

ANALISIS EFISIENSI *BOILER* CFB UNIT 3 MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DI PT PLN INDONESIA POWER OMU JERANJANG

CFB UNIT 3 BOILER EFFICIENCY ANALYSIS USING DIRECT METHOD AT PT PLN INDONESIA POWER OMU JERANJANG

I Wayan Joniarta^{1*}, Rashid Ridho Al Buhori², Made Wijana³

^{1,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas, Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

*Corresponding author

E-mail addresses: wayanjonias@unram.ac.id

<https://doi.org/10.29303/empd.v3i1.3800>

Received 16 January 2024; Received in revised form 31 March 2024; Accepted 10 April 2024

ABSTRACT

A Boilers play an important role as steam power plants. A boiler is a closed vessel that is used to produce pressurized steam, where the resulting pressurized steam is used outside the boiler itself. This research aims to find out how to analyze the efficiency of CFB boilers. The analytical method used is the direct method. The results obtained show that the efficiency value of CFB boiler unit 3 of PLTU Jeranjang with a load of 25.8 MW, namely 73.17%, is quite low, this is caused by a lack of steam flow as a result of a leak in the upper boiler of PLTU Jeranjang unit 3, causing steam to come out of boiler and reduces its efficiency.

Keywords: Boiler, Direct method, Efficiency

1. Pendahuluan

PLTU Jeranjang merupakan salah satu unit pembangkit listrik terbesar atau *backbone* utama sistem kelistrikan di Lombok, PLTU ini memiliki 3 unit mesin pembangkit listrik dengan total kapasitas 75 MW per hari. Menjadi PLTU dengan kapasitas besar menjadikan batubara sebagai sumber energi dan bahan bakar utama pada pembangkit listrik ini [1]. Perkembangan pada bidang industri, properti, teknologi serta semakin meningkatnya jumlah produksi menyebabkan kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin bertambah sehingga diperlakukan pengembangan pada sistem pembangkit dan juga pemanfaatan energi listrik itu sendiri. Menganalisis jumlah energi yang dihasilkan dari sebuah pembangkit serta perawatan pada komponen - komponen pembangkit merupakan faktor penting dalam menjaga agar efisiensi tetap baik. Salah satu komponen utama dari pembangkit ini adalah *boiler*. Turunnya nilai efisiensi dari *boiler* akan mengakibatkan kerja yang dihasilkan juga berkurang, dalam memaksimalkan efisiensi tersebut, maka diperlukan analisa kinerja aktual terhadap kerja ideal yang dihasilkan dari *boiler* [2].

Boiler adalah bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan, dimana uap bertekanan yang dihasilkan dipergunakan diluar *boiler* itu sendiri. Uap yang dihasilkan dari *boiler* ini pada umumnya berasal dari proses pembakaran yang menggunakan

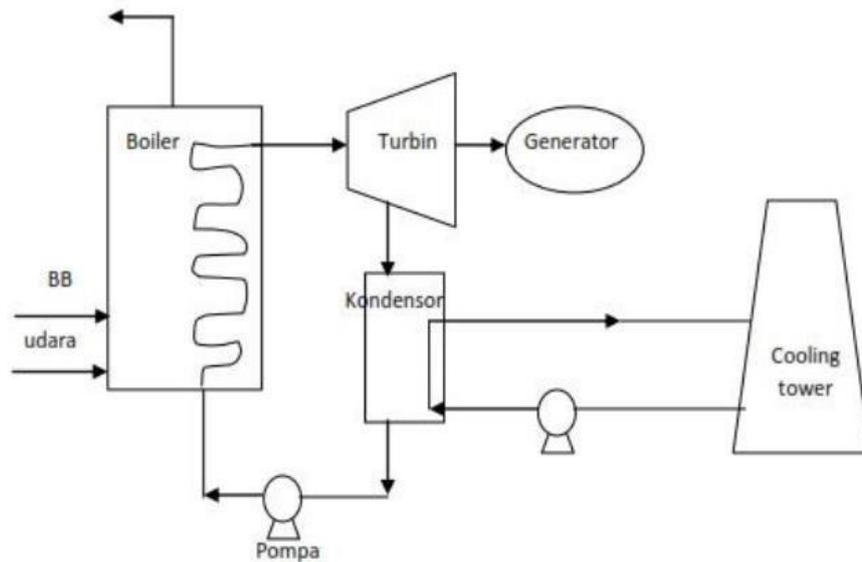
bahan bakar gas, cair maupun bahan bakar padat. Pada industri migas uap bertekanan yang dihasilkan bisa digunakan untuk proses pembangkit listrik, proses di kilang, pemanas, *steam flooding* dan sebagainya. Efisiensi *boiler* adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara *supply* energi masuk ke dalam *boiler* dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh *boiler*. Efisiensi pembakaran *boiler* secara umum menjelaskan kemampuan sebuah *burner* untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar (*furnace*) *boiler*. Efisiensi *boiler* dihitung dari jumlah bahan bakar yang tidak terbakar bersamaan dengan jumlah udara sisa pembakaran (*excess air*). Pembakaran dapat dikatakan baik apabila tidak ada bahan bakar yang tersisa di ujung keluaran ruang bakar *boiler*, begitu pula dengan jumlah udara sisa. Untuk mendapatkan efisiensi pembakaran yang tinggi, *burner* dan ruang bakar *boiler* harus didesain seoptimum mungkin [3].

