

Analisis Pengaruh Suhu Dan Tekanan Uap Jenuh Dalam *Steam Drum* Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Boiler Unit 2 PLTU di PT. Bintan Alumina Indonesia

Lalu Kaisar Wisnu Kita^{1*} Hafidhin Syahru Ramadhan^{2*}

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: hafidhinsr@gmail.com

Abstrak - Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memegang peran vital sebagai sumber utama produksi listrik di Indonesia, termasuk di kawasan industri seperti PT. Bintan Alumina Indonesia (PT. BAI). Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana data dikumpulkan dalam waktu 15 hari secara observasi langsung di lapangan pada *System Distributed Control* (DCS). Hasil penelitian, Konsumsi bahan bakar rendah 22,89 t/h sampai 23,69 t/h, menghasilkan tekanan uap 8,8Mpa, suhu 531°C sampai 539°C, dan laju aliran uap 137t/h sampai 143t/h menandakan ketidakstabilan. Konsumsi bahan bakar sedang 24,29t/h sampai 26,09t/h, menghasilkan tekanan uap 8,9Mpa sampai 9,2Mpa, suhu 532°C sampai 534°C, dan laju aliran uap 127t/h sampai 142t/h menunjukkan kestabilan. Konsumsi bahan bakar tinggi 27,29t/h sampai 28,79t/h, menghasilkan tekanan uap 9,1Mpa sampai 9,5Mpa, suhu 540°C sampai 544°C, dan laju aliran uap 137t/h sampai 140t/h, menunjukkan pembakaran maksimum akibat pembatasan system. Tekanan uap relatif stabil dikisaran 8,8Mpa hingga 9,4Mpa dengan konsumsi bahan bakar 22,89t/h sampai 28,79t/h. Disarankan Konsumsi bahan bakar 24,29t/h sampai 26,09t/h untuk menghasilkan tekanan uap 8,9Mpa sampai 9,2Mpa, suhu 532 °C sampai 534°C, dan laju aliran uap 127 t/h sampai 142 t/h. Hasil uji secara regresi linier, ada pengaruh suhu uap terhadap Konsumsi bahan bakar, dimana tingkat signifikansi sebesar $0,002 < 0,05$, dan koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,539, atau 53,9%. Tidak ada pengaruh tekanan uap terhadap konsumsi bahan bakar, dimana tingkat signifikansi sebesar $0,476 > 0,05$, dan koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,040, atau 4%.

Kata kunci: *Boiler, Steam drum, Suhu uap, Tekanan Uap, Konsumsi*

I. PENDAHULUAN

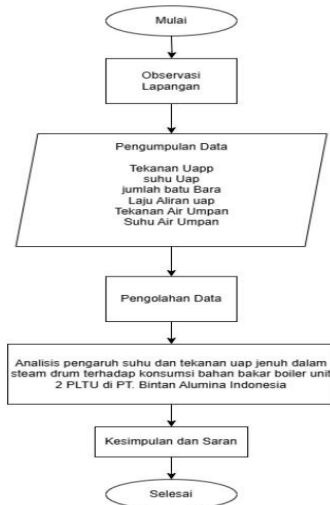
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memegang peran vital sebagai sumber utama produksi listrik di Indonesia, termasuk di kawasan industri seperti PT. Bintan Alumina Indonesia (PT. BAI). PT. Bintan Alumina Indonesia, sebagai industri pengelolaan bauksit menjadi alumina mulai beroperasi pada awal tahun 2021. Proses pengelolaan bauksit menjadi alumina membutuhkan pasokan daya listrik yang besar dan stabil, operasional PLTU menjadi faktor penting dalam menjamin keberlangsungan pasokan listrik dan menekan biaya produksi serta menjamin keandalan dan kontinuitas operasi pabrik. Saat ini PT BAI telah mengoperasikan PLTU dengan kapasitas 160 MW dengan bahan bakar utama batu bara. Boiler merupakan komponen utama pada PLTU, berfungsi untuk mengubah air dari fasa cair menjadi fasa uap. Uap dengan tekanan dan temperature tertentu digunakan untuk menggerakkan turbin. Komponen utama boiler pada PLTU terdiri dari : furnace, Steam Drum, Superheater, Air Heater dan Safety Valve. Dalam operasi boiler, steam drum berperan penting sebagai tempat pemisahan uap dari air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. Agar air tidak terbawa oleh uap, maka dipasang sekat-sekat, dimana air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan kemudian menguap. Oleh karena itu Suhu dan tekanan uap jenuh dalam steam drum akan mempengaruhi terhadap efisiensi thermal boiler dan konsumsi bahan bakar. Diharapkan Studi tentang "PENGARUH SUHU DAN TEKANAN UAP JENUH DALAM STEAM DRUM TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR BOILER DI UNIT 2 PLTU PT. BINTAN ALUMINA INDONESIA" dapat memberikan wawasan berharga untuk optimalisasi operasi PLTU dalam upaya peningkatan efisiensi dan

