainnya (Syahputera, dkk., 2019).

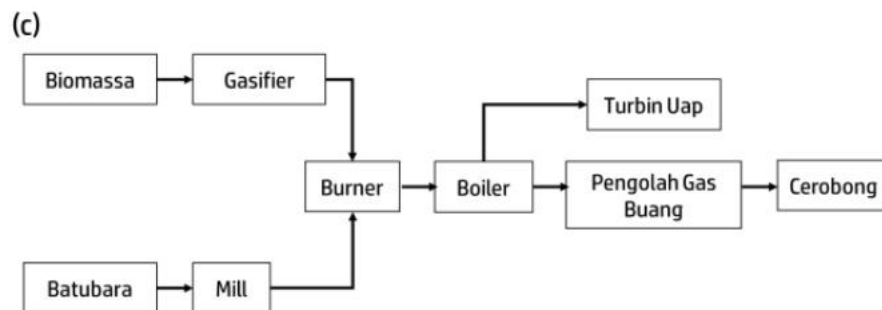
*Co-firing* merupakan proses pembakaran material bahan bakar yang berbeda pada waktu yang bersamaan. Teknologi *co-firing* terbagi menjadi tiga metode yaitu *direct co-firing* seperti ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b dimana dua jenis bahan bakar langsung dicampurkan pada *boiler* (Agbor, Zhang dan Kumar, 2014).



Gambar 1.1. Proses *direct co-firing* biomassa dan batubara

(Agbor, Zhang dan Kumar, 2014)

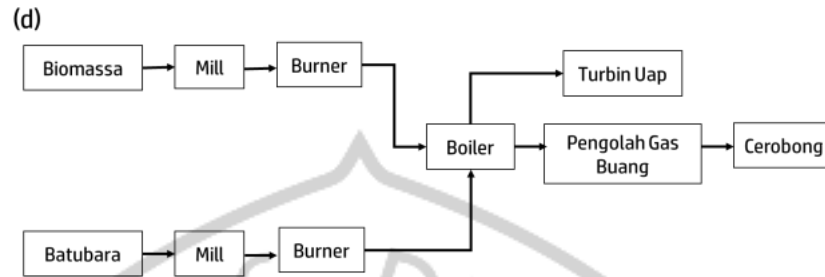
*Indirect co-firing* seperti ditunjukkan pada Gambar 1c dimana salah satu bahan bakar mengalami proses gasifikasi terlebih dahulu baru kemudian dicampurkan dengan bahan bakar lain pada *boiler* (Agbor, Zhang dan Kumar, 2014).



Gambar 1.2. Proses *indirect co-firing* biomassa dan batubara

(Agbor, Zhang dan Kumar, 2014)

*Parallel co-firing* seperti ditunjukkan pada Gambar 1d dimana masing – masing bahan bakar dibakar pada *burner* yang berbeda dan uap hasil produksi dari kedua *boiler* digabungkan bersama untuk digunakan pada proses lanjut (Gil, dan Rubiera, 2019).



Gambar 1.3. Proses *parallel co-firing* biomassa dan batubara

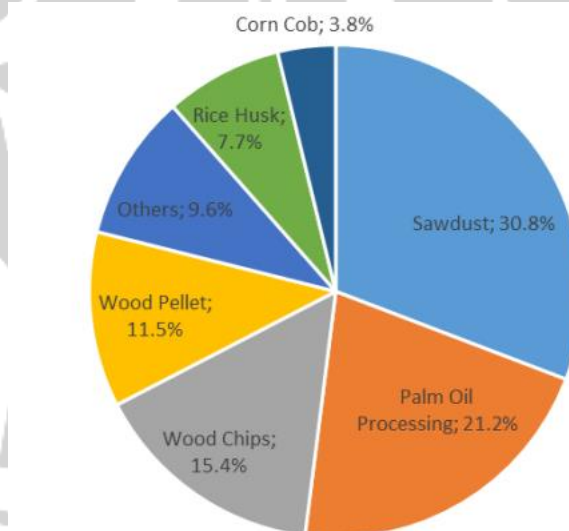
(Agbor, Zhang, dan Kumar, 2014)

