

Pemulihan Kondensat Sebagai Feedwater Boiler untuk Meningkatkan Efisiensi Boiler pada Pabrik Pakan Ikan dengan Menggunakan Metode Flash Steam

Gabrilla Ulfa Megasari, Muhammad Duta Albany Satria, dan Danawati Hari Prajitno
Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: itsa12@yahoo.com

Abstrak—Manajemen energi sangat dibutuhkan untuk mengoptimalkan penggunaan energi sehingga *cost* atau biaya yang digunakan dapat diatur dengan baik. Di Industri *steam* banyak digunakan sebagai sumber energi utama, namun di dalam sistemnya sering kali terjadi kerugian panas. Salah satu alasan kerugian tersebut terjadi adalah pemulihan kondensat yang buruk. Pada penelitian ini dilakukan peninjauan terkait kondisi kondensat yang ada di industri sehingga dapat dipulihkan dan digunakan kembali dengan metode *flash steam tank*. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan solusi terkait permasalahan yang terjadi di industri. Permasalahan yang terjadi adalah efisiensi boiler yang sangat rendah dan kondensat yang dibuang langsung ke lingkungan. Kondensat ini masih memiliki nilai energi yang cukup untuk dimanfaatkan. Kondensat dengan suhu 120°C dan tekanan 2 bar akan ditampung menjadi satu di tangki kondensat sebelum dipulihkan 100%. Selanjutnya *steam* yang tersisa dari kondensat akan dialirkan dari tangki kondensat menuju ke tangki *flash steam*. Di dalam tangki *flash steam* akan terjadi pelepasan kalor laten. Selanjutnya, *steam* yang telah tercampur dengan air akan di distribusikan menuju tangki *feedwater boiler*. Berdasarkan perhitungan neraca massa dan neraca energi, penggunaan sistem *flash steam* dapat mengurangi kebutuhan air dan batubara sebagai bahan bakar serta dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 55,63%. Selain itu, didapatkan penghematan biaya penggunaan air dan batubara sebagai bahan bakar sebesar Rp 25.255.488.419 per tahun dan pengembalian modal awal (*payback period*) selama 1 bulan melalui perhitungan analisa ekonomi.

Kata Kunci—Boiler, Efisiensi, Flash Steam, Kondensat.

I. PENDAHULUAN

DALAM industri manajemen energi sangat dibutuhkan untuk mengoptimalkan penggunaan energi sehingga *cost* atau biaya yang digunakan dapat diatur dengan baik. Manajemen energi meliputi perencanaan dan pengoperasian produksi yang berhubungan dengan energi dan unit konsumsi. Hal tersebut didasari oleh sumber daya, perlindungan iklim, dan biaya penghematan. Manajemen energi berkaitan dengan manajemen lingkungan dan manajemen produksi [1].

Salah satu sumber energi yang banyak digunakan di industri yaitu *steam*. Biasanya *steam* dihasilkan dari unit boiler. Namun, saat ini terdapat cukup banyak permasalahan dari sistem *steam* di industri. Dalam sistem *steam* biasanya terjadi kehilangan energi panas (*heat loss*) yang seharusnya dapat dihindari. Kerugian yang diakibatkan dari hal tersebut dapat mempengaruhi biaya industri dalam jumlah besar dan dalam jangka panjang. Kerugian tersebut dapat terjadi karena pemulihan kondensat yang buruk, kebocoran *steam*, pipa distribusi yang tidak diinsulasi *thermal*, *steam traps* dalam kondisi buruk atau rusak [2].

Bahan bakar merupakan salah satu faktor biaya utama dalam sistem penghasil *steam*. Terutama saat energi yang dibutuhkan untuk produksi tinggi maka kebutuhan *steam* akan meningkat dan bahan bakar yang dibutuhkan lebih banyak. Selain itu, kondisi suhu air umpan juga mempengaruhi penggunaan bahan bakar. Semakin tinggi suhu maka bahan bakar yang diperlukan untuk mengubah air umpan menjadi *steam* akan berkurang [3].