keberlanjutan operasional PT. Bintang Alumina Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian ini menjelaskan seluruh kegiatan yang dilaksanakan selama penelitian berlangsung di PT. Bintang Alumina Indonesia. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Penelitian

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian secara kuantitatif, dimana data dikumpulkan secara observasi langsung di lapangan. Data yang telah dikumpulkan diolah, dianalisis dan ditarik kesimpulan sesuai dengan masalah dan tujuan dari penelitian ini.

2.3. Waktu dan Lokasi

Waktu pengumpulan data selama 15 hari (10 s/d 24 Desember 2024) di PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia yang terletak di gunung kijang, Kabupaten Bintang, Kepulauan Riau.



Gambar 2. Lokasi Penelitian PLTU PT BAI

2.4. Objek Penelitian

Objek penelitian berupa data harian pada System Distributed Control (DCS) PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia



Gambar 3. DCS PLTU PT. BAI

2.5. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data parameter harian, yaitu data tekanan uap jenuh (Mpa), suhu uap ($^{\circ}\text{C}$), jumlah batu bara (t/h), laju aliran uap (t/h), tekanan air umpan (Mpa) dan suhu air umpan ($^{\circ}\text{C}$). Data parameter hasil pengamatan dan pencatatan pada DCS yang dilakukan selama 15 hari (10 Desember hingga 24 Desember 2024) perlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data harian parameter pada DCS

No	Tanggal	Tekanan uap jenuh (Mpa)	Suhu uap ($^{\circ}\text{C}$)	Jumlah batu bara (t/h)	Laju aliran uap (t/h)	Tekanan air umpan (Mpa)	Suhu air umpan ($^{\circ}\text{C}$)
1	10/12/2024	9.2	536	23.5	128	9.83	199.55
2	11/12/2024	9.1	533	24.5	154	9.52	203.63
3	12/12/2024	8.9	532	24.3	127	9.71	198.95
4	13/12/2024	9.4	540	27.3	140	9.78	201.81
5	14/12/2024	9.2	534	24.7	141	9.51	200.27
6	15/12/2024	8.8	539	22.9	137	9.68	202.82
7	16/12/2024	9.5	535	24.6	147	9.78	202.99
8	17/12/2024	9.4	533	23.7	155	9.62	201.42
9	18/12/2024	9.3	537	24.5	165	9.87	196.46
10	19/12/2024	9.1	542	27.7	133	9.57	198.66
11	20/12/2024	9.2	538	26.1	142	9.73	198.74
12	21/12/2024	8.9	542	25.4	152	9.77	200.18
13	22/12/2024	9.1	544	28.8	137	9.89	198.53
14	23/12/2024	9.3	534	24.8	145	9.69	199.01
15	24/12/2024	8.8	531	23.4	143	9.65	198.69

2.6. Perhitungan Efisiensi boiler dan Konsumsi bahan bakar

2.6.1. Menentukan Nilai Enthalpy

Nilai enthalpy tekanan uap jenuh (kj/kg), dimana pada data pada Tabel 1, Tekanan Uap = 9,2 Mpa dan Suhu Uap = 536 $^{\circ}\text{C}$