Berdasarkan pada latar belakang diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji efisiensi *boiler* di PT Indonesia Power dengan metode langsung. Sehingga akan diperoleh data yang mencerminkan kondisi riil kondisi operasi dari mesin pembangkit listrik tenaga uap yang terbesar di Lombok Nusa Tenggara Barat. Penelitian terhadap kajian efisiensi termal dari *boiler* di pembangkit listrik tenaga uap Amurang unit 1 pada PLTU Amurang dengan menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung. Hasil perhitungan menunjukkan besar efisiensi termal *boiler* adalah 91,73 %, dan 92,33 % berturut-turut. Bila dibandingkan dengan efisiensi termal menurut spesifikasi *boiler* maka perbedaannya adalah 0.41 % dan 0.19% [4]. Analisis kinerja *boiler* pada PLTU Unit 1 PT. Semen Tonasa turun sebesar 6,04%, yaitu pada saat kondisi operasi tahun 1997 efisiensi *boiler* sebesar 91%, sedangkan pada kondisi operasi sekarang sebesar 84,96%. Faktor kehilangan panas terbesar diakibatkan oleh gas buang kering, dimana pada operasi tahun 2004 sebesar 5,59% dan pada operasi sekarang sebesar 5,79%, atau meningkat sebesar 0,20% [5].

Penelitian dilakukan untuk mengetahui daya yang diproduksi oleh pembangkit listrik tenaga uap di PT Madubaru Yogyakarta. Tenaga yang mampu dihasilkan oleh tiga pembangkit uap di PT Madubaru sebesar 3.000 KW, sedangkan daya yang dibutuhkan untuk operasional motor produksi di stasiun penggilingan, stasiun ketel, stasiun pusat pabrik, dan stasiun pabrik belakang adalah 2.313,54 KW. Sehingga pembangkit yang dipakai sangat memadai dari segi efisiensi daya [6]. Penelitian untuk menganalisis efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung. Data tekanan, temperatur dan uap perjam dari *boiler* diolah melalui proses interpolasi. Pengolahan data untuk memperoleh nilai entalpi panas lanjut dan entalpi air umpan sehingga diperoleh kalor keluaran dari *boiler*. Nilai *Gross Calorific Value* (GCV) rerata bahan bakar sebesar 12865,14 kJ/kg, berdasarkan hasil analisis uji ultimat diperoleh nilai efisiensi *boiler* sebesar 46%. Penurunan nilai efisiensi *boiler* dikarenakan kandungan karbon, hidrogen, belerang dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna [7]. Perhitungan terhadap efisiensi *boiler* dengan metode secara langsung dan secara tidak langsung. Hasil analisis data menunjukkan bahwa efisiensi *boiler* hasil perhitungan secara langsung (*direct method*) yakni sebesar 66,66% dan secara tidak langsung (*indirect method*) yakni sebesar 53,84%. Perbedaan ini dikarenakan ada tambahan pengurangan rugi-rugi yang dihitung sehingga mengurangi efisiensi yang terjadi [8]. Hasil uji data menggunakan metode regresi linier pada *boiler* didapat untuk efisiensi *boiler* A sebesar 63,6%. Sedangkan pada hasil simulasi di 62,91%. Hal ini dapat ditemukan selisih antara perhitungan dan simulasi sebesar 0,77%. Untuk perbandingan hasil uji pada perhitungan turbin HP sebesar 63,08% sedangkan pada simulasi Turbine HP sebesar 63,05%. Hal ini didapat selisih nilai 0,3%. Untuk hasil regresi linier nilai a sebesar 129,467 dan nilai b sebesar 0,2340. Sehingga diperoleh persamaan $Y = 129,4676 + 0,2340x$ [10].