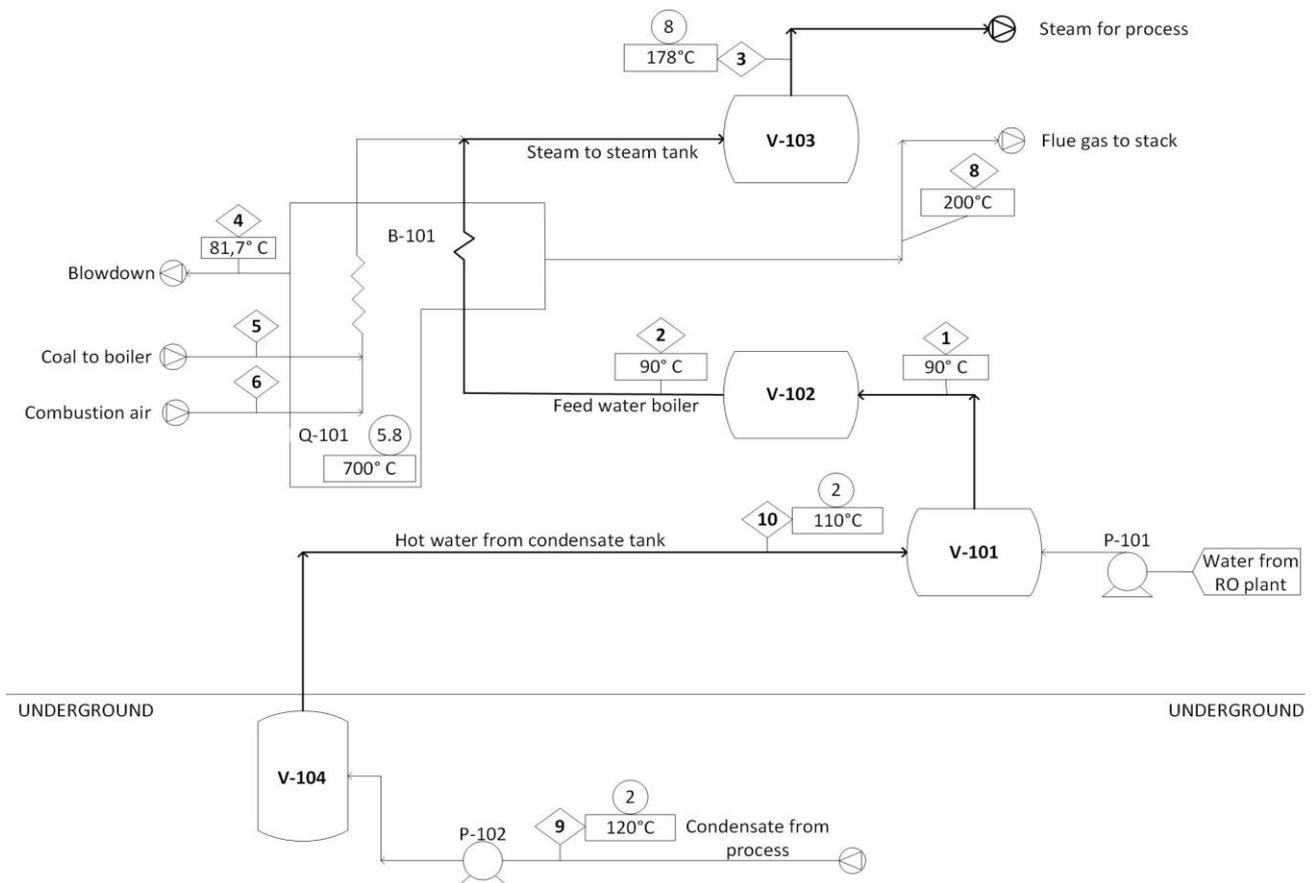
Di industri biasanya *steam* yang digunakan berasal dari boiler berbahan bakar batu bara dengan kapasitas 16 ton/jam dan suhu air umpan masuk sebesar 60°C. Boiler tersebut beroperasi sepanjang hari dan selama produksi, hal ini menyebabkan konsumsi bahan bakar yang tinggi dan menghabiskan sumber daya energi yang menyebabkan kerugian biaya. Untuk mengurangi kerugian tersebut terdapat beberapa sistem hemat energi dan penggunaan kembali bahan buang (*waste product*) yang dapat diterapkan untuk mengurangi biaya bahan bakar dan dapat meningkatkan suhu air umpan masuk ke boiler. Salah satunya adalah penggunaan kembali kondensat yang dihasilkan dari proses penggunaan *steam* pada proses produksi.

Gas kondensat merupakan gas nyata yang mempunyai energi internal sebagai fungsi dari temperatur (*T*) dan tekanan (*P*) dengan memperhitungkan tenaga ikat antar molekul gas. Jika gas kondensat ini diproduksi maka akan berubah menjadi dua fasa yaitu gas dan cairan apabila tekanan turun hingga di bawah titik embun (*dew point*).