Property	Value	Unit
Temperature	536	$^{\circ}\text{C}$
Pressure	92	bar
Steam quality	Indeterminate	%
Volume	0.0381289	m^3/kg
Density	26.2268	kg/m^3
Compressibility factor	0.939344	dimensionless
Enthalpy	6723.33	kJ/kg
Entropy	6.76192	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$
Helmholtz free energy	-2346.9	kJ/kg
Internal energy	3124.51	kJ/kg
Gibbs free energy	-1996.11	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.82272	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$
Heat capacity at constant pressure	2.48381	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$
Speed of sound	669.21	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00157671	$1/^{\circ}\text{C}$

Pada *steam tables* didapat nilai *enthalpy steam* (h_g) = 3475,3 kJ/kg

Nilai *enthalpy air umpan* (kJ/kg), dimana pada data pada Tabel 1, Tekanan air Umpan = 9,83 Mpa dan Suhu air Umpan = 199,55°C

Property	Value	Unit
Temperature	199.55	°C
Pressure	98.3	bar
Steam quality		%
Volume	0.00114767	m³/kg
Density	871.329	kg/m³
Compressibility factor	0.0517127	dimensionless
Enthalpy	853.72	kJ/kg
Entropy	2.31344	kJ/(kg·°C)
Helmholtz free energy	-251.124	kJ/kg
Internal energy	842.439	kJ/kg
Gibbs free energy	-239.843	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.31433	kJ/(kg·°C)
Heat capacity at constant pressure	4.4479	kJ/(kg·°C)
Speed of sound	1362.96	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00131622	1/°C

Pada *steam tables* didapat nilai *enthalpy air umpan* (h_f) = 853,72 kJ/kg.

2.6.2. Menghitung Efisiensi Boiler (n_k)

Efisiensi Boiler dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$n_k = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

Dimana :

Q : 128 t/h

h_g : 3475,3 kJ/kg

h_f : 853,72 kJ/kg

q : 23,5 t/h

GCV : 17793,9 kJ/kg

$$n_k = \frac{128 \text{ t/h} \times (3475,3 \text{ kJ/kg} - 853,72 \text{ kJ/kg})}{23,5 \text{ t/h} \times 17793,9 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$n_k = \frac{335.562,24 \text{ t/h}}{418.156,65 \text{ t/h}} \times 100\%$$

$$n_k = 0,8024 \times 100\%$$

$$n_k = 80,2\%$$

2.6.3. Menghitung Konsumsi Bahan Bakar (W_{bb})

Konsumsi Bahan Bakar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{bb} = \frac{M_u \times (H_{sh} - H_a)}{n_k \times LHV}$$

Dimana :

M_u : 128 (t/h)

H_{sh} : 3475,3 (kJ/kg)

H_a : 853,72 (kJ/Kg)

η_k : 80,2% = 0,8024

LHV : 17793,9 (kJ/kg)

$$W_{bb} = \frac{128(\text{t/h}) \times (3475,3 \text{ (kJ/kg)} - 853,72 \text{ (kJ/Kg)})}{0,8024 \times 17793,9 \text{ (kJ/kg)}}$$

$$W_{bb} = \frac{128 \text{ (t/h)} \times (2.621,58 \text{ kJ/kg})}{0,8024 \times 17793,9 \text{ (kJ/kg)}}$$

$$W_{bb} = 23,5 \text{ t/h}$$

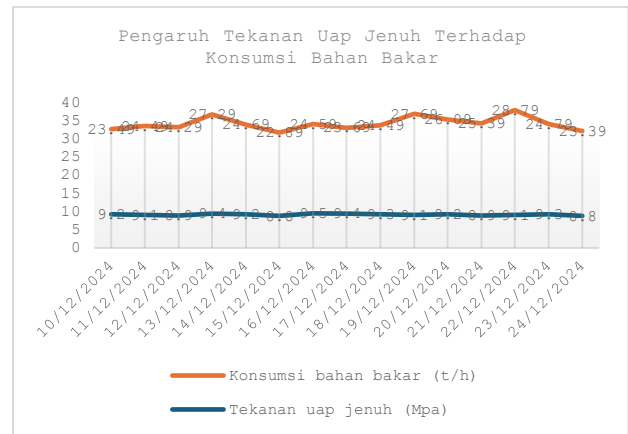
Hasil perhitungan Efisiensi Boiler (%) dan Konsumsi Bahan Bakar (t/h), di perlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan Efisiensi Boiler (%) dan Konsumsi Bahan Bakar (t/h)

