

Efisiensi Boiler dengan Penambahan Alat *Economizer* Sebagai *Pre-Heater Steam*

Marga Masaji, Nurul Aisha dan Soeprijanto

Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: soeprijanto@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—*Boiler* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembangkit listrik, industri, dan proses termal lainnya. *Boiler* berfungsi untuk menghasilkan uap air super panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin atau proses lainnya. Penggunaan *economizer* sebagai preheater steam memiliki beberapa keuntungan. Penggunaan *economizer* dapat meningkatkan efisiensi termal sistem secara signifikan. Penambahan alat *economizer* sebagai preheater steam merupakan solusi menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem *boiler*. Akan tetapi, pada pabrik pakan ikan yang dijadikan objek penelitian, tidak terdapat *economizer*. Setelah dilakukannya perhitungan penggunaan bahan bakar dan analisa ekonomi dapat disimpulkan bahwa penambahan *economizer* sebagai preheater steam pada sistem boiler memberikan solusi yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja. Penggunaan bahan bakar mengalami penurunan setelah pemasangan *economizer*, mengurangi konsumsi energi yang dibutuhkan. Selain itu, efisiensi panas yang diterima oleh air di boiler meningkat secara signifikan. Dengan demikian, penggunaan *economizer* membantu mengurangi konsumsi bahan bakar, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi emisi gas buang. Penambahan alat *economizer* sebagai preheater steam dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem boiler. Menurunnya energi yang dibutuhkan menyebabkan menurunnya jumlah bahan bakar LNG yang digunakan dari 149kg/jam menjadi 135kg/jam dan meningkatnya efisiensi penyerapan panas dari 77% menjadi 84,5%. Sehingga hal ini berpengaruh pada pendapatan bersih pabrik yang mengalami peningkatan dari Rp 567.116.666.66,00 menjadi Rp 567.848.744.666,00.

Kata Kunci—*Boiler, Economizer, Efisiensi, Ekonomi, Steam.*

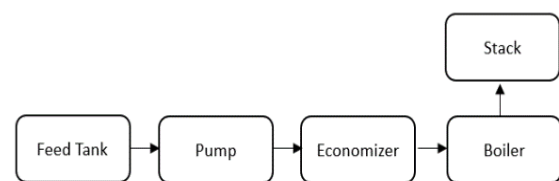
I. PENDAHULUAN

BOILER adalah komponen vital dalam sistem pembangkit listrik, industri, dan proses termal lainnya. Fungsinya adalah menghasilkan uap air super panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin atau digunakan dalam proses lainnya. Namun, untuk menjalankan *boiler* dengan efisiensi yang tinggi, diperlukan konsumsi energi yang signifikan, terutama saat memanaskan air umpan menjadi *steam* pada tahap awal.[1]

Industri energi dan lingkungan saat ini sangat memperhatikan peningkatan efisiensi operasional *boiler*. Salah satu cara yang populer untuk meningkatkan efisiensi *boiler* adalah dengan menggunakan alat tambahan yang disebut *economizer*. *Economizer* adalah perangkat pemanas yang dipasang pada saluran gas buang *boiler* untuk mengambil panas yang terbuang dan menggunakannya untuk memanaskan kembali air umpan. Dengan kata lain, *economizer* membantu memanfaatkan sumber energi yang sebelumnya terbuang percuma agar dapat digunakan kembali, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem *boiler*[2].

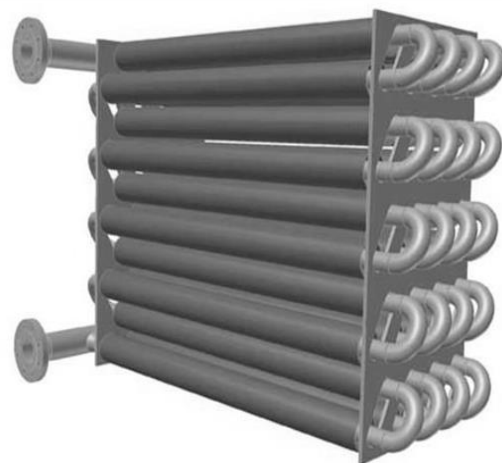


(a)



(b)

