

## PENGARUH *EXCESS AIR* TERHADAP KINERJA PLTU BERKAPASITAS 12,5 MW DENGAN BEBAN BERVARIASI: SEBUAH SIMULASI TERMODINAMIKA MENGGUNAKAN SOFTWARE CYCLETEMPO VERSI 5.0

**Melvin Emil Simanjuntak**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Politeknik Negeri Medan  
Jurusan Teknik Mesin  
mesimanjuntak@yahoo.com  
melvin.1971@polmed.ac.id

*The excess air is required to complete the combustion of fuel in the boiler. The amount of excess air differs from each power plant. It depends on the characteristic of the fuel such as the type and size of the fuel particle, the type of boiler and the type of combustion. Excess air that is too little will increase the unburnt fuel and while too much will reduce the power plant's performance. This study uses CycleTempo version 5.0 software to investigate the effect of excess air on the performance of a 12.5 MW steam power plant. The fuel used is low-rank coal. The lower heating value of 16960.15 kcal. The composition of coal used is Carbon 45.74%, Hydrogen 2.68%, Moisture 20%, Nitrogen 0.46%, Oxygen 14.94%, Sulphur 0.19% and Ash 15.99%. The load on the turbine was varied by 70%, 80%, 90% and 100% from its design capacity. The excess air used starts from 0% to 50%, where the interval 10%. This study finds that the optimum excess air is approximated at 20%. The excess air over 20% will increase boiler ratings, net heat rate, air and fuel consumption. In reverse will reduce boiler efficiency and thermal efficiency. The changes of excess air did not affect the heat removed by the condenser and the power used by the pump.*

**Keywords:** *Excess Air, Thermodynamic Simulation, Load Variation, Performance.*

### 1. PENDAHULUAN

Kapasitas terpasang listrik Indonesia tahun 2016 sebesar 41.133,73 MW dimana kapasitas PLTU sebesar 16.779 MW (40,79%) [1]. Hingga tahun 2020 kebutuhan listrik diperkirakan meningkat sebesar 6,5 % pertahun. Saat ini pembangunan pembangkit listrik gencar dilakukan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi yang diprediksi di atas 5% di tahun-tahun berikutnya. Provinsi Gorontalo merupakan Provinsi yang memiliki ekonomi yang dapat tumbuh di atas rata rata nasional. Tahun 2017 provinsi ini memiliki pertumbuhan ekonomi sebesar 6,74% sehingga pertumbuhan konsumsi kebutuhan listrik meningkat sekitar 7% dibanding tahun sebelumnya. Konsumsi listrik di provinsi Gorontalo untuk tahun 2014 adalah sebesar 366,6 GWh [2]. Suplai listrik ini salah satunya berasal dari Independen Power Plant (IPP) yang mengoperasikan PLTU XYZ kapasitas 2 x 12,5 MW. Pembangkit ini menggunakan bahan bakar batubara lignit yang disuplai dari tambang di Kalimantan.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ini tersusun atas beberapa komponen utama yaitu *boiler*, pompa, turbin, dan kondensor. Panas dihasilkan oleh *boiler* melalui pembakaran bahan bakar. Pembakaran ini akan berlangsung dengan baik apabila oksigen disuplai dalam jumlah yang cukup. Untuk memaksimalkan proses pembakaran dibutuhkan udara yang lebih banyak dibanding kebutuhan udara secara stoikiometri. Penentuan jumlah udara lebih didasarkan pada komposisi, properti dan kondisi bahan bakar, metode

pembakaran, pengaturan *grate* atau *chamber* pembakaran, temperatur *furnace* yang diinginkan dan turbulensi dari pencampuran udara dan gas *volatile* [3].

Produksi listrik sepanjang hari akan mengikuti pemakaian listrik masyarakat. Secara umum beban akan naik pada sore hingga malam hari dan kemudian menurun hingga pagi menjelang jam kerja. Perubahan konsumsi ini akan mengubah beban (daya) yang dihasilkan oleh pembangkit. Dengan adanya perubahan beban maka akan terjadi perubahan-perubahan kinerja pada pembangkit listrik. Perubahan-perubahan ini perlu dikaji lebih lanjut mengenai dampaknya terhadap kinerja PLTU. Mengingat sulitnya mengambil data ketika PLTU beroperasi, maka pengaruh perubahan-perubahan ini akan dikaji menggunakan *software* CycleTempo. *Software* ini dapat digunakan untuk mengetahui perubahan-perubahan tersebut dan telah digunakan oleh beberapa peneliti sebelumnya [4-6].

Penelitian mengenai udara lebih atau *excess air* (EA) pada pembakaran bahan bakar di *boiler* lebih banyak mengarah kepada emisi atau pengaruhnya terhadap lingkungan. Liu, *et al.* [7] meneliti pengaruh *excess air* (EA) terhadap *start-up* pembakaran pada *boiler*. Penelitian ini menginformasikan EA yang rendah direkomendasi ketika *start-up* pengapian *boiler* karena dapat memperbaiki pencampuran antara batubara dan api. Varol, *et al.* [8], meneliti pengaruh *excess air* terhadap emisi pada pembakaran campuran lignit dan *chip* kayu pada *circulating fluidized bed combustor*. Penelitian ini menyebutkan kenaikan *excess air* dari 5% hingga 23% akan menurunkan emisi SO<sub>2</sub> dari 3532 menjadi 2972 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan kenaikan EA dari 23% hingga 66% akan menaikkan emisi SO<sub>2</sub> dari 2972 menjadi 3476 mg/Nm<sup>3</sup>. Untuk gas CO, kenaikan EA dari 5% menjadi 23% akan menurunkan emisinya dari 1457 menjadi 173 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan kenaikan EA selanjutnya hingga 66% akan menaikkan emisi CO menjadi 317 mg/Nm<sup>3</sup>. Untuk gas NO, kenaikan EA dari 5% hingga 66% akan menaikkan emisi dari 75 menjadi 373 mg/Nm<sup>3</sup>. Mulud, *et al.* [9], meneliti tentang pengaruh *excess air* terhadap *flue gas* pada PLTU Tanjung Jati B unit 2. Penelitian ini menghasilkan informasi bahwa kenaikan *excess air* akan menaikkan emisi gas NOx dan SOx. Sedangkan emisi gas CO akan menurun. Penelitian lain mengenai NO<sub>x</sub> dilakukan oleh Kouprianova, *et al.* [10] yang menyebutkan kenaikan EA akan menaikkan NO<sub>x</sub>. Sedangkan La Muhaya, *et al.* [11] meneliti pengaruh *equivalen ratio* pada pembakaran minyak nabati. Hasil penelitian ini menyebutkan semakin kaya udara (*excess air* semakin besar) maka api akan semakin mengecil.