Indonesia diperkirakan memiliki potensi konversi biomassa menjadi energi listrik lebih besar dari 32 GW dengan sumber biomassa antara lain adalah tebu, kelapa, jagung, kayu, padi, singkong dan sampah kota (Primadita, Kumara, dan Ariastina, 2020). Beberapa jenis biomassa yang telah dilakukan uji coba pembakaran menggunakan metode *direct cofiring* di Indonesia antara lain adalah *pellet* kayu (Cahyo, dkk., 2020 dan 2021), cangkang kelapa sawit (Cahyo, dkk., 2021) dan *sawdust* (Tanbar, dkk., 2021). Salah satu biomassa lain yang ada di Indonesia dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan pada *co-firing* PLTU adalah sekam padi (Anshar, dkk., 2014) yang merupakan lapisan keras limbah hasil proses penggilingan padi dan umumnya diperoleh sekitar 20 – 21 % dari berat padi yang diproses (Zou, dan Yang, 2019). Beberapa studi telah dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik sekam padi untuk digunakan sebagai pengganti batubara secara parsial seperti yang dilakukan oleh Chen dan Wu (2009) yang melakukan studi pada karakteristik thermal campuran batubara dan sekam padi melalui analisa *thermogravimetry* (TG) pada *drop tube furnace* (DTG) untuk aplikasi di *blast furnace*. Dari hasil studi tersebut diketahui bahwa campuran batubara dan sekam padi dapat dibakar bersama – sama bergantung pada kebutuhan *volatile matter* (VM) pada bahan bakar dan pada rasio pencampuran dibawah 50%, tidak ada perubahan signifikan terhadap karakteristik *thermal* dari *unburned char*.

Pada studi Yunaidi dkk (2020) yang melakukan *co-firing* sekam padi dengan ampas tebu pada *boiler*, meskipun kandungan abu pada sekam padi adalah 20,67% tetapi dari hasil analisa abu, hal tersebut tidak akan menyebabkan kerusakan seperti *slagging*, *fouling*, korosi, sintering dan aglomerasi. Sedangkan dari segi emisi, pada studi Kwong dkk (2007) yang melakukan pengujian *co-firing* sekam padi dengan batubara pada ruang bakar skala lab, hasil pembakaran menghasilkan jumlah emisi CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan SO<sub>2</sub> yang lebih rendah jika dibandingkan jika

hanya menggunakan batubara. Jika dihitung berdasarkan emisi per satuan energi (g/kWh), penurunan maksimum akan terjadi pada rasio pencampuran 30% sekam padi. Selain pengujian secara langsung, *assessment* karakteristik dari penggunaan biomassa pada pembangkit dapat dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi seperti *thermoflex* (Amirabedin, dkk., 2014). Pada studi tersebut simulasi dilakukan pada pembangkit listrik dan panas dengan menggunakan bahan bakar batubara dan biomassa.

*Co-firing* telah ditetapkan sebagai salah satu inisiatif strategis dalam program *green booster* oleh PLN, Perusahaan Listrik Indonesia akan mempercepat pencapaian target bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025 dengan memanfaatkan infrastruktur pembangkit listrik yang ada serta solusi pengelolaan limbah. Total kapasitas PLTU Grup PLN dengan kemampuan *co-firing* adalah 18,9 GW. Jika *Coal-fired Power Plant* (CFPP) mengoperasikan *co-firing* dengan rasio 6% untuk *boiler Pulverized Coal* (PC), 40% untuk *boiler Circulating Fluidized Bed Boilers* (CFB), dan 70% untuk *boiler stoker*, hal ini sebanding dengan perolehan kapasitas produksi EBT sebesar 2,7 GW per tahun (dengan asumsi faktor kapasitas 70%) (PLN RUPTL 2021-2030, 2021). Kegiatan *co-firing* telah dilakukan di beberapa lokasi PLTU Grup PLN sejak tahun 2020 pada berbagai jenis *boiler* yaitu PC, CFB, dan stoker. Jenis biomassa yang digunakan antara lain serbuk gergaji, sawit cangkang, serpihan kayu, pelet kayu, sekam padi, tempurung kelapa, TKKS, pelet *Solid Recovered Fuel* (SRF), eceng gondok, dan tongkol jagung, seperti terlihat pada Gambar 4.



