

Kajian Analitis Sistem Pembangkit Uap Kogenerasi

Lamsihar S. Tamba¹⁾, Harmen²⁾ dan A. Yudi Eka Risano²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

²⁾Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung
Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947
Email : emailnya_lamsihar@yahoo.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang sedang berkembang di bidang industri dan memiliki tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi. Hal ini mengakibatkan tidak terpenuhinya permintaan akan ketersediaan energi listrik. Seperti telah diketahui bahwa pada umumnya bahan bakar dari pembangkit energi listrik tersebut merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan suatu waktu akan habis. Maka dari itu perlu dilakukan konservasi energi. Salah satu upaya meningkatkan efisiensi energi adalah penerapan sistem pembangkit uap kogenerasi. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa peningkatan efisiensi sistem kogenerasi. Penelitian ini dimulai dari pengambilan data berupa kondisi uap untuk setiap tingkat keadaan dan kemudian menghitung efisiensi energi dari system pembangkit. Hasil dari perhitungan efisiensi energi didapat nilai faktor utilitas sistem pembangkit kogenerasi adalah sebesar 44,7 % (data pengamatan) dan 49,9 % (data spesifikasi). Kalor pemanasan produk pada sistem pembangkit tersebut adalah sebesar 9318,85 kW (data pengamatan) dan 9294,66 kW (data spesifikasi). Pada sistem pembangkit tersebut terdapat proses ekstraksi untuk pemanasan produk yang meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi dan keuntungan biaya produksi.

Kata kunci: Efisiensi Energi, Kogenerasi, Kalor.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini energi listrik telah menjadi kebutuhan mendasar bagi manusia, karena sebagian besar aktivitas manusia ditunjang oleh peralatan yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya. Begitu juga di Indonesia yang merupakan negara yang sedang berkembang di bidang industri dan memiliki tingkat pertumbuhan penduduk yang masih tinggi. Hal ini pastinya akan mengakibatkan semakin besarnya permintaan ketersediaan energi listrik.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang konservasi energi perlu dilakukan konservasi energi sebagai upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Pelaksanaan konservasi energi mencakup seluruh aspek dalam pengelolaan energi yaitu penyediaan energi, pengusaha energi, pemanfaatan energi dan konservasi sumber

daya energi [9]. Efisiensi merupakan salah satu langkah dalam pelaksanaan konservasi energi. Penyebab kita harus efisien dalam penggunaan energi adalah cadangan energi fosil yang terbatas, mengurangi kerusakan lingkungan hidup, mengurangi subsidi pemerintah untuk energi fosil dan memberikan keuntungan bagi pengguna energi.

Industri merupakan konsumen energi terbesar di Indonesia. Dimana dalam aktivitasnya dibutuhkan energi yang sangat besar. Kebanyakan industri memiliki sistem pembangkit tersendiri untuk menanggulangi kebutuhan akan energi tersebut. Dalam upaya meningkatkan efisiensi, industri menerapkan sistem pembangkit kogenerasi [11]. Energi termal dalam sistem ini dapat digunakan untuk penerapan langsung dalam proses dan tidak langsung untuk memproduksi steam, air panas, udara panas untuk pengeringan atau air dingin / *chilled water* untuk proses pendinginan[6].

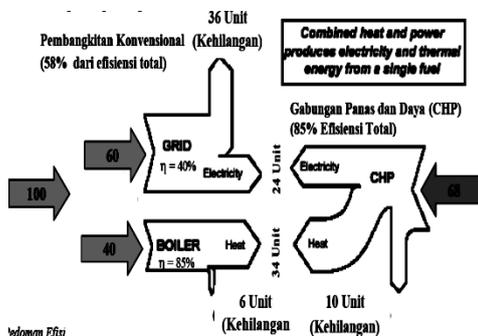
Berdasarkan penjelasan sebelumnya penulis ingin menganalisa secara

termodinamika dan ekonomi dari sistem kogenerasi. Dimana akan dianalisis seberapa besar efisiensi dari pemakaian sistem pembangkit kogenerasi.

