

Analisa Pengaruh Temperatur Uap Superheated Terhadap Peforma Boiler di PT. Perkebunan Nusantara VI PKS Aur Gading Batanghari Jambi

Jatmiko Edi Siswanto¹, Alba Hikayat¹ Zainuri Anwar²

¹Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

*e-mail: jatmikoedisiswanto@stiteknas.ac.id

ABSTRACT

One of the parameters that affect the efficiency of the steam turbine is the superheated steam entering the turbine. This study aims to determine what variables are used to calculate the efficiency of the boiler and steam turbine. How to determine the effect of superheated steam temperature on boiler and steam turbine efficiency. Based on the results of research conducted for 6 days, it can be seen that to calculate boiler performance, several variables must be collected, starting from the amount of shell and fiber boiler fuel, boiler and steam turbine operational data. Knowing the calorific value of shell and fiber, knowing the enthalpy value of superheated and saturated steam in boilers and steam turbines. Based on the calculation of boiler efficiency, the temperature at the superheated greatly affects the performance of the boiler. As in the low, medium and high temperature data at superheated, namely 225.4 °C , 232.9 °C , 245.9 °C which resulted in boiler efficiency of 50.61%, 51.70%, 51.78%. Based on the results of the calculation of the efficiency of the steam turbine, the superheated temperature greatly affects the efficiency of the steam turbine. As in the low, medium and high data, the superheated temperature is 225.4 °C , 232.9 °C , 245.9 °C which produces steam turbine efficiency of 14.08 % , 15.69 % and 15.71 % . So it can be concluded that the higher the superheated temperature, the higher the performance of the boiler and steam turbine

.**Keyword** : Boiler, Steam Turbine, Saturated Temperature, Efficiency.

ABSTRAK

Salah satu parameter yang mempengaruhi efisiensi turbin uap adalah uap superheated yang masuk turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabel apa saja yang digunakan untuk menghitung efisiensi dari boiler dan turbin uap. Bagaimana cara mengetahui pengaruh temperatur uap superheated pada efisiensi boiler dan turbin uap. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan selama 6 hari Dapat diketahui untuk menghitung performa boiler harus mengumpulkan beberapa variabel mulai dari jumlah bahan bakar boiler cangkang dan fiber, data operasional boiler dan turbin uap. Mengetahui nilai kalor cangkang dan fiber, mengetahui nilai entalpi uap superheated dan saturated yang ada pada boiler dan turbin uap. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi boiler, temperatur pada superheated sangat berpengaruh terhadap peforma pada boiler tersebut. Seperti pada data rendah, sedang dan tinggi suhu pada superheated yaitu 225.4 °C , 232.9 °C , 245.9 °C yang menghasilkan efisiensi boiler 50.61% , 51.70% , 51.78%. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi turbin uap temperatur superheated sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin uap tersebut tersebut. Seperti pada data rendah, sedang dan tinggi suhu pada superheated yaitu 225.4°C , 232.9°C , 245.9°C yang menghasilkan efisiensi turbin uap 14.08 % , 15.69 % dan 15.71 % . Jadi dapat disimpulkan jika semakin tinggi suhu superheated semakin tinggi peforma dari boiler dan turbin uap tersebut.

Kata kunci: Boiler, Steam Turbine, Saturated Temperature, Efficiency.

PENDAHULUAN

Boiler mempunyai peranan yang sangat penting dalam

kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik penghasil minyak kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik penghasil minyak kelapa sawit. Fungsi dari

Boiler adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik (Djokosetyarjo, 2003).

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari *boiler* sesuai yang diinginkan atau dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah

turbin pembangkit listrik, juga sumber uap digunakan untuk proses pengolahan dan perebusan (Parinduri, 2016).

Pada prinsipnya PLTU merupakan suatu system konversi energy baik berupa energy kimia yang terkandung dalam bahan bakar fosil maupun energy panas dari proses pembakaran yang pada akhirnya dihasilkan energy listrik dengan daya dan tegangan tertentu. Energi listrik inilah yang menjadi tujuan utama dari proses produksi di PLTU. Sedangkan proses konversi energy tersebut untuk menjadikan energy listrik dilakukan bertahap. Dalam proses produksi listrik PLTU, peralatan utamanya adalah boiler, turbin, generator, transformator dan alat-alat bantu (*auxiliary*).