Rougame, *et al.* [12], menyebutkan bila *excess air* total kurang dari 140% maka pencampuran udara akan lebih baik dan akan meningkatkan temperatur. Sedangkan *excess air* total lebih dari 140% berlaku sebaliknya. *Excess air* total adalah pejumlahan *excess air* pada *primary air* dan *secondary air*. Suresh, *et al.* [13] menganalisa performa PLTU *existing* dengan parameter *excess air*, temperatur *inlet* turbin dan temperatur air pendingin pada kondensor dan diperoleh hasil bahwa parameter *input* kondensor paling mempengaruhi perubahan efisiensi energi pada sistem. Penelitian mengenai temperatur *exhaust gas* dilakukan oleh Sungur, *et al.* [14]. Peneliti ini menyebutkan temperatur gas buang akan meningkat seiring kenaikan *excess air* sedangkan efisiensi *boiler* akan berkurang. Sedangkan Penelitian pengaruh *excess air* terhadap temperatur gas buang pada FBC *boiler* dilakukan oleh Ghritlahre, *et al.* [15]. Dari penelitian itu diperoleh informasi bahwa kenaikan *excess air* akan menaikkan temperatur gas buang dan akan mengurangi efisiensi termal.

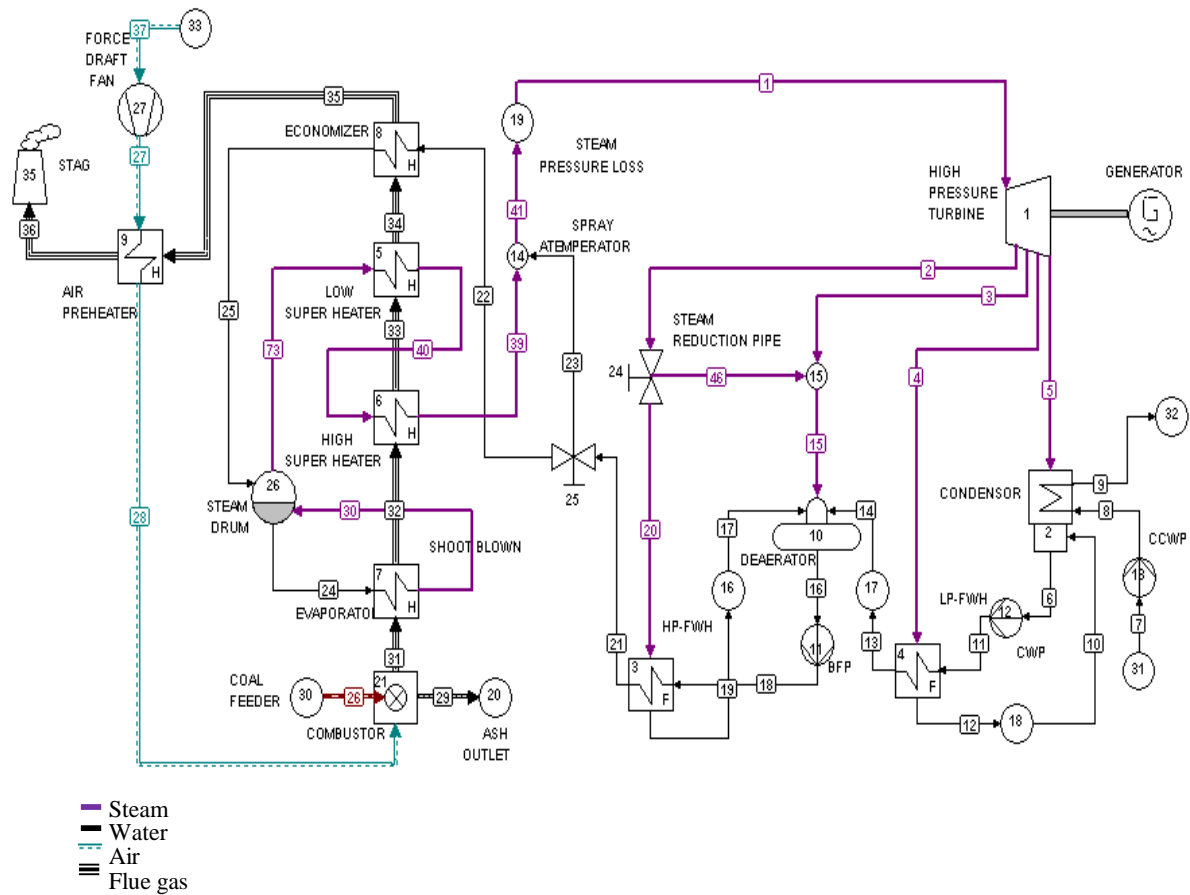
Penggunaan *software* CycleTempo telah dilakukan oleh Simanjuntak [16] yang membuat rancangan awal siklus pembangkit listrik yang menggunakan bakar berupa sampah domestik dan Simanjuntak [17] membuat desain awal pembangkit listrik dengan bahan bakar biomassa cangkang kelapa sawit dengan *software* CycleTempo. Selain itu Djafar [18] juga menggunakan *software* ini untuk meneliti tentang pengaruh *X-Ratio* pada *air preheater*. Penelitian ini akan melihat pengaruh *excess air* terhadap kinerja pembangkit pada beban yang bervariasi dengan metode simulasi menggunakan *software* CycleTempo versi 5.0. Data desain dan kondisi operasional diambil dari data PLTU XYZ 2 x 12,5 MW di Gorontalo.

## 2. METODE

Penelitian ini berupa simulasi yang menggunakan *software* CycleTempo versi 5.0 yang umum digunakan untuk pemodelan termodinamika pada pembangkit listrik termal. Bahan bakar yang dipakai adalah batubara kalori rendah dengan nilai kalor bawah 16960 kJ/kg [19]. Beban divariasikan sebesar 70%, 80%, 90% dan 100% dari beban desain. *Excess air* yang digunakan adalah 0%; 10%; 20%; 30%; 40% dan 50%. Konfigurasi PLTU dapat dilihat pada **Gambar 1**. Konfigurasi ini mengacu pada konfigurasi yang ada di PLTU XYZ. Beberapa data penting sebagaimana yang ada pada PLTU XYZ dimasukkan ke *software* CycleTempo seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**. Nilai pembebanan (daya) yang berubah-ubah (empat variasi) di input ke dalam *production function*. Setelah pemodelan dan semua data yang dimasukkan benar kemudian di *run* dengan memperhatikan *error* dan *warning* yang terjadi. Simulasi akan gagal dan harus diperbaiki apabila terdapat *error* atau *warning*. Jumlah total simulasi yang dilakukan sebanyak jumlah titik data yang ada pada grafik yaitu 24 kali.