Penggunaan kembali kondensat dapat dilakukan dengan sistem *flash steam*. *Flash steam* merupakan suatu sistem penggunaan kembali kondensat dengan memanfaatkan suhu dan tekanan pada kondensat [4]. Pada tangki *flash steam* akan diumpankan kondensat yang memiliki tekanan dan suhu cukup tinggi namun di dalam tangkinya sendiri mendukung tekanan yang lebih rendah. Sirkulasi *steam* akan dibuat dengan sistem satu atau lebih pipa untuk mengembalikan air yang terkandung dalam kondensat ke tangki *feed water boiler* [5].

A. Kondisi Existing

Recovery Condensate atau pemulihan kondensat dilakukan guna untuk memanfaatkan panas yang masih dapat digunakan sebagai pemanas. Salah satunya sebagai pemanas air umpan boiler. Kondensat adalah cairan yang terbentuk ketika *steam* berubah fasa dari uap (*vapor*) ke keadaan cair. Dalam proses pemanasan, kondensat adalah hasil dari *steam* yang mentransfer sebagian energi panasnya yang dikenal sebagai panas laten ke produk atau peralatan yang sedang dipanaskan. Saat panas laten *steam* digunakan untuk memanaskan produk, *steam* tersebut akan mengembun atau terkondensasi menjadi



Gambar 2. Process flow diagram efisiensi.

rendah dalam suatu sistem *steam*. Misalnya, dapat dilepaskan melalui *steam trap* atau dari *blowdown* (Gambar 2).

Kondensat dengan suhu 120°C dan tekanan 2 bar akan ditampung menjadi satu di tangki kondensat sebelum dipulihkan 100%. Selanjutnya *steam* yang tersisa dari kondensat akan dialirkan dari tangki kondensat menuju ke tangki *flash steam* melalui pipa ukuran 4 inch. Kondisi operasi dari tangki *flash steam* adalah 110°C dan 2 bar. Kemudian di dalam tangki, *steam* yang telah ditampung akan di *spray* menggunakan air yang telah melalui proses *reverse osmosis*. Di dalam tangki *flash steam* akan terjadi pelepasan kalor laten. Selanjutnya, *steam* yang telah tercampur dengan air akan di distribusikan menuju tangki *feedwater boiler*. Dengan digunakannya sistem *flash steam* ini dapat menutup jalur *steam* menuju ke *feedwater* sebagai pemanas *feedwater boiler* karena suhu pada *feedwater* akan meningkat hingga 90°C sehingga kebutuhan bahan bakar untuk mengubah air menjadi *steam* berkurang.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Telaah

Permasalahan pada penelitian ini didasari oleh adanya permasalahan di sebuah industri pada unit boiler khususnya sistem pemulihan kondensat. Jika ditinjau, kondensat yang dihasilkan memiliki suhu dan tekanan yang cukup tinggi yaitu 120°C dan 8 bar. Permasalahan ini disebabkan oleh pemulihan kondensat yang kurang baik sehingga hanya 5% dari total kondensat yang dapat dipulihkan dan digunakan sebagai pemanas air umpan boiler. Hal tersebut dapat menyebabkan kerugian panas dan biaya pada sistem.

B. Studi Literatur

Tahap berikutnya adalah studi literatur guna mendapatkan data dan referensi yang mendukung dalam penyelesaian penelitian ini. Studi literatur dapat dilakukan dengan membaca buku, artikel ilmiah, makalah, peraturan, dan standar yang berkaitan dengan topik penelitian. Rujukan/basis perhitungan pada penelitian ini didasari oleh informasi tersebut sehingga didapatkan perhitungan yang sesuai dengan standar yang digunakan.

