

## PERHITUNGAN EFISIENSI PADA *BOILER* di PT. PLTU TANJUNG AWAR-AWAR

Dendrifika Anggun Maharani<sup>1</sup>, Eko Naryono<sup>1</sup>, Arif Eko<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia  
PT PLTU Tanjung Awar awar, Semngke, Wadung, Kec. Jenu, Kabupaten Tuban, Jawa Timur  
Dendrifika.maharani23@gmail.com, [eko.naryono@polinema.ac.id]

### ABSTRAK

PT. PLTU Tanjung Awar Awar merupakan Perusahaan pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. Energi panas pembakaran digunakan untuk memanaskan air, menghasilkan uap jenuh dan uap lewat jenuh. Selama proses berlangsung dimungkinkan terjadi kehilangan panas atau kalor. Kehilangan panas ini dapat menurunkan efisiensi penyerapan panas dari *boiler*. Kehilangan panas ini perlu dievaluasi secara rutin dengan cara dilakukan perhitungan efisiensi *boiler*. Perhitungan dilakukan berdasarkan perhitungan HHV (*High Heating Value*), batu bara,  $Q$  pada *boiler* dan efisiensi penyerapan panas dari *boiler*. Dari hasil perhitungan diperoleh efisiensi penyerapan panas pada *boiler* sebesar 76,92 % pada umpan batu bara sebesar 200 Ton/h.

**Kata kunci** : *boiler, efisiensi, panas*

### ABSTRACT

*PT. PLTU Tanjung AwarAwar is a steam power plant company that uses coal as fuel. Combustion heat energy is used to heat water, producing saturated steam and supersaturated steam. During the process, it is possible to lose heat or heat. This heat loss can reduce the efficiency of heat absorption from the boiler. This heat loss needs to be evaluated regularly by calculating the boiler efficiency. The calculations are made based on the calculation of HHV (High Heating Value), coal,  $Q$  in the boiler and the efficiency of heat absorption from the boiler. From the calculation results, the efficiency of heat absorption in the boiler is 76.92% in the coal feed of 200 tons/h.*

**Keywords**: *boiler, Efficiency, Heat*

### 1. PENDAHULUAN

PT. PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Tanjung Awar-Awar Tuban merupakan perusahaan listrik swasta dengan kapasitas 2 x 350 MW ini, ditunjuk PT. PLN (Persero) menunjuk PLN (Persero) unit Pembangkit Jawa Bali (UPJB) sebagai asset manajer sesuai dengan surat Direktur Utama PLN (Persero) nomor 02732/121/DIRUT/2011, tanggal 22 Agustus 2011, tentang pekerjaan jasa O&M PLTU 3 Jawa Timur (Tanjung Awar-Awar) dan Berita Acara Serah Terima Penugasan Pelaksanaan Pekerjaan Jasa O&M PLTU 3 Jawa Timur PT. PLN (Persero). PT. PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Tanjung Awar-Awar Tuban menggunakan bahan bakar batubara untuk membangkitkan steam. Sebagai salah satu jenis energi fosil, batu bara dapat digunakan untuk bahan penggerak mesin, dan sumber panas dalam furnace [1].

PLTU Tanjung Awar Awar merupakan salah satu pembangkit listrik di Indonesia dengan kapasitas produksi yakni 2 x 350 MW. PLTU ini menggunakan tenaga uap yang berasal dari air laut untuk menggerakkan turbin. PLTU Tanjung Awar awar ini memiliki 2 proses yakni *external*

