

EFISIENSI TERMAL WATER TUBE BOILER BERBAHAN BAKAR GAS DAN SOLAR PADA PRODUKSI SATURATED DAN SUPERHEATED STEAM BERDASARKAN LEVEL KETINGGIAN AIR DALAM STEAM DRUM

Destry Nadia Putri*, Ayu Yuliani, Fatria, Jaksen M. Amin, Tahdid

Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jln. Srijaya Negara Bukit Besar, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30139

*Corresponding author: destrynadiap@gmail.com

Abstrak

Boiler adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Boiler yang digunakan seringkali terdapat masalah yang menyebabkan hasil steam yang kurang optimal. Pada penelitian ini akan difokuskan untuk menentukan ketinggian level cairan dengan menggunakan bahan bakar gas dan solar sehingga didapatkan hasil pembakaran yang maksimal. Parameter yang diamati berupa temperatur, tekanan, level ketinggian air, dan waktu proses, tujuannya untuk mengetahui pengaruh level ketinggian air terhadap laju produksi saturated dan superheated steam. Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini adalah udara excess sebesar 8% untuk bahan bakar gas dan 18% untuk bahan bakar solar, rasio udara bahan bakar gas sebesar 16,23 dan rasio bahan bakar solar 17,57, laju alir bahan bakar gas 1,4 kg/jam dan laju alir bahan bakar solar 4,98 kg/jam, sedangkan variabel bebas yaitu air umpan sebesar 20%, 30%, 40%, 50% dan 60%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa level ketinggian air sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi cross section water tube boiler.

Kata Kunci : boiler, bahan bakar, level ketinggian air, efisiensi termal.

Abstract

Boiler is a closed vessel-shaped tool used to produce steam. Steam is obtained by heating a vessel containing water with fuel. Boilers used often have problems that cause less optimal steam results. In this research will be focused to determine the height of liquid levels with gas and diesel fuel so that maximum combustion results. The observed parameters are temperature, pressure, water level, and process time, the goal is to know the effect of water level level on the production rate of saturated and superheated steam. The fixed variables used in this research were air excess of 8% for gas fuel and 18% for diesel fuel, gas air ratio of 16.23 and diesel fuel ratio of 17.57, gas fuel flow rate of 1.4 kg/hour and diesel fuel flow rate of 4.98 kg/hour, while the free variable is feed water by 20%, 30%, 40%, 50% and 60%. Based on the research that has been done, it is known that the water level is very influential on the efficiency value of cross section water tube boiler.

Keywords: boiler, fuel, water level, thermal efficiency.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu teknologi saat ini dapat mendukung perkembangan alat-alat produksi pada industri. Salah satunya teknologi dalam bidang konversi energi adalah boiler atau ketel uap. Boiler adalah alat yang berfungsi memanaskan air untuk menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi, dengan menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar pada ruang bakar (Yuliyani, 2019). Umumnya boiler memakai bahan bakar cair (residu, solar), padat (batubara), atau gas. Boiler berperan penting dalam penyempurnaan proses produksi diberbagai industri.

Saat ini masih sedikit industri dalam negeri yang dapat memenuhi kebutuhan boiler di industri secara menyeluruh, bahkan masih mengandalkan impor. Selain itu, boiler yang banyak digunakan sekarang ini masih menggunakan bahan bakar tak terbarukan yang ketersediaannya semakin menipis sehingga membutuhkan teknologi yang dapat membantu penghematan penggunaan bahan bakar pada boiler. Salah satu cara untuk penghematan bahan bakar yang digunakan pada boiler adalah dengan meningkatkan efisiensi termal boiler.

Penelitian tentang *boiler* dengan pipa *longitudinal* sebagai *superheater* untuk menghasilkan *superheated steam* dan sistem hanya terdiri dari satu buah drum yang berfungsi sebagai *water drum* dan *steam drum*. Dari penelitian mengenai *Longitudinal Water Tube Boiler* tersebut dapat diketahui bahwa masih banyak kekurangan, salah satunya yaitu sistem *longitudinal tube* yang artinya susunan tube sejajar dengan *steam drum* sehingga mempersempit luas area pada *tube* dan memperkecil perpindahan panas yang terjadi pada *boiler* (Juriwon, 2017).