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan guna mendapatkan data aktual sebagai referensi, dukungan, dan dasar untuk perhitungan yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan dengan mencari data aktual di industri dan mencari referensi dari literatur yang dapat digunakan sebagai data. Beberapa data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi (1) Spesifikasi boiler (2) Kondisi operasi pada boiler (3) Kondisi operasi tangki kondensat (4) Kondisi operasi tangki *feedwater* (5) Massa kondensat yang dihasilkan (6) Kapasitas produksi (7) Harga produk jual (8) Biaya produksi perusahaan (9) Data pendukung untuk *steam* (Hf, Hg, Hfg, dll)

D. Analisa dan Pengolahan Data

Tahapan ini dilakukan setelah didapatkannya data dan referensi dalam menghitung dan mengolah data terkait penelitian. Data yang didapatkan selanjutnya diolah menjadi perhitungan neraca massa, neraca energi, dan perhitungan ekonomi baik pada kondisi existing maupun kondisi optimasi. Setelah pengolahan data dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah analisa hasil, dimana tahapan ini ditujukan

Tabel 1.
Rancangan Spesifikasi Alat

Spesifikasi	Keterangan
Fungsi	Menghasilkan <i>flash steam</i> untuk <i>feedwater boiler</i>
Bahan	SA 283 Grade C (Carbon Steel)
Kapasitas	4 ton/jam
Suhu operasi	110°C
Tekanan operasi	2 bar
Diameter	42 in
Steam space	25,7 in
Condensate section	10 in
Ukuran	2,96 ft
Flash vent line off tank	2381,6 fpm

Tabel 2.
Neraca Massa Penggunaan Air dan Batubara

Komponen	Sebelum	Setelah
Air	12416,66	9997,31
Batubara	1458,33	119,66
Steam	13287,5	14997,31
Flash steam	-	4725,58

Tabel 3.
Efisiensi Boiler

Komponen	Sebelum	Setelah
T <i>feedwater</i>	60°C	90°C
η Boiler	39,37%	95%

Tabel 4.
Saving Cost Setelah Pengadaan Alat

Item	Sebelum	Setelah
Air	Rp 84.036.000	Rp 67.661.824
Batubara	Rp 2.272.199.995	Rp 186.450.136
Saving Cost /bulan		Rp 2.102.124.035
Saving Cost /tahun		Rp 25.255.488.419

untuk mengetahui apakah rencana optimasi yang dilakukan dapat menyelesaikan masalah dengan baik.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Flash Steam System

Pada umumnya di proses produksi dan distribusi *steam* terdapat fenomena permasalahan, seperti perubahan tekanan dan suhu. Salah satu masalah terpenting dalam sistem distribusi *steam* adalah konversi arus yang mengalir di pipa kondensat. Pada dasarnya, campuran dua fase yaitu uap dan kondensat yang masuk ke dalam *steam trap* akan dihilangkan kondensatnya oleh *steam trap*.

Pada tekanan atmosfer, kondensat panas dan bertekanan tinggi meninggalkan sistem perpipaan menuju ke atmosfer. Akibatnya terjadi penurunan tekanan pada kondensat yang menyebabkan kondensat menguap pada suhu yang lebih rendah. *Steam* tersebut merupakan *flash steam* yaitu *steam* yang disebabkan oleh penurunan tekanan kondensat pada suhu konstan.

Flash steam sering dilihat sebagai produk limbah atau *waste product* dengan nilai yang kecil dibandingkan dengan *live steam* langsung dari boiler. Namun, jika ditinjau kembali bahwa bagaimanapun cara *steam* dihasilkan, *steam* dapat menjadi pembawa panas yang efisien [8]. *Flash steam* tidak berbeda dengan *normal steam* atau *live steam* yang dihasilkan oleh boiler, evaporator atau limbah panas, dan perangkat pemulihan [9].

Tabel 5.
Pendapatan Bersih Industri Setelah Pengadaan Alat

Tahun	Pendapatan Bersih (Rp/Tahun)	
	2022	Rp
2023	Rp	6.804.470.586.903
2024	Rp	6.830.625.488.419
2025	Rp	6.830.625.488.419
2026	Rp	6.830.625.488.419

Tabel 6.
Payback Period

Item	Rp
Harga Alat	Rp 929.413.096,77
Umur Alat (tahun)	15
Salvage value	Rp 185.882.619,35
Saving cost (bulan)	Rp 2.102.124.035
Keuntungan (tahun)	Rp 2.102.124.035
Depresiasi	Rp 49.568.698,49
	0,088426095
Payback Period	1,061113139



Gambar 3. Pendapatan bersih industri setelah pengadaan alat.

Flash steam dapat dijadikan sebagai tambahan air umpan boiler dan sekaligus meningkatkan suhu air umpan. Hal tersebut dapat mengurangi kebutuhan batu bakar untuk mengubah air menjadi *steam* di sebuah sistem [9].

