

BAB I

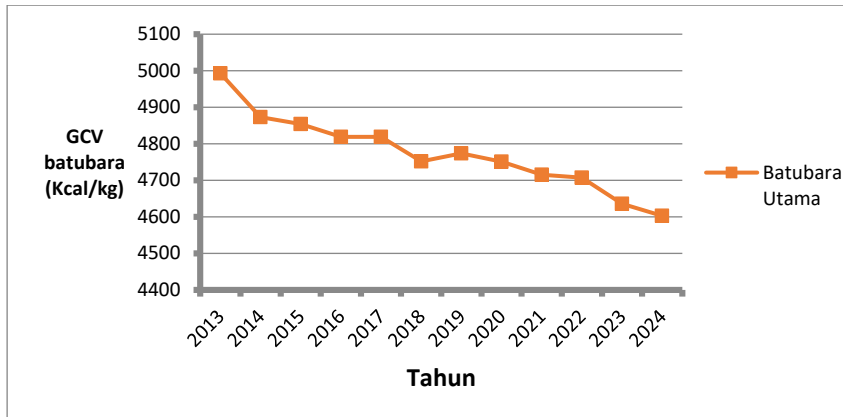
PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

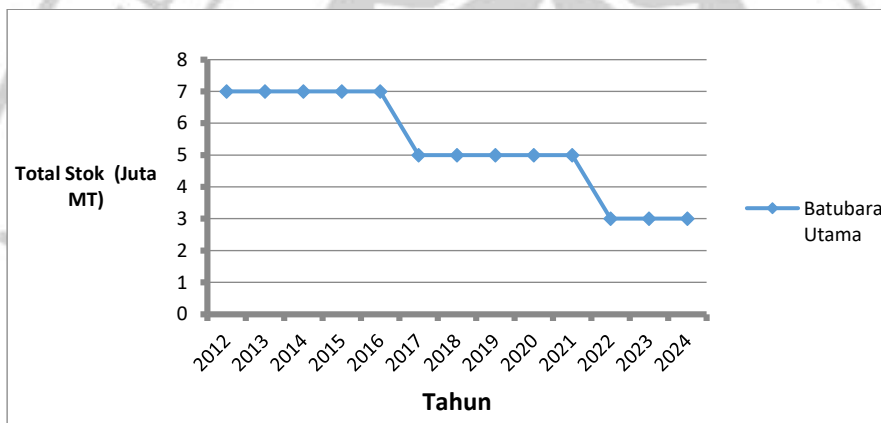
Pertumbuhan ekonomi yang tinggi di Indonesia menyebabkan peningkatan perkembangan industri dan perbaikan standard hidup warganya sehingga rata-rata konsumsi listrik per kapita di tahun 2023 sebesar 1285 kWh/kapita mengalami peningkatan dari tahun 2022 sebesar 1173 kWh/kapita. Dan pada tahun 2024 ini ditargetkan sekitar 1408 kWh/kapita atau tumbuh 9.57 % (Cahyono, 2024).

Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, dimana persentasi bauran energi tahun 2022 Pembangkit Listrik menggunakan sumber energi batubara masih dominan sebesar 62.5% (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2023; Statistik Ketenagalistrikan, 2022). Pada tahun 2023 Indonesia menjadi produsen batubara terbesar ke tiga di dunia, dengan persentasi 8.3 % dari total produksi global dunia (International Energy Agency (IEA), 2024). Pada tahun 2023 sebagian besar batubara Indonesia diekspor dengan persentasi sekitar 67% didominasi batubara peringkat tinggi dan menengah dan sisanya untuk kebutuhan domestik sebesar 33% (Siaran Pers Kementerian ESDM, 2024). Berdasarkan data cadangan yang diterbitkan Badan Geologi, Kementerian ESDM per Juli 2020, yang diverifikasi detail nilai kalorinya, total cadangan batubara Indonesia sekitar 36 miliar ton. Dari total cadangan tersebut, batubara yang sesuai dengan spesifikasi PLTU hanya sekitar 7,87 miliar ton. Dengan asumsi laju produksi batubara di Indonesia sekitar 550 juta ton per tahun, maka umur cadangan batubara yang sesuai spesifikasi PLTU hanya dapat bertahan sekitar 14 tahun (Dir. Jend. Mineral & Batubara, 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Superkritikal XYZ dengan kapasitas 865 GMW saat ini telah beroperasi selama 13 tahun. Saat ini kualitas batubara yang sesuai desain sebagai batubara utama kualitas kalori (GCV) nya semakin turun seperti terlihat pada Gambar 1.1 dan jumlah kontrak pembeliannya juga semakin turun dari tahun ke tahun dari total kebutuhan pengoperasian 7 juta ton per tahun, saat ini kontrak pembelian hanya sekitar 3 juta ton per tahun sehingga tidak cukup untuk kebutuhan pengoperasian selama satu tahun (*Fuel & Ash Report* PLTU Superkritikal XYZ, 2024), seperti terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 1 Nilai Kalor (GCV) Batubara Utama (CMHV) PLTU Superkritikal XYZ (*Fuel & Ash Report PLTU Superkritikal XYZ, 2024*)