dan internal . Proses *external* merupakan proses untuk mengubah air laut menjadi air bebas mineral menggunakan sistem *reverse osmosis (RO)*. Air yang telah melewati proses *RO* selanjutnya dilewatkan *Ion Exchange* untuk mengikat ion negatif dan ion positif menggunakan resin. Air demin ini selanjutnya dialirkan menuju tahapan yang disebut proses internal untuk menghasilkan uap bertekanan sebagai penggerak turbin uap. Proses *internal* merupakan tahapan rangkaian proses perubahan air menjadi uap untuk menggerakkan turbin pembangkit listrik. Tahapan proses internal dengan mengacu Gambar 1, diawali dengan mengalirkan air bebas mineral ke deaerator untuk menurunkan kadar oksigen yang terlarut. Air dari *deaerator* dipompa menuju ke *Economizer 2* untuk pemanasan awal. Pemanasan awal di dalam *economizer* memanfaatkan bahan bakar yaitu batu bara 1 sebagai media pemanas *Boiler Drum* . *Boiler Drum* merupakan sistem proses untuk mengubah air menjadi uap yang terdiri dari beberapa peralatan yaitu *economizer* , *superheater* dan *reheater* sebagai satu rangkaian tahapan proses pemanasan. Setelah melewati *economizer*, air melewati *superheater* untuk dilakukan pemanasan dengan suhu  $\pm 538^{\circ}\text{C}$  menjadi uap lewat jenuh. Uap ini selanjutnya digunakan untuk menggerakkan *High Pressure Turbine* 3. Tekanan dan suhu uap yang telah digunakan untuk menggerakkan *High Pressure Turbine*, akan turun sehingga perlu dipanaskan kembali pada *Reheater* untuk penggerak *Intermediet Pressure Turbine*.

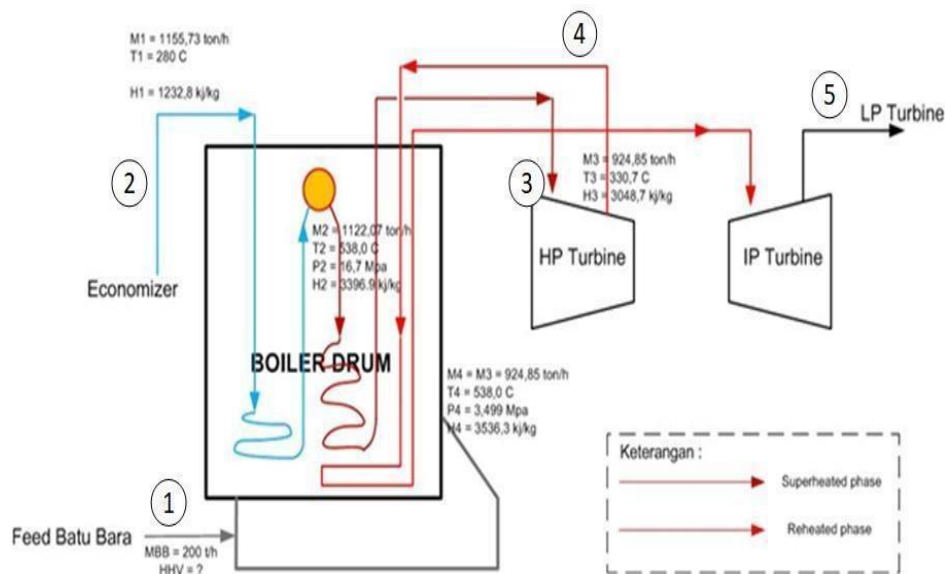
Selama proses pemanasan pada *boiler* dapat terjadi kehilangan panas (Q) . Beberapa faktor yang dapat menyebabkan kehilangan panas yaitu pembakaran yang tidak sempurna menyebabkan unsur karbon yang tidak terbakar dan abu terikut ke cerobong yang dapat terakumulasi di permukaan pipa dan menempel, sehingga perpindahan panas tidak maksimal. Selain itu faktor lainnya adalah terbentuknya kerak yang dikarenakan *overheating* atau panas berlebih yang terjadi di dalam *Boiler Drum* yang menempel pada pipa dapat menurunkan perpindahan panas ke air di dalam *boiler*, sehingga kehilangan panas ini dapat menurunkan efisiensi *boiler* . Pada PLTU Tanjung Awar Awar penurunan efisiensi *boiler* ini secara rutin dievaluasi yang hasilnya digunakan sebagai dasar untuk pengaturan operasi pada *boiler* sehingga efisiensinya tetap tinggi selain itu juga perlu diperhatikan *Blowdown* untuk membuang uap uap yang jenuh agar tidak terjadi kerak di dalam *boiler* . Untuk itu perlu dilakukan perhitungan efisiensi *boiler* secara rutin. Perhitungan efisiensi *boiler* didasarkan panas masuk dan panas keluar, sehingga memerlukan data panas output (uap) dan panas input (bahan bakar). Data data tersebut diperoleh dari HHV (*High Heating Value*) batubara , Q batu bara serta, dan Q *boiler* . Dari data yang didapatkan akan dihitung efisiensi penyerapan panas dengan cara membagi nilai Q Batu bara dengan Q *boiler* lalu dikali dengan 100% sehingga didapatkan hasil efisiensi *boiler* [2].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk perhitungan efisiensi *boiler* diperlukan data HHV (*High Heating Value*) , Q batu bara serta Q pada *boiler* menggunakan rumus :

$$\text{Efisiensi Boiler} : \frac{Q \text{ Batu bara}}{Q \text{ Boiler}} \times 100\% \quad (1)$$