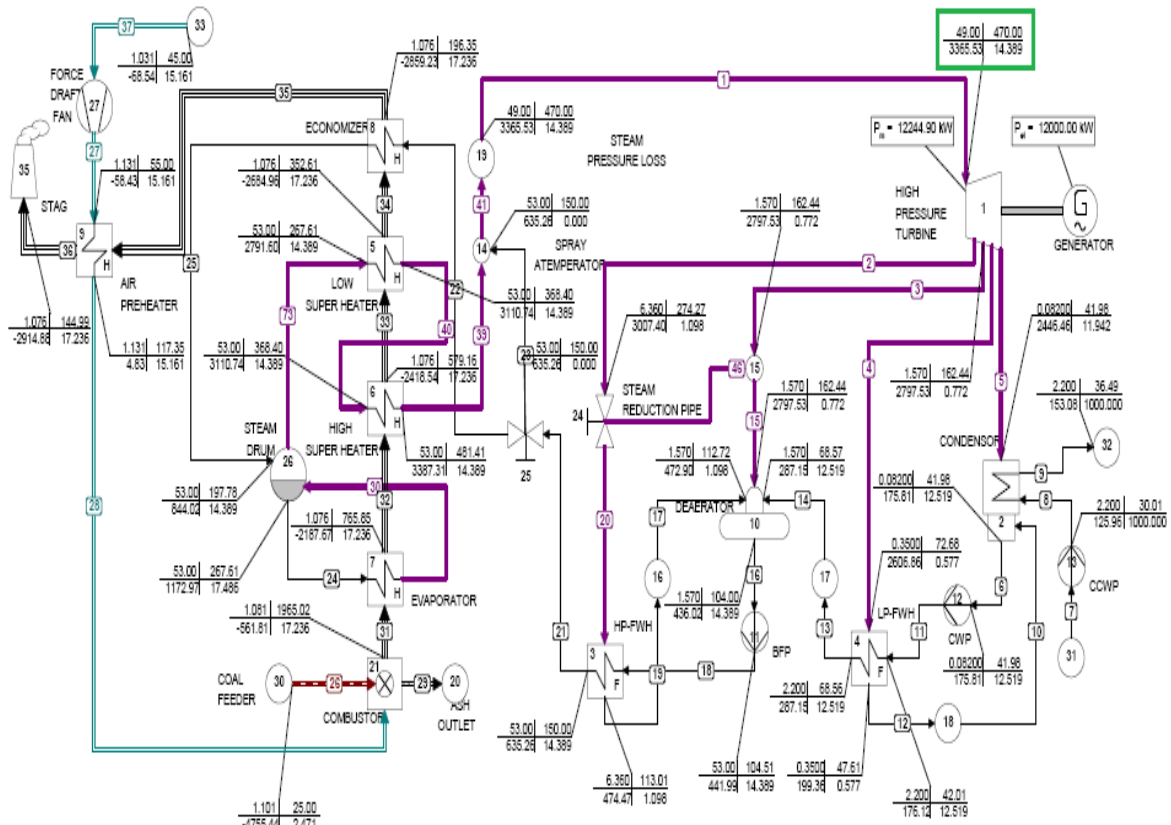
**Tabel 1.** Nilai parameter PLTU XYZ pada simulasi

PARAMETER	NILAI	SATUAN
$P_{out}$ kondensor	0.082	bar
$P_{out}$ Pompa	2.2	bar
$P_{out}$ BFP	53	bar
$P_{out}$ Evaporator	53	bar
$P_{out}$ Economiser	53	bar
$P_{react}$ Combustor	1.1013	bar
$T_{ash}$ Combustor	80	$^{\circ}C$
$P_{out}$ CCWP	2.2	bar
$P_{out}$ CWP	2.2	bar
$P_{in}$ LP FWH	0.35	bar
$P_{in}$ HP FWH	6.36	bar
$P_{out}$ HP FWH	53	bar
$P_{in}$ Deaerator	1.57	Bar
$T_{out}$ Deaerator	104	$^{\circ}C$



**Gambar 1.** Pemodelan PLTU XYZ berkapasitas 12,5 MW

Hasil simulasi untuk setiap *inlet* dan *outlet* masing-masing komponen (pipa) adalah kondisi uap yang meliputi tekanan [bar], temperatur [°C], entalpi [kJ/kg] dan laju aliran massa [kg/s]. Nilai hasil simulasi ditunjukkan pada **Gambar 2**. Sebagai contoh pada kotak berwarna hijau merupakan kondisi uap pada sisi keluar pipa 1 atau pada masuk turbin (komponen 1). Angka-angka yang tercantum adalah kondisi uap dengan tekanan 49,00 bar (angka di kiri atas), temperatur 470,00 °C (angka di kanan atas), entalpi 3365,53 kJ/kg (angka di kiri bawah) dan laju aliran massa uap 14,389 kg/s (angka di kanan bawah). Hasil-hasil lain seperti *system efficiency*, *rotating equipment*, *heat exchanging equipment* dapat dilihat pada bagian view pada *software*.