Gambar 1. 2 Data Kontrak Stok Pembelian Batubara Utama PLTU Superkritikal XYZ (*Fuel & Ash Report PLTU Superkritikal XYZ, 2024*)

Penggunaan batubara utama dengan nilai kalori yang semakin rendah yang tidak sesuai dengan desain awal dari boiler ini berdampak kepada turunnya performance unit yaitu turunnya efisiensi boiler dan meningkatnya beban listrik internal yang disebabkan 6 pulverizer harus *in service* pada saat unit load tinggi karena 5 pulverizer *in service* sudah tidak mencukupi untuk kebutuhan beban puncak (maksimum) dikarenakan semakin banyak konsumsi batu bara yang dibutuhkan untuk mencapai beban maksimum sehingga melampaui kemampuan 5 pulverizer yang sedang beroperasi. Selain itu turunnya *availability* dari pembangkit (unit *derating*) pada saat tidak mampu memenuhi permintaan PLN untuk memproduksi beban listrik maksimum terutama jika pulverizer yang ke 6 sedang mengalami kerusakan atau sedang di isolasi untuk dilakukan pemeliharaan *preventif* dan tidak dapat dioperasikan sehingga hanya ada 5 dari 6 pulverizer yang tersedia.

Untuk memenuhi jumlah stok batubara untuk pengoperasian PLTU selama satu tahun dan untuk memperoleh karakteristik bahan bakar batubara yang sesuai dengan desain boiler pada suatu pembangkit listrik salah satu strategi yang dapat digunakan adalah pencampuran batubara antara batubara utama dengan batubara pencampur. Pencampuran batubara dapat berdampak secara signifikan terhadap meningkatnya performance PLTU dan turunnya biaya pembangkitan listrik (Sloss, 2014). Tetapi problem pencampuran batubara dari penggunaan batubara peringkat rendah dan menengah ini adalah berpotensi terjadinya *slagging* dan *fouling* di dalam boiler. Secara umum potensi untuk terjadinya *slagging* dan *fouling* dapat diprediksi dari komposisi abu batubara.

Sebuah studi *coal* oleh Dai et al., 2015, Prismantoko dkk., 2024 dan Ali dkk., 2022 menunjukkan semakin tinggi kadar silika dan alumina dalam abu mempunyai kemungkinan pengendapan abu menjadi rendah dikarenakan temperatur leburnya semakin tinggi, sementara batubara sub bituminous mempunyai kandungan alkali yang tinggi mengakibatkan temperatur lebur nya semakin rendah dan abu menjadi mudah menempel di pipa boiler yang mengakibatkan *slagging* dan *fouling*. Studi dari *coal blending* (pencampuran batubara) kemungkinan potensi *slagging* dan *fouling* semakin rendah jika batubara dengan kandungan silika rendah atau alkali yang tinggi dicampur dengan batubara yang mempunyai kandungan silika dan alumina yang tinggi. Penelitian ini juga menjelaskan mineral atau senyawa Na_2O (sodium), Fe_2O_3 (besi), K_2O (potassium) meningkatkan resiko *slagging* dan *fouling* karena *ash fusion* temperaturnya rendah, sedangkan mineral SiO_2 (silika), Al_2O_3 (alumina), MgO (magnesium) menurunkan resiko *slagging* dan *fouling* karena nilai temperatur lebur abu nya tinggi. Pengujian oleh Stultz dan Kitto, 2005 menunjukkan semakin tinggi kadar silika dan alumina (unsur asam dalam batubara) $> 60\%$ atau rasio basa - asam $< 0,3$ menyebabkan temperatur yang dibutuhkan semakin tinggi untuk mencapai kekentalan abu 250 poise atau pada kekentalan yang lebih rendah. sehingga kemungkinan terjadinya *slagging* dan *fouling* menjadi rendah, pada kekentalan 250 poise atau di bawahnya, abu mulai cair dan plastis, mudah menempel dan lengket di pipa boiler dan sulit dihilangkan oleh soot blower. Studi ini juga menjelaskan bahwa semakin tinggi viskositas abu yang berarti temperatur melting semakin tinggi terutama jika abu mempunyai kadar salah satu silika dan alumina yang tinggi atau kadar kalsium dan magnesium yang tinggi. Sedangkan suhu leleh yang lebih rendah dihasilkan dari campuran unsur-unsur ini dalam proporsi menengah (seimbang). Namun dalam semua kombinasi unsur besi, natrium, dan potasium berperan sebagai agen fluxs yang menurunkan titik leleh abu dan meningkatkan potensi terjadinya *slagging*. Studi oleh Bhatt, 2006 menunjukkan