No	Entalpi steam jenuh (kJ/kg)	Entalpi air umpan (kJ/kg)	Efisiensi Boiler (%)	Konsumsi bahan bakar (t/h)
1	3475.30	853.72	80.27	23.49
2	3468.90	871.78	91.99	24.49
3	3468.55	851.00	77.10	24.29
4	3483.15	863.76	75.28	27.29
5	3470.33	856.79	84.03	24.69
6	3486.89	868.23	87.68	22.89
7	3469.64	869.03	87.55	24.59
8	3456.71	861.96	96.08	23.69
9	3476.73	840.02	99.77	24.49
10	3491.20	849.65	70.87	27.69
11	3478.17	850.08	80.29	26.09
12	3493.25	856.50	88.10	25.39
13	3496.15	849.21	70.22	28.79
14	3469.27	851.26	86.24	24.79
15	3467.14	849.81	90.19	23.39

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

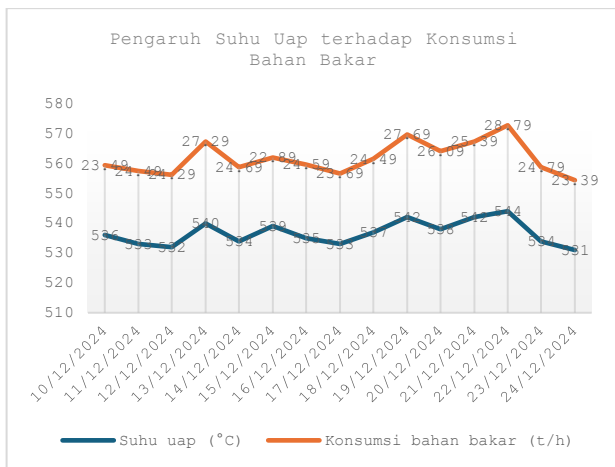
3.1. Analisis tekanan uap jenuh terhadap konsumsi bahan bakar



Gambar 4. Tekanan Uap Terhadap Jumlah Konsumsi Batu Bara

Gambar 4. Menunjukkan hubungan antara tekanan uap jenuh (Mpa) terhadap konsumsi bahan bakar batu bara (t/h). Garis berwarna biru menunjukkan tekanan uap jenuh (Mpa) dan garis berwarna orange menunjukkan konsumsi bahan bakar (t/h) selama periode 10 Desember hingga 24 Desember 2024. Dimana konsumsi bahan bakar rendah 22,89 t/h sampai 23.69 t/h menghasilkan tekanan uap jenuh stabil 8,8Mpa menandakan pembakaran kurang efisien/ketidakstabilan. Konsumsi bahan bakar sedang 24,29t/h sampai 26,09t/h, menghasilkan tekanan uap jenuh 8,9Mpa sampai 9,2Mpa, menunjukkan kestabilan, dan Konsumsi bahan bakar tinggi 27,29t/h sampai 28,79t/h. Menghasilkan tekanan uap jenuh 9,1Mpa sampai 9,5Mpa menunjukkan pembakaran maksimum. Tekanan uap jenuh relatif stabil dikisaran 8,8 Mpa hingga 9,4 Mpa dengan konsumsi bahan bakar. 22,89 t/h sampai 28.79 t/h.

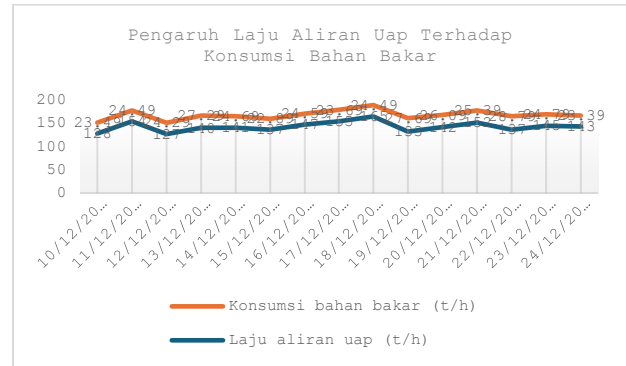
3.2. Analisis Suhu Uap terhadap Konsumsi Bahan Bakar