Komponen di dalam *steam drum* memungkinkan terjadi pemisahan antara air dengan uap air. Di dalam *steam drum* ini terjadi pemisahan air dan uap secara paksa. Air akan tetap berada di dalam *steam drum* dan terjadi pemanasan kembali hingga menjadi *saturated steam*. *Steam drum* memproduksi *saturated steam* sebelum diteruskan ke *superheater* atau digunakan langsung sebagai *saturated steam*. Tekanan *saturated steam* yang dihasilkan pada *steam drum* dapat mencapai 6,8 bar dan temperatur 163,5°C dengan tekanan kerja maksimal 85,2 bar (Suhaili, 2016).

Peningkatan efisiensi termal *boiler* dapat dilakukan dengan melakukan inovasi dari penelitian-penelitian tentang *boiler* terdahulu. Pada penelitian ini, peneliti meng-*upgrade* rancangan *boiler* tipe *two drum (double drum)* dimana *boiler* memiliki dua buah drum yaitu *steam drum* dan *feed water drum* yang dibuat bersebrangan (*cross section*) serta *tube* yang dipasang dengan kemiringan 65° terhadap ujung-ujung *boiler* (Nag, 2008). Sistem ini bertujuan agar perpindahan panas pada *boiler* berlangsung optimal sehingga dapat meningkatkan efisiensi termal pada *boiler*.

Menurut laporan Marpaung dalam Juriwon (2017), untuk memaksimalkan efisiensi operasional pada *boiler*, perbandingan antara udara dan bahan bakar harus diatur dengan akurat sehingga didapatkan proses pembakaran yang sempurna didalam *boiler furnace*. Proses pembakaran yang sempurna membutuhkan udara dan bahan bakar yang ideal dengan menyuplai udara berlebih (*excess*). Akan tetapi, apabila perlu diketahui perbandingan udara dan bahan bakar agar didapatkan efisiensi termal yang optimal dari proses pembakaran di *boiler*.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari solusi dari berbagai masalah yang sering dijumpai di lapangan atau perusahaan, yaitu untuk mendapatkan kualitas pembakaran yang baik, khususnya sistem pembakaran di *boiler*, untuk menjaga agar level drum tetap pada *setpoint*-nya. Level ketinggian air yang terlalu rendah bisa menyebabkan terjadinya panas berlebih (*overheated*) pada *boiler tube* sehingga *tube* bisa menjadi rusak / bengkok / bocor. Sebaliknya level ketinggian air yang terlalu tinggi akan menyebabkan pemisahan air dan *steam* dalam drum tidak sempurna sehingga kualitas *steam* yang dihasilkan kurang baik.

Untuk itu pada penelitian kali ini kami akan meng-*upgrade* boiler tersebut, peng-*upgrade*-an akan dilakukan pada sistem *injection boiler feed water*, sistem *control secondary* udara pembakaran, serta sistem control level air pada *steam drum*. Dengan men-*upgrade* ketiga sistem tersebut diharapkan proses produksi *steam* akan dapat berlangsung secara *steady state* atau kontinyu dan peningkatan efisiensi dapat tercapai.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Penelitian ini diawali dengan studi literatur, peng-*upgrade*-an alat, uji coba alat, running alat, pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan pembahasan. Tahap yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