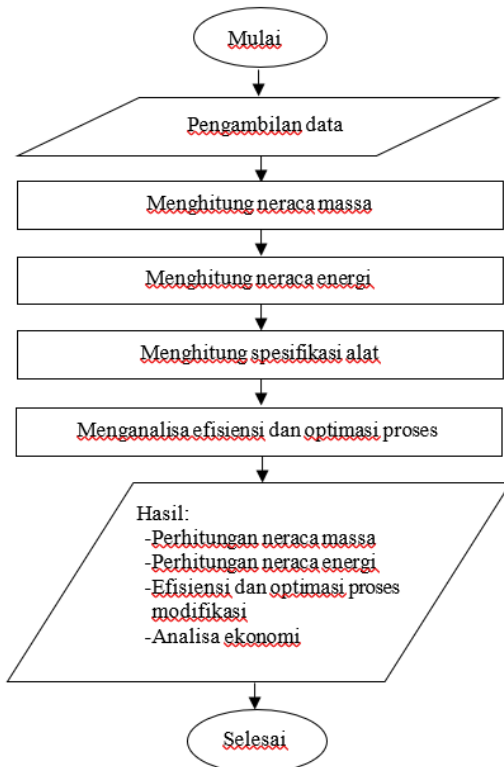
Gambar 1. (a) Kondisi *existing*; (b) Kondisi modifikasi.



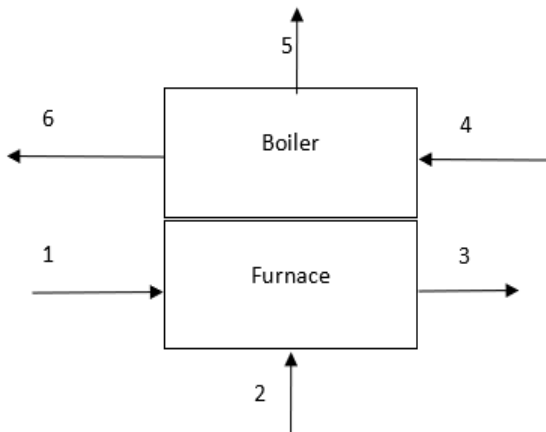
Gambar 2. Skema Alat *Economizer*.

Pemanfaatan *economizer* sebagai *preheater steam* memiliki beberapa keunggulan. Pertama, penggunaan *economizer* dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi termal sistem. Dengan memanaskan air umpan sebelum memasuki *boiler*, jumlah energi yang dibutuhkan untuk mencapai suhu *steam* yang diinginkan akan berkurang, mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Selain itu, penggunaan *economizer* juga dapat mengurangi beban kerja *boiler*, memperpanjang masa pakai *boiler*, serta mengurangi biaya perawatan [3].

Dalam rangka meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem *boiler*, penambahan alat *economizer* sebagai preheater steam merupakan solusi yang menjanjikan. Melalui penelitian yang lebih lanjut dan pengoptimalan desain, penggunaan *economizer* dapat menjadi pendekatan yang efektif dalam



Gambar 3. Uraian Proses Penelitian.



Gambar 4. Skema alat boiler kondisi existing.

mengurangi konsumsi energi dan emisi gas buang, serta meningkatkan efisiensi operasional boiler secara signifikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

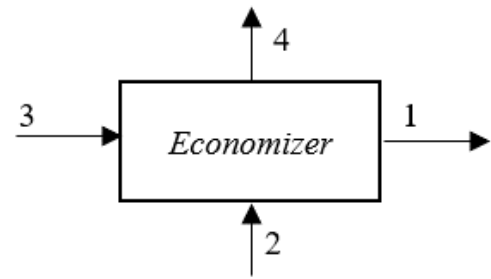
A. Proses Produksi Steam

1) Tangki Feed

Tangki feed adalah tempat penyimpanan air umpan sebelum masuk ke dalam sistem boiler. Tangki ini dilengkapi dengan kontrol level dan peralatan pengolahan air untuk memastikan kualitas air umpan sesuai standar yang ditetapkan [4].

