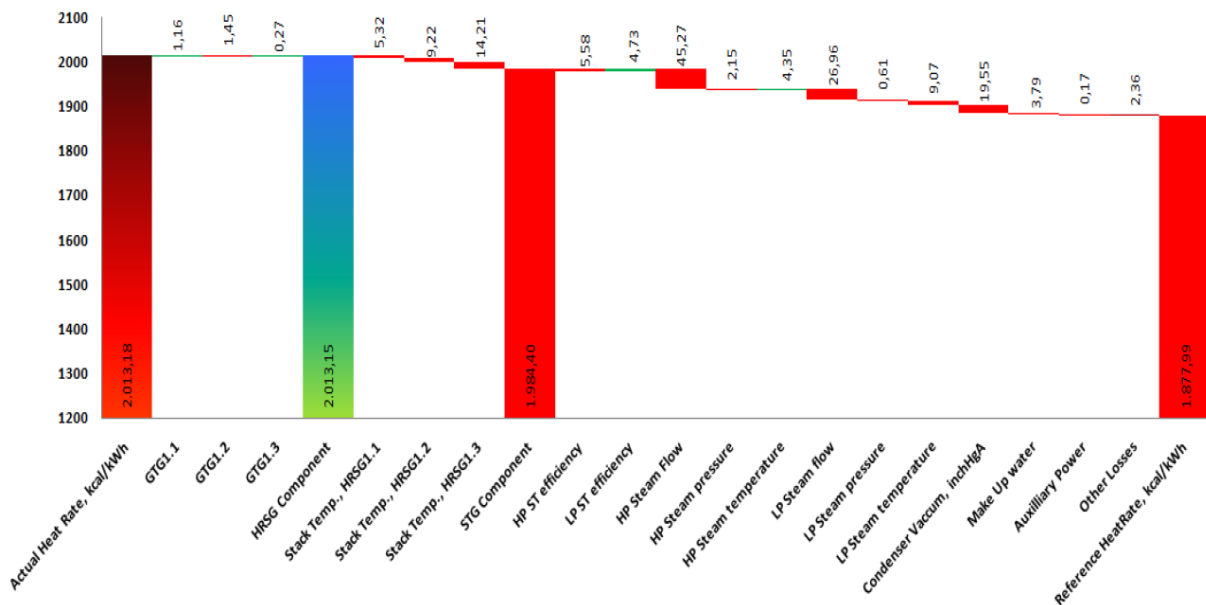


BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara berkapasitas 300 MW yang berlokasi di Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten, merupakan salah satu pembangkit strategis dalam sistem kelistrikan Jawa–Bali. PLTU ini menggunakan boiler tipe *subcritical, natural circulation, drum type, single furnace, tangential firing*, dengan batubara sebagai bahan bakar utama (PT. PLN Pangkalan Susu 2019). Dalam operasinya, pembangkit dituntut untuk menjaga keandalan serta efisiensi agar mampu menghasilkan energi listrik secara optimal dengan konsumsi bahan bakar yang minimal (Hwang dkk. 2018).



Gambar 1. 1 Kerugian NPHR pada PLTGU (Utomo Kukuh Widodo 2018)

Efisiensi termal pembangkit listrik tenaga uap secara umum dievaluasi menggunakan parameter *Net Plant Heat Rate* (NPHR), yang menyatakan jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik bersih. Nilai NPHR yang tinggi menunjukkan efisiensi pembangkit yang rendah, yang berdampak langsung pada peningkatan konsumsi bahan bakar, kenaikan biaya pembangkitan, serta peningkatan emisi gas buang ke lingkungan. Oleh

karena itu, pengendalian dan penurunan nilai NPHR menjadi salah satu fokus utama dalam upaya peningkatan kinerja PLTU (Utomo Kukuh Widodo 2018).