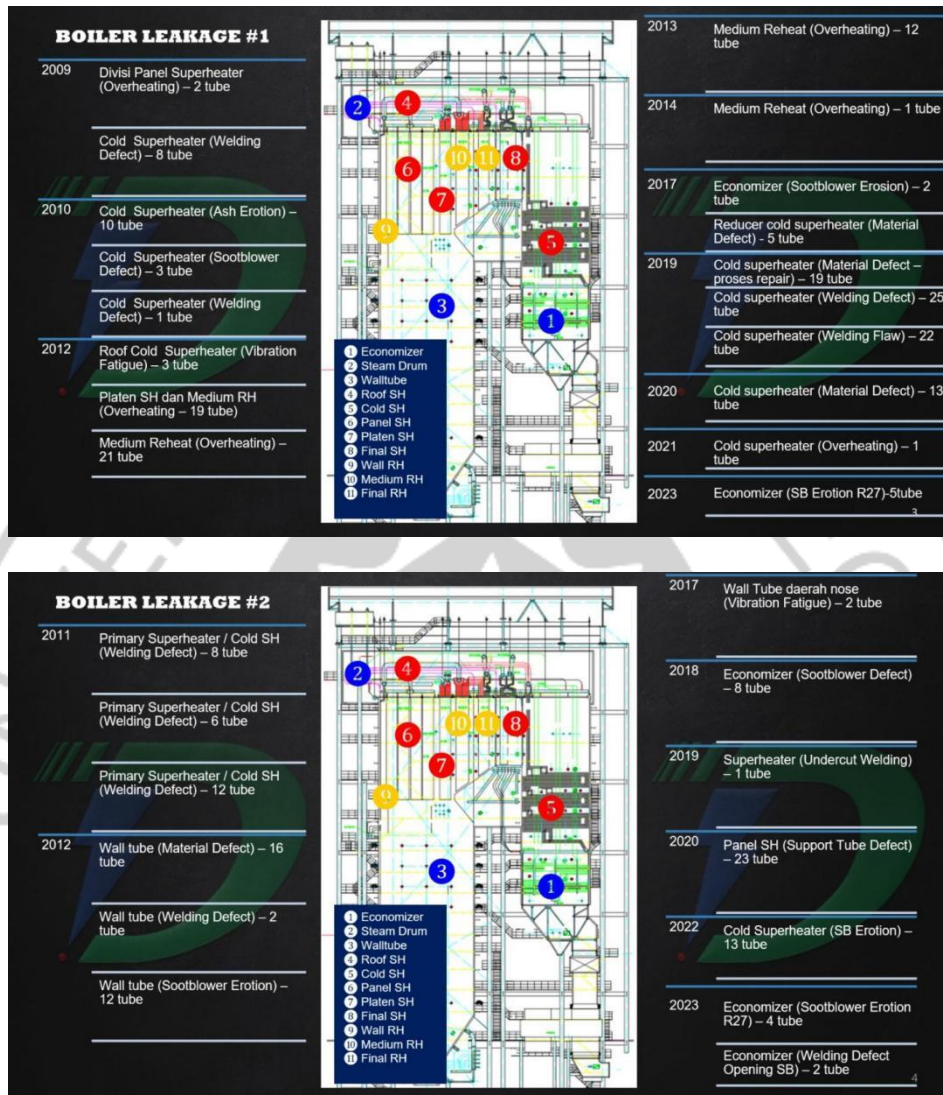
Gambar 1.4. Jenis biomassa yang digunakan dalam *co-firing* (Triani, dkk., 2022)