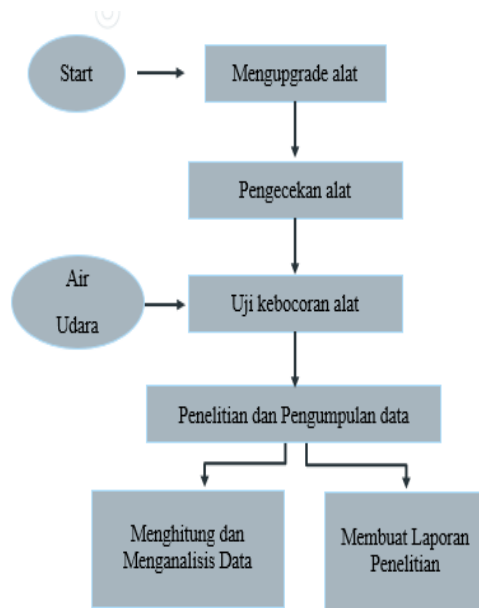
Pendekatan Desain Fungsional

Rancang bangun *upgrade Water Tube Boiler* terdiri dari delapan unit utama yaitu *steam drum*, *water drum*, *water tube*, *burner*, ruang bakar, *superheater*, pompa, kompresor, dan *blower*. Sistem tersebut dilengkapi dengan instrumen pendukung yaitu *pressure indicator*, *temperature indicator*, *valve*, *pressure safety valve*, *water level gauge* dan *drain valve*.

Pendekatan Desain Struktural

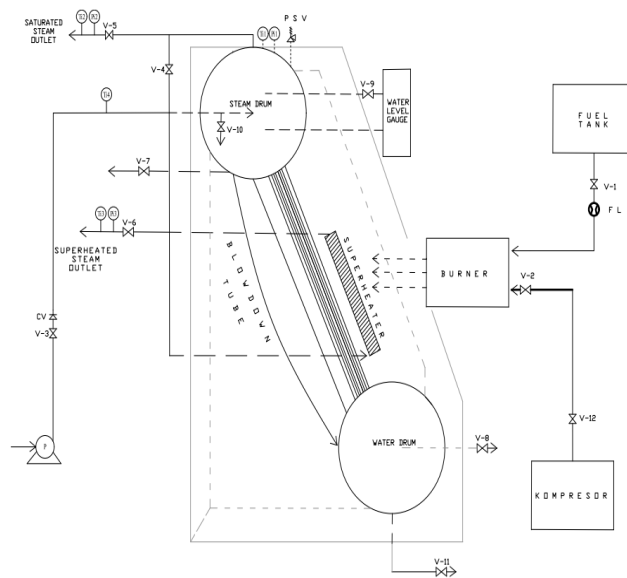
Water Tube Boiler dirancang dengan beberapa unit yang tergabung menjadi suatu sistem terintegrasi. Unit yang paling utama adalah dua buah drum (*steam drum* dan *water drum*) yang terhubung dengan *water tube* dan *superheater* sebagai tempat terjadinya proses pemanasan air dan uap air. Bahan konstruksi drum terbuat dari baja karbon.

Tubing superheater dan *water tube* terbuat dari pipa carbon SCN 40 yang tahan pada kondisi suhu dan tekanan tinggi. Pompa yang berfungsi untuk mengumpukan bahan baku air merupakan pompa sentrifugal dengan konsumsi daya motor pompa 0,43 kW. Suplai udara primer pembakaran pada *burner* berasal dari kompresor udara dengan kapasitas tekanan 8 bar.

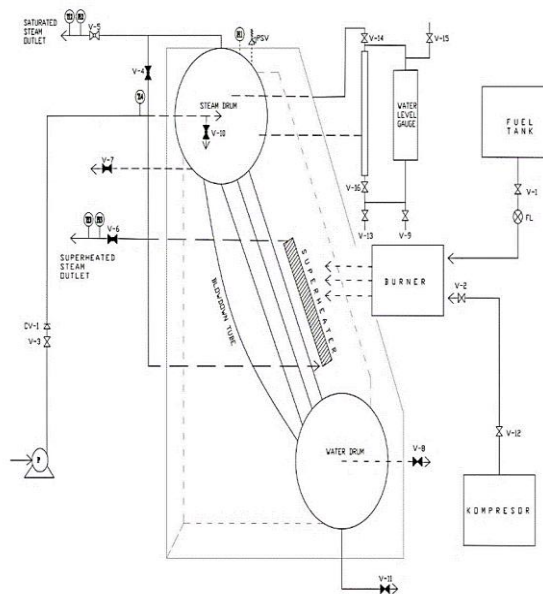


Gambar 1. Diagram Penelitian

Adapun gambar teknik rancang bangun *water tube boiler* sebelum *upgrade* dan sesudah *upgrade* dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3 dibawah ini.