kadar abu yang tinggi dalam batubara melebihi desain boiler dapat menurunkan efisiensi pembangkit listrik, meningkatkan biaya pemeliharaan, serta menyebabkan dampak lingkungan yang lebih besar. Oleh karena itu memerlukan strategi *blending batubara* untuk memperoleh kadar abu yang rendah tidak melebihi desain boiler. Menurut Feng et al. desain Economizer tipe *finned and tube* akan memperparah terjadinya *fouling* di boiler dan Menurut Lachman et al. *fouling* dipengaruhi oleh tingginya kadar Natrium dan Potasium di dalam abu. Sehingga *coal blending* di PLTU Superkritikal XYZ harus memastikan potensi *fouling* serendah mungkin semenjak desain economizer menggunakan tipe *finned and tube*. Pada penelitian sebelumnya, Rasgianti dkk., 2021 melakukan penelitian di PLTU sub kritikal Pacitan dengan melakukan pencampuran 2 tipe batubara yaitu tipe batubara peringkat rendah (LRC) dan peringkat menengah (MRC) dengan rasio pencampuran batubara tertentu, kemudian dilakukan perhitungan unit plant heat rate (NPHR) pada 4 tipe pembebanan dengan max. pembebanan 300 MW didapatkan hasil performance unit meningkat dengan menambahkan persentase MRC ke dalam campuran batubara. Rasio campuran batubara 60% LRC dan 40% MRC performance unit lebih bagus dibandingkan 75% LRC dan 25% MRC tetapi masih lebih rendah dibandingkan data performance unit pada saat unit komisioning.

Hariana dkk., melakukan analisis pencampuran batu bara terhadap dua tipe batu bara low dan medium rank coal untuk mengetahui pengaruhnya terhadap boiler *slagging*, *fouling* dan biaya pembelian batubara, tapi tidak dilakukan analisis dampaknya terhadap environmental dan efisiensi unit. Dan dari 42 rasio pencampuran batubara didapatkan 12 rasio pencampuran batubara yang memenuhi semua aspek kriteria di atas dan dari 12 rasio pencampuran batubara tersebut dipilih rasio pencampuran batubara dengan biaya pembelian yang paling rendah. (Hariana dkk., 2021)

Kandungan sulfur dan abu yang tinggi berdampak kepada lingkungan (*environment*) yaitu naiknya kandungan sulfur di emisi gas buang dan turunnya PH air laut yang digunakan untuk menyerap emisi SO₂ dan berpotensi melanggar ketentuan regulasi lingkungan jika PH air laut yang dikeluarkan di saluran pembuangan < 6 . Oleh karena itu perlu dilakukan pencampuran batubara antara yang mempunyai kandungan sulfur dan abu tinggi dengan batubara yang kandungan sulfur dan abu nya rendah supaya dampak terhadap lingkungan (*environment*) dan *emisi* gas buang masih memenuhi regulasi peraturan pemerintah dari Kementrian Lingkungan Hidup (KLH). Total konsumsi bahan bakar yang tinggi disebabkan oleh nilai kalori (HHV) batubara yang rendah menyebabkan emisi CO₂ meningkat, sehingga perlu pencampuran batubara untuk mendapatkan nilai kalori batubara yang lebih tinggi. Sehingga untuk mendapatkan *coal blending* yang tepat

perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui dampak dari *coal blending* tersebut. Tujuan dari penelitian ini untuk mengevaluasi karakteristik masing-masing batubara yang akan di campur meliputi analisis proksimat, analisis ultimate, analisis abu, mengevaluasi masing-masing campuran batubara dan potensinya terhadap *fouling* dan *slagging* di boiler. Dan melakukan pengujian pembakaran secara langsung di boiler untuk mengetahui dampak pencampuran batubara terhadap *boiler cleanliness*, efisiensi pembangkit secara keseluruhan, environmental yang meliputi: emisi gas buang (SO_2 dan NO_x) dan PH air laut di kanal pembuangan, serta potensi penghematan biaya dari biaya pembelian batubara dan penurunan pajak karbon.

Tipe batubara yang dipakai adalah tipe batubara yang terdapat di PLTU superkritikal XYZ, terdapat tiga jenis batubara terdiri dari satu jenis batubara utama yaitu: batubara CMHV dan dua jenis batubara sebagai batubara pencampur yaitu batubara CHSF dan CHHV. Karakteristik ke tiga jenis batubara sebagai berikut:

- CMHV: sebagai batubara utama mempunyai GCV > 4500 dan < 5000 kCal/kg, kadar abu, sulfur dan natrium rendah.
- CHHV: sebagai batubara pencampur mempunyai GCV > 5000 kCal/kg, kadar abu dan natrium (Na_2O) tinggi sebagai penyebab utama *fouling*.
- CHSF: sebagai batubara pencampur, mempunyai GCV > 4500 dan < 5000 kCal/kg, mempunyai kadar abu dan sulfur tinggi berdampak pada *environment*, mempunyai kadar silika dan alumina tinggi berpengaruh menurunkan *slagging* dan *fouling*.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang ada sebagai berikut:

- Bagaimana potensi dampak terhadap *environment* (SO_2 , NO_x , PH air laut di kanal pembuangan) dari masing-masing rasio pencampuran batubara tersebut.
- Berapakah rasio pencampuran batubara yang terbaik terhadap performance unit dengan dilihat dampaknya terhadap *slagging*, *fouling*, *boiler cleanliness*.
- Bagaimana efisiensi boiler dan NPHR dari rasio pencampuran batubara tersebut.
- Apakah rasio pencampuran batubara tersebut mampu menjamin *availability* unit (kemampuan memenuhi permintaan PLN sampai dengan 100% kapasitas beban dengan hanya 5 dari 6 *pulverizer* yang *in service*)

- Berapa potensi penghematan biaya pencampuran batubara tersebut terhadap konsumsi batubara dan penurunan pajak karbon.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari studi ini untuk mendapatkan campuran batubara yang mampu mempertahankan performance PLTU superkritikal XYZ yang tidak hanya mempunyai dampak minimum terhadap *slagging*, *fouling* dan lingkungan tetapi juga mempunyai nilai efisiensi unit yang lebih tinggi sehingga availability unit terjaga (mampu memenuhi permintaan beban PLN sampai dengan 100% kapasitas beban) meskipun hanya ada 5 dari 6 pulverizer yang tersedia. Dan mampu mengurangi biaya dari konsumsi bahan bakar dan penurunan pajak karbon.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai sarana untuk menerapkan keilmuan yang telah didapatkan selama berkuliah di Magister Energi – Universitas Diponegoro yang berguna bagi perusahaan dimana penulis bekerja untuk mempertahankan efisiensi boiler dan performa pembangkit ditengah harga batubara yang semakin tinggi.
2. Mendapatkan campuran batubara yang tepat yang menghasilkan efisiensi unit yang tinggi dan menjamin *availability* unit dan dampaknya minimum terhadap, *slagging*, *fouling*, *cleanliness* di boiler dan dampaknya minimum terhadap *environmental*.