2. KOGENERASI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari steam untuk memutar turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui generator [10]. Steam yang dibangkitkan ini berasal dari perubahan fase air yang berada pada boiler akibat mendapatkan energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Secara garis besar sistem pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beberapa peralatan utama diantaranya: boiler, turbin, generator, dan kondensor [5]. Kogenerasi adalah suatu proses pembangkitan berbeda secara serempak dari energi bahan bakar untuk menghasilkan tingkat efisiensi maksimum, ekonomis dan ramah lingkungan [8,11].



Gambar 1. Keuntungan Efisiensi Energi Pada Sistem Kogenerasi [7]

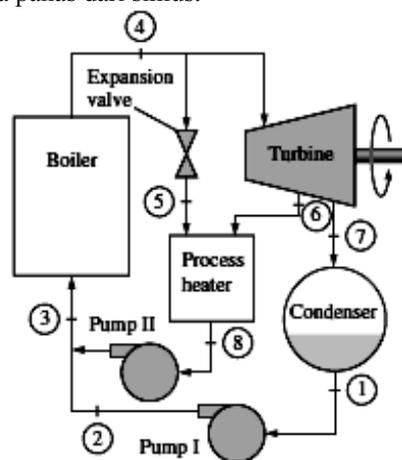
Gambar 1 menunjukkan efisiensi energi dari pembangkit CHP dibandingkan dengan stasiun pusat pembangkit listrik konvensional dan pembangkit boiler. Semua energi panas yang dialirkan uap dalam ketel uap digunakan untuk proses panas atau energi listrik. Jadi, faktor utilitas untuk pembangkit kogenerasi ini adalah sebagai berikut [2] :

$$\eta_{\text{net}} = \frac{\text{Net work output} - \text{Process heat delivered}}{\text{Total heat input}}$$

$$= \frac{W_{\text{net}} - Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$$

Dimana, Q_{out} = panas keluar (kW)
 Q_{in} = panas masuk (kW) [2]

Secara skematis sistem kogenerasi dapat ditunjukkan pada gambar 2.2. Uap diekstraksikan dari turbin untuk mengantisipasi tekanan menengah P_6 . Sisa dari uap diekspansikan pada tekanan kondenser P_7 dan kemudian didinginkan pada tekanan tetap. Panas dibuang dari kondenser yang merupakan sisa panas dari siklus. [2]



Gambar 2. Skema Pembangkit Kogenerasi [2]

Kadang-kadang dari permintaan tinggi untuk proses panas, semua uap disalurkan untuk unit proses pemanasan dan tidak ada ke kondenser ($\dot{m}_7 = 0$). Sisa panas adalah nol pada mode ini. Jika ini tidak cukup, beberapa uap meninggalkan ketel uap dilakukan ekspansi atau tekanan pada katup dikurangi (PRV) pada ekstraksi tekanan P_6 dan dibawa pada unit proses pemanasan. Proses pemanasan maksimum ditunjukkan bila semua uap meninggalkan ketel uap melalui PRV ($\dot{m}_7 = \dot{m}_6$). Tidak ada power yang dihasilkan pada mode ini. Walaupun tidak ada permintaan untuk proses panas, semua uap melewati turbin dan kondenser ($\dot{m}_7 = \dot{m}_6 = 0$) dan pembangkit kogenerasi beroperasi seperti biasa. [2]

Besar masukan panas, panas dibuang, dan proses pemanasan menghasilkan kekuatan yang diproduksi untuk pembangkit kogenerasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{in} &= \dot{m}_2 (h_4 - h_3) \\
 \dot{Q}_{out} &= \dot{m}_7 (h_7 - h_1) \\
 \dot{Q}_p &= \dot{m}_2 h_5 + \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_2 h_8 \\
 W_{turb} &= (\dot{m}_4 - \dot{m}_2) (h_4 - h_6) + \dot{m}_1 (h_6 - h_7)
 \end{aligned}$$

Dimana, \dot{m}_n = Laju aliran massa (kg/s)
 h_n = Entalpi pada titik n (kJ/kg)
 W_{turb} = Kerja Turbin (kW) [2]