Komponen Dasar PLTU dapat dijelaskan seperti berikut ini.

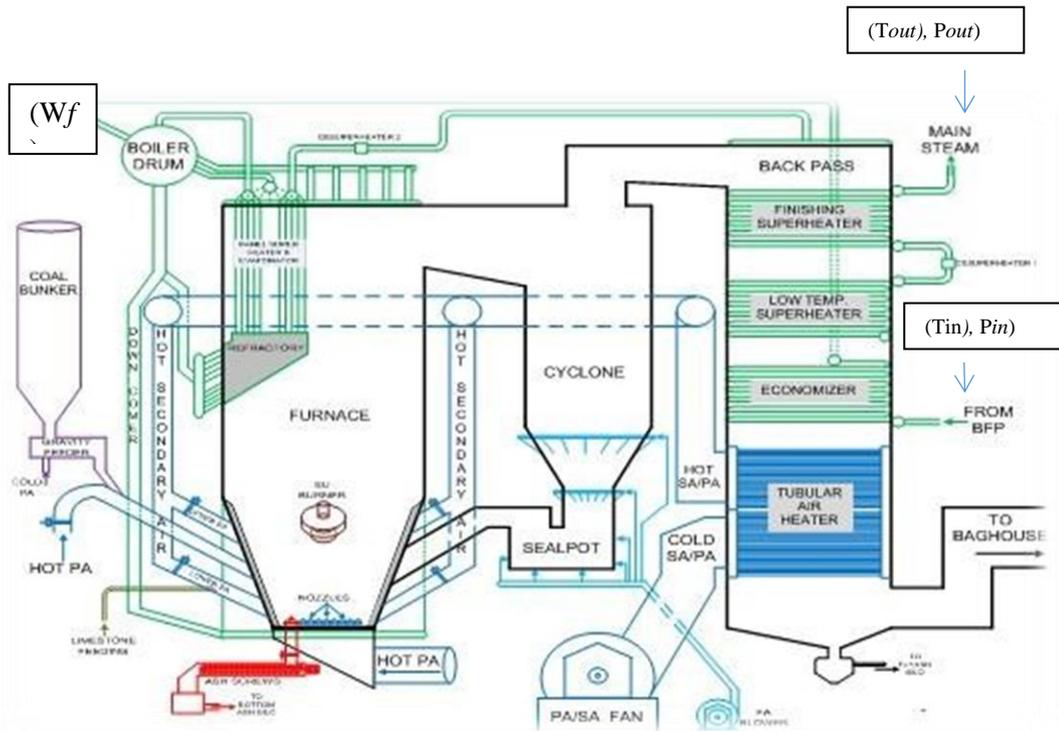
- a. *Boiler* merupakan sebuah wadah yang digunakan untuk pembakaran suatu bahan bakar, energi panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut akan digunakan untuk memanaskan air hingga menjadi uap *superhated*. Pada PLTU Jeranjang menggunakan *boiler* berjenis *circulating fluidized bed* (CFB). *Boiler* jenis ini terdiri dari 3 bagian utama, yaitu *furnace*, *cyclone*, dan *back and duct*. Pembakaran dilakukan di *furnace* dengan bantuan udara primer oleh *primary air fan* dan udara sekunder oleh *secondary air fan* yang menghasilkan turbulensi agar terjadi pembakaran secara merata.



Gambar 1 Komponen dasar PLTU

Hasil pembakaran berupa *fly ash* dan batu bara yang belum terbakar sempurna akan melewati *cyclone*. Pada *cyclone* ini akan menyaring keluaran *furnace* yang berupa batu bara yang belum terbakar sempurna. Batu bara ini akan dikembalikan ke *furnace* untuk dibakar kembali, sedangkan *fly ash* akan digunakan kembali untuk memanaskan air. Proses pemanasan fluida kerja berlangsung pada *buck and duct* dan *furnace* dengan cara mengalirkan fluida kerja ke pipa-pipa yang berada didalam komponen tersebut. *Boiler* yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeranjang adalah *boiler* dengan tipe CFB *Boiler*. *Circulating Fluidized Bed* merupakan tipe *boiler* yang memiliki kecepatan yang lebih tinggi dan ukuran partikel relatif lebih halus. *Circulating* yaitu sirkulasi batu bara yang belum habis terbakar dari *furnace* masuk ke *cyclon* dan kembali ke *furnace* untuk dibakar. *Fluidized* yaitu hembusan udara primer agar batu bara tetap melayang didalam *furnace*. *Bed* merupakan material partikel kecil (*bottom ash*) yang digunakan sebagai media transfer. *Bed* merupakan material partikel kecil (*bottom ash*) yang digunakan sebagai media transfer bisa dilihat pada Gambar 2.