Penggunaan sistem *flash steam* perlu mengetahui berapa banyak *flash steam* yang tersedia dari kondensat yang dihasilkan. Perhitungan banyak *flash steam* yang tersedia dapat menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$Flash\ steam = \left[\frac{(H_{steam} - H_{kondensat})}{Q} \right] \times kondensat/jam$$

Dari perhitungan dengan rumus (1) didapatkan hasil sebesar 4725,58 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa *flash steam* yang dihasilkan dari 5000 kg kondensat/jam sebesar 4725,58 kg/jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa *flash steam* yang dihasilkan akan cukup membantu untuk digunakan sebagai *feedwater boiler* dan dapat mengurangi penggunaan air.

Sehingga dengan diketahui banyaknya *flash steam* yang dihasilkan maka dapat diketahui spesifikasi tangki *flash steam* yang dibutuhkan, yaitu pada Tabel 1.

Faktor terpenting dalam pembentukan *flash steam* adalah suhu dan jumlah panas dari kondensat saat memasuki sistem. Dengan kata lain, ketika kondensat panas memasuki sistem bertekanan rendah, entalpinya akan konstan tetapi titik jenuh dari kondensat akan menurun. Untuk mengatasi kelebihan energi, molekul air akan menyerap kelebihan energi sebagai panas laten dan menguap. Kehilangan *flash steam* menyebabkan kehilangan air dan energi yang sangat mahal

dalam skala besar, maka dari itu pemanfaatan *flash steam* perlu dilakukan dengan baik [9].

B. Perhitungan Neraca Massa

Sistem *flash steam* tidak hanya mengurangi kerugian biaya bahan bakar dari sistem, tetapi juga memanfaatkan *steam* pada sistem pengembalian kondensat yang berpengaruh pada penggunaan air untuk boiler.

Perhitungan neraca massa didasarkan pada data massa masuk dan keluar pada setiap komponen alat. Massa yang masuk ke dalam suatu sistem harus keluar meninggalkan sistem tersebut atau terakumulasi di dalam sistem.

Berdasarkan dari Tabel 2 dapat diketahui penggunaan air sebelum dan sesudah penggunaan *flash steam* terdapat perbedaan yang cukup tinggi. Air yang digunakan sebelum penggunaan sistem *flash steam* setiap 1 jam adalah 12416,66 kg/jam, sedangkan setelah penggunaan *flash steam* adalah 9997,31 kg/jam. Dimana selisih penggunaan air sebesar 2419,35 kg/jam. Kebutuhan batubara untuk mengubah *feedwater* menjadi *steam* sebelum penggunaan *flash steam* adalah 1458,33 kg/jam, sedangkan setelah penggunaan *flash steam* adalah 119,66 kg/jam. Selisih penggunaan batubara sebesar 1338,67 kg/jam.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan sistem *flash steam* dapat mengurangi penggunaan air sebagai *feedwater* dan batubara sebagai bahan bakar untuk mengubah air menjadi *steam*. Hal ini nantinya akan mempengaruhi aspek ekonomi pada proses ini. Akan terjadi penghematan biaya untuk kebutuhan air dan batubara yang digunakan.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa penurunan penggunaan air dan batubara cukup tinggi sehingga dapat menekan biaya yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan setelah digunakan sistem *flash steam*, kebutuhan *feedwater* boiler akan disumbang dengan *flash steam* sebesar 5728,11 kg/jam mengakibatkan penurunan kebutuhan air yang diperlukan. Selain itu, penggunaan *flash steam* juga meningkatkan suhu *feedwater* sehingga penggunaan batubara dapat berkurang.

C. Efisiensi Boiler

Boiler merupakan suatu alat penghasil *steam* dari proses pembakaran. *Steam* yang dihasilkan pada proses pembakaran memiliki suhu dan tekanan tertentu yang dimanfaatkan untuk proses produksi. Pada industri yang digunakan penelitian ini, *steam* digunakan sebagai pemanas di extruder dan *dryer*.

Efisiensi boiler adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara *supply* energi yang masuk ke dalam boiler dengan energi luaran yang dihasilkan oleh boiler. Efisiensi boiler dihitung dari jumlah bahan bakar yang tidak terbakar bersamaan dengan jumlah udara sisa pembakaran (*excess air*). Nilai efisiensi boiler dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jumlah konsumsi bahan bakar, laju aliran uap, temperatur air umpan boiler, serta tekanan dan temperatur uap boiler. Turunnya kinerja operasional boiler akan berpengaruh terhadap kinerja proses penghasil *steam* dan juga aspek ekonominya [10]. Dengan kondisi ini perlu dilakukan perhitungan efisiensi boiler.