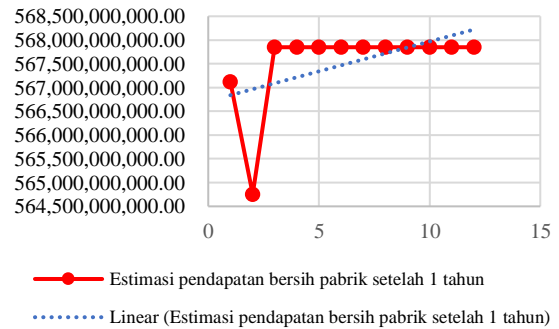
2) Pompa Umpan

Pompa umpan berfungsi untuk memompa air umpan dari tangki feed ke dalam boiler. Pompa ini menciptakan tekanan yang cukup tinggi agar air umpan dapat mengalir dengan lancar ke dalam boiler. Pompa umpan dilengkapi dengan sistem kontrol tekanan untuk menjaga tekanan yang stabil selama operasi [5].

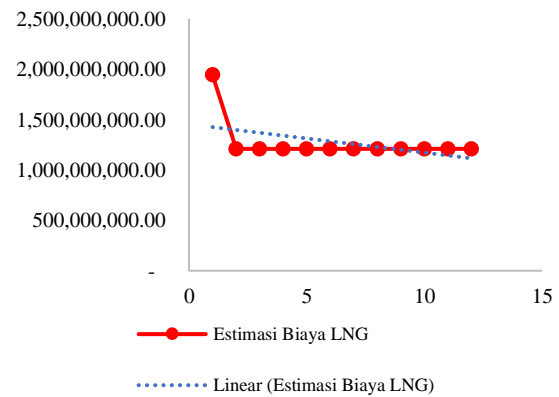


Gambar 5. Skema alat economizer.

(a) Estimasi pendapatan bersih pabrik setelah 1 tahun



(b) Estimasi Biaya LNG



Gambar 6. (a) Simulasi estimasi pendapatan bersih pabrik setelah pemasangan economizer; (b) Simulasi estimasi biaya LNG setelah pemasangan economizer.

3) Economizer

Setelah keluar dari pompa umpan, air umpan yang telah dipompakan masuk ke economizer. Di dalam economizer, air umpan akan dipanaskan menggunakan panas yang terbuang dari saluran gas buang boiler. Economizer berfungsi sebagai preheater steam untuk memanaskan air umpan sebelum memasuki boiler utama. Proses pemanasan ini membantu mengurangi konsumsi energi dengan memanfaatkan panas yang sebelumnya terbuang[6].

4) Boiler

Setelah melalui economizer, air umpan yang telah dipanaskan akan masuk ke dalam boiler utama. Di dalam boiler utama, air umpan akan mengalami pemanasan lebih lanjut dengan menggunakan bahan bakar seperti batubara,

Tabel 1.

Data Stream pada Produksi Steam Existing

| Komponen | Nilai |
|---|----------|
| Flowrate air (kg/jam) | 2187 |
| Suhu air masuk (°C) | 30 |
| Suhu air keluar (°C) | 178 |
| Kapasitas Boiler (Ton/jam) | 10 |
| HHV LNG (Kkal/kg) | 58061,86 |
| Suhu flue gas (°C) | 230 |
| Penggunaan bahan bakar sebelum penggunaan economizer (kg/jam) | 149 |

Tabel 2.

Data Ultimate LNG

| Komponen | Nilai (%wt) |
|----------|-------------|
| Carbon | 75,07% |
| Hidrogen | 22,89% |
| Sulfur | 0% |
| Oxygen | 2,04% |

minyak, atau gas. Pemanasan ini mengubah air menjadi uap super panas dengan suhu dan tekanan yang tinggi [2].

5) Distribusi Uap

Saturated steam yang dihasilkan oleh boiler utama akan dialirkan ke bagian-bagian sistem yang membutuhkan, seperti turbin atau proses produksi lainnya. Distribusi uap dilakukan melalui jaringan pipa yang terhubung dengan berbagai bagian produksi. Uap ini digunakan sebagai sumber panas atau energi dalam berbagai proses produksi yang berlangsung[7]. Distribusi uap dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Proses Penggunaan LNG

1) Pasokan LNG melalui pipa PGN

LNG disuplai melalui pipa PGN yang menghubungkan sumber LNG dengan sistem boiler di lokasi yang dituju. Pipa PGN berperan penting dalam mengantarkan LNG sebagai bahan bakar untuk pemanasan boiler [8].