- b. Turbin merupakan mesin konversi yang mengubah kalor menjadi energi mekanik berupa putaran. Turbin terdiri dari beberapa bagian salah satunya rotor yang merupakan bagian yang berputar terdiri dari poros/shaft dengan sudu-sudu disekelilingnya. Tumbukan aliran fluida (uap) menyebabkan rotor berputar. Pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeranjang menggunakan jenis turbin uap bertekanan tinggi (*high pressure turbin steam*) memiliki 18 sudu-sudu yang bergerak dilengkapi dengan *governore valve* dan *main stop valve* seperti pada Gambar1.
- c. Generator merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi gerak/mekanik menjadi energi listrik. Pada pembangkit listrik tenaga uap PLTU Jeranjang generator digerakkan oleh turbin dengan cara dikopel terpasang seporos dengan rotor turbin sehingga putaran rotor pada generator sama dengan putaran pada rotor turbin.
- d. Kondensator merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air mengkondensasikan uap keluaran dari turbin. Prinsip kerja kondensator proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tubes*). Uap mengalir di pipa-pipa (*tube side*). Kebutuhan air untuk pendingin dikondensator sangat besar khususnya pada PLTU Jeranjang menggunakan air laut sebagai suplai kebutuhan air yang telah mengalami proses filterasi (air demin).



Gambar 1 *Circulating fluidized bed (CFB) boiler*

2. Bahan dan Metode

Metode untuk mengkaji efisiensi *boiler* secara umum ada 2 jenis yaitu metode Langsung yaitu suatu metode untuk menghitung efisiensi *boiler* dengan membandingkan Input dan Output dari *boiler* itu sendiri. Metode yang kedua yaitu metode tidak langsung dengan menggunakan experiment dimana dengan metode ini sifatnya adalah skala laboratorium. Dalam hal ini penulis menggunakan metode Langsung, yaitu dengan mengambil data di unit pembangkit dan membandingkan daya input dan output [8].

Perhitungan terhadap efisiensi *boiler* biasanya menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung Perhitungan efisiensi menggunakan metode ASME PTC 4.1. Metode langsung merupakan perhitungan efisiensi *boiler* secara cepat, hanya membandingkan energy output dengan energy input, sedangkan metode tidak langsung merupakan perhitungan efisiensi *boiler* dengan memperhitungkan rugi rugi atau energy panas yang hilang [9]. Untuk analisis efisiensi *boiler* dalam hal ini penulis hanya menggunakan metode langsung karena keterbatasan waktu dan sarana yang ada di lokasi penelitian. Tempat Penelitian dilakukan di PLTU Jeranjang dengan mengambil beberapa data yang tersedia dan relevan dengan judul analisis yang dibahas. Posisi pengambilan data di tunjukkan dalam gambar 2 yaitu pada poisis uap keluar *boiler* (*Tout*, *Pout*) kemudian pada posisi *feedwater* masuk *boiler* (*Tin*, *Pin*).

2.1 Efisiensi Boiler

Metode yang dilakukan dalam perhitungan efisiensi *boiler* unit 3 PLTU Jeranjang adalah dengan cara metode langsung. Metodologi ini dikenal juga sebagai metode input-output karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (steam) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Proses pengambilan data pada penelitian ini yaitu dengan mengambil data parameter dari history trend yang tercatat pada monitir ruang sistem kontrol unit 3 PLTU Jeranjang.