Korosi pada sisi api *tube superheater* umumnya lebih parah dibandingkan korosi sisi uap yang terjadi dalam sistem pembakaran *boiler* biomassa. Gas buang yang dihasilkan pada *boiler* biomassa relatif korosif karena mengandung konsentrasi gas dan partikel alkali, sulfur dan klorin yang relatif tinggi. *Tube superheater* mengalami tingkat korosi yang lebih tinggi pada suhu yang jauh lebih rendah dibandingkan *boiler* berbahan bakar batubara. Hal ini menyebabkan operator *boiler* berbahan bakar biomassa untuk menjaga kondisi uap jauh di bawah kondisi *boiler* yang menggunakan bahan bakar batubara. Laboratorium Energi Terbarukan Nasional telah melakukan survei awal mengenai sejauh mana sifat endapan alkali korosif yang terbentuk dalam *boiler* biomassa. Suhu *melting* partikel yang rendah terbawa bersama gas buang (misalnya logam alkali klorida dan sulfat) dan gas korosif yang dilepaskan oleh proses pembakaran (misalnya HCl dan Cl<sub>2</sub>) tidak hanya menyebabkan korosi, tetapi juga juga membentuk endapan yang membatasi laju perpindahan panas ke uap di dalam *tube* (Sharp, 2010).

*Superheater tube* biasanya terletak di zona terpanas pembangkit uap. Uap dengan tekanan tinggi dan suhu yang tinggi dalam *superheater tube*. *Tube* ini akan terkena panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Secara umum, bahan bakar yang digunakan dalam pembakaran ini relatif murah dan sering terkontaminasi dengan partikel-partikel korosif. Oleh karena itu, *superheater tube* paling rentan terhadap kegagalan *creep* pada temperatur tinggi serta kegagalan akibat korosi. Meskipun bahan *superheater tube* lebih unggul dari *tube-tube boiler* lainnya, kegagalan *superheater tube* paling sering terjadi. Untuk mencegah kegagalan yang menyebabkan penghentian sementara pembangkit listrik, maka *assessment tube boiler* perlu dilakukan sesuai dengan *preventive maintenance* pembangkit listrik. *Assesment boiler* seperti analisa *creep* sangat sulit untuk dilakukan dan membutuhkan waktu yang cukup lama serta biaya yang tinggi. *Assesment* pada sisa umur *tube boiler*, menggunakan informasi terkait penggantian *tube boiler*, dapat dengan mudah dilakukan. *Assesment* pada penurunan ketebalan *tube* juga dapat dilakukan dengan mempertimbangkan nilai laju penipisan boiler untuk menentukan sisa umur *tube boiler superheater* (Ayudhya, dkk., 2015)

## 1.2. Perumusan Masalah

Uap *superheater* pada *boiler* subkritis dan superkritis digunakan untuk meningkatkan efisiensi pembangkitan listrik pada pembangkit listrik tenaga uap. Perhitungan dan pengujian *superheater* pada ketel uap mendapat perhatian yang cukup besar. Ketertarikan pada *superheater* adalah karena tingginya suhu *tube superheater* dan tingkat kegagalannya yang tinggi. Lebih dari 40% penghentian darurat *boiler* disebabkan oleh kegagalan tabung *superheater*. Pengotoran abu tabung *superheater* menyebabkan kesulitan yang parah dalam pengoperasian ketel uap. Sebagai tambahan secara signifikan mengurangi laju aliran panas yang dipertukarkan antara gas buang dan uap, abu endapan menyebabkan korosi pada tabung *superheater*. Karena alasan ini, banyak artikel saat ini membahas perhitungan hidrolis, aerodinamis, termal, dan kekuatan *tube superheater*. Contoh kegagalan steam *superheater* dan penyebabnya dibahas secara luas oleh French (1993). Pronobis (2020) merinci proses erosi dan pengotoran abu pada tabung *superheater*. Buku (Pronobis, M., 2020) berisi data eksperimen yang kaya tentang erosi abu tabung *superheater* dari pengujian yang dilakukan pada fasilitas dan stand laboratorium yang ada.



Gambar 1.5. Data kerusakan boiler pada boiler unit 1 dan 2 PLTU Banten 2 Labuan (DOTA, *Digitalitation Online Tube Boiler Analysis*)

Saat RUPTL 2019-2028 disusun, belum ada rencana pengembangan komersial biomassa *co-firing* untuk pembangkit listrik tenaga batubara. Perkembangan biomassa *co-firing* mulai mendapat perhatian serius pada tahun 2019 (Mulyana, 2020). Uji coba *co-firing* biomassa pertama dilakukan di PLTU Jeranjang, Nusa Barat Tenggara, pada bulan Februari 2019 dengan bahan baku biomassa dari *refused derived fuel* (RDF) dalam bentuk pelet. Pelet RDF berasal dari program pengelolaan limbah domestik dari tempat pembuangan sampah di Klungkung, Bali. Persentase pelet RDF yang digunakan mencapai 5% dari bahan bakar PLTU batubara persyaratan. Hasil

pengujian menunjukkan sebagian besar parameter pengoperasian berada dalam batas aman dan emisi gas juga dalam batas normal (Husaini, 2019).