Pada kondisi operasi aktual, nilai NPHR dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, antara lain karakteristik bahan bakar, kualitas proses pembakaran, performa boiler, kondisi peralatan bantu, serta parameter operasi seperti temperatur gas buang, excess air, dan distribusi panas di dalam *furnace*. Faktor-faktor tersebut secara akumulatif membentuk kerugian NPHR (NPHR losses) yang dapat dianalisis berdasarkan kontribusi masing-masing parameter terhadap perubahan nilai NPHR pembangkit (Cengel 2002; Kreith dan Manglik 2017).

Analisis kerugian NPHR umumnya disajikan dalam bentuk diagram kontribusi, yang menggambarkan urutan faktor penyumbang kerugian dari yang paling dominan hingga yang paling kecil, sekaligus menunjukkan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap penurunan NPHR. Melalui pendekatan ini, dapat diidentifikasi akar permasalahan yang menyebabkan penurunan efisiensi pembangkit, sehingga rekomendasi perbaikan dapat dirumuskan secara lebih terarah dan efektif (Utama dan Ruhyat 2024).

Seiring dengan meningkatnya tuntutan global terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, sektor ketenagalistrikan di Indonesia juga diarahkan untuk melakukan transisi energi secara bertahap. Pemerintah Indonesia melalui komitmen internasional serta kebijakan nasional mendorong pengurangan emisi dari PLTU batubara, salah satunya melalui penerapan teknologi *co-firing* sebagai solusi transisi yang relatif cepat tanpa memerlukan perubahan besar pada desain pembangkit yang sudah ada (Adi Saputra dkk. 2024).

Salah satu bahan bakar alternatif yang mulai dikaji dalam skema *co-firing* adalah amonia (NH_3). Amonia memiliki keunggulan utama berupa tidak adanya kandungan karbon, sehingga pembakarannya tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) secara langsung. Namun demikian, karakteristik pembakaran amonia berbeda dengan batubara, terutama dari sisi temperatur nyala, laju reaksi pembakaran, serta potensi pembentukan emisi nitrogen oksida (NO_x). Perbedaan karakteristik ini berpotensi mempengaruhi proses pembakaran di dalam boiler, distribusi panas, serta efisiensi termal pembangkit (Adi Saputra dkk. 2024; Zhang dkk. 2020).

Perubahan karakteristik pembakaran akibat penerapan *co-firing* amonia diperkirakan akan berdampak langsung terhadap nilai NPHR pembangkit. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang sistematis untuk menganalisis bagaimana penerapan *co-firing* amonia dengan variasi persentase tertentu mempengaruhi efisiensi pembakaran, performa boiler, serta kontribusinya terhadap

kerugian NPHR. Dalam penelitian ini, kajian difokuskan pada penerapan *co-firing* amonia dengan variasi 1%, 2%, dan 3% terhadap batubara pada PLTU batubara berkapasitas 300 MW dengan boiler tipe subcritical tangential firing yang berlokasi di Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten.

1.2. Perumusan Masalah

Penerapan *co-firing* amonia pada PLTU batubara berpotensi mengubah karakteristik pembakaran dan performa boiler, yang selanjutnya dapat mempengaruhi nilai NPHR dan efisiensi pembangkit secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi teknis yang komprehensif untuk memastikan bahwa penerapan *co-firing* amonia tidak menimbulkan penurunan kinerja pembangkit. Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini meliputi:

1. Faktor-faktor apa saja yang berkontribusi terhadap kerugian NPHR pada kondisi operasi eksisting PLTU batubara.
2. Bagaimana pengaruh penerapan *co-firing* amonia terhadap karakteristik pembakaran di dalam boiler.
3. Bagaimana pengaruh variasi persentase *co-firing* amonia (1%, 2%, dan 3%) terhadap nilai NPHR dan efisiensi termal pembangkit.
4. Bagaimana dampak penerapan *co-firing* amonia terhadap emisi gas buang, khususnya CO₂ dan NO_x.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada PLTU batubara berkapasitas 300 MW dengan boiler tipe *subcritical tangential firing*.
2. Variasi *co-firing* amonia yang dianalisis adalah sebesar 1%, 2%, dan 3% dari total energi bahan bakar, dengan sisa energi berasal dari batubara.
3. Analisis difokuskan pada pengaruh *co-firing* amonia terhadap efisiensi pembakaran, performa boiler, dan nilai NPHR.
4. Parameter emisi yang dianalisis terbatas pada emisi CO₂ dan NO_x.
5. Aspek ekonomi dan modifikasi desain peralatan utama tidak dibahas secara mendalam.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kerugian NPHR pada PLTU batubara.
2. Menganalisis pengaruh *co-firing* amonia terhadap efisiensi pembakaran dan performa boiler.
3. Mengevaluasi perubahan nilai NPHR akibat variasi persentase *co-firing* amonia.
4. Menganalisis dampak penerapan *co-firing* amonia terhadap emisi CO₂ dan NO_x.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran teknis mengenai pengaruh *co-firing* amonia terhadap efisiensi dan performa PLTU batubara.
2. Menjadi referensi bagi pengelola pembangkit dalam penerapan *co-firing* amonia sebagai upaya pengurangan emisi.
3. Menjadi dasar teknis dalam perumusan strategi pengendalian dan penurunan NPHR.
4. Memberikan kontribusi ilmiah terkait penerapan bahan bakar rendah karbon pada boiler batubara.

1.6. Pembaharuan Penelitian

Tabel 2. 1 Gap Penelitian Sebelumnya

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Manurung, Teddy Dahlan, dkk. 2024	<i>Numerical Simulation of Co-Firing LRC and Ammonia in Pangkalan Susu 3 & 4 CoalFired Steam Power Plant (CFSP) Capacity 210 Megawatts</i>	- Penelitian dilakukan dengan cara simulasi numerik pembakaran Amonia dengan batubara tipe Low Rank Coal dengan bauran maksimal 5% - Simulasi dilakukan pada boiler berkapasitas 210MW	- Penelitian ini akan melakukan ujicoba langsung berdasarkan referensi yang telah ditulis dalam penelitian sebelumnya
2	Azaria Haykal Ahmad, dkk. 2024	<i>Numerical study on ammonia injection location of ammonia and low-rank coal cofiring in 1000 MWe ultra super critical carolina-type boiler</i>	- Penelitian dilakukan dengan cara simulasi numerik pembakaran amonia dengan batubara hingga mencapai bauran 60% - Simulasi dilakukan pada desain batubara tipe ultra supercritical boiler caroline boiler	- Ujicoba ammonia cofiring langsung dapat membandingkan hasil simulasi dan actual, serta membuktikan hasil penelitiannya
3	Wenzhen Zhang, dkk. 2024	<i>Industrial scale testing on the combustion and NO emission characteristics of ammonia cofiring in a 40 MW coal-fired boiler</i>	- Penelitian dilakukan dengan ujicoba langsung pada boiler batubara berkapasitas 40MW - Penelitian dilakukan dengan rasio cofiring hingga 25% terhadap batubara Medium Rank Coal dengan nilai kalori 4800 kcal/kg	- Amonia diinjeksi pada burner yang sama dengan batubara '- Batubara yang digunakan pada PLTU Labuan adalah tipe Medium Rank Coal dengan nilai kalori 4400 kcal/kg
4	Yaodong Da,	<i>Thermal Calculations for Co-Firing of Hydrogen/Ammonia and Coal in 660-MW Coal-Fired Boilers</i>	Penelitian dilakukan secara numeric (simulasi) yang berfokus pada pembakaran yang terjadi di ruang furnace dan dampaknya pada <i>Furnace Exit Gas Temperature (FEGT)</i>	- Pnelitian selanjutnya akan dilakukan perhitungan dan analysis impact terhadap performa boiler (NPHR dan Efisiensi pembangkit)
5	Yijie Zeng	<i>NH₃ co-firing strategy in 500 MW tangential utility boiler: Impact of blending methods</i>	Penelitian berfokus pada 2 metode injeksi yaitu : injeksi NH ₃ langsung di zona pembakaran dan Blending Amonia & batubara di sistem bahan bakar	- Ammonia diinjeksi secara langsung - dilakukan perhitungan dan analysis impact terhadap performa boiler