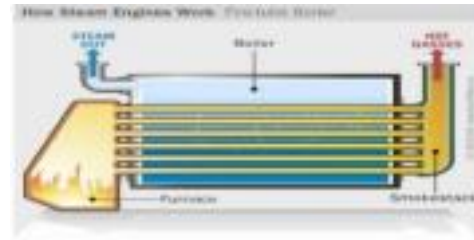
Boiler adalah peralatan yang berfungsi merubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan. Pembangkit pembangkit yang ada dituntut untuk andal didalam menyediakan energy listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Keandalan tersebut dicapai apabila semua komponen didalamnya mendukung dan siap beroperasi. Salah satu peralatan atau sistem di PLTU untuk mendukung operasi tersebut adalah Boiler. Uap yang didapat dari boiler digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator. Salah satu cara untuk menaikkan efisiensi boiler yaitu dengan cara memaksimalkan sistem kerja boiler pada tekanan dan tempeatur uap superheated.

Berdasarkan jenisnya ketel uap di klasifikasikan menjadi dua yaitu:

A. Ketel Pipa Api (Fire Tube Boiler)

Tipe ketel uap api memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan tekanan uap yang rendah. Cara kerja proses pengapian terjadi di dalam pipa, kemudian panas yang dihasilkan dihantarkan langsung kedalam boiler yang berisi air. Besar dan konstruksi ketel uap mempengaruhi kapasitas dan tekanan yang dihasilkan ketel uap tersebut.

panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar diruang bakar boiler. Limbah pabrik kelapa sawit yang berupa *fiber* dan cangkang dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar *boiler* sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak

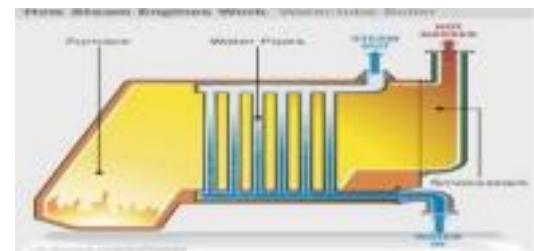


Gambar 1. Ketel uap pipa api

B. Ketel Pipa Air (water tube boiler)

Tipe ketel uap air memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang tinggi. Cara kerja proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan

sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui economizer, kemudian uap yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah drum uap. Sampai tekanan dan temperature sesuai, melalui tahap secondary superheater dan primary superheater baru uap dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut.

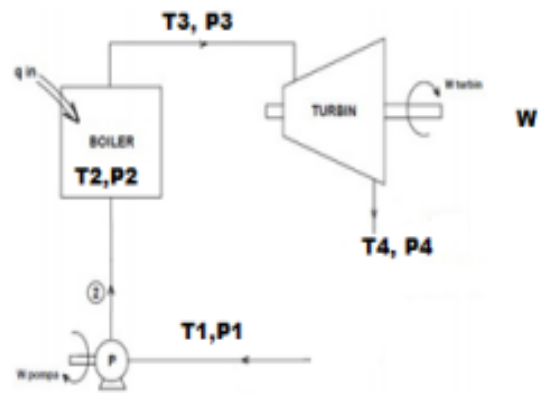


Gambar 2. Ketel Pipa Air

Nilai kalor (Heating Value)

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Bahan bakar adalah zat kimia yang apabila direaksikan dengan oksigen (O₂) akan menghasilkan sejumlah kalor. Bahan bakar dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Selain itu, bahan bakar merupakan suatu senyawa yang tersusun atas beberapa unsur seperti karbon (C), Hidrogen (H), Belerang (S), dan Nitrogen (N). Kualitas bahan bakar ditentukan oleh kemampuan

bahan bakar untuk menghasilkan energi. Kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi ini sangat ditentukan oleh nilai bahan bakar yang didefinisikan sebagai jumlah energi yang dihasilkan pada prose pembakaran persatuan massa atau persatuan volume bahan bakar. Dapat dilihat pada gambar dibawah perhitungan untuk mencari nilai kalor cangkang dan fiber, perhitungan ini didapat dari PT. Perkebunan Nusantara VI.