**Gambar 2.** Pembacaan hasil simulasi CycleTempo

Parameter kinerja yang PLTU yang dibahas dalam penelitian ini dijelaskan seperti pada bagian bawah. *Boiler rating* (kapasitas boiler, *W*) adalah kemampuan boiler menghasilkan uap yang ditulis dalam persamaan (1).

$$W = \dot{m}_{fg} (h_g - h_f) \tag{1}$$

keterangan :

$\dot{m}_{fg}$  = massa uap (kg/s)

$h_g$  = entalpi uap keluar boiler (kJ/kg)

$h_f$  = entalpi air masuk boiler (kJ/kg)

*Heat rate* suatu pembangkit merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik sebesar 1 kWh. *Heat rate* lebih sering digunakan dibanding efisiensi karena sudah mencakup pemakaian bahan bakar sehingga memudahkan penghitungan biaya operasi. Sedangkan untuk menghitung *Net Plant Heat Rate* (NPHR), daya listrik *gross generator* dikurangi dengan penggunaan sendiri seperti daya yang digunakan oleh pompa, blower dan lain lain. NPHR ditulis dalam persamaan (2):

$$Net\ Plant\ Heat\ Rate = \frac{\dot{m}_{fuel} \cdot NKB}{DGG - EPS} \tag{2}$$

keterangan:

$\dot{m}_{fuel}$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

NKB = nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

DGG = daya gross generator (kW)

EPS = energi yang dipakai sendiri (kJ/kg)

Kondensor merupakan alat untuk mengkondensasi uap air yang dikeluarkan turbin menjadi air. Pada PLTU ini kondensor yang digunakan adalah tipe *shell and tube*. Panas yang dibuang oleh kondensor dihitung dengan persamaan (3):

$$W_{con} = \dot{m} (h_{cout} - h_{cin}) \quad (3)$$

keterangan:

$\dot{m}$  = laju aliran air (kg/s)

$h_{cout}$  = entalpi air keluar kondensor (kJ/kg)

$h_{cin}$  = entalpi uap masuk kondensor (kJ/kg)

Pompa merupakan peralatan untuk mengalirkan fluida dari tekanan yang rendah menjadi tekanan tinggi. Pompa yang digunakan untuk mengalirkan air dari kondensor ke boiler disebut *boiler feed pump*. Sedangkan yang digunakan di kondensor adalah *Condensat water pump* (CWP). Selain itu ada juga *Circulating Cooling Water Pump* (CCWP) berfungsi untuk mensirkulasi air pendingin kondensor. Daya yang diperlukan oleh pompa dihitung dengan persamaan (4)

$$W_{pompa} = \dot{m} \frac{(h_{pout} - h_{pin})}{\eta} \quad (4)$$

keterangan:

$\dot{m}$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$h_{pout}$  = entalpi air keluar pompa (kJ/kg)

$h_{pin}$  = entalpi air masuk pompa (kJ/kg)

$\eta$  = efisiensi pompa

Efisiensi termal siklus dihitung dari perbandingan kerja bersih turbin dengan panas yang dimasukkan ke boiler. Kerja bersih turbin adalah kerja turbin dikurangi dengan daya yang digunakan *auxiliary* seperti pompa. Efisiensi termal siklus dihitung dengan persamaan (5).

$$\eta_{th} = \frac{W_{nett}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

keterangan:

$\dot{W}_{nett}$  = kerja bersih turbin (kJ/kg)

$\dot{Q}_{in}$  = energi input ke boiler (kJ/kg)

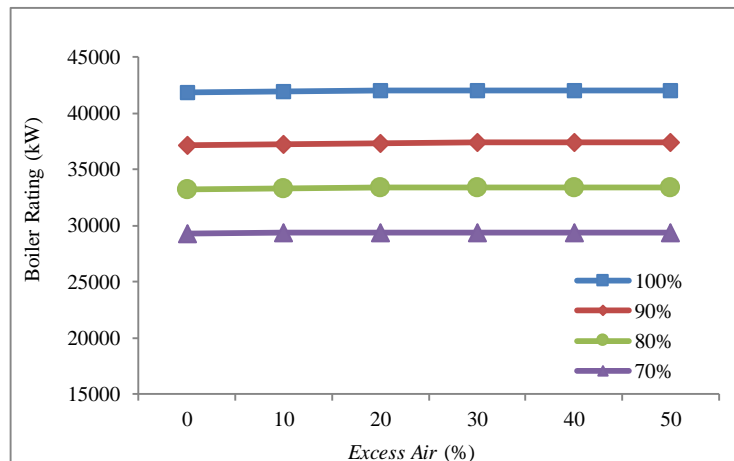
### 3. HASIL DAN DISKUSI

Pengaruh perubahan *excess air* terhadap kondisi PLTU yang merupakan hasil penelitian ini diuraikan seperti di bagian bawah.

#### 3.1 Keluaran (*Rating*)

*Boiler Rating* merupakan paramater untuk menilai kemampuan boiler menguapkan air nilainya dihitung berdasarkan persamaan 1. *Boiler rating* pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3**. Peningkatan nilai *boiler rating* tidak signifikan dibanding dengan peningkatan *excess air*. Peningkatan *excess air* lebih banyak pengaruhnya terhadap efisiensi pembakaran bahan bakar. Sedangkan penurunan beban akan sepadan dengan penurunan *boiler rating*. Hal ini karena jumlah uap yang dibutuhkan sesuai dengan pembebanan yang diterima

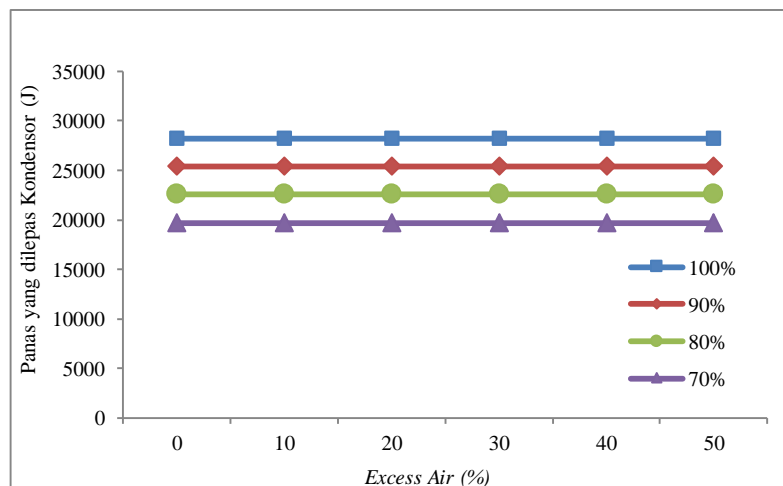
turbin. Dari simulasi diketahui bahwa dengan adanya penurunan beban sebesar 10% juga akan menurunkan *boiler rating* sekitar 10%.