2) Penyimpanan dan penyaluran LNG

Setelah mencapai lokasi boiler, LNG disimpan dalam tangki penyimpanan yang dirancang khusus untuk menjaga suhu rendah dan kestabilan LNG. Kemudian, LNG disalurkan ke sistem pembakaran melalui pipa dan katup yang sesuai [8].

3) Sistem pembakaran

LNG yang disalurkan ke sistem pembakaran akan dibakar untuk menghasilkan nyala api. Sistem pembakaran menggunakan burner khusus yang dirancang untuk membakar LNG secara efisien dan aman. Burner tersebut mengatur campuran LNG dengan udara pembakaran dalam proporsi yang tepat untuk mencapai pembakaran yang optimal[9].

4) Pemanasan boiler

Proses pembakaran LNG menghasilkan nyala api di dalam ruang bakar boiler. Ruang bakar dirancang agar panas dari nyala api tersebut dapat ditransfer secara efisien ke air di sekitarnya. Air dalam boiler dipanaskan oleh panas yang dihasilkan dari pembakaran LNG, dan berubah menjadi saturated steam [1].

C. Economizer

Economizer merupakan sebuah komponen tambahan yang memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja boiler. Economizer berfungsi untuk memanfaatkan

Tabel 3.

Hasil Perhitungan Neraca Massa Furnace Kondisi Existing

| Komponen | Masuk (kg/jam) | | Keluar (kg/jam) |
|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 4 |
| S | 0 | 0 | 0 |
| H2 | 33,8772 | 0 | 0 |
| C | 111,1036 | 0 | 0 |
| N2 | 0 | 2505,205957 | 2431,839443 |
| O2 | 3,0192 | 665,9408239 | 102 |
| SO2 | 0 | 0 | 0 |
| CO2 | 0 | 0 | 407,0306839 |
| CO | 0 | 0 | 0,2222072 |
| H2O | 0 | 0 | 378,1145331 |
| Total | 148 | 3171 | 3319 |
| | | 3319 | 3319 |

Tabel 4.

Hasil Perhitungan Neraca Massa Boiler Kondisi Existing

| Komponen | Masuk (kg/jam) | Keluar (kg/jam) | |
|--------------|------------------|------------------|--------------------|
| | 4 | 5 | 6 |
| H2O | 2187,00275 | 0 | 0 |
| Steam | 0 | 2077,652611 | 0 |
| Blowdown | 0 | 0 | 109,3501374 |
| Total | 2187,0027 | 2077,6526 | 109,3501374 |
| | 2187,0027 | 2187,0027 | |

panas yang sebelumnya terbuang pada gas buang boiler dan mentransfernya ke air umpan sebelum memasuki boiler. Dengan menggunakan economizer, efisiensi termal boiler dapat ditingkatkan karena energi yang sebelumnya terbuang dapat dimanfaatkan, mengurangi konsumsi bahan bakar dan memaksimalkan pemanfaatan panas [10].

Economizer bekerja dengan prinsip mentransfer panas dari gas buang ke air umpan melalui pipa-pipa economizer. Ada beberapa jenis economizer yang umum digunakan, seperti economizer air, economizer gas, dan economizer air-gas. Setiap jenis economizer memiliki cara kerja yang spesifik untuk memanaskan air umpan atau gas pembakaran menggunakan panas gas buang [11]. Economizer dapat dilihat pada Gambar 2.

D. Efisiensi dan Optimasi Proses

Fungsi utama efisiensi dan optimasi proses dalam pengoperasian boiler adalah untuk mencapai kinerja yang optimal dan mengurangi kerugian energi yang tidak diperlukan. Dengan meningkatkan efisiensi boiler, konsumsi bahan bakar dapat dikurangi, biaya operasional dapat ditekan, dan dampak lingkungan dapat dikurangi melalui pengurangan emisi gas buang [12].

Terdapat berbagai metode lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan optimasi proses boiler, seperti penggunaan teknologi cerdas seperti kontrol otomatis yang canggih, pengoptimalan pembakaran, penggunaan material isolasi termal yang efektif, serta teknologi pemulihan panas tambahan seperti kondensat heat recovery [13].

Secara keseluruhan, efisiensi dan optimasi proses dalam pengoperasian boiler adalah langkah penting dalam mencapai kinerja yang optimal, mengurangi konsumsi energi, mengurangi emisi gas buang, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Dengan penelitian dan penerapan teknik yang tepat, boiler dapat beroperasi dengan efisiensi yang lebih tinggi, memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan [13].