Hingga akhir tahun 2020, PLN telah melakukan uji coba *co-firing* biomassa di 29 pembangkit listrik tenaga batubara yang berlokasi di Kalimantan hingga Jawa. Dari 29 unit pembangkit yang diuji, enam sudah beroperasi komersial, yaitu Paiton, Pacitan, Suralaya di Jawa; Jeranjang di Nusa Tenggara Barat; dan Ketapang dan Sanggau di Kalimantan Barat. Pada awal tahun 2021, uji coba *co-firing* biomassa telah meningkat menjadi 32 pembangkit listrik tenaga batubara unit (Kencana, 2021). Secara keseluruhan, terdapat 114 unit PLTU batubara milik PLN yang berpotensi pembakaran bersama biomassa. Pembangkit listrik tenaga batubara tersebut tersebar di 52 lokasi dengan total kapasitas 18,1 GW, diperkirakan membutuhkan sekitar 9 juta ton biomassa per tahun (Adhiguna, 2021). Jenis *boiler* yang digunakan meliputi 45 unit pulverized coal (PC) *boiler* berkapasitas 15,5 GW, 39 unit sirkulasi *boiler fluidized bed* (CFB) (2,4 GW), dan sisanya 30 unit *stoker boiler*. Rasio *co-firing* maksimum adalah 5% untuk *boiler* PC dan *boiler* CFB, sedangkan untuk *boiler stoker* adalah 30%.

*Boiler* sebagai salah satu dari tiga peralatan utama pembangkit listrik termal, keamanan dan stabilitas *boiler* sangatlah penting faktor produksi pembangkit listrik. Dinding air, tabung *superheater*, *reheater* dan *economizer* adalah secara kolektif disebut sebagai "4 Tube" ketel uap. Kecelakaan di *boiler* menyumbang sekitar 2/3 dari kecelakaan *boiler* domestik. Ketidakstabilan bahan bakar yang digunakan dalam pembangkit listrik biomassa, khususnya pembakaran *boiler* yang stabil menjadi rumit karena adanya logam alkali dan klorin, yang menyebabkan pengendapan abu, terak dan korosi (Fang, dkk., 2022). Oleh karena itu, sangat penting untuk mempelajari proses internal, hukum dan mekanisme korosi "Empat Tabung" pada *boiler* biomassa.

Bahan bakar Biomasa sawdust dan batubara dicampur ditempat penampungan batubara. Setelah mendapatkan campuran bahan bakar yang seragam, maka campuran bahan bakar dimasukan kedalam pengumpan batubara untuk dialirkan ke coal bunker kemudian masuk ke mill. Sebelum memasuki boiler, campuran bahan bakar dilakukan proses penggerusan didalam mill pulverized untuk mendapatkan ukuran fineness sebesar 200 mesh dengan presentase lebih dari 70%. Pemeriksaan sampel fineness dapat diambil pada pipa outlet mill (Tanbar, dkk., 2021).

*Nett plant heat rate* (NPHR) adalah salah satu parameter pembangkit listrik yang digunakan untuk mengetahui berapa besar penggunaan bahan bakar dengan satuan Kcal untuk menghasilkan listrik sebesar 1 KWh. Efisiensi suatu pembangkit listrik bisa dikatakan tinggi jika nilai NPHR nya semakin rendah (Kumar, dkk., 2018).

*Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (*output*). Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh dan jika menggunakan *indicated power* maka disebut *Indicated Specific Fuel Consumption* (ISFC). Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar (Syahputera, dkk., 2019).