**Gambar 3.** Boiler rating pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.2 Kinerja Kondensor

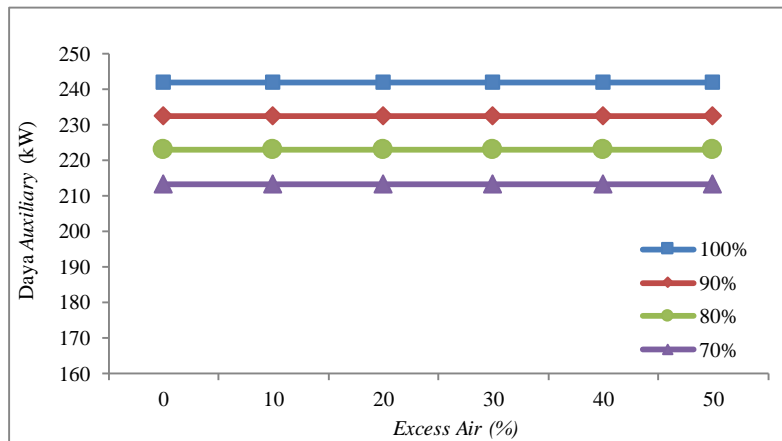
Kondensor merupakan alat untuk mengubah uap dari turbin menjadi fase cair-jenuh dengan sistem kondensasi. Hasil kondensasi ditampung pada *hotwell* sebelum temperatur ditingkatkan oleh *feedwater heater pump* menuju *boiler*. Jenis kondensor yang digunakan adalah jenis *shell and tube* dimana air pendingin yang berasal dari air laut mengalir di dalam pipa sedangkan uap mengalir pada sisi *shell*. Panas yang dilepas oleh kondensor sebagai pengaruh *excess air* dan beban ditunjukkan pada (**Gambar 4**). Terlihat bahwa panas yang dibuang oleh kondensor pada satu jenis beban adalah sama besarnya untuk *excess air* yang berbeda. Hal ini terjadi akibat daya yang dihasilkan serta kondisi dan jumlah uap yang disirkulasikan sama besarnya walaupun *excess air*-nya berbeda-beda. Semakin besar pembebanan akan semakin besar pula panas yang dibuang oleh kondensor. Hal ini terjadi disebabkan pada daya yang berbeda maka kebutuhan uap juga berbeda sehingga panas yang dibuang akan berbeda. Perubahan banyaknya panas yang dibuang di kondensor sebanding dengan perubahan daya yang terjadi.



**Gambar 4.** Panas yang dilepas kondensor pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.3 Konsumsi Daya *Auxiliary Power Plant*

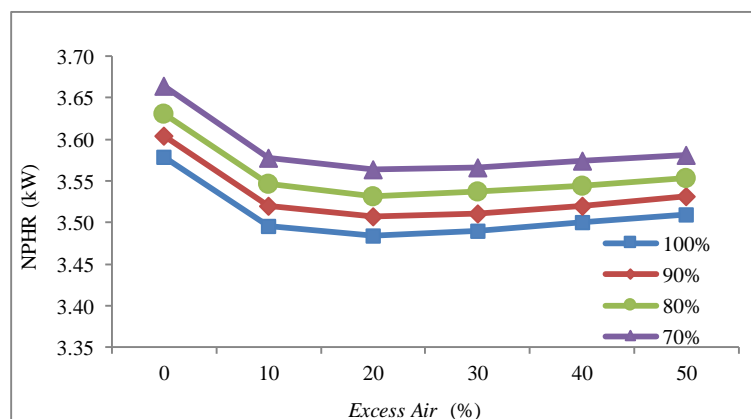
*Auxiliary* pada pembangkit ini adalah pompa *Boiler Feed Pump* (BFP), *Condensat Water Pump* (CWP) dan *Circulating Cooling Water Pump* (CCWP). Pada simulasi data-data disesuaikan dengan data desain yang di pembangkit. Jumlah daya yang dibutuhkan untuk seluruh *Auxiliary Power Plant* ditunjukkan pada **Gambar 5**. Nilai ini mengalami penurunan untuk *excess air* yang mengecil. Akan tetapi sama besarnya untuk tiap persentasi beban yang dioperasikan. Hasil simulasi menunjukkan total daya yang dibutuhkan oleh ketiga komponen diatas ditunjukkan pada Gambar 5. Kebutuhan daya tidak akan dipengaruhi oleh besarnya nilai *excess air* mengingat daya output yang dihasilkan adalah sama. Perubahan daya *auxiliary* adalah sebesar 4% untuk perubahan pembebanan sebesar 10%.



**Gambar 5.** Daya yang dibutuhkan *auxiliary* pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.4 Net Heat Rate Power Plant

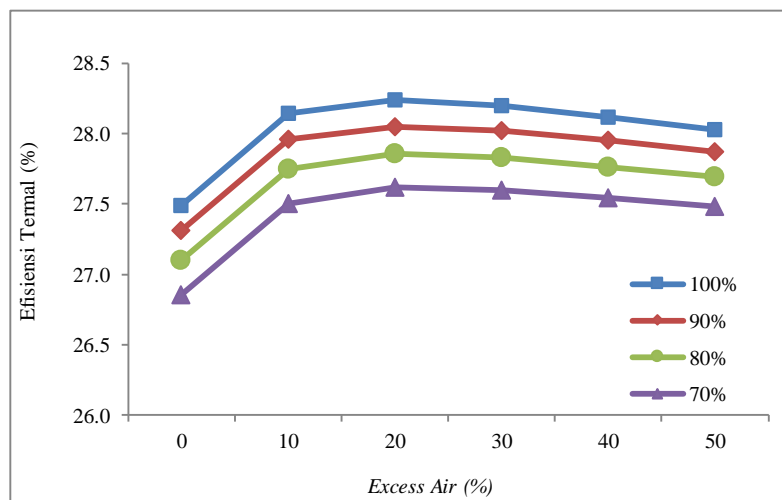
*Net heat rate power plant* ditunjukkan pada **Gambar 6**. Terlihat penurunan beban akan menaikkan NPHR yang berarti harus semakin banyak energi disuplai untuk mendapatkan energi satu satuan. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan beban di bawah beban operasi akan membuat PLTU semakin tidak efisien. Penambahan *excess air* pada beban yang sama juga akan meningkatkan NPHR. NPHR paling optimal berada disekitar *excess air* 20%. Nilai ini merupakan nilai yang wajar untuk suatu pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang di-*pulverize* [20]. Pada pembakaran tanpa udara berlebih akan membuat *heat rate* yang tinggi yang berarti efisiensi yang rendah. Hal ini karena dibutuhkan kelebihan udara untuk menyempurnakan pembakaran. Untuk pembakaran tanpa EA diperoleh NPHR sebesar 3,58 kW dan EA 20% nilai NPHR sebesar 3,48 kW. Dengan demikian terdapat selisih sebesar 0,1 kW atau 2,8%. Nilai ini akan menjadi besar mengingat kapasitas pembangkit yang cukup besar yaitu 12,5 MW. Pada penelitian ini juga diperoleh informasi bahwa kenaikan NPHR akan menaikkan konsumsi batubara dengan persentasi yang sama besarnya untuk semua pembebanan yang disimulasikan.