Tabel 5.
Hasil Perhitungan Neraca Energi Boiler Kondisi Existing

| H input (kkal/jam) | | H output (kkal/jam) | |
|----------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Komponen | Nilai | Komponen | Nilai |
| Entalpi LNG | 2070003 | Panas Sensibel Flue Gas | 164483 |
| Entalpi udara kering | 3510,51 | Entalpi Steam | 1376694 |
| Entalpi Air umpan | 4341,65 | Entalpi Blowdown | 58421,5 |
| | | Panas yang Hilang | 478256 |
| Total | 2077855 | Total | 2077855 |

Tabel 6.
Hasil Perhitungan Spesifikasi Alat Economizer

| Komponen | Nilai |
|-------------------------------------|---------|
| OD (cm) | 3,3528 |
| ID (cm) | 2,43078 |
| Panjang pipa (cm) | 100 |
| Panjang economizer(cm) | 120 |
| Lebar economizer (cm) | 120 |
| Tinggi economizer (cm) | 210 |
| Diameter gas buang (cm) | 100 |
| Jumlah pipa | 80 |
| Kalor yang dapat terjadi (kkal/jam) | 241151 |
| Kalor yang dibutuhkan (kkal/jam) | 52636 |
| Kalor flue gas (kkal/jam) | 164483 |

Tabel 8.
Hasil Perhitungan Neraca Massa Economizer

| Komponen | Masuk (kg/jam) | | Keluar (kg/jam) | |
|--------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|
| | 4 | 2 | 1 | 3 |
| Flue gas | | 3006 | | 3006 |
| H2O | 2187 | | 2187 | |
| Total | | 5193 | | 5193 |

Tabel 9.
Hasil Perhitungan Neraca Massa Furnace Kondisi Modifikasi

| Komponen | Masuk (kg/jam) | | Keluar (kg/jam) |
|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 4 |
| S | 0 | 0 | 0 |
| H2 | 30,910901 | 0 | 0 |
| C | 101,37533 | 0 | 0 |
| N2 | 0 | 2267,970544 | 2201,835708 |
| O2 | 2,7548378 | 602,8782459 | 88 |
| SO2 | 0 | 0 | 0 |
| CO2 | 0 | 0 | 371,3909362 |
| CO | 0 | 0 | 0,202750661 |
| H2O | 0 | 0 | 344,4841519 |
| Total | 135 | 2871 | 3006 |
| | | 3006 | 3006 |

III. URAIAN PROSES

Adapun uraian proses pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

A. Pengambilan Data

Data yang didapat pada pabrik pakan ikan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

B. Menghitung Neraca Massa

Neraca massa akan digunakan untuk menganalisis aliran massa bahan-bahan yang masuk dan keluar dari setiap proses produksi. Pada prinsip neraca massa menyatakan bahwa massa total yang masuk dalam proses harus sama dengan neraca massa total yang keluar. Neraca massa pada unit boiler hingga output hasil produk.

C. Menghitung Neraca Energi

Neraca energi digunakan untuk menggambarkan keseimbangan antara energi yang masuk dan keluar dalam

suatu proses. Neraca energi pada proses unit boiler dan economizer.

D. Rumus Perhitungan Spesifikasi Alat Economizer [14]

1) Kalor yang dibutuhkan economizer

$$Q = m \cdot cP \cdot (T1 - T0)$$

Dimana:

Q = Kalor (kkal/jam)

m = Flowrate (kgmol/jam)

cP = Specific heat (kkal/kmol.K)

$T1$ = Suhu air awal (K)

$T2$ = Suhu air akhir yang direncanakan (K)

2) Volume air yang dapat ditampung pipa

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

Dimana:

V = Volume air (ml)

π = Phi

r = jari-jari pipa (cm)

Tabel 10.

Hasil Perhitungan Neraca Energi *Economizer*

| H input (kkal/jam) | | H output (kkal/jam) | |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Komponen | Nilai | Komponen | Nilai |
| Flue gas in | 164483 | Flue gas out | 111847,1647 |
| H2O in | 4341,65 | H2O out | 52636,07922 |
| | | Heatloss | 4341,65297 |
| Total | 168824,9 | Total | 168824,9 |

Tabel 11.