2.2. Perhitungan Efisiensi Boiler

Perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode langsung difokuskan pada energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) yang dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Secara umum, perhitungan efisiensi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas Pembentukan Uap}}{\text{Panas Masuk}} \tag{1}$$

Panas masuk merupakan kalor yang dibutuhkan oleh boiler untuk menghasilkan energi. Untuk perhitungan efisiensi boiler, rumus di atas dapat dijabarkan lagi, dimana energi masuk boiler didapatkan dari hasil pembakaran batubara, sedangkan panas pembakaran uap merupakan energi yang dihasilkan oleh boiler yaitu merupakan jumlah keseluruhan energi dari superheater sehingga didapatkan rumus akhir perhitungan efisiensi boiler sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{Ws (h_{\text{mainsteam}} - h_{\text{feedwater}})}{Wf + HHV} \tag{2}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Pengamatan Pada PLTU Jeranjang Unit 3

Sesuai dengan dengan metode yang digunakan maka fokus pengamatan terdapat pada panas masuk boiler dan panas yang keluar boiler, maka dari itu parameter-parameter yang sebelumnya telah ditentukan untuk diamati selanjutnya akan didata dan diolah guna mencapai tujuan penelitian. Berikut hasil pengamatan boiler unit 3 PLTU Jeranjang

Tabel 1 Hasil pengamatan parameter pada beban 25,8 MW dengan data output dan input boiler

Parameter		Data	Satuan
Kapasitas Produksi Uap (<i>steam flow</i>)	(Ws)	109,1	ton/Jam
Temperatur Feed Water	(Tin)	213,8	°C
Tekanan Feed Water	(Pin)	11,2	Mpa
Temperatur main steam	(Tout)	531,4	°C
Tekanan main steam	(Pout)	7,1	Mpa
Konsumsi Bahan Bakar	(Wf)	23,3	ton/Jam
Nilai Kalori Pembakaran	(HHV)	3945	kcal/kg

3.2 Pengolahan Data PLTU Jeranjang Unit 3

Berdasarkan data hasil pengamatan tersebut, selanjutnya dicari nilai entalpi feed water berdasarkan temperatur feed water dan tekanan feed water serta entalpi main steam berdasarkan temperatur main steam dan tekanan main steam. Umumnya digunakan metode interpolasi pada tabel termodinamika untuk memperoleh nilai entalpi. Setelah data dicocokkan dan diolah, maka diperoleh data entalpi sebagai berikut :

Rumus Interpolasi Linier :

$$P(x) = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) + y_0 \tag{3}$$

Metode Interpolasi Untuk Mencari Entalpi In-Out Boiler

Beban 25,8 MW

Mencari *h_{main steam}*

T = 531,4 °C

P = 7,1 Mpa

Tabel Sifat Uap Air Dipanaskan Lanjut (*Superhated Water Vapor*)

7 MPa

500 °C h = 3410,3 kJ/kg

550 °C h = 3530,9 kJ/kg

Interpolasi

$$h_{\text{main steam}} = \frac{3530,9 \left(\frac{kJ}{kg}\right) - 3410,3 \left(\frac{kJ}{kg}\right)}{550^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}} x (531,4^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}) + 3410,3 \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

$$= 3486,0368 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Dengan cara yang sama maka perhitungan untuk mencari entalpi pada titik yang lain bisa dilakukan, dan hasil dari perhitungan tersebut di tuangkan dalam bentuk tabel 2 dibawah ini

Tabel 2 Hasil interpolasi entalpi *in-out boiler*

BEBAN = 25,8			
Entalpi Uap	(<i>h_{mainsteam}</i>)	3484,79867	kJ/kg
Entalpi <i>feed water</i>	(<i>h_{feedwater}</i>)	915,1336	kJ/kg

Beberapa parameter yang satuan sebelumnya belum sesuai dengan persamaan efisiensi *boiler* selanjutnya dikonversi sesuai dengan kebutuhan persamaan efisiensi *boiler* lalu dilanjutkan dengan pengolahan data :