Pembakaran boiler dapat dikatakan efisien apabila tidak ada bahan bakar yang tersisa di ujung keluaran ruang bakar boiler, sama halnya dengan jumlah udara sisa. Namun, pada proses pembakaran tidak mungkin berlangsung secara

sempurna mengingat adanya panas yang hilang atau *heat loss* selama proses pembakaran [11].

Energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap (energi output), dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar batubara (energi input). Metode ini dikenal juga sebagai metode input-output karena metode ini hanya memerlukan output (*steam*) dan panas input (bahan bakar sampah) untuk evaluasi efisiensi. Berdasarkan *USA Standard ASME PTC 4-1 Power Test Code For Steam Generating Units*, efisiensi boiler dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan, sebagai berikut :

$$\eta_{Boiler} = \frac{\text{Massa Steam} (H_g - H_f)}{\text{Massa Batubara} \times \text{LHV Batubara}} \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa efisiensi boiler sebelum penggunaan *flash steam* sebesar 39,37%. Hal tersebut menandakan bahwa efisiensi boiler sebelum dilakukan penambahan *flash steam* sangat buruk hingga berada dibawah 50% yang artinya boiler tidak dapat mengubah sejumlah besar energi panas yang diberikan ke dalam energi yang berguna secara efisien. Salah satu dampak dari efisiensi boiler yang rendah adalah pemborosan energi, karena sejumlah energi yang dihasilkan terbuang sia-sia sehingga menyebabkan pemborosan bahan bakar dan biaya operasional yang lain lebih tinggi [11].

Efisiensi boiler meningkat dengan penggunaan sistem *flash steam*. Peningkatan terjadi sebesar 55,63% dari sebelum penggunaan *flash steam*, yaitu 95%. Hal ini karena pengaruh suhu *feedwater* setelah penggunaan sistem *flash steam* juga meningkat dikarenakan panas dari *flash steam*, sehingga kebutuhan bahan bakar atau energi untuk mengubah air menjadi *steam* akan mengalami penurunan. Efisiensi pembakaran boiler secara umum menjelaskan kemampuan sebuah *burner* untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar atau *furnace* boiler.

D. Analisa Ekonomi

Perhitungan ekonomi perlu dilakukan untuk mengetahui penghematan atau keuntungan dengan adanya pengadaan alat sebagai langkah optimasi dari sebuah sistem pemulihan kondensat di industri. Selain itu, analisa ekonomi dilakukan untuk menentukan apakah proyek pengadaan alat ini layak dilakukan atau tidak dari segi ekonomi. Analisa ekonomi di dasari oleh hasil perhitungan neraca massa khususnya data penggunaan air dan batubara sebelum dan sesudah dilakukannya pengadaan alat untuk sistem *flash steam* dalam langkah memperbaiki sistem pemulihan kondensat.

Analisa ekonomi sangat penting saat industri ingin melakukan pengadaan suatu alat baru kerana hal tersebut dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang rasional dan meminimalkan risiko kerugian. Selain itu, analisa ekonomi dilakukan untuk mengukur kelayakan finansial perusahaan, apakah pengadaan alat tersebut dapat dilakukan tanpa adanya kerugian [12].

Dengan melakukan analisa ekonomi yang komprehensif, industri dapat membuat keputusan yang lebih rasional saat ingin pengadaan alat baru. Analisa tersebut dapat membantu memastikan bahwa pengadaan alat baru memberikan nilai tambah finansial, efisiensi operasional, dan keuntungan jangka panjang bagi industri [13].

Asumsi dan ketentuan yang digunakan dalam perhitungan analisa ekonomi pada penelitian ini, antara lain :

- a. Kapasitas produksi industri sebesar 55.920 ton/tahun.
- b. Jumlah hari kerja dalam setahun adalah 330 hari.
- c. Pengadaan alat dilakukan pada akhir tahun 2023 dan diperkirakan selesai di tahun 2024.
- d. Sistem pemulihan kondensat yang baru dapat digunakan pada akhir tahun 2024.
- e. Situasi pasar, biaya dan lain-lain diperkirakan stabil selama pabrik beroperasi.