Gambar 3. Titik Pengambilan Data

METODE PENELITIAN

Dalam pengambilan data, penyusun melakukan langkah-langkah pengambilan data sesuai yang diperlukan dalam proses analisis baik itu data primer, sekunder maupun data pelengkap yaitu :

1. Studi literatur

Dalam metode ini penyusun mengumpulkan referensi buku-buku perkuliahan atau perpustakaan serta media lainnya yang berkaitan dengan tinjauan pustaka yang diperlukan dalam penyusunan laporan tugas akhir. Tinjauan pustaka sendiri digunakan sebagai dasar pengambilan kesimpulan dan tolak ukur prestasi pemecahan masalah. Dasar teori yang diambil tentunya berkenaan dengan masalah atau kasus yang akan dianalisis sesuai dengan pembatasan sehingga lebih sistematis.

2. Metode Interview

Metode pengumpulan data melalui wawancara dengan petugas yang telah ditunjuk.

3. Metode Observasi

4. Metode pengumpulan data dengan melakukan pengamatan secara langsung.

Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil parameter-parameter pada kondisi yang berbeda-beda. Untuk sample pengambilan data di lakukan dengan mengambil lima sample temperatur yang berbeda untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur superheded terhadap performa turbin

Efisiensi Boiler

Suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

$$\eta_{boiler} = \frac{W_{boiler}}{N \times \dot{m}_{bahanbakar}} \times 100 \%$$

Keterangan :

- W_{boiler} = entalpi tekanan keluar boiler (kj/jam)
- $\dot{m}_{bahanbakar}$ = entalpi keluar pompa (kg/jam)
- N = Nilai bahan bakar (kj/kg)
- η_{boiler} = performa boiler (%)

Efisiensi Turbin Uap

Dimana Efisiensi efisiensi turbin uap dapat di hitung menggunakan rumus perhitungan Thermal Siklus Rankine Sederhana ideal dapat dinyatakan dengan persamaan (Nag, 2007):

A. Proses 1-2 : kerja pompa

$$W_p = V_1 \times (P_2 - P_1) = h_{f2} - h_{f1} \dots\dots\dots (1)$$

Dan

$$h_{f2} = h_{f1} + W_p \dots\dots\dots (2)$$

B. Proses 2-3 : panas yang diserap ketel Uap

$$Q_{in} = h_{g3} - h_{f2} \dots\dots\dots (3)$$

C. proses 3-4 : Kerja Turbin

$$W_T = h_{f3} - h_{fg4} \dots\dots\dots (4)$$

D. Efisiensi Thermal Turbin Uap

$$\eta_{thermal} = \frac{W_T - W_P}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- P_1 = Tekanan masuk pompa (bar)
- T_1 = Temperatur air umpan °C
- P_2 = Tekanan Keluar Pompa (bar)
- P_3 = Tekanan Keluar boiler atau masuk turbin (bar)
- T_3 = Temperatur steam superheater °C
- P_4 = Tekanan Keluar turbin (bar)
- V = Volume Spesifik air umpan (m^3/kg)
- h_{f1} = Entalpi (tabel saturated steam) tekanan masuk pompa (kj/kg)
- h_{f2} = Entalpi (tabel saturated steam) tekanan keluar pompa (kj/kg)
- W_p = Daya Pompa (kj/kg)
- Q_{in} = Daya Boiler (kj/kg)
- h_{g3} = Entalpi (tabel superheated) tekanan keluar boiler (kj/kg)
- W_T = Daya turbin (kj/kg)
- h_{fg4} = Entalpi (tabel Saturated steam) tekanan BPV (kj/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian dan pengambilan data pada bulan september ini yang di lakukan di PT. Perkebunan Nusantara VI Aur Gading yang terletak di Tembesi Provinsi Jambi. Dalam penelitian ini yang berkaitan dengan boiler dan turbin uap. Pengambilan data ini meliputi beberapa stasiun yaitu stasiun boiler dan stasiun engine room. Penelitian ini dilakukan untuk dapat menghitung pengaruh uap superheated terhadap performa boiler. Penelitian dilakukan selama 6 hari. Berikut adalah data rekapitulasi operasi boiler dan turbin yang diambil saat melakukan penelitian.