Efisiensi *Boiler* Pada Beban 25,8 MW

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Boiler } (\eta) &= \frac{W_s(h_{\text{mainsteam}} - h_{\text{feedwater}})}{W_f * \text{HHV}} \times 100\% \\ &= \frac{109,1 \times 1000((3484,79867 \times 0,24) - (915,1336 \times 0,24))}{23,3 \times 1000 \times 3945} \times 100\% \\ &= 73,17\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapatkan nilai efisiensi *boiler* CFB unit 3 PLTU Jeranjang dengan beban 25,8 MW yaitu sebesar 73,17%, nilai ini tergolong cukup rendah. Hal ini disebabkan oleh kurangnya *steam flow* akibat dari adanya kebocoran pada *upper boiler* PLTU Jeranjang unit 3, sehingga mengakibatkan *steam* keluar dari *boiler* dan membuat efisiensinya menurun. Penelitian ini memiliki hasil yang serupa dengan peneliti [8,9], ketika terjadi penurunan efisiensi pada *boiler* maka harus cepat-cepat dilakukan tindakan perbaikan bagian-bagian yang mengalami kebocoran. Tindakan ini diperlukan untuk mencegah kerugian-kerugian yang lebih besar [3]. Data ini diambil pada tanggal 20/10/2023 sebelum *boiler* di *maintenance* ataupun di *overhul*. Banyak upaya dalam peningkatan efisiensi *boiler*, seperti kontrol rutin kondisi komponen *boiler* yang termasuk dalam bagian dari *maintenance service dan overhaul*. Penelitian ini difokuskan hanya pada parameter-parameter yang diuji, upaya peningkatan efisiensi *boiler* pada penelitian ini dapat dilakukan dengan meningkatkan *steamflow* dengan konsumsi bahan bakar yang konstan atau dengan menurunkan konsumsi bahan bakar dengan tingkat *steam flow* yang konstan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data dan perhitungan penelitian, dapat disimpulkan bahwa, PLTU Jeranjang memiliki 3 unit dengan kapasitas beban sebesar 25 MW pada masing masing unitnya. PLTU Jeranjang memiliki empat komponen utama yaitu pompa, CFB *Boiler*, *High Pressure Turbin*, dan kondensor. Nilai efisiensi *boiler* CFB PLTU Jeranjang unit 3 termasuk golongan rendah yaitu sebesar 73,17% dibandingkan dengan jenis *boiler* CFB yang normal berkisar antara 80 – 90%, akibat adanya kebocoran di *upper boiler*.

Ucapan Terima Kasih

Dalam kesempatan yang baik ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pimpinan PLN terutama Manajer PT Indonesia Power di Jeranjang Lombok Barat. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram atas bantuan administrasi selama kegiatan berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] Riana, M. R, Analisa kualitas batubara terhadap efisiensi pembakaran pada boiler unit 1 PLTU Suralaya Merak Banten, *Jurnal Eksakta Kebumian*, 2(2) (2021) 168-178.
- [2] Yohana. E, Romadhon. R, Analisa efisiensi isentropik dan exergy destruction pada turbin uap sistem pembangkit listrik tenaga gas dan uap, *ROTASI*, 19(3) (2017) 134-138.
- [3] Sugiharto. A, Perhitungan efisiensi boiler dengan metode secara langsung pada boiler pipa api, *Swara Patra : pendekatan baru untuk konservasi energi*, *Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 10(2) (2020) 51–57.
- [4] Kurniawan. H.Y., Gunawan. H, Maluegha. B, Kajian efisiensi termal dari boiler di pembangkit listrik tenaga uap Amurang unit 1, *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, 4(2) (2015).
- [5] Karaeng. C.T, Iswandi. I, Firman. F, Nuzul. M, Analisis kinerja boiler pada PLTU unit 1 PT. Semen Tonasa, *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 11(1) (2019) 74-85.
- [6] Danis Dwi Istiawan, Ramadoni Syahputra, Karisma Trinanda Putra, Analysis of steam power generators in fulfilling electricity needs: A case study at PT Madubaru Yogyakarta Indonesia, *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 1(4) (2017) (189-195).
- [7] Yolanda Pravitasari, Mariana B.M, Muhlasah Novitasari Mara, Analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung, *Jurnal Prisma Fisika*, V(1) (2017) 09 – 12.
- [8] Ari Budi Prasajo, Lutfi Hakim, Achmad Rijanto, Analisis efisiensi boiler hamada dengan direct dan indirect method di PT Dayasa Aria Prima, *Jurnal Majamecha*, 2(2) (2020) 103-112.
- [9] Kholiq Hernawan1, Peluang penghematan energi pada boiler di PT Indo Bharat Rayon, *Jurnal Energi Volume*, 10(1) (2020).
- [10] Ahmad Arif, Muhammad Fitra Zambak, Suwarno Muchsin Harahap, Analisa dan simulasi efisiensi energi listrik PT XYZ dengan menggunakan regresi linier, *Jurnal R E L E (Rekayasa Elektrikal dan Energi)*, *Jurnal Teknik Elektro*, 5(2) (2023) 93-97.