Tabel 4 menunjukkan penghematan biaya penggunaan air dan batubara dalam 1 bulan setelah digunakannya sistem *flash steam*. Hal ini ditinjau dari perhitungan neraca massa pada Tabel 2 dimana kebutuhan air dan batubara berkurang dengan adanya sistem *flash steam*. Industri dapat menghemat biaya sebesar Rp 87.529.049/bulan setelah digunakan sistem *flash steam*. Sedangkan untuk penghematan selama setahun, industri berhasil menghemat sebesar Rp 1.050.348.588. Dengan penghematan sebesar itu maka industri memiliki keuntungan dengan pendapatan bersih setelah pengadaan alat untuk sistem *flash steam* meningkat.

Gambar 3 menunjukkan pendapatan bersih industri setelah pengadaan alat untuk sistem *flash steam*. Ditinjau dari Gambar 3, bahwa terjadi penurunan yang cukup tajam pada tahun 2023. Hal tersebut terjadi akibat pada tahun 2023 merupakan masa konstruksi pengadaan alat dilakukan sehingga terdapat biaya pengeluaran yang cukup besar untuk pembelian alat dan instalasinya. Namun, jika ditinjau dari Tabel 5 industri masih mendapatkan pendapatan bersih selama masa konstruksi berlangsung sebesar Rp 6.804.470.586.903.

Selanjutnya pada masa produksi ditahun selanjutnya yaitu pada tahun 2024 setelah masa konstruksi selesai, industri memperoleh peningkatan pendapatan bersih menjadi sebesar Rp 6.806.450.348.588 dari pendapatan sebelum dilakukan pengadaan alat untuk sistem *flash steam*. Selisih pendapatan sebelum dan sesudah pengadaan alat sebesar Rp 1.050.348.588 sesuai dengan perhitungan *saving cost* pada Tabel 5.

Selanjutnya perlu dihitung *payback period* untuk mengetahui lama waktu pengembalian modal yang digunakan untuk pengadaan alat untuk sistem *flash steam*. *Payback period* adalah suatu perkiraan jangka waktu kembali pada suatu investasi yang sudah dilakukan dengan suatu profit yang didapatkan. Hal tersebut mendefinisikan rumus *payback period* sebagai teknik menutupi kembali modal yang dikeluarkan pada investasi dalam periode tertentu dengan menggunakan aliran kas neto.

Payback period mencoba mengukur seberapa cepat suatu investasi bisa kembali. Karena satuan hasilnya bukan persentase, tetapi satuan waktu seperti tahun, bulan. Apabila periode *payback* ini lebih pendek daripada yang diisyaratkan, maka proyek dikatakan menguntungkan, sedangkan kalau lebih lama proyek ditolak dan dasar yang dipergunakan adalah aliran kas, bukan laba.

Karena berkaitan dengan waktu pengembalian, apabila *payback period* yang dihasilkan lebih cepat daripada waktu yang sudah ditentukan, maka industri tersebut sudah layak investasi atau pengeluaran biaya. Setiap industri menginginkan pengembalian modal awal secara cepat sehingga dapat mengerjakan proyek lain yang diperlukan.

Payback period (periode pengembalian modal) juga dapat digunakan untuk mengevaluasi pembelian alat atau peralatan

baru. Dalam konteks ini, *payback period* adalah periode waktu yang dibutuhkan agar penghematan biaya yang dihasilkan dari penggunaan alat baru cukup untuk menutupi biaya pembelian alat tersebut. Dengan menghitung *payback period* dapat mengevaluasi sejauh mana investasi dalam pengadaan alat tersebut dapat menghasilkan pengembalian investasi awal [14].

Pada Tabel 6 dapat diketahui dengan adanya proyek pengadaan alat untuk sistem *flash steam*, *payback period* yang dihasilkan sebesar 0,088 tahun atau setara dengan 1 bulan. Dimana artinya pengembalian modal awal yang digunakan untuk pengadaan alat untuk sistem *flash steam* akan kembali pada bulan pertama setelah proyek dilakukan. Pengembalian modal awal yang sebentar ini menjadikan proyek pengadaan alat *flash steam* ini sangat menguntungkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian terkait perbaikan sistem pemulihan kondensat dengan penambahan sistem *flash steam* didapatkan kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan sistem *flash steam* pada sistem pemulihan kondensat mempengaruhi kebutuhan penggunaan air dan batubara (bahan bakar). Perbedaan penggunaan air dan batubara setelah menggunakan sistem *flash steam* berturut-turun sebesar 2419,35 kg/jam dan 1338,67 kg/jam. Penggunaan air dan batubara yang menurun menyebabkan peningkatan efisiensi boiler sebesar 55,63 % dari sebelum penggunaan *flash steam* yaitu sebesar 39,37 % dan setelah penggunaan *flash steam* sebesar 95 %. Peningkatan efisiensi boiler ini juga diakibatkan oleh suhu *feedwater* yang meningkat akibat penggunaan sistem *flash steam*, dari yang mulanya 60°C menjadi 90°C sehingga kebutuhan energi untuk boiler mengubah air menjadi *steam* akan berkurang.