Hasil Perhitungan Neraca Energi *Boiler* pada Kondisi Modifikasi

| H input (kkal/jam) | | H output (kkal/jam) | |
|----------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Komponen | Nilai | Komponen | Nilai |
| Entalpi LNG | 1787938,726 | Panas Sensibel Flue Gas | 164483,244 |
| Entalpi udara kering | 45978,47089 | Entalpi Steam | 1376694,17 |
| Entalpi Air umpan | 57073,96031 | Entalpi Blowdown | 58421,4700 |
| | | Panas yang Hilang | 291392,27 |
| Total | 1890991,15 | Total | 1890991,15 |

Tabel 12.

Estimasi Pendapatan Bersih Pabrik

| Komponen | Nilai (IDR) |
|--|--------------------|
| Biaya LNG/bulan (sebelum pemasangan <i>economizer</i>) | 1.940.760.000,00 |
| Pendapatan bersih/bulan(sebelum pemasangan <i>economizer</i>) | 567.116.666.666,00 |
| Biaya instalasi <i>Economizer</i> | 2.362.500.000,00 |
| Biaya LNG /bulan (setelah pemasangan <i>economizer</i>) | 1.208.682.000,00 |
| Pendapatan bersih/bulan(setelah pemasangan <i>economizer</i>) | 567.848.744.666,00 |

L = Panjang pipa (cm)

3) *Perpindahan kalor yang dapat terjadi*

$$Q_w = \frac{(T_{wo} - T_{wi})}{\left[\frac{\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{2 \pi \cdot k \cdot l} \right]}$$

Dimana:

Q_w = Perpindahan Kalor (kkal/jam)

T_{wo} = Suhu di luar pipa (K)

T_{wi} = Suhu di dalam pipa (K)

r_o = Jari-jari luar pipa (m)

r_i = Jari-jari dalam pipa (m)

k = Konduktifitas thermal pipa (52 w/mk)

l = Panjang pipa (m)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil neraca massa dan neraca energi pada kondisi *existing* dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Skema alat *boiler* pada kondisi *existing* dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari hasil perhitungan yang didapat, spesifikasi pada *economizer* dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari hasil yang didapat, *economizer* yang dirancang sangat memungkinkan untuk menaikkan suhu dari 30°C menjadi 90°C karena kalor *flue gas* melebihi dari kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu. Skema *encomizer* dapat dilihat pada Gambar 5.

Setelah pemasangan *economizer*, didapat hasil perhitungan estimasi penggunaan bahan bakar pada boiler dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari hasil perhitungan bahan bakar pada Tabel 7, maka didapat hasil perhitungan neraca massa dan energi pada kondisi modifikasi dapat dilihat pada Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11.

Dapat terlihat pada neraca energi bahwa penggunaan bahan bakar dalam satuan kkal/jam mengalami penurunan. Sebelum pemasangan *economizer*, energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air menjadi *saturated steam* adalah 2077855 kkal/jam. Sedangkan setelah pemasangan *economizer* menjadi 1890991,15 kkal/jam. Selain itu, efisiensi panas yang diterima fluida air di boiler meningkat dari 77% menjadi 84,5%. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan literatur bahwa pemakaian *economizer* dengan memanfaatkan gas buang dari *boiler* dapat meningkatkan efisiensi dari kerja *boiler*, hal ini dikarenakan temperatur air sebelum dipanaskan di dalam boiler sudah cukup tinggi, sehingga pemanasan air menjadi uap di dalam *boiler* tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar temperatur yang telah ditentukan [15].

Penggunaan *economizer* juga berdampak pada penghasilan bersih pabrik. Data simulasi estimasi biaya pemasangan *economizer* dan pendapatan bersih pabrik sesudah pemasangan *economizer* dapat dilihat pada Tabel 12.

Dapat dilihat pada Gambar 6 untuk pendapatan bersih mengalami kenaikan dari Rp 567.116.666.666,00 menjadi Rp 567.848.744.666,00/bulan, dan biaya LNG mengalami penurunan dari Rp 1.940.760.000,00 menjadi Rp 1.208.682.000,00/bulan.

V. KESIMPULAN

Dengan demikian, penggunaan *economizer* berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar, dan peningkatan efisiensi energi. Dengan hasil yang positif ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan alat *economizer* sebagai preheater steam merupakan solusi yang menjanjikan dalam meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem boiler.