Kandungan panas batu bara (Q) dihitung berdasarkan HHV yang ditentukan berdasarkan kandungan C (karbon), H (Hidrogen) , N (Nitrogen), S (Sulfur) dan O (Oksigen) sedangkan panas *boiler* (Q *boiler* ) dihitung dari entalpi (H) uap dari *boiler* dan *reheater*.



**Gambar 1.** Alur Proses pada Boiler (Sumber: PT. PLTU Tanjung Awar-awar)

Berdasar Gambar 1, data kondisi operasi temperatur, *flow rate* material, dan enthalpy pada *boiler drum* diperoleh dari pengamatan dan pengukuran pada alat ukur pada instrument *Boiler drum*. Temperatur diukur menggunakan termokopel, laju alir massa dari *economizer* diukur menggunakan flowmeter (M). Data Enthalpy diperoleh dari *steam table* (“*engineering and Chemical Thermodynamics*”) pada temperatur *boiler* yang dibaca pada thermokopel.

Data untuk perhitungan efisiensi panas *boiler* berasal dari pengukuran air *make up* yang dipanaskan dengan *economizer*. Pada aliran *make up water* ini diukur temperatur *economizer* (T1), dan kecepatan aliran massanya (M1). Hasil pengukuran masing masing T1 sebesar 280,3 °C dan M1 sebesar 1155,73 ton/h. Hasil pembacaan *steam table* (“*engineering and Chemical Thermodynamics*”) entalphi pada T1 yaitu H1 sebesar 1232,8 KJ/Kg . Pengukuran laju alir massa batu bara untuk memanaskan *boiler* sebesar 200 ton/h .

Pemanasan pada *boiler* akan menghasilkan uap *saturated* selanjutnya dipanaskan menjadi uap *superheated*. Laju alir massa uap *superheated* berdasarkan hasil pengukuran (M2) sebesar 1122,07 ton/h, dengan temperature (T2) sebesar 538,0 °C dan tekanan (P2) sebesar 16,7 MPa. Pada temperatur dan tekanan tersebut entalpi *steam superheated* pada *steam table* yaitu (H2) sebesar 3396,9 KJ/Kg . Setelah digunakan untuk menggerakkan *high pressure turbine* laju alir dan temperatur uap menurun menjadi (M3) sebesar 924,85 ton/h dan temperatur (T3) sebesar 330,7 °C dengan entalphy (H) sebesar 3048,7 KJ/Kg . Uap ini kemudian dipanaskan kembali pada *reheated boiler* dan untuk menghasilkan uap *reheated* dengan laju alir (M4) sebesar 924,85 ton/h , (T4) sebesar 538,0 °C , (P4) sebesar 3,499 MPa dengan entalphi (H4) sebesar 3536,3 KJ/Kg, untuk menggerakkan IP turbin [4].

## 2.1 Metode Perhitungan

Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan :

$$\text{Energi Input} = \text{Energi Output} + \text{Losses} \quad (2)$$

$$\text{Sehingga; Efisiensi penyarapan panas boiler} = \frac{Q_{\text{Batu bara}}}{Q_{\text{Ketel}}} \times 100\%$$

**2.2 Perhitungan HHV (High Heating Value)**

$$HHV = [ 8,080C + 34.500 (H - O/8) + 2220 SJ] \tag{3}$$

**2.3 Perhitungan Q pada batu bara**

$$Q_{\text{Batu bara}} = HHV \times \text{Massa Batu Bara} \tag{4}$$

**2.4 Perhitungan Q Boiler**

$$Q_{\text{Boiler}} = Q_{\text{superheater}} + Q_{\text{Reheater}} \tag{5}$$

**2.5 Efisiensi Penyerapan panas dari Boiler**

$$\text{Efisiensi penyerapan panas boiler} = \frac{Q_{\text{Batu bara}}}{Q_{\text{Ketel}}} \times 100\% \tag{6}$$