Gambar 5. Suhu Uap Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Gambar 5. Menunjukkan hubungan suhu uap (°C) terhadap konsumsi bahan bakar (t/h). Garis berwarna biru menunjukkan suhu uap jenuh (°C) dan garis berwarna orange menunjukkan konsumsi bahan bakar (t/h) selama periode 10 Desember hingga 24 Desember 2024. Dimana konsumsi bahan bakar rendah 22,89 t/h sampai 23,69 t/h menghasilkan suhu uap 531 °C sampai 539°C menandakan pembakaran kurang efisien/ketidakstabilan. Konsumsi bahan bakar sedang 24,29t/h sampai 26,09t/h menghasilkan suhu uap 532 °C sampai 534°C menunjukkan kestabilan dan Konsumsi bahan bakar tinggi 27,29t/h sampai 28,79t/h. Menghasilkan suhu uap 540 °C sampai 544°C menunjukkan pembakaran maksimum.

3.3. Analisis laju aliran uap terhadap konsumsi bahan bakar



Gambar 6. Laju Aliran Uap terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Gambar 6. Menunjukkan laju aliran uap (t/h) terhadap konsumsi bahan bakar (t/h). Garis berwarna biru menunjukkan laju aliran uap jenuh (t/h) dan garis berwarna orange menunjukkan konsumsi bahan bakar (t/h) selama periode 10 desember hingga 24 desember 2024. Dimana konsumsi bahan bakar rendah 22,89 t/h sampai 23,69 t/h menghasilkan laju aliran uap 137 t/h sampai 143 t/h menunjukkan ketidakstabilan. Konsumsi bahan bakar sedang 24,29 t/h sampai 26,09 t/h menghasilkan laju aliran uap 127 t/h sampai 142 t/h menunjukkan kestabilan dan Konsumsi bahan bakar tinggi 27,29 t/h sampai 28,79 t/h menghasilkan laju aliran uap 137t/h sampai 140 sedikit menurun akibat pembatasan system.

3.4. Rekomendasi pencegahan penurunan suhu dan tekanan uap

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4. Hubungan antara tekanan uap jenuh (Mpa) terhadap konsumsi bahan bakar batu bara (t/h), Gambar 5, hubungan suhu uap (°C) terhadap konsumsi bahan bakar (t/h), dan Gambar 6, hubungan laju aliran uap (t/h) terhadap konsumsi bahan bakar (t/h). dapat di rekomendasikan untuk mencegah jika terjadi penurunan suhu dan tekanan uap jenuh dalam *steam drum* dengan menambahkan konsumsi bahan bakar dari diantara 24,29t/h s/d 26,09t/h. Untuk menghasilkan tekanan uap jenuh 8,9Mpa s/d 9,2Mpa, dan suhu uap 532°C s/d 534°C, serta laju aliran uap 127 t/h s/d 142 t/h menunjukkan kestabilan.

3.5. Uji Regresi Linear Suhu Uap Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Hasil uji regresi linear suhu uap terhadap konsumsi bahan bakar didapat nilai ANOVA dan Model Summary.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	21.801	1	21.801	15.170	.002 ^b
	Residual	18.683	13	1.437		
	Total	40.484	14			

a. Dependent Variable: Konsumsi bahan bakar
b. Predictors: (Constant), Suhu uap

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.734 ^a	.539	.503	1.199

a. Predictors: (Constant), Suhu uap

didapat adanya pengaruh suhu uap terhadap Konsumsi bahan bakar, dimana nilai F hitung 15.170 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,002 < 0,05$, dan output nilai korelasi atau hubungan (R) sebesar 0,734, koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,539, atau 53,9%.