Berdasarkan pemaparan data-data diatas maka perlu dilakukannya analisa lebih lanjut yaitu:

- a. Berapakah perbandingan laju penipisan *tube boiler* terhadap sebelum dan sesudah pemakaian sekam padi saat *co-firing* di PLTU Banten 2 Labuan?
- b. Berapakah perbandingan sisa umur *tube boiler* sebelum dan sesudah pemakaian sekam padi saat *co-firing* di PLTU Banten 2 Labuan?
- c. Berapakah *nett plant heat rate* sebelum dan sesudah dilaksanakannya *co-firing* di PLTU Banten 2 Labuan?
- d. Berapakah *specific fuel consumption* sebelum dan sesudah dilaksanakannya *co-firing* di PLTU Banten 2 Labuan?

Adapun batasan-batasan dalam menjawab permasalahan di atas adalah sebagai berikut:

- a. Analisa dilakukan menggunakan data aktual pada laporan pembangkit unit sebelum dan sesudah dijalankannya program *co-firing*
- b. Dalam proses perhitungan semua sistem dalam kondisi tunak (*steady state*)
- c. Analisa dilakukan pada area *tube boiler cold/primary superheat* pada area A10 Elbow, C9 Elbow, C9 Straight dan F10 Elbow.

- d. Analisa dilakukan dengan mengabaikan faktor pola operasi pembangkit yang berubah-ubah

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pemaparan di atas mengenai latar belakang serta rumusan masalah yang ada, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisa laju penipisan pada tube boiler cold/primary superheater sebelum dan sesudah dijalankannya program co-firing di PLTU Banten 2 Labuan
2. Menganalisa sisa umur pada tube boiler cold/primary superheater sebelum dan sesudah dijalankannya program co-firing di PLTU Banten 2 Labuan
3. Menganalisa pengaruh sebelum dan sesudah dijalankannya program co-firing terhadap *nett plant heat rate* di PLTU Banten 2 Labuan
4. Menganalisa pengaruh sebelum dan sesudah dijalankannya program co-firing terhadap *specific fuel consumption* dan biaya produksi listrik di PLTU Banten 2 Labuan

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dan kontribusi yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendukung percepatan bauran energi dengan adanya pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar pada PLTU Banten 2 Labuan
2. Mengetahui laju penipisan pipa boiler *primary/cold superheater* sehingga didapatkan skema pemeliharaan yang sesuai dengan pembangkit listrik
3. Mengetahui sisa umur pada pipa boiler *primary/cold superheater* untuk memudahkan pemeliharaan *tube boiler*.
4. Mengetahui kinerja PLTU Banten 2 Labuan dalam program co-firing menggunakan bahan bakar biomassa *sawdust*.

## 1.5. Originalitas Penelitian

Tabel 1.1. Ringkasan Penelitian terdahulu

| No | Peneliti              | Judul Penelitian                                                                                           | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                             | Gap Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Fang, dkk.,<br>(2022) | <i>Cause Analysis of Economizer Tube Leakage in a Biomass Power Plant</i>                                  | Menganalisa kerusakan <i>tube economizer</i> pada PLTU Biomassa yang signifikan terjadi akibat korosi dan erosi karena terdapat <i>alkali metal</i> dan <i>chlorine</i> yang membuat terjadinya <i>ash deposition</i> , <i>slagging</i> dan <i>corrosion</i> | Penelitian yang dilakukan Fang, dkk.. pada PLTU Biomassa sedangkan penelitian ini penulis melakukan analisa pada <i>tube boiler cold/primary superheat</i> PLTU Batubara yang menjalankan <i>co-firing</i> biomassa <i>sawdust</i>                                                                                       |
| 2. | Dwiaji,<br>(2023)     | <i>Analisis Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan Boiler PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ</i> | Analisa dilakukan pada peralatan boiler seperti MSM, APH serta FAN boiler terhadap <i>co-firing</i> yang dilakukan. Pada pelaksanaan <i>co-firing</i> tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja peralatan-peralatan boiler                    | Penelitian dilakukan pada PLTU yang menjalankan <i>co-firing</i> yang berfokus pada analisa kinerja peralatan-peralatan yang ada pada <i>boiler system</i> sedangkan pada penelitian ini berfokus pada analisa laju penipisan boiler serta efisiensi pemakaian bahan bakar boiler (NPHR, <i>total coal flow</i> dan SFC) |