Gambar 2. Gambar Teknik Rancang Bangun *Water Tube Boiler* sebelum diUpgrade

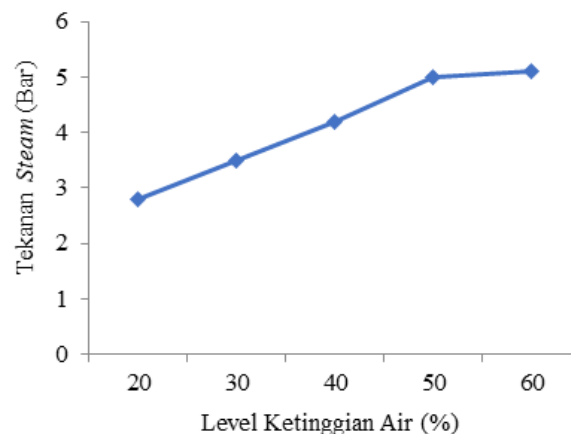


Gambar 3. Gambar Teknik Rancang Bangun *Water Tube Boiler* setelah di*Upgrade*

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hubungan Level Ketinggian Air (%) terhadap Tekanan *Steam* (Bar) Kondisi *Steady State*

Grafik yang menunjukkan pengaruh level ketinggian air terhadap tekanan *steam* kondisi *steady state* yang dihasilkan pada *cross section water tube boiler* menggunakan bahan bakar gas dan solar dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

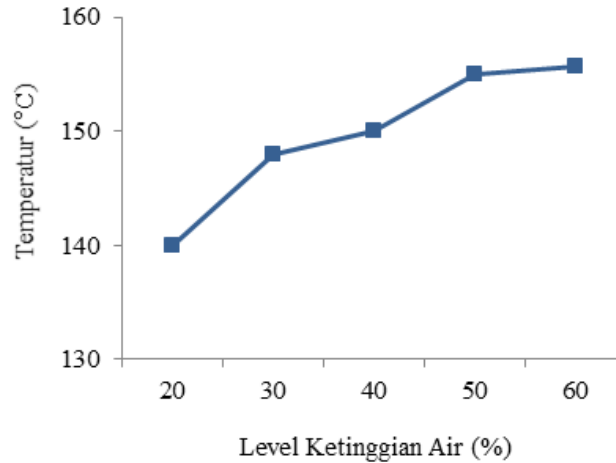


Gambar 4. Grafik Hubungan Level Ketinggian Air (%) terhadap Tekanan *Steam* (Bar)

Gambar 4 menunjukkan bahwa tekanan *steam* pada *water tube boiler* terus meningkat dari level ketinggian 20% sampai level ketinggian 60%. Hal tersebut terjadi karena penambahan level ketinggian mengakibatkan kenaikan jumlah panas yang diterima fluida *steam* sehingga meningkatkan jumlah kalor yang terserap menyebabkan tekanan *steam* menjadi meningkat. Peningkatan nilai kondisi level ketinggian air yang menyebabkan semakin sedikitnya peningkatan tekanan pada proses kontinyu ini bersesuaian dengan hasil penelitian tentang pengendalian level air pada *steam drum boiler* berbasis distributed control system, bahwa semakin tinggi temperatur maka penguapan semakin cepat dan level air semakin berkurang (Nataliana dkk., 2012). Level ketinggian 50% merupakan kondisi yang optimal untuk memproduksi *saturated* dan *superheated steam* pada *cross section water tube boiler* ini jika ditinjau berdasarkan tekanan yang dihasilkan secara konstan pada proses kontinyu karena dapat mencapai target tekanan *steam* 5 bar.

Hubungan Level Ketinggian Air (%) terhadap Temperatur (°C) Kondisi *Steady State*

Grafik yang menunjukkan pengaruh level ketinggian air terhadap tekanan *steam* kondisi *steady state* yang dihasilkan pada *cross section water tube boiler* menggunakan bahan bakar gas dan solar dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.