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Data hasil analisa dan pengukuran**

Data hasil analisa batubara, pengukuran aliran massa, temperatur dan entalpi uap untuk perhitungan efisiensi boiler menggunakan persamaan (1, 2, 3, 4, 5, dan 6) ditunjukkan masing masing pada table 1, 2 dan 3

**Tabel 1.** Komposisi batu bara

Komponen	% massa
C	59,16
H	3,43
N	2,60
S	0,16
O	34,66
Total	100

**Tabel 2.** Enthalpy umpan boiler

T (Suhu)	H (Enthalpy)	Kj/Kg
280°C	H <sub>1</sub>	758,9
538°C	H <sub>2</sub>	1232,8
330,7°C	H <sub>3</sub>	3396,9
538 °C	H <sub>4</sub>	3536,3

**Tabel 3.** Massa Umpan Boiler

Massa Umpan	$\frac{Ton}{h}$	$\frac{Kg}{h}$
M <sub>1</sub>	1155,73	11557300
M <sub>2</sub>	1122,07	11220700
M <sub>3</sub>	924,85	9248500
M <sub>4</sub>	924,85	9248500

### 3.2 Pembahasan

Hasil analisa batu bara, didapatkan beberapa unsur – unsur yang terkandung dalam batu bara yaitu C,H,O,N,S. Dari kelima unsur tersebut, kandungan C (Carbon) memiliki peranan yang paling penting sebagai bahan bakar, semakin tinggi nilai C maka temperature pembakaran semakin tinggi karena nilai HHV semakin tinggi. Zat aktif yang terdapat pada batubara yang menghasilkan energi atau panas apabila dilakukan proses pembakaran disebut *volatile matter*, sehingga zat terbang merupakan zat aktif yang mempercepat proses pembakaran. Zat terbang terdiri dari gas –gas yang mudah terbakar seperti hydrogen (H), karbon monoksida (CO) dan metana (CH<sub>4</sub>). Gas sulfur dioksida yang terbentuk selama pembakaran merupakan diharapkan sekecil mungkin. Kandungan sulfur yang tinggi dalam batubara tidak diinginkan karena akan berakumulasi dan dapat menyebabkan korosi dan pencemaran udara.

PLTU merupakan pembangkit yang memanfaatkan uap dari pemanasan air laut. Sebelum digunakan sebagai penggerak turbin air laut terlebih dahulu dilakukan proses desalinasi terlebih dulu. Kandungan garam mineral pada air laut dapat menyebabkan terjadinya korosi pada perpipaan maupun instrument pada *boiler* . Konduktifitas pada air laut dapat mencapai  $\pm 177,9 \mu\text{S}/\text{cm}$ , sehingga harus dilakukan penurunan konduktifitas menggunakan RO menjadi  $10 - 30 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Konduktifitas ini perlu diturunkan lebih lanjut menggunakan *Ion Exchange* untuk memenuhi standar umpan air *boiler* menjadi dibawah  $< 3 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Untuk menjadikan air umpan *boiler* yang bebas dari kadar garam harus melalui proses *water treatment* dengan beberapa proses yaitu desalinasi, demineralisasi dan deaerasi. Proses desalinasi yaitu penghilangan kadar garam dengan reverse osmosis. *Desalination plant* di PLTU 3 Jawa Timur Tanjung Awar-Awar menggunakan RO (*Reverse Osmosis*) dengan Proses memompakan air laut untuk masuk kedalam vessel yang didalamnya terdapat membran semipermeable. Pada proses ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi dikarenakan pada saat proses penghilangan kadar garam, masih ada sisa kandungan garam yang terlarut, karena membran semipermeable kemungkinan belum dapat menyaring keseluruhan kandungan garam air laut. Selain itu, garam juga dapat larut pada temperatur tinggi. Ketika terjadi penguapan pada *boiler* , air akan menguap sedangkan garam garam yang terlarut akan tetap dan menyebabkan konsentrasi garam naik .Keadaan di atas dapat menyebabkan jumlah garam yang terlarut lebih besar daripada kelarutannya yang menyebabkan sebagian garam tidak larut, yang dapat membentuk kerak padat dan menempel pada permukaan *boiler* , hal ini yang dapat mempengaruhi penurunan efisiensi *boiler* .