**Gambar 6.** Net Heat Rate Powerplant pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.5 Efisiensi Termal Siklus

Efisiensi termal siklus dihitung dari persamaan 5 dan diperoleh nilainya sebagai pengaruh *excess air* pada beban bervariasi seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Efisiensi termal akan menurun seiring dengan peningkatan *excess air* setelah mencapai puncaknya pada EA 20%. Hal ini disebabkan oleh karena semakin banyaknya udara yang harus dipanaskan sehingga akan mengurangi daya yang akan diproduksi oleh turbin. Efisiensi tertinggi diperoleh pada kondisi beban 100% dan *excess air* 20% yaitu sebesar 28,24%. Setelah kondisi ini, semakin besar atau semakin *excess air*-nya akan semakin kecil nilai efisiensi termal siklus. Untuk pembebanan yang menurun diperoleh juga efisiensi termal yang menurun. Kondisi seperti ini juga ditemukan oleh Suresh, *et al.* [13]. Efisiensi maksimum pada pembebanan 70% adalah sebesar 27,61%. Penurunan beban akan membuat PLTU beroperasi diluar kondisi desain sehingga akan menurunkan kinerja PLTU sehingga terjadi pemborosan. Dalam operasi sehari-hari memang operasi akan selalu berfluktuasi seiring dengan kebutuhan listrik dari masyarakat. PLTU biasanya digunakan sebagai *base* dimana daya yang dihasilkan relatif konstan. Sedangkan PLTGU sebagai *peaker* yang dapat di *on-off*-kan setiap saat untuk menghadapi perubahan beban.

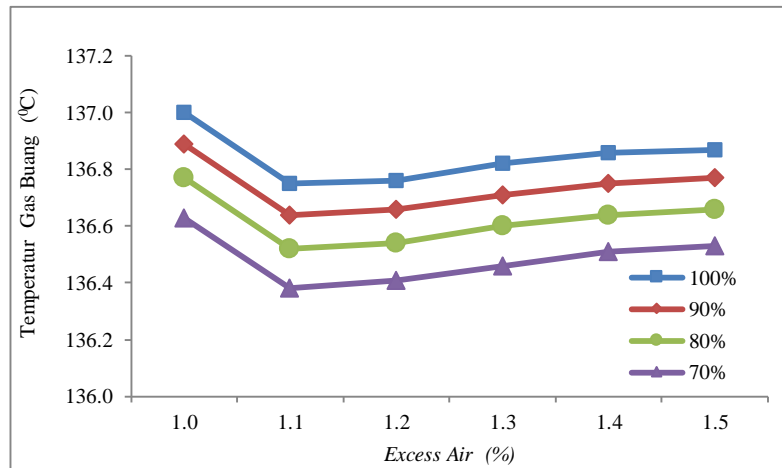


**Gambar 7.** Efisiensi termal siklus pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.6 Temperatur Gas Buang

Temperatur gas buang menunjukkan berapa banyak penyerapan panas oleh seluruh komponen perpindahan panas di *boiler*. Pada penelitian ini temperatur gas buang adalah yang terdapat pada cerobong seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Temperatur gas buang yang tinggi menunjukkan proses perpindahan panas dan penyerapan energi di PLTU yang kurang baik. **Gambar 8** menunjukkan bahwa peningkatan *excess air* (EA) akan menaikkan temperatur gas buang. Pada kondisi EA sebesar 10% diperoleh temperatur gas buang sebesar 136,38 °C. Sedangkan pada beban 70 % temperatur gas buang terendah ada pada EA 10% yang besarnya 136,75 °C. Luasan penampang pipa atau tabung yang dilalui oleh gas buang selalu sama maka pada EA yang besar, kecepatan gas buang akan lebih tinggi dibanding pada EA yang kecil. Dengan kondisi seperti ini maka penyerapan panas menjadi tidak maksimal sehingga temperatur gas buang akan lebih tinggi. Temperatur gas buang yang semakin tinggi juga akan menurunkan efisiensi termal pembangkit karena akan membuang lebih banyak panas ke udara luar. Sungur, *et al.* [14] dan Ghritlahre, *et al.* [15] juga mendapatkan hal yang sama.

