ANALISA PERBANDINGAN NPHR SAAT MILL E IN SERVICE DAN OUT SERVICE

Arifia Ekayuliana¹, Jusafwar, Diah Purwati Ningsih, Fitria Annisa

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. G. A Siwabessy, Kampus UI Depok, 16424, Telp (021) 7270036, Fax (021) 727 0034
e-mail : ¹Arifia_ekayuliana@yahoo.com

ABSTRACT

Coal feeder is the main equipment in steam power plant which serves to adjust the flow rate of coal coming into the mill to be crushed. Disturbance in one of the coal feeder makes Pulverizer/Mill E supposed to operate in the event of an emergency must finally be in service status. The operation of Mill E will make a significant increase in Spray Superheater and Spray Reheater cause of overheat in the boiler convection area. Realized monthly NPHR generating performance is always different from the monthly Performance Test result due to the decreasing unit performance which comes from the increase of heat rate value that resulting in the increasing amount of coal consumption and the variability losses. To reduce the NPHR to make the plant more efficient then used NPHR calculation method that is heat losses method according to standard ASME PTC (The American Society of Mechanical Engineers Performance Test Code) with the number of parameters are more detail. So the calculated of value NPHR will have accuracy according to the actual condition. The purpose of this analysis is to analyze the performance of PLTU Labuan (Banten) which has a capacity of 2x300 MW throughout 2018 and compare it during normal conditions or when there is interference due to malfunction one of the components. The calculation of NPHR (Net Plant Heat Rate) by calculating Turbine Heat Rate, Boiler Efficiency, generator output power and self power consumption. The result of calculation with Heat Balance Method, plant has NPHR equal to 2604,190411 kcal/kWh with coal flow consumption equal to 187,38377414 Ton / h and boiler efficiency equal to 83,98% when Mill E in service and NPHR equal to 2562,130235 kcal / kWh with coal consumption equal to 178,208018 Ton/h and boiler efficiency equal to 84.23% when Mill E out service. It is known that NPHR when Mill E in service is greater than when Mill E out service which mean when Mill E operates a decrease in power plant performance and more wasteful coal consumption. With the calculation of Net Plant Heat Rate routinely and optimally can be done and fast performance can be selected.

Keywords: Plant Heat Rate, NPHR, Heat Balance Method, PLTU, thermal energy

ABSTRAK

Coal feeder merupakan peralatan utama pada PLTU yang berfungsi mengatur laju aliran batu bara yang masuk ke mill untuk dihaluskan. Coal feeder bertugas mengatur banyak sedikitnya batu bara sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, yakni besarnya daya yang ingin dibangkitkan dari suatu sistem PLTU. Gangguan di salah satu coal feeder membuat Pulverizer/Mill E yang seharusnya beroperasi saat darurat akhirnya harus berada dalam status in service. Beroperasinya Mill E akan membuat kenaikan yang signifikan pada Superheater Spray dan Reheater Spray akibat overheat di area konveksi boiler. Realisasi kinerja NPHR (Net Plant Heat Rate) bulanan pembangkit selalu berbeda dengan hasil Performance Test bulanan yang disebabkan oleh faktor penurunan performa unit akibat kenaikan nilai heat rate yang berakibat pada meningkatnya jumlah konsumsi batubara dan variability lossess. Untuk menurunkan NPHR agar pembangkit lebih efisien maka digunakan metode perhitungan NPHR yaitu metode heat losses yang sesuai standard ASME PTC (The American Society of Mechanical Engineers Performance Test Code) dengan jumlah parameter yang lebih banyak dan detail. Sehingga nilai NPHR hasil perhitungan akan memiliki keakuratan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Tujuan dari analisa ini adalah untuk menganalisis kinerja PLTU Labuan (Banten) yang mempunyai kapasitas 2x300 MW sepanjang tahun 2018 dan membandingkannya saat kondisi normal maupun saat ada gangguan akibat tidak berfungsinya salah satu komponen. Perhitungan NPHR dilakukan dengan menghitung Turbine Heat Rate, Efisiensi Boiler, daya keluaran generator dan daya pemakaian sendiri. Hasil perhitungan dengan Metode Keseimbangan Energi, pembangkit memiliki NPHR sebesar 2604,190 kcal/kWh dengan konsumsi batubara sebesar 187,383 Ton/h dan efisiensi boiler 83,98% saat Mill E in service dan NPHR sebesar 2562,130 kcal/kWh dengan konsumsi batubara sebesar 178,208 Ton/h dan efisiensi boiler 84,23% saat Mill E