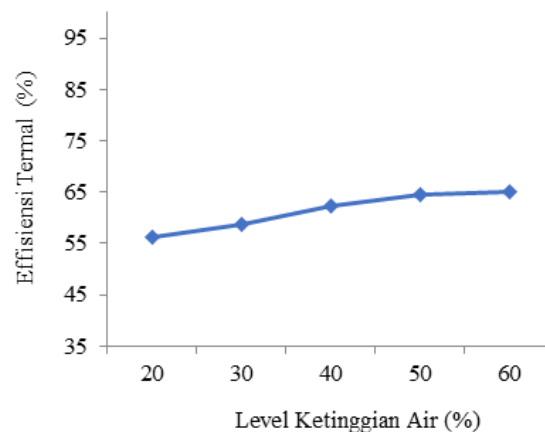


Gambar 5. Grafik Hubungan Level Ketinggian Air (%) terhadap Temperatur *Steam* (°C)

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi level ketinggian air dalam proses *saturated* dan *superheated steam* maka semakin meningkat temperatur *saturated steam* yang dihasilkan pada setiap kondisinya. Peningkatan temperatur yang cenderung melambat mengindikasikan banyaknya uap air pada *saturated steam* sehingga level ketinggian air yang tinggi menyebabkan *steam* yang dihasilkan mengandung uap air (Nataliana dkk, 2012). Ketika level ketinggian air ditingkatkan dengan menambah jumlah air umpan kedalam *steam drum* maka kenaikan temperatur *saturated* dan *superheated steam* antara satu titik ke titik yang lain hanya sedikit, dapat dilihat pada level ketinggian 50% sampai 60%. Hal ini disebabkan jumlah air yang ditambahkan ke dalam *steam drum* bercampur dengan air yang sudah mengalami pemanasan sebelumnya di dalam *steam drum*. Level ketinggian air 50% merupakan kondisi optimal untuk memproduksi *saturated* dan *superheated steam* pada *cross section water tube boiler* ini jika ditinjau berdasarkan temperatur yang dihasilkan secara konstan.

Hubungan Level Ketinggian Air (%) terhadap Efisiensi Termal Boiler (%) Kondisi *Steady State*

Grafik yang menunjukkan pengaruh level ketinggian air terhadap tekanan *steam* kondisi *steady state* yang dihasilkan pada *cross section water tube boiler* menggunakan bahan bakar gas dan solar dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Hubungan Level Ketinggian Air (%) terhadap Efisiensi Termal (%)

Gambar 6 hubungan level ketinggian air (%) terhadap efisiensi termal (η) dimaksudkan untuk mengetahui pada kondisi berapa persen (%) efisiensi termal yang sangat maksimum dan optimum pada alat *cross section water tube boiler* tersebut. Dapat dijelaskan bahwa semakin banyak air yang dimasukkan ke dalam *drum* maka efisiensi termal akan semakin tinggi dan kinerja alat akan semakin optimal. Semakin sedikit air yang dimasukkan ke dalam *drum* maka efisiensi termal akan semakin rendah (Djokosetyardjo, 1990), hal ini dikarenakan masih terdapat kekurangan pada alat tersebut. Salah satu faktor yang membuat kurang optimalnya kinerja *boiler* yaitu pada nyala api yang dikeluarkan dan faktor lingkungan yang banyaknya udara bebas yang membuat api keluar dari *furnace* tidak konstan.

Perbandingan Hasil dengan Penelitian Lain

Penelitian tentang pembuatan *boiler* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sehingga dapat dibuat tabel perbandingan hasil penelitian sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Penelitian *Saturated Steam* pada *Boiler*