Tabel 1 Rekap data rata rata

Data suhu	Pompa		Boiler		Turbin		M Uap	M BB
	Air Umpan (°C)	Tekanan Masuk (Bar)	Tekanan (Bar)	Suhu (°C)	Tekanan Keluar (BPV) (Bar)	Daya Generator (Kw)	Laju Uap (Ton/Jam)	Laju Bahan Bakar (Kg/Jam)
Rendah	90,1	1,5	21,3	225,4	2,3	1124,1	21,4	4290,3
Sedang	91,3	1,5	22,9	232,9	2,3	1125,5	21,9	4323,9
Tinggi	83,9	1,5	21,9	245,9	2,6	1121,4	22,0	4445,1

Berdasarkan dari Tabel diatas , di atas terdapat berbagai macam data yang diambil dari stasiun boiler dan turbin uap, Untuk perhitungan maka diambil rata rata berdasarkan data saat melakukan penelitian dari data suhu rendah, sedang dan tinggi,

Perhitungan pada suhu rendah superheated 225,4 °C

Dari tabel , di ambil data rendah operasional boiler dan turbin sebagai berikut,

Boiler

- P_3 = 21,3(bar) → 2,13 Mpa
- T_3 = 225,4 °C
- T_1 = 90,1 °C (air umpan boiler/dereator)
- N = 24241,57 kj/kg dari buku spesifikasi boiler PTPN VI
- m_{uap} = 21,4 Ton/jam → 21400 kg/jam
- $m_{bahanbakar}$ = 4290,3 kg/jam

Berikut adalah interpolasi untuk menentukan entalphi h_{g3} pada tekanan superheated 21,3 bar dan suhu superheated 225,4 °C, interpolasi untuk mencari h_{g3} ini menggunakan tabel uap superheated,

Mencari entalpi boiler (h_{g3}) pada $P_3 = 21,3 \rightarrow 2,13$ Mpa, $T_3 = 225,4$ °C

Dari tabel uap di peroleh dan interpolasi didapat $h_{g3} = h_{g3} = 2834,61$ kj/kg

Mencari entalpi air umpan (h_{f1}) pada $T_1 = 90,1$ °C

Dari tabel uap dan interpolasi di peroleh $h_{f1} = 377,47$ kj/kg

Perhitungan efisiensi boiler:

Perhitungan efisiensi boiler

$$\eta_{boiler} = \frac{W_{boiler}}{N \times \dot{m}_{bahanbakar}} \times 100 \%$$

$$W_{boiler} = \dot{m}_{uap} (h_{g2} - h_{f1})$$

$$W_{boiler} = 21400 \text{ kg/jam} (2834,61 \text{ kJ/kg} - 377,47 \text{ kJ/kg})$$

$$W_{boiler} = 52582796 \text{ kJ/jam}$$

$$\eta_{boiler} = \frac{52582796 \text{ kJ/jam}}{24241,57 \text{ kJ/kg} (4290,3 \text{ kg/jam})} \times 100 \%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{52582796 \text{ kJ/jam}}{104003607 \text{ kg/jam}} \times 100 \%$$

$$\eta_{boiler} = 50,55 \%$$

– Turbin Uap

$P1 = 1,5(\text{bar}) \rightarrow 0,15 \text{ Mpa}$ $P2 = 21,3 \text{ bar}$ $P4 = 2,3 \text{ bar} \rightarrow 0,23 \text{ Mpa}$ $hf1 = 377,47 \text{ kJ/kg}$ Mencari Volume spesifikasi air umpan ($V1$) pada $P1 = 1,5 \text{ bar} \rightarrow 0,15 \text{ Mpa}$