out service. Diketahui bahwa NPHR saat Mill E in service lebih besar dibanding saat Mill E out service yang berarti saat Mill E beroperasi terjadi penurunan performa pembangkit dan konsumsi batubara yang lebih boros. Dengan perhitungan Net Plant Heat Rate secara rutin dan berkala diharapkan kinerja dan performa pembangkit dapat selalu terpantau dan penyebab gangguan bisa cepat terdeteksi.

Kata kunci : Plant Heat Rate, NPHR, Metode Kesenimbangan Energi, PLTU, efisiensi thermal

PENDAHULUAN

Di Indonesia, peningkatan jumlah penduduk yang juga dibarengi dengan banyaknya kegiatan di bidang industri membuat kebutuhan akan listrik semakin meningkat. Karena itu, pemerintah merencanakan Program Lisrik 35.000 MW untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut hingga pelosok. Demi menyukseskan program tersebut, Perusahaan Listrik Negara (PLN) melakukan beberapa usaha, seperti membangun 9 PLTU baru yang akan memasok hampir 13.000 MW, menyelesaikan proyek pembangunan 34 pembangkit yang sempat mangkrak, pembelian listrik swasta (*independent power producer*) dan optimalisasi kinerja pembangkit yang telah ada.^[1] Heat rate pada PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) adalah jumlah pasokan energi yang diperlukan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh. Karena heat rate adalah kebalikan dari efisiensi maka heat rate yang lebih rendah berarti semakin efisien suatu pembangkit listrik tenaga uap.

Heat rate yang semakin rendah disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut :^[2]

- Peningkatan efisiensi boiler.
- Peningkatan efisiensi siklus uap.
- Penurunan Auxiliary power.

Tulisan ini membahas hasil Net Plant Heat Rate PLTU batubara berkapasitas 300MW yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan Net Plant Heat Rate saat Mill E In Service dan Out Servicedesign saat beban 100% serta kerugian pemakaian batubara akibat selisih Net Plant Heat Rate.

METODE PENELITIAN

Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTU Labuan 2 Banten. Waktu penelitian dilakukan pada Februari sampai Maret 2018. Tahapan metodologi yang terpenting adalah pengambilan data, perhitungan serta analisis efisiensi boiler dengan metode *heat loss* atau metode tidak langsung. Data yang dianalisis adalah data sekunder dari PT INDONESIA POWER dan PLTU Labuan 2 Banten.

1. Perhitungan Net Plant Hate Rate (NPHR) menggunakan metode *energy balance (heatloss)* untuk mengetahui kinerja pembangkit.^{[7][8]}

2. Perhitungan efisiensi boiler menggunakan metoda kerugian-kerugian^{[4][5]}

3. Pembebanan yang dilakukan adalah 100%. Untuk daya mampu dengan komposisi batubara, antara lain:

- a. 100% LRC (*Low Rank Coal*)^[9]

b. Campuran 50% LRC (*Low Rank Coal*) dan 50% MRC (*Medium Rank Coal*).^[9]

HASIL dan PEMBAHASAN

Tabel 1. Perbandingan *Superheater Spray* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*^[10]

Kondisi	Superheater Spray [Ton/h]	Reheater Spray [Ton/h]	Turbine Heat Rate [kCal/kWh]
Mill E In Service	80,06	67,54	2071,73
Mill E Out Service	35,449	43,22	2046,002

Pada Tabel.1 terlihat hubungan antara *Superheater Spray* dan *Reheater Spray* yang berbanding lurus terhadap nilai *Turbine Heat Rate*. Saat Mill E *In Service*, *Turbine Heat Rate* senilai 2071,730 [Kcal/kWh]. Lebih besar 25,728 [kCal/kWh] dari kondisi Mill E *Out Service* senilai 2046,002 [kCal/kWh]. Hal itu terjadi karena faktor meningkatnya *Spray* di bagian *Superheater* dan *Reheater*. Saat Mill E dalam kondisi *In Service*, *Superheater Spray* menyembprot 80,06 [Ton/h] *Main Steam Flow* dari *tapping Superheater*. Jauh meningkat dari 35,449 [Ton/h] saat Mill E dalam keadaan *Out Service* atau kondisi normal.