1.5. Originalitas Penelitian

Penelitian ini dilakukan dan dibuat oleh penulis dengan memperoleh sumber referensi dari buku maupun artikel jurnal ilmiah serta data yang didapatkan dari pengujian dan pengamatan. Kutipan yang diambil dari karya orang lain telah dinyatakan sumbernya sesuai dengan kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pencampuran beberapa jenis batubara telah banyak dilakukan. Adapun ringkasan penelitian sebelumnya dapat dilihat di Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Ringkasan Penelitian Sebelumnya

No	Peneliti/ Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analisis
----	--------------------	---------------------	------------------	--------------

1	Rasgianti dkk./ 2021	<i>The Performance of Pacitan Power Plant (Pulverized Boiler) toward the blending coal: an experimental</i>	Batubara yang digunakan adalah 2 campuran batubara di PLTU Pacitan. Dilakukan testing pembakaran di PLTU Pacitan kapasitas 300 MW dengan 4 skenario pembebanan. Diambil data dan dihitung Efisiensi boiler nya dengan metode heat loss dan dihitung Turbin Heat rate dan unit plant heat rate nya	Berbeda jenis dan jumlah batubara yang digunakan untuk campuran batubara, tidak menganalisis batubara kandungan sulphur dan silika tinggi. Kapasitas PLTU lebih kecil maksimum pembebanan 300 MW. Tidak menganalisis pengaruh campuran batubara terhadap prediksi timbulnya <i>slagging, fouling</i> di boiler, dan <i>boiler cleanliness</i> dan pengaruhnya terhadap lingkungan (environment), tidak dianalisis dari biaya konsumsi batubara dan pajak karbon.
2	Hendri dkk./2020	<i>Characteristic of Medium – low rank coal blending on performance and efficiency Steam Power Plant</i>	Data Batubara diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan 2 tipe batu bara: peringat rendah dan menengah. Melihat	Berbeda jenis dan jumlah batubara yang digunakan untuk campuran batubara, tidak menganalisis batubara kandungan sulphur dan silika tinggi.

			pengaruhnya terhadap Efisiensi boiler, <i>specific fuel consumption</i> dan <i>Environmental</i>. Hasil penelitian: batubara peringkat menengah berperan menaikkan efisiensi boiler dan menurunkan SFC	Tidak menganalisis pengaruh campuran batubara terhadap prediksi timbulnya <i>slagging, fouling, boiler cleanliness</i> dan <i>unit availability</i>. Analisis environmental tidak menganalisis dampaknya terhadap PH air di kanal pembuangan. Tidak dianalisis dari biaya konsumsi batubara dan pajak karbon
3	Hui Li, et al/2022	<i>Effect of Coal Blending on Ash Fusibility and Slurryability of Xinjiang Low-Rank Coal</i>	Effect coal blending terhadap ash <i>fusibility</i> dan <i>slurryability</i>	Tidak menganalisis effect coal blending terhadap prediksi <i>slagging, fouling, environmental</i>, Efisiensi boiler, dan unit availability
4	Hariana dkk./2021	<i>Investigation on Slagging Fouling Potential in Coal Blending for PLTU with PC Boiler with Drop tube Furnace Method</i>	fokus pada aspek <i>slagging fouling</i> yang dihasilkan dari hasil blending dari dua batubara yang berbeda dari segi karakter dan spesifikasi. Evaluasi dilakukan dengan metode	Hanya membahas pengaruh campuran batubara terhadap prediksi timbulnya <i>slagging</i> dan <i>fouling</i> di boiler. Tidak membahas pengaruh campuran batubara terhadap emisi gas buang, efisiensi boiler, NPHR, dan

			mengambil sampel dan diuji untuk melakukan prediksi berdasarkan AAS dan AFT, melakukan pembakaran di <i>Drop Tube Furnace</i> (DTF), dan melakukan analisis SEM dan XRD	availability unit. Prediksi <i>slagging, fouling</i> dengan metode eksperimen di <i>Drop Tube Furnace</i> (DTF). Analisis <i>slagging dan fouling</i> tidak menggunakan perhitungan formula indeks kimia batubara. Tidak menganalisis efeknya terhadap <i>boiler cleanliness</i>
5	Hariana dkk./2021	<i>Coal blending selection for CFPP fuel with slagging fouling prediction and procurement cost calculation</i>	Analisis <i>slagging, fouling</i>, dengan menghitung indeks kimia abu campuran batubara. Kemudian dilakukan analisis biaya pembelian campuran batubara tersebut	Tidak menganalisis dari sisi dampaknya terhadap environmental, unit availability dan efisiensi unit. Tidak dilakukan <i>direct firing test</i> di boiler. Tidak menganalisis efeknya terhadap <i>boiler cleanliness</i>