3.6. Uji Regresi Linear Tekanan Uap Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Hasil uji regresi linear tekanan uap terhadap konsumsi bahan bakar didapat nilai ANOVA dan Model Summary.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.609	1	1.609	.538	.476 ^b
	Residual	38.875	13	2.990		
	Total	40.484	14			

a. Dependent Variable: Konsumsi bahan bakar
b. Predictors: (Constant), Tekanan uap

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.199 ^a	.040	-.034	1.729

a. Predictors: (Constant), Tekanan uap

Tidak ada pengaruh tekanan uap terhadap konsumsi bahan bakar, dimana nilai F hitung 0,538 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,476 > 0,05$, dan output nilai korelasi atau hubungan (R) sebesar 0,199, serta

koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,040, atau 4%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Konsumsi bahan bakar rendah 22,89t/h s/d 23.69t/h, menghasilkan tekanan uap jenuh stabil 8,8Mpa, suhu uap 531°C s/d 539°C, dan laju aliran uap 137 t/h s/d 143t/h menandakan pembakaran kurang efisien/ketidakstabilan. Konsumsi bahan bakar sedang 24,29t/h s/d 26,09t/h, menghasilkan tekanan uap jenuh 8,9Mpa s/d 9,2Mpa, suhu uap 532°C s/d 534°C, dan laju aliran uap 127 t/h s/d 142 t/h menunjukkan kestabilan. Konsumsi bahan bakar tinggi 27,29t/h s/d 28,79t/h, menghasilkan tekanan uap jenuh 9,1Mpa s/d 9,5Mpa, suhu uap 540°C s/d 544°C, dan laju aliran uap 137t/h s/d 140t/h, menunjukkan pembakaran maksimum akibat pembatasan system. Tekanan uap jenuh relatif stabil dikisaran 8,8Mpa s/d 9,4Mpa dengan konsumsi bahan bakar. 22,89t/h s/d 28.79t/h dan hasil uji secara regresi linier didapat ada pengaruh suhu uap terhadap Konsumsi bahan bakar, dimana nilai F hitung 15.170 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,002 < 0,05$, dan output nilai korelasi atau hubungan (R) sebesar 0,734, koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,539, atau 53,9%. Tidak ada pengaruh tekanan uap terhadap konsumsi bahan bakar, dimana nilai F hitung 0,538 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,476 > 0,05$, dan output nilai korelasi atau hubungan (R) sebesar 0,199, serta koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,040, atau 4%.
2. Rekomendasi untuk mencegah penurunan suhu dan tekanan uap jenuh, dengan mempertahankan konsumsi bahan bakar sebanyak 24,29t/h s/d 26,09t/h, untuk menghasilkan tekanan uap jenuh 8,9Mpa s/d 9,2Mpa, suhu uap 532°C s/d 534°C, dan laju aliran uap 127 t/h s/d 142 t/h.

REFERENSI

- [1] "BAB III KOMPONEN BOILER." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/315136059_Critical_Failure_Analysis_of_Superh
- [2] "BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Ketel Uap

- (Boiler).”
- [3] O. Joko *et al.*, “ANALISIS COAL FEEDER KAPASITAS 20 TON/JAM TERHADAP KINERJA BOILER UNIT 2 PLTU 2X100 MW PT. TANJUNG POWER INDONESIA.”
- [4] “Tetracyclic_Triterpenes_from_the_Stem_Ba”.
- [5] V. Antono, W. Alfalah, and R. Windani, “ANALISA KEGAGALAN PLATEN TUBE SUPERHEATER PLTU TELUK SIRIH,” *Jurnal Power Plant*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [6] R. P. Dewi, “PERANCANGAN BOILER MINI BERBAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN BERBAGAI VARIASI TEKANAN,” 2017.
- [7] S. Ini *et al.*, “HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI ANALISA EFEKTIFITAS PROSES PENGOLAHAN AIR UMPAN BOILER DI PABRIK KELAPA SAWIT.”
- [8] “128-Article Text-171-1-10-20190110”.
- [9] A. Rosyid Susetyo and C. Nas, “ANALISIS KEBUTUHAN UDARA UNTUK PEMBAKARAN BATUBARA PADA BOILER UNIT 3 DI PLTU SURALAYA ANALYSIS OF AIR REQUIREMENTS FOR COAL COMBUSTION IN BOILER UNIT 3 IN PLTU SURALAYA,” 2020.
- [10] “1448-Article Text-3717-1-10-20230209”.
- [11] “Jurnal+Putri+Nurul+Azmia+2023+(1) (1)”.
- [12] H. C. Hasibuan and F. H. Napitupulu, “(),” 2013