Hal yang sama juga berlaku di *Reheater Spray*. Total *Reheater Spray* dari *tapping Steam Flow* saat Mill E *In Service* adalah 67,540 [Ton/h] meningkat 24,320 [Ton/h] dari kondisi normal. Semakin besar nilai *Spray*, *Turbine Heat Rate* akan semakin besar karena *Main Steam Flow* yang akan memutar HP *Turbine* menjadi kurang karena sebagian *Main Steam Flow* terpakai untuk *Spray*. Di tabel sebelumnya terjadi *Superheater Spray* terlihat adanya kenaikan saat kondisi Mill E *In Service* dari kondisi normal saat Mill E *Out Service*. Pada Tabel.2 terlihat bahwa kenaikan yang paling besar terjadi di *Superheater Spray nozzle* pertama dari

kondisi Mill E *Out Service* sebesar 0,23 [Ton/h] menjadi 31,86 [Ton/h]. Peningkatan tidak terlalu signifikan terjadi di *Superheater Spray nozzle* B ke 3 yaitu dari 11,59 [Ton/h] hanya naik sedikit menjadi 12,35 [Ton/h].

Tabel 2. Perbandingan *Superheater Spray* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*^[10]

Parameter	Satuan	Mill E Out Service	Mill E in Service
1ST SH STEAM DSH WATER FLOW	Ton/h	0,23	31,86
S_A 2ND SH STM DSH WATER FLOW	Ton/h	0,13	7,62
S_B 2ND SH STM DSH WATER FLOW	Ton/h	5,28	13,43
S_A 3ND SH STM DSH WATER FLOW	Ton/h	16,21	14,8
S_B 3ND SH STM DSH WATER FLOW	Ton/h	11,59	12,35

Kenaikan jumlah *Spray* yang tidak sama dipengaruhi oleh letak *nozzle Spray*. Semakin dekat dengan area *boiler* dengan perpindahan panas secara konveksi, *Spray* akan semakin sering menyembrot karena seringnya terjadi *overheating* akibat semburan serbuk batubara dari Mill.

Gambar 2. Grafik perbandingan *superheater spray* saat mill E *in service* dan *out service*

Perbandingan *Reheater Spray* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*

Sama seperti tabel sebelumnya, terlihat *Reheater Spray* juga mengalami kenaikan saat kondisi Mill E *In Service* dari kondisi normal saat Mill E *Out Service*. Pada Tabel.3 terlihat bahwa kenaikan yang paling besar terjadi di *Reheater Spray Nozzle* B dengan kenaikan sebesar 11,24 [Ton/h] dari kondisi Mill E *Out Service* 7,82 [Ton/h] menjadi 19,06 [Ton/h] saat Mill E *In*

Service. Di *Reheater Spray* EMG kenaikan nilainya merupakan terkecil dibanding di *Reheater Spray nozzle* A dan B yaitu sebesar 4,63 [Ton/h] walaupun dalam kondisi normal merupakan tertinggi dibanding *Reheater Spray nozzle* yang lain. Hal itu menunjukkan bahwa *Reheater Spray* EMG tidak terlalu berdampak akibat beroperasinya Mill E. Nilai *Reheater Spray* EMG yang besar bahkan pada kondisi Mill E *Out Service* mengindikasikan bahwa selain beroperasinya Mill E ada faktor lain yang turut mempengaruhi besaran keluaran *Spray*.