Dari tabel uap di peroleh : $Pa = 0,14$

$$Va = 0,0010510 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$Wp = V1 \times (P2 - P1)$$

$$Wp = 0,0010527 \text{ m}^3/\text{kg} \times (21,3 - 1,5) \text{ bar} \times 105 \text{ N/m}^2$$

$$Wp = 2,084346(\text{kJ/kg})$$

Mencari entalpi Qin dan WT dengan cara yang sama dari

Dari tabel uap dan interpolasi didapat.

$$Qin = hg3 - hf2$$

$$Qin = (2834,61 - 379,554) \text{ kJ/kg}$$

$$Qin = 2455,056 \text{ kJ/kg}$$

$$WT = hg3 - hfg4$$

$$WT = (2834,61 - 2484,693) \text{ kJ/kg}$$

$$WT = 349,91 \text{ kJ/kg}$$

Perhitungan Efisiensi Turbin Uap

$$\eta_{turbin} = \frac{W_T - W_p}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = \frac{349,91 \text{ kJ/kg} - 2,084346 \text{ kJ/kg}}{2455,056 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 14,16 \%$$

Perhitungan pada suhu rendah sedang dan tinggi hasil dapat dilihat pada tabel rekap tersebut dibawah,

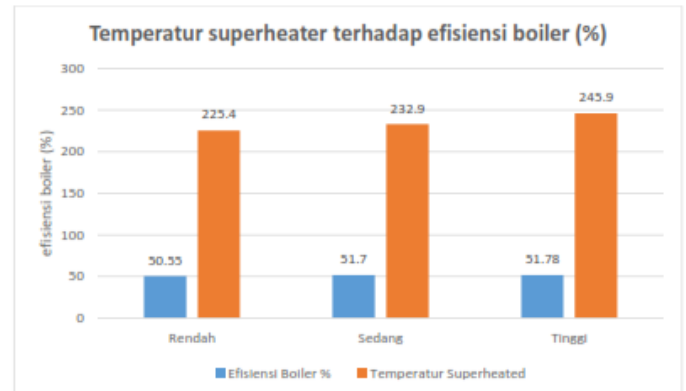
Tabel 2, Hasil perhitungan Data

Data suhu	Pompa		Boiler		Turbin		M Uap	M Bb	Efisiensi Boiler	Efisiensi Turbin
	Air Umpan (°C)	Tekanan Masuk (Bar)	Tekanan (Bar)	Suhu (°C)	Tekanan Keluar (BPV) (Bar)	Daya Generator (Kw)	Laju Uap (Ton/Jam)	Laju Bahan Bakar (Kg/Jam)		
Rendah	90,1	1,5	21,3	225,4	2,3	1124,1	21,4	4290,3	50,55%	14,16%
Sedang	91,3	1,5	22,9	232,9	2,3	1125,5	21,9	4323,9	51,70%	15,69%
Tinggi	83,9	1,5	21,9	245,9	2,6	1121,4	22,0	4445,1	51,78%	15,71%

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, untuk mencari nilai efisiensi boiler membutuhkan hasil Wb boiler dan Nilai kalor pada cangkang dan fiber, pada suhu superheated rendah 225,4 °C mempunyai tekanan boiler 21,3 bar nilai entalpi $h3$ yaitu 2837,29 kJ/kg, dan hasil efisiensi nya adalah 50,61 %, berdasarkan dari data hasil efisiensi. Pada saat dari superheated rendah, sedang dan tinggi efisiensi boiler yaitu 50,61 %, 51,70%, 51,78%. bahwa efisiensi boiler meningkat dikarenakan suhu superheated dan tekanan pada boiler semakin besar juga, efisiensi pada turbin uap, Efisiensi pada turbin berdasarkan suhu superheated rendah, sedang dan tinggi yaitu 14,08%, 15,69% dan 15,71%,