Setelah melewati proses desalinasi dengan menggunakan RO (*Reverse Osmosis*) air laut akan berubah menjadi air tawar, dilanjutkan proses demineralisasi yaitu proses penghilangan mineral yang terlarut di dalam air , yang menggunakan media penukar ion yang dibedakan atas muatan listrik yang terkandung di dalamnya menjadi penukar kation dan penukar anion . Hasil dari demineralisasi ini akan dihasilkan air murni H<sub>2</sub>O. Kemudian hasil dari proses demineralisasi ditampung dalam *makeup water tank*. *Demin water* ini kemudian dipompakan menuju *condensate tank*. Air kondensat akan dipompakan menggunakan *condensate pump* menuju *low pressure heater* untuk pemanasan awal. Setelah dipanasi di LP heater air pengisi kemudian dialirkan menuju *deaerator* untuk proses penghilangan unsur oksigen yang masih terkandung dalam air pengisi. Di dalam deaerator Uap akan

memisahkan gas dari air pengisi untuk kemudian gas – gas tersebut bergerak dengan cepat ke bagian atas deaerator dan selanjutnya dibuang ke atmosfer. Setelah dari deaerator air langsung dipompakan oleh *boiler feed pump* menuju *HP heater* untuk memanaskan air pengisi. Air kemudian masuk ke *economizer* untuk pemanasan akhir air sebelum masuk ke *steam drum*.

Di *superheater* uap basah dari *steam drum* dan *water wall* akan dipanaskan kembali menjadi uap panas lanjutan (uap kering). Uap panas lanjut ini lalu dialirkan ke *HP turbine* untuk memutar sudu – sudu *HP turbine*. Setelah digunakan di *HP turbine* uap akan mengalami proses ekspansi (tekanan dan temperature uap turun). Uap dari *HP turbine* akan kembali dipanaskan melalui *reheater*. Di dalam *reheater*, uap akan dipanaskan Kembali dengan tekanan konstan lalu dialirkan menuju *IP turbine* untuk memutar sudu – sudu di *IP turbine*. Setelah digunakan uap tidak akan dipanaskan kembali. Terakhir, uap yang keluar dari *LP turbine* kemudian di alirkan di *condenser* untuk dikondensasikan menjadi air pengisi. Proses kondensasi uap menggunakan media tube – tube kecil yang dialiri oleh air laut sebagai pendinginnya yang dipompa menggunakan *CWP (circulating water pump)*. Air kondensat ini kemudian digunakan kembali sebagai air pengisi *boiler* menggunakan proses yang sama.

Dari penjelasan diatas berikut alat yang paling berpengaruh terhadap penurunan efisiensi *boiler* yaitu pada alat deaerator yang berfungsi menghilangkan  $O_2$ . Kinerja deaerator pada PLTU Tanjung Awar awar masih belum dapat dikatakan maksimal dikarenakan proses pembersihan (*Cleaning*) pada deaerator jarang dilakukan. Hal ini dapat menyebabkan kandungan  $O_2$  tinggi sehingga mempengaruhi kinerja *boiler*. Selain deaerator, membrane semipermeable pada proses *Reverse Osmosis* (Desalinasi) juga dapat mempengaruhi penurunan efisiensi *boiler*. Karena kadar garam yang masih tinggi akibat membrane yang belum dapat bekerja maksimal untuk menyaring kadar garam yang terlarut sehingga pada *boiler* dapat membentuk kerak dan menutupi permukaan *boiler*.