Tabel 3. Perbandingan *Reheater Spray* saat Mill E In Service dan Out Service^[10]

Parameter	Satuan	Mill E Out Service	Mill E In Service
REHEATER EMG DSH WATER FLOW	Ton/h	26,41	31,04
S_A RHT STEAM DSH WATER FLOW	Ton/h	8,99	17,43
S_B RHT STEAM DSH WATER FLOW	Ton/h	7,82	19,06

Gambar 3. Perbandingan *Reheater Spray* saat Mill E In Service dan Out Service

Pengaruh THR Terhadap NPHR

Berdasarkan Tabel 4 nilai THR (*Turbine Heat Rate*) berbanding lurus terhadap nilai NPHR (*Net Plant Heat Rate*) semakin besar nilai *Turbine Heat Rate* maka semakin besar pula NPHR suatu pembangkit. Akan tetapi jika nilai *Turbine Heat Rate* dan *Net Plant Heat Rate* mengalami kenaikan itu mengindikasikan adanya kerusakan komponen atau penurunan keandalan dari alat-alat yang ada. Terbukti saat

Mill B tidak beroperasi membuat Mill E yang merupakan komponen yang sebaiknya digunakan dalam darurat beroperasi nilai *Turbine Heat Rate* meningkat dari semula 2046,602 [kCal.kWh] menjadi 2071,73 [kCal/kWh]. Begitu pula *Net Plant Heat Rate* yang semula 2562,1262 [kCal.kWh] menjadi 2604,190 [kCal.kWh].

Tabel 4. Pengaruh THR Terhadap NPHR^[10]

Kondisi	Turbine Heat Rate [kCal/kWh]	NPHR [kCal/kWh]
Mill E In Service	2071,73	2604,1904
Mill E Out Service	2046,002	2562,1262

Gambar 4. Pengaruh *Turbine Heat Rate* (THR) Terhadap *Net Plant Heat Rate* (NPHR)

Pengaruh Efisiensi Boiler terhadap NPHR

Tabel 5. Pengaruh Efisiensi Boiler terhadap NPHR^[10]

Kondisi	Efisiensi Boiler	NPHR
Mill E In Service	83,98	2604,1904
Mill E Out Service	84,23	2562,1262

Jika THR (*Turbine Heat Rate*) berbanding lurus terhadap nilai NPHR (*Net Plant Heat Rate*), Efisiensi Boiler justru mempunyai pengaruh yang sebaliknya. Tabel 5 menunjukkan bahwa Efisiensi Boiler mempunyai nilai berbanding terbalik terhadap nilai NPHR (*Net Plant Heat Rate*). Semakin besar Efisiensi Boiler akan membuat *Net Plant Heat Rate* menjadi lebih kecil. Efisiensi Boiler yang tinggi mengindikasikan komponen-komponen dalam boiler seperti pipa-pipa

Superheater dan *Reheater* dalam kondisi baik atau bisa juga terjadi karena batubara yang digunakan memiliki kualitas yang bagus. Jika ada komponen yang mengalami gangguan maka itu akan berdampak langsung pada Efisiensi *Boiler*. Terbukti saat Mill E dalam keadaan *In Service* Efisiensi *Boiler* langsung turun dari 84,23% menjadi 83,98% yang berpengaruh pada kenaikan NPHR dari 2562,1262 [kCal/kWh] menjadi 2604,1904 [kCal/kWh]

Gambar 5. Pengaruh Efisiensi *Boiler* terhadap NPHR

Perbandingan Parameter Efisiensi *Boiler* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*

Tabel 6. Perbandingan Parameter Efisiensi *Boiler* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*^[10]

Data	Satuan	Mill E In Service	Mill E Out Service
Kebutuhan udara teoritis (TA) [kg]	kg	5,737	5,85
Kelebihan udara yang dipasok (EA) [%]	%	0,017	0,023
Massa udara sebenarnya yang dipasok (AAS) [kg/kg of coal]	kg/kg of coal	5,738	5,85
Massa udara gas buang kering [kg/kg of coal]	kg/kg of coal	6,065	6,074

Berdasarkan Tabel 6 terlihat tidak adanya perbedaan nilai yang mencolok dari saat Mill E dalam keadaan *Out Service* maupun dalam keadaan *In Service*. Nilai kebutuhan udara teoritis, kelebihan udara yang dipasok, massa udara yang sebenarnya dipasok dan

massa udara gas buang kering bahkan bisa dibilang hampir sama. Terlebih dengan bentuk grafik yang berimpit baik saat keadaan Mill E *Out Service* maupun saat keadaan *In Service*, contohnya kebutuhan udara teoritis sebesar 5,85 [Kg] saat Mill E *In Service* dan 5,737 [Kg] saat Mill E *Out Service*. Hal itu mengindikasikan bahwa penyebab penurunan Efisiensi *Boiler* saat Mill E *In Service* terjadi karena faktor lain. Bukan karena komposisi perbandingan udara dan bahan bakar di *boiler* dengan empat parameter di atas.