Kemiringan <i>Boiler</i>	Bahan Bakar	Level Ketinggian Air (%)	Temperatur (°C)	Tekanan (Bar)	Efisiensi Termal (%)	Penelitian
TD	Solar	60	389.1	5	TD	Nataliana dkk., 2012
TD	<i>Natural Gas & Diesel</i>	TD	163.5	6.8	TD	Suhaili, 2016
TD	Solar	50	TD	5	34.23	Juriwon., 2017
TD	Solar	TD	540	9.8	91.73	Kurniawan dkk., 2014
65°	Solar	50	206.9	5.0	64.96	Penelitian saat ini
65°	Solar	60	207.6	5.1	65.45	Penelitian saat ini
65°	LPG	50	155.0	5.0	64.62	Penelitian saat ini
65°	LPG	60	155.6	5.1	64.95	Penelitian saat ini

*Ket TD = Tidak Diketahui

Pada Tabel 1 dapat diketahui perbandingan beberapa parameter hasil penelitian terhadap penelitian lain. Data tersebut merupakan nilai optimal yang didapatkan pada setiap penelitian. Nataliana, dkk (2012) melakukan penelitian terhadap kontrol level pengendali ketinggian air pada *steam drum boiler* berbasis DCS. Pada penelitiannya kondisi optimal didapatkan pada level ketinggian air 60%. Suhaili (2016) melakukan studi simulasi pada karakteristik pembakaran dari boiler pipa air dengan perbedaan bahan bakar. Juriwon (2017) melakukan penelitian terhadap Analisis Energi *Boiler* Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar. Pada penelitiannya didapatkan pada level ketinggian air 50 %, efisiensi yang didapatkan sebesar 34.23 %. Sementara itu, Kurniawan, dkk(2014) Kajian Efisiensi Termal dari *Boiler* di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit I dengan diperoleh tekanan dan temperatur sebesar 9.8 bar dan 540°C dengan efisiensi sebesar 91.73 % keadaan level ketinggian air konstan. Penelitian tersebut menghasilkan nilai maksimal dari kapasitas *boiler* dalam menghasilkan tekanan dan temperatur pada keadaan level ketinggian air konstan 50%. Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pada *boiler* pipa air dengan berbagai macam bahan bakar dan level ketinggian air mempunyai keadaan yang variatif untuk menghasilkan temperatur dan tekanan *steam* yang maksimal.

SIMPULAN

Setelah membuat rancang bangun *upgrade water tube boiler* dan melakukan penelitian tentang menghitung efisiensi termal *water tube boiler* berbahan bakar gas LPG pada produksi *saturated steam* berdasarkan level ketinggian air dalam *steam drum*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Level ketinggian air yang digunakan yaitu 20%, 30%, 40%, 50% dan 60%.
2. Level ketinggian air yang optimal di dalam *steam drum* berdasarkan efisiensi termal yang dihasilkan adalah 50%.

3. Level ketinggian air sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi *cross section water tube boiler*.
4. Level ketinggian air yang tinggi akan menyebabkan *steam* yang dihasilkan mengandung uap air, jika level ketinggian air terlalu rendah maka akan menghasilkan *steam* yang terlalu kering dan akan menyebabkan kerusakan pipa-pipa pada *boiler*
5. Level ketinggian air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pemisahan uap tidak berfungsi dengan baik, kontrol suhu akan sulit serta pipa *steam* dan *superheater* bisa rusak oleh kelembaban atau akumulasi kimia pengolahan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Djoko Setyoarjo, M.J. (1990). Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Juriwon. (2017). Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar. *Laporan Tugas Akhir*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Kurniawan, H. Y., Gunawan, H., dan Maluegha, B. (2014). Kajian Effisiensi Termal dari Boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit I. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*. Vol. 4, No.2. Hal 97-103.
- Nag. P. K. (2008). Handbook. Power Plant Engineering, Third Edition. New York : Tata McGraw Hil.
- Nataliana, D., Taryana, N., dan Farisi. (2012). Pengendali Level Air pada Steam Drum Boiler Berbasis DCS (Distributed Control System). Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Suhaili, S. (2016). Simulationn Studyion Combustion Characteristics of Water Tube Boiler with Different Type of Fuel. Perak: Universiti Tek. Petronas.
- Yuliyani, M. A. (2019). Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion untuk PLTU Kapasitas 8 MW. *Jurnal Teknik Energi*. Vol.9, No.1. Hal. 1-8.