Berdasar data PT.PLTU Tanjung Awar awar dengan kondisi operasi diatas dapat diperhitungkan berturut turut yakni  $Q$  superheater sebesar 24282716870 Kj/h ; untuk  $Q$  *reheater* sebesar 4509568600 Kj/h sehingga panas total yang dapat diserap oleh *Boiler* yakni sebesar total penjumlahan  $Q$  Superheater +  $Q$  *Reheater* yakni sebesar 24269289940 Kj/h . Setelah mencari  $Q$  dari *Boiler*, selanjutnya diikuti dengan nilai efisiensi *boiler*. Efisiensi *boiler* ini berfungsi sebagai salah satu tolak ukur kerja *boiler* Dari hasil perhitungan Efisiensi penyerapan panas dari *Boiler* sebesar 76,92 % . Nilai ini sedikit jauh dari 100% dikarenakan banyaknya panas ( $Q$ ) yang hilang dari *boiler*. Ada beberapa faktor yang dapat menurunkan efisiensi *boiler* pada proses ini yaitu kehilangan panas karena unsur karbon yang tidak terbakar di dalam cerobong dan abu. Abu dapat berakumulasi pada permukaan pipa dan bertindak sebagai penyekat. Pada penelitian Mufid, kenaikan flowrate air panas mengakibatkan menurunnya Number Of Transfer Unit (NTU). Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya kapasitas kalor minimum yang diakibatkan oleh kenaikan flowrate air panas [7]. Selain dikarenakan karbon yang tidak terbakar di dalam cerobong, kerak dapat juga menurunkan efisiensi, timbulnya kerak ini diakibatkan pemanasan yang cukup tinggi dan terus menerus, selain itu juga dikarenakan adanya kandungan garam yang terlarut sehingga dapat menimbulkan kerak yang menempel dan dapat mengurangi kemampuan perpindahan panas dan mengakibatkan suhu gas buang menjadi tinggi, sehingga menyebabkan penurunan

efisiensi pada *boiler*. Dari data diatas efisiensi dari *boiler* masih cukup tinggi dikarenakan media pemanas yang digunakan sangat mempengaruhi efisiensi *boiler*, media pemanas yang digunakan yaitu batu bara. Kualitas dari batu bara yang digunakan sangat tinggi, ketika kualitas batu bara tinggi maka pemanasan yang dihasilkan akan sempurna, sebaliknya ketika batu bara memiliki kualitas rendah maka efisiensi pemanasan juga rendah.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Air demin masih layak digunakan dengan syarat mineral yang terkandung sebesar  $< 3 \mu\text{S}/\text{cm}$  dan tidak ada kandungan silika, natrium atau garam yang terlarut di dalam air sehingga tidak menghalangi proses di dalam *boiler*. Berdasar perhitungan  $Q$  batu bara yang dihasilkan pada proses internal sebesar  $28792285470 \text{ KJ/h}$  dikarenakan adanya penurunan tekanan ( $P$ ) yang menyebabkan efisiensi *boiler* menurun sebesar  $23.08 \%$  Kerak pada pipa masih ada batas toleransi apabila hasil analisa konduktifitas yang pada air laut tidak melebihi  $10 - 30 \mu\text{S}/\text{cm}$  Hasil dari proses *Reverse Osmosis* konduktifitas harus dibawah  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$  agar tidak menghalangi proses pada *boiler*. Setelah dianalisa dari perhitungan serta permasalahan yang terjadi pada alat *boiler* pada proses pemanasan air pada *boiler* yaitu perlu adanya peningkatan perawatan pada *boiler* secara rutin dan pengawasan yang lebih ketat sehingga tidak memberikan panas hilang atau  $Q \text{ Losses}$  yang besar yang dapat menurunkan efisiensi pada *boiler*.

#### REFERENSI

- [1] Kadir, L., Hunggul, N. Y. S. H, and Sallata, M. K., 2011, *Teknologi Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan*, Penerbit ITB, Bandung.
- [2] Deni, S., Suparman, and Hadi, S., 1999, *Mekanisme Boiler pada PLTU*, Penerbit ITB, Bogor.
- [3] Elonka, S. M., 1973, *Standard Boiler Operators Question and Answer*, TATA Mc . Graw Hil, New Delhi.
- [4] El-Wakil, M.M., 1984, *Power Plant Technology*, Butterworths, New York.
- [5] Miller, R. H., and Malinowski, J. H., 1994, *Power System Operation*, McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- [6] Woodruff, E. B., and Laurence, 2012, *Steam Plant Operation*, McGraw-Hill, United States of America.
- [7] Mufid, Arif, R. H dan Bambang, W., 2019, *Pengaruh Pitch Turbulator terhadap NTU Double Pipe Heat Exchanger*, Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, Vol 3, No. 1.