Gambar 6. Perbandingan Parameter Efisiensi *Boiler* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*

Perbandingan *Losses* Efisiensi *Boiler* saat Mill E *In Service* dan *Out Service*

Dari Tabel 7 terlihat perbedaan yang paling besar *Losses* Efisiensi *Boiler* saat Mill E *In Service* dan *Out Service* terjadi pada *Losses* ke-2, *Losses* ke-3 dan *Losses* ke-8 sedangkan *Losses* yang lain tidak memiliki perbedaan yang cukup besar, yang terlihat dari bentuk grafik yang berimpit. Di *Losses* ke-2 merupakan *losses* dalam bentuk kehilangan panas akibat terbentuknya H_2 di bahan bakar. Kerugian ini disebabkan kandungan unsur hidrogen (H_2) dalam bahan bakar, yang bila terbakar akan bereaksi dengan oksigen (O_2) dari udara dan berbentuk uap air (H_2O). Di *Losses* ke-3 terjadi kenaikan dari 4 ke-3 adalah 4,702% saat Mill E *Out Service* menjadi 5,665% saat Mill E *In Service*. *Losses* kehilangan panas akibat penguapan kadar air di bahan bakar. Ini merupakan kerugian kalor untuk penguapan air yang terdapat dalam udara pembakaran. Karena udara yang masuk kedalam ruangan pembakaran tidak kering dan masih mengandung air, maka terdapat panas yang hilang untuk

menguapkan air yang terkandung dalam udara tersebut.

Losses ke-8 adalah kehilangan panas akibat *Bottom Ash*. Hal ini menunjukkan terjadi pembakaran tidak sempurna pada bahan bakar atau batubara yang digunakan merupakan batubara dengan banyak kandungan *Ash content* yang mengakibatkan terbentuknya banyak *Bottom Ash*.

Tabel 7. Perbandingan *Losses* Efisiensi Boiler saat *Mill E In Service* dan *Out Service*^[10]

Losses	Satuan	Mill E In Service	Mill E Out Service
Kehilangan Panas Akibat Gas Buang Kering [L1]	%	4,713	4,559
Kehilangan Panas Akibat Terbentuknya H ₂ di Bahan Bakar [L2]	%	4,457	5,953
Kehilangan Panas Akibat Penguapan Kadar Air di Bahan Bakar [L3]	%	5,665	4,702
Kehilangan Panas Akibat Kadar Air Dalam Udara [L4]	%	0,071	0,070
Kehilangan Panas Akibat Konversi Parsial Dari C ke CO [L5]	%	0	0
Kehilangan Panas Akibat Radiasi Dan Konveksi [L6]	%	0,003	0,003
Kehilangan Panas Akibat Fly Ash [L7]	%	0,104	0,045
Kehilangan Panas Akibat Bottom Ash [L8]	%	1,006	0,438

Gambar 7. Perbandingan *Losses* Efisiensi Boiler saat *Mill E In Service* dan *Out Service*

Perbandingan Nilai Kalor Batubara saat *Mill E In Service* dan *Out Service*

Tabel 8. Perbandingan Nilai Kalor Batubara saat *Mill E In Service* dan *Out Service*^[10]

Parameter	Satuan	Mill E In Service	Mill E Out Service
Ash Content in Fuel	%	12,97	5,91
Moisture in Coal	%	24	32
Carbon Content	%	44,71	42,57
Hydrogen Content	%	3	4
Nitrogen Content	%	0,71	0,58
Oxygen Content	%	13	15
Sulfur Content	%	0,61	0,19

Berdasarkan Tabel 8. terlihat perbandingan yang hampir sama antara batubara yang digunakan saat *Mill E Out Service* dan *Mill E In Service*. Hal itu terjadi karena data yang diambil dalam posisi berdekatan yaitu 6-7 Februari 2018 sebagai data untuk perhitungan NPHR (*Net Plant Heat Rate*) saat kondisi normal atau *Mill E Out Service*. Dan 8 Februari 2018 untuk data *Mill E In Service*. Sehingga batubara yang digunakan dapat diasumsikan dalam batubara yang sama dengan kualitas yang serupa.