Selain itu, efisiensi panas yang diterima oleh fluida air di boiler juga meningkat secara signifikan setelah pemasangan *economizer*. Peningkatan efisiensi dari 77% menjadi 84,5% menunjukkan bahwa *economizer* efektif dalam memanfaatkan panas yang terbuang untuk memanaskan air umpan sebelum memasuki boiler.

Hasil analisa ekonomi yang dilakukan didapat hasil turunnya energi yang dibutuhkan menyebabkan menurunnya jumlah bahan bakar LNG yang di gunakan dari 149kg/jam menjadi 135kg/jam. Sehingga hal ini berpengaruh pada pendapatan bersih pabrik yang mengalami peningkatan dari Rp 567.116.666.66,00 menjadi Rp 567.848.744.666,00.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. F. Kristanto, "Meminimalisir gangguan dengan preventive maintenance boiler di pembangkit listrik tenaga uap (studi kasus pada PT. PJB UBJOM PLTU rembang)," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 15, no. 1, 2022.

[2] W. W. Dewantan, M. K. Adiputra, I. P. Hakim, A. P. Zainuddin, I. K. Putro, and R. B. Cahyono, "Peningkatan efisiensi energi melalui optimasi cycle steam boiler pada operasi boiler : studi kasus di PT.

- Kaltim Methanol Industri (KMI),” *J. Rekayasa Proses*, vol. 14, no. 2, 2020.
- [3] M. S. Akbar, F. Suryadi, and D. D. Prastyo, “Kinerja economizer pada boiler,” *J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 1, 2009.
- [4] Herry Widodo, Ryan Saputra, and Puryadi, “Analisis power of hydrogen dan kesadahan feed water boiler guna meningkatkan efisiensi boiler di PT. djarum kudus,” *Maj. Ilm. Gema Marit.*, vol. 23, no. 2, 2021.
- [5] R. Gatot and P. Hadi, “Analisis perancangan pompa sentrifugal pada perancangan shower tester booth di PT X,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 88–95, 2020.
- [6] H. P. Nari and M. S. Rahman, “Analisis pengaruh temperatur air economizer terhadap efisiensi ketel di KM Meratus Kupang,” *J. Karya Ilm. Dosen Venus*, vol. 10, no. 1, 2022.
- [7] D. Rismawati *et al.*, “Analysis of steam distribution system from water tube boiler with a capacity of 45 Tons / Hour,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2, no. 2, 2021.
- [8] M. A. Satya Dharma Putra, K. Buda Artana, and D. W. Handani, “Desain rantai pasok gas alam cair (LNG) untuk kebutuhan pembangkit listrik di indonesia bagian timur,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [9] R. A. A. Wardana, I. G. N. S. Buana, and H. I. Nur, “Model optimisasi distribusi dan perencanaan terminal regasifikasi liquefied natural gas (LNG): studi kasus pulau jawa,” *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 1, 2020.
- [10] B. Rahman, “Kajian efektivitas economizer pada sistem boiler kapasitas 20 ton/jam dan tekanan 20 barg,” *J. Ilm. Teknobiz*, vol. 5, no. 2.
- [11] A. Gapur and A. Mursadin, “Analisis efesiensi kinerja economizer di PT. PLN (persero) Kalimantan Selatan-Tengah sektor PLTU asam-asam,” vol. 1, no. 1, 2019.
- [12] A. Primayudi, “Analisa kehilangan energi pada fire tube boiler kapasitas 10 ton,” vol. 4, no. 2, 2015.
- [13] S. Hastary, A. A. Yusuf, and R. Awaludin, “Optimalisasi proses produksi dengan menggunakan metode overall equipment (survey pada PT. Arteria Daya Mulia Kota Cirebon),” vol. 14, no. 1, 2021.
- [14] A. Jerindo, H. Frans, and S. Sebayang, “Perancangan economizer sebagai pemanas awal air umpan pada ketel type tube dalam proses pengolahan getah pinus di PT. nasco indopine,” vol. 3, no. 2, 2022.
- [15] S. Jamal and Suhardi, “Efek pemakaian economizer terhadap peningkatan efisiensi boiler pulverized pada unit pembangkit listrik tenaga uap,” vol. 18, no. 1, 2020.