Penggunaan sistem *flash steam* juga memberikan penghematan biaya penggunaan air dan batu bara sebesar Rp 25.255.488.419 pertahunnya. Biaya yang dibutuhkan untuk proyek pengadaan alat untuk sistem *flash steam* ini membutuhkan adalah sebesar Rp 929.413.096,77. Namun, pengeluaran yang besar tersebut diimbangi dengan *payback period* atau pengambilan modal awal yang terbilang cukup cepat yaitu 0,08 tahun atau setara dengan 1 bulan setelah proses konstruksi dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa proyek pengadaan alat *flash steam* memberikan peluang yang baik sehingga dapat dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. C. S. Reddy, S. V Naidu, and G. P. Rangaiiah, "Waste heat recovery methods and technologies: there is significant potential for recovering some of the wasted heat in the CPI. Key requirements, benefits and drawbacks for numerous techniques are reviewed," *Chem. Eng.*, vol. 120, no. 1, pp. 28–39, 2013.
- [2] D. J. Mariños Rosado and J. Carvalho, "Energy saving in the steam system and condensate recovery in the health industry," *Therm. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 10, 2018, doi: 10.26678/abcm.encit2018.cit18-0745.
- [3] C. Vineeth and M. G. Prince, "Impact of condensate recovery on boiler fuel consumption in textile sector," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 3, no. 5, pp. 190–193, 2013.
- [4] I. Farrou *et al.*, "Energy efficiency in steam using industries in Greece," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 39, no. 6, pp. 556–582, 2020, doi: 10.1080/14786451.2020.1737066.
- [5] A. Polzot, P. D'Agaro, and G. Cortella, "Energy analysis of a

- transcritical CO₂ supermarket refrigeration system with heat recovery," *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 648–657, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.227.
- [6] C. Kocabaş and A. F. Savaş, "Reducing energy losses of steam boilers caused by blowdown with using the FMEA method," *Smart Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 70–79, 2021, doi: 10.1080/23080477.2021.1898794.
- [7] D. JW, H. Z, M. H, D. Y, S. F, and P. X, "Experimental investigation of the steam ejector in a single-effect thermal vapor compression desalination system driven by a low-temperature heat source," *Energies*, vol. 11, no. 9, p. 2282, 2018, doi: 10.3390/en11092282.
- [8] M. Zeyghami, "Thermoeconomic Optimization of Geothermal Flash Steam Power Plants," *Proceedings World Geothermal Congress*, no. 1. Bali, pp. 25–29, 2010.
- [9] F. Goodarzvand-Chegini, L. Samiee, and N. Rahmadian, "Energy savings from flash steam recovery: An industrial case study," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 19, no. 3, p. 100393, 2023, doi: 10.1016/j.ecmx.2023.100393.
- [10] N. T. Sahda, J. M. Sentosa, and L. Adhani, "Analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Bantargebang," *J. Eng. Environmental Energy Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–48, 2022, doi: 10.31599/joes.v1i1.979.
- [11] Vakalis, Moustakas, and Loizidou, "Energy efficiency of waste-to-energy plants with a focus on the comparison and the constraints of the 3T method and the R1 formula," *Renew. Sustain. Energy*, vol. 108, no. 1, pp. 323–329, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.04.004.
- [12] Z. Xin-gang, J. Gui-wu, L. Ang, and Wang Ling, "Economic analysis of waste-to-energy industry in China," *Waste Manag.*, vol. 48, no. 1, pp. 604–618, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2015.10.014.
- [13] S. Brückner, S. Liu, L. Miró, M. Radspieler, L. F. Cabeza, and E. Lävemann, "Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies," *Appl. Energy*, vol. 151, pp. 157–167, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.147.
- [14] D. Leeson, N. Mac Dowell, N. Shah, C. Petit, and P. S. Fennell, "A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources," *Int. J. Greenh. Gas Control*, vol. 61, no. 3, pp. 71–84, 2017, doi: 10.1016/j.ijggc.2017.03.020.