Gambar 8. Perbandingan Nilai Kalor Batubara saat *Mill E In Service* dan *Out Service*

Pengaruh Nilai NPHR terhadap Konsumsi Batubara

Berdasarkan Tabel 9 terlihat bahwa NPHR (*Net Plant Heat Rate*) berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar. Semakin tinggi nilai NPHR semakin tinggi pula konsumsi

batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan 300 MWh. Dan hal itu berlaku sebaliknya.

Saat Mill E *In Service* konsumsi bahan bakar melonjak 9,181 [Ton/h] dari semula 178,208 [Ton/h] menjadi 178,208 [Ton/h]. Semakin tinggi NPHR menunjukkan semakin borosnya biaya yang harus dikeluarkan pembangkit. Tingginya NPHR menunjukkan ketidakefisienan dan ketidakhandalan pembangkit.

Tabel 9. Pengaruh Nilai NPHR terhadap Konsumsi Batubara^[10]

Kondisi	Coal Flow Consumption [Ton/h]	NPHR [kCal/kWh]
Mill E In Service	187,383	2604,190
Mill E Out Service	178,208	2562,130

Gambar 8. Pengaruh Nilai NPHR terhadap Konsumsi Batubara

KESIMPULAN

Penyebab dari Mill E *In Service* adalah karena adanya gangguan di *belt conveyor* dalam *coal feeder* B yang menyebabkan Mill B tidak beroperasi. Mill E *In Service* mengakibatkan kenaikan nilai *Turbine Heat Rate* dari 2046,002 kCal/kWh menjadi 2071,73 kCal/kWh. Karena itu mengakibatkan penurunan Efisiensi *Boiler* dari 84,23% menjadi 83,98%. Mill E *In Service* mengakibatkan kenaikan nilai *Net Plant Heat Rate* dari 2562.13025 kCal/kWh menjadi 2604,190411 kCal/kWh yang mengindikasikan penurunan kinerja pembangkit. Pada beban 100% (*full load*), kerugian konsumsi batubara

senilai 9,1817 Ton/h. Karena selisih NPHR senilai 42,060176 kCal/kWh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
- [2] James E Staudt and Jennifer Macedonia, 2014, Evaluation of Heat Rates of Coal Fired Electric Power Boilers. Paper was Presented at the Power Plant Pollutant Control "MEGA" Symposium August 19-21, Baltimore, MD.
- [3] T. Srinivas, A. V. S. S. K. S. Gupta and B.V. Reddy, 2007. Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters. Int. J. of Thermodynamics, Vol. 10 (No. 4), pp. 177-185, December 2007, p 177-185.
- [4] The American Society of Mechanical Engineers, 2008, "Fired Steam Generator", Performance Test Code (PTC) 4.
- [5] Dosa Ion, 2013. Energy Balance of a Coal-Fired Power Plant in Condensing Operation, Advances in Environment Technologies, Agriculture, Food and Animal Science. Petrosani, jud. Hunedoara - Romania, p 187-192
- [6] Black and Veath, Lawrence F. Drbal, Patricia G. Boston, Kayla L Westra and R. Bruce Ericson, 1996, Power Plant Engineering, Chapman & Hall, New York, p 39-78.
- [7] El .Wakil M, M., 1984. *Power Plant Tecnology*. Mc Graw – Hill Book Company, New York, p 30-78
- [8] *The American Society of Mechanical Engineers*, 2004, "Steam Turbines", Performance Test Code (PTC) 6.
- [9] Berkowitz, N., 1985 *The Chemistry of Coal*, Elsevier, Netherland.
- [10] PT. Indonesia Power UJP PLTU Labuan 2 Banten