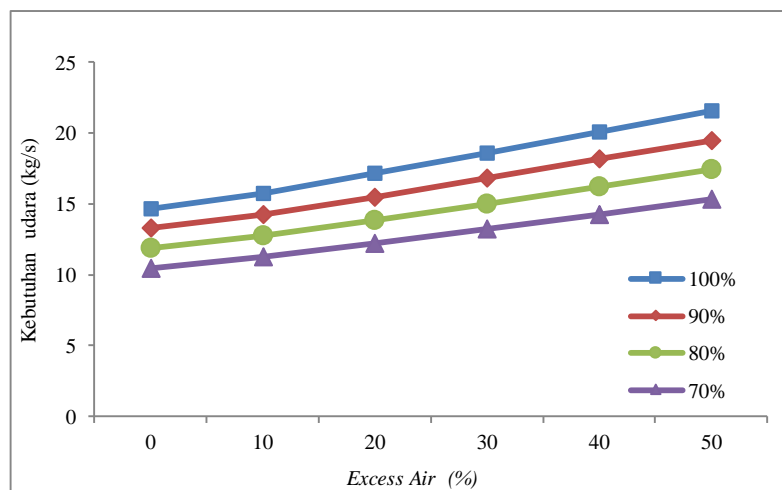




**Gambar 8.** Temperatur gas buang pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.7 Kebutuhan Udara

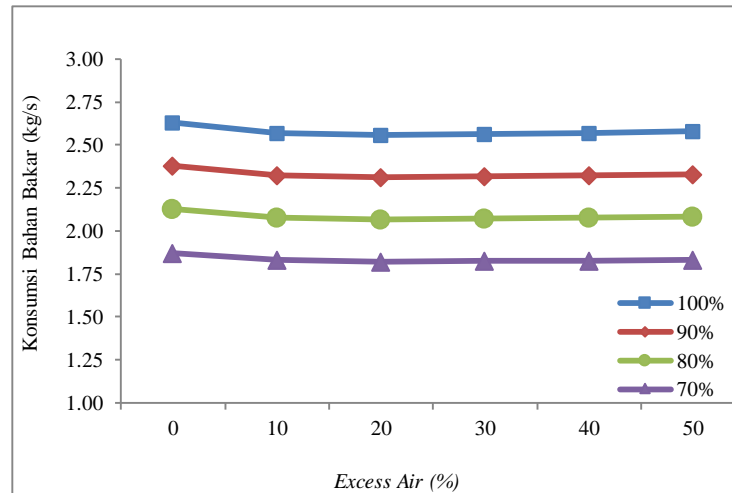
Kebutuhan udara akan meningkat seiring dengan *excess air* yang membesar. Jumlah kebutuhan udara pada pada tiap pembebanan dan *excess air* ditunjukkan pada **Gambar 9**. Terlihat kebutuhan udara yang bertambah seiring dengan *excess air* dan pada pembebanan rendah, kebutuhan udara akan berkurang. Pada simulasi ini terlihat korelasi yang linier antara kebutuhan udara dengan *excess air*. Akan tetapi terlihat juga bahwa selisih antar *excess air* terdekat akan semakin membesar. Hal ini disebabkan karena bertambahnya bahan bakar untuk menaikkan temperatur udara sehingga dibutuhkan udara yang lebih banyak lagi.



**Gambar 9.** Kebutuhan udara pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.8 Konsumsi Bahan Bakar

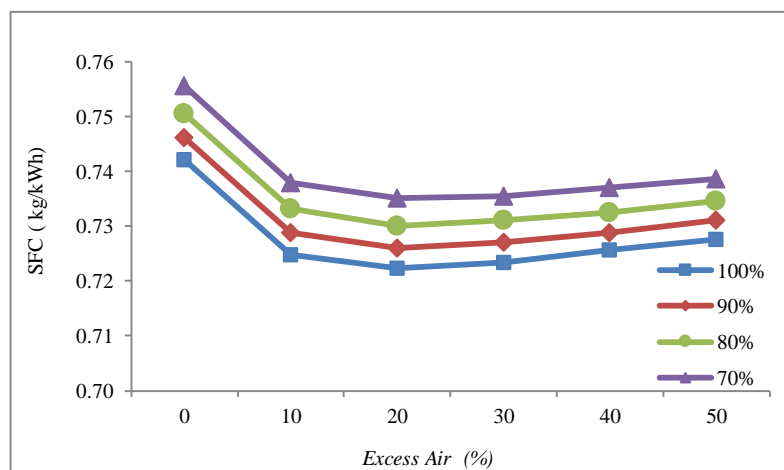
Konsumsi bahan bakar pada penelitian ini diperlihatkan pada **Gambar 10**. Terlihat pada *excess air* 20% hingga 5% terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar untuk ketiga jenis pembebanan. Sedangkan untuk EA 0% sampai 20% konsumsi bahan bakar menurun. Perubahan ini seiring dengan efisiensi yang ditunjukkan pada gambar 7. Pada EA 0% dibutuhkan bahan bakar lebih banyak dibanding pada EA yang lain. Hal ini disebabkan karena pada kondisi ini bahan bakar sulit terbakar sempurna sehingga untuk menghasilkan keluaran daya yang sama dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak. Pada EA di atas 20%, terlihat jumlah bahan bakar yang digunakan sebenarnya mengalami kenaikan walaupun jumlahnya kecil. Kenaikan konsumsi bahan bakar ini untuk memanaskan udara lebih yang memang jumlahnya meningkat. Konsumsi bahan bakar untuk beban 100% pada EA 20% adalah sebesar 2,559 kg/s, sedangkan pada EA 50% konsumsi bahan bakar naik menjadi 2,578 kg/s.



Gambar 10. Kebutuhan bahan bakar pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.9 Kebutuhan Bahan Bakar Spesifik

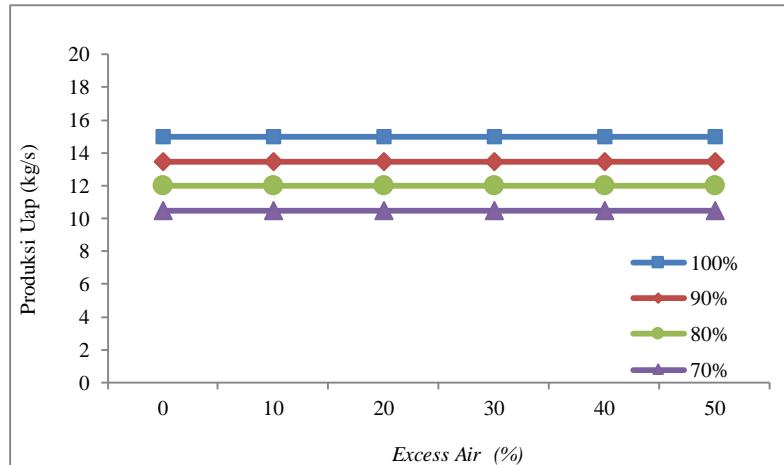
Kebutuhan bahan bakar spesifik / *specific fuel consumption* (SFC) adalah kebutuhan bahan bakar untuk tiap satuan daya yang dihasilkan. Besarnya nilai sfc ini ditunjukkan pada Gambar 11. SFC terkecil didapatkan pada EA 20%. Hal ini sesuai dengan efisiensi termal paling tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 8 mengenai efisiensi termal sistem. Peningkatan SFC sebenarnya juga adalah penurunan efisiensi karena akan lebih banyak bahan bakar yang harus digunakan untuk mendapatkan daya yang sama. Semakin kecil pembebanan yang diberikan kepada turbin maka akan semakin besar SFC. Hal ini terjadi mengingat semakin tidak efisiennya sistem termal.



Gambar 11. Kebutuhan bahan bakar spesifik pada *excess air* dan beban bervariasi

### 3.10 Produksi Uap

Uap yang diproduksi di *boiler* tentu akan dipengaruhi oleh daya yang harus dihasilkan. Semakin besar daya yang dihasilkan maka harus semakin besar juga uap yang dibutuhkan. Banyaknya uap yang dibutuhkan untuk mendorong sudu-sudu turbin berkorelasi langsung dengan daya yang harus dihasilkan. Banyaknya uap tidak dipengaruhi oleh EA. Sehingga selama daya konstan maka akan konstan pula banyaknya uap yang harus diproduksi di *boiler*. Banyak uap yang dihasilkan oleh *boiler* ditunjukkan Gambar 12. Terlihat semua garis horizontal. Untuk masing-masing pembebanan dari 70% hingga 100%.