Analisa Perhitungan

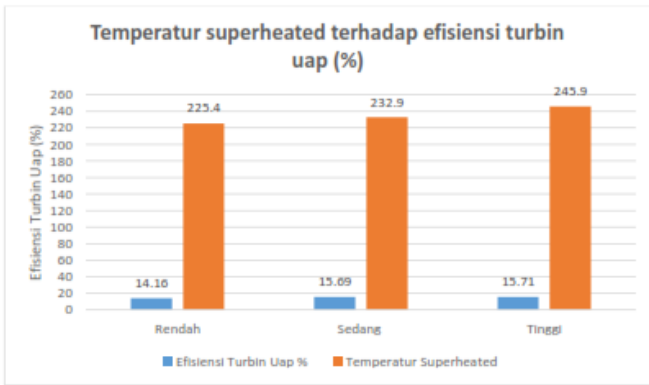
1. Hubungan dari temperatur superheated rendah, sedang dan tinggi efisiensi boiler dapat dilihat pada gambar. 4



Gambar 4, Grafik Efisiensi Boiler

Sesuai analisa diatas gambar.4 atas adalah grafik efisiensi boiler Pada temperatur superheated rendah, sedang dan tinggi efisiensi boiler yaitu 50,55 %, 51,70%, 51,78%, bahwa efisiensi boiler meningkat dikarenakan suhu superheated pada boiler semakin besar yang berdampak pada entalpy yang makin besar.

2. Hubungan dari temperatur superheated rendah, sedang dan tinggi efisiensi turbin dapat dilihat pada gambar.5



Gambar 5, Grafik efisiensi turbin uap

Sesuai gambar.5 diatas adalah grafik efisiensi pada turbin uap berdasarkan suhu superheated rendah, sedang dan tinggi yaitu 14,16%, 15,69% dan 15,71% bahwa efisiensi turbin uap meningkat, dikarnakan suhu superheated pada boiler semakin besar yang berdampak pada intalpy yang makin besar.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan Analisa pengaruh temperature superheated terhadap boiler dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin meningkatnya temperatur superheated pada boiler sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler, pada data temperatur superheated rendah, sedang dan tinggi yaitu 225,4 C, 232,9C , 245,9C dapat menghasilkan efisiensi boiler 50,55%, 51,70%, 51,78%.
2. Begitu juga Semakin meningkatnya temperatur superheated pada boiler sangat berpengaruh terhadap efisiensi Turbin, pada data temperatur superheated rendah, sedang dan tinggi yaitu 225,4 C, 232,9C , 245,9C dapat menghasilkan efisiensi turbin uap 14,16 % ,15,69 % dan 15,71 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya Penelitian ini kami ucapkan terima kasih kepada Kepala PT. Perkebunan Nusantara VI PKS Aur Gading Batanghari Jambi atas segala fasilitas penunjang yang telah diberikan selama pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Arismunandar dkk (penerjemah) 2002, *Pengantar Turbin Gas Dan Motor*
- 2) Budiarto.s dkk (penerjemah) 1989 *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, Jakarta Universitas Indonesia,

- 3) Djokosetyarjo, I, M, J, 1989, Ketel Uap, Edisi 1, PT, Pradnya Paramita, Hammada Abbas, Jurnal Volume 15, Nomor 02, Oktober 2020 ANALISIS
- 4) Parinduri, L, 2016, Analisa Pemanfaatan Biomassa Pabrik kelapa Sawit
- 5) Yon Eko Saputro, 2014, *Kajian Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas G4 PT Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Bali*, Universitas Udayana Denpasar,
- 6) Santoso, H, (2018), Optimalisasi untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW, *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 3(2),
- 7) Jatmiko Edi Siswanto, Wahyu Tri Purnomo (2021), Perbandingan Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar Antara Arang Kayu dan Gas LPG Pada PLTU Tekanan Rendah skala labotarium, *JuTMI Vol 1 No.1 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi*
- 8) Jatmiko Edi Siswanto (2021) Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium Dengan Bahan Bakar LPG *Journal of Electrical Power Control and Automation. Vol 4, No 1*
- 9) Jatmiko Edi Siswanto (2022) Analisa Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pembakaran terhadap Efisiensi Pengujian pada Sistim Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium *Journal of Electrical Power Control and Automation Vol 5, No1*