**Gambar 12.** Produksi uap pada *excess air* dan beban bervariasi

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variasi *excess air* terhadap kinerja PLTU XYZ kapasitas 12,5 MW yang menggunakan bahan bakar batubara kalori rendah. Penelitian ini menggunakan *software* CycleTempo versi 5.0. untuk mengetahui perubahan kondisi termodinamika yang terjadi. Variasi *excess air* yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Variasi *excess air* tersebut diterapkan pada beban turbin sebesar 70%, 80%, 90% dan 100% dari beban desain. Hasil simulasi menunjukkan efisiensi siklus yang paling tinggi adalah pada *excess air* sebesar 20%. Efisiensi tertinggi untuk beban turbin 70%, 80%, 90% dan 100% diperoleh masing masing sebesar 27,62%; 27,86%; 28,05% dan 28,2%. Konsumsi bahan bakar masing masing sebesar 1,823; 2,07; 2,32 dan 2,56 kg/s dan konsumsi bahan bakar spesifik masing masing sebesar 0,722; 0,726; 0,730 dan 0,735 kg/kWh. Setelah melewati kondisi optimum, parameter NPHR, temperatur gas buang, konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik akan meningkat seiring peningkatan *excess air*, sedangkan efisiensi siklus akan menurun. Kebutuhan udara dan *boiler rating* akan selalu meningkat seiring peningkatan *excess air*. Panas yang dilepas di kondensator dan daya pompa selalu konstan atau tidak dipengaruhi oleh *excess air* untuk setiap variasi beban turbin.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] KESDM, "Statistik Ketenagalistrikan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan", 2016.
- [2] RUEN (Rencana Umum Energi Nasional), 2017.
- [3] SHIELDS, C.D., "*Boiler, types, characteristics, and functions*", Mc Graw HillBook Company, New York, 1982.
- [4] JAMEL M.S., RAHMAN, A.A. dan SHAMSUDDIN, A.H., "Simulation of existing gas plant using Cycle Tempo" *4th International Conference on Energy and Environment 2013 (ICEE 2013)*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v. 16, pp. 012005, 2013.
- [5] THATTAI, A.T., OLDENROEK, V., SCHOENMAKERS, L., WOULDSTRA, T., dan ARAVIND, P.V., "Experimental model validation and thermodynamic assesment on high percentage (up to 70%) biomass co-gasification at the 253 Mwe integrated gasification combined cycle power plant in Buggenum, The Netherland", *Applied Energy*, v.168, ppl. 381–393, 2016.
- [6] NUTRANTA, R., AL HAMID, I., NASRUDDIN, HARINALDI, "Simulation of solar organic rankine cycle system using turbocharger with Cycle-Tempo and environmentally friendly fluid", *Applied Mechanics and Materials*, v.388, pp. 13-17, 2013.
- [7] LIU, C., LI, Z., KONG, W., ZHAO, Y., dan CHEN, Z., "Bituminous coal combustion in a full-scale start-up ignition burner: Influence of the excess air ratio", *Energy*, v.35, pp. 4102-4106, 2010
- [8] VAROL, M., ATIMTAY, A.T., OLGUN, H. dan ATAKUL H., "Emission characteristics of co-combustion of a low calorie and high sulfur-lignite coal and woodchips in a circulating fluidized bed combustor: Part 1. Effect of excess air ratio", *Fuel*, v.117, pp. 792–800, 2014.

- [9] MULUD, T.H. dan WAHYONO, “Pengaruh *exces air* terhadap flue gas di PLTU Tanjung Jati B Unit 2”, *Exergi Jurnal Teknik Energi*, v.11, n.3 pp. 78-84, 2015.
- [10] KOUPRINOVA, V.I., dan TANETSAKUNVATANAB, V.,”Optimization of excess air for the improvement of environmental performance of a 150 MW boiler fired with Thai lignite”, *Applied Energy*, v.74, pp. 445–453, 2003.
- [11] LA MUHAYA, S.B., WARDANA, I.N.G. dan WIDYANURIYAWAN, D., “Pembakaran premixed minyak nabati pada Bunsen Burner type silinder”, *Rekayasa Mesin*, v.6, n.1, pp. 45 – 49, 2015
- [12] ROUGAME, T., JABOILLE, F. dan TOREROB, J.L., ”Effect of excess air on grate combustion of solid wastes and on gaseous products”, *International Journal of Thermal Sciences*, v.48, pp. 165–173, 2009.
- [13] SURRESH, M.V.J. J, REDDY, S.K. dan KOLAR, R., “Thermodynamic analysis of a coal-fired power plant repowered with pressurized pulverized coal combustion”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, v.226, n.5, 2012.
- [14] SUNGUR, B., TOPALIGLU, B., NAMLI, L. dan OZCAN, H., “Numerical Investigation of the Effect of Excess Air and Thermal Power Variation in a Liquid Fuelled Boiler”, In: *Proceedings of the World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer (MHMT’16csp16.105)*, Paper No. CSP 105, 2016.
- [15] GHRITLAHRE, H., dan SINGH, T.P., ‘Effect of excess air on 30 TPH AFBC boiler on dry flue gas losses and its efficiency’, *International Journal of Research in Advent Technology*, v. 2, n.6, 2014.
- [16] SIMANJUNTAK, M.E., “Perancangan awal siklus pembangkit dan tungku barbahan bakar Sampah Domestik dengan Daya 10,5 MW 10”, *Polimedia*, v.13, n.4, 2010.
- [17] SIMANJUNTAK, M.E., “Desain awal PLTU dan Boiler Berbahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit dengan Kapasitas 31100 kg uap/jam”, *Sinergi*, v.1, n.1, pp. 54 -60, 2012.
- [18] DJAFAR, R., “Pengaruh X-Ratio Air Pre Heatar terhadap performa PLTU Kapasitas 2 x 1,5 MW pada variasi beban turbin 50%, 75% dan 100% dengan menggunakan Software CycleTempo”, *Tesis Magister*, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2017.
- [19] HAN, X., LIU, M., WANG, J, YAN, J., LIU, J., XIAO, F., “Simulation study on lignite-fired power system integrated with flue gas drying and waste recovery - Performances under variable power loads coupled with off-design parameters”, *Energy*, v. 76, pp. 406-418, 2014.
- [20] BABCOCK, WILCOX, “Princciples of Combustion”, In: “*Steam,It’s Generation and Use*”, chapter 10, Edition 41, pp. 10-15, Mc Dermott Company, 2005.