Kondisi bawah optimum, pembangkit kogenerasi yang disimulasikan pembangkit kogenerasi ideal dibahas terlebih dahulu. Semua uap diekspansikan pada turbin kepada tekanan ekstraksi dan dilanjutkan ke unit proses pemanas. Tidak ada uap melalui PRV atau condenser, jadi tidak ada sisa panas yang dibuang ($\dot{m}_4 = \dot{m}_2$) dan $\dot{m}_5 = \dot{m}_7 = 0$). Kondisi ini mungkin sulit untuk dicapai dalam praktek karena variasi konstan dalam process pemanas dan power yang dimuat. Tetapi pembangkit harus dirancang sehingga optimum mengoperasikan kondisi yang mendekati kebanyakan dari waktunya. [2]

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Pengambilan Data

Adapun lokasi pengambilan data untuk penelitian ini adalah di sebuah pabrik Oleochemicals.

3.2. Data Penelitian

Adapun data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Konsumsi bahan bakar
2. Energi Termal
3. Energi Listrik
4. Energi Termal Terbuang yang dimanfaatkan
5. Perbandingan Daya dan Panas

Adapun tabel data pengamatan kondisi uap sistem pembangkit kogenerasi dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Data Pengamatan Sistem Pembangkit Uap Kogenerasi

Tgl	Tekanan (bar)	Temperatur masuk (°C)	Tekanan Uap Sisa (bar)	Daya (MW)	Ket .
				(2.2)	
				(2.3)	
				(2.4)	
				(2.5)	

3.3. Proses Penelitian

3.3.1. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui metode observasi. Secara langsung ke lapangan untuk mengamati setiap proses yang terjadi pada system pembangkit uap.

3.3.2. Evaluasi Data

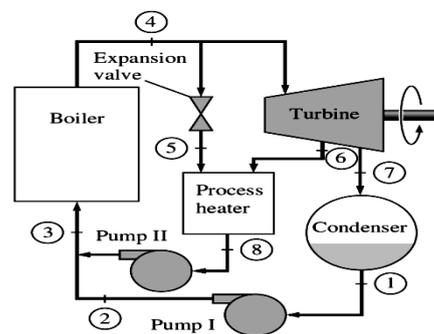
Data yang terkumpul dievaluasi apakah sudah memenuhi sebagai bahan penelitian. Data dikelompokkan yang terdiri dari data untuk perhitungan analisis system termal dana data input RETScreen.

3.3.3. Studi Kasus

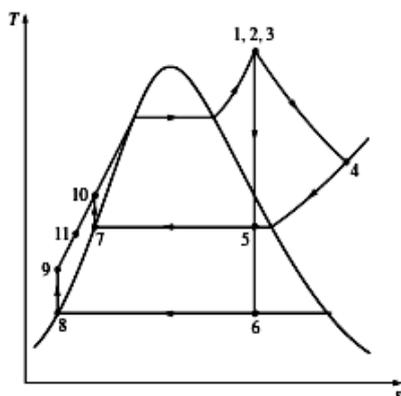
Mempelajari permasalahan yang ingin diketahui di dalam perhitungan.

3.3.4. Skema

Membuat skema sistem pembangkit sebelum merancang diagram T-s.



Gambar 3. Skema Sistem Pembangkit[2]



Gambar 4. Rancangan Diagram T-s [2]

3.3.5. Asumsi dan Perkiraan

Memberikan asumsi yang sesuai dan memperkirakan hasil analisa untuk menyederhanakan masalah. Perkiraanannya seperti nilai-nilai yang wajar untuk segala kerugian yang terjadi pada sistem.

3.3.6. Menentukan Prinsip yang Berlaku

Dengan menentukan jenis prinsip yang sesuai dengan kasus akan mempermudah di dalam menentukan rumus-rumus yang dipakai dalam perhitungan.

3.3.7. Perhitungan

Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan system pembangkit uap kogenerasi adalah sebagai berikut :

$$W_{net} = W_{turb\ out} - W_{pump\ in}$$

$$Q_p = \dot{m}_p (h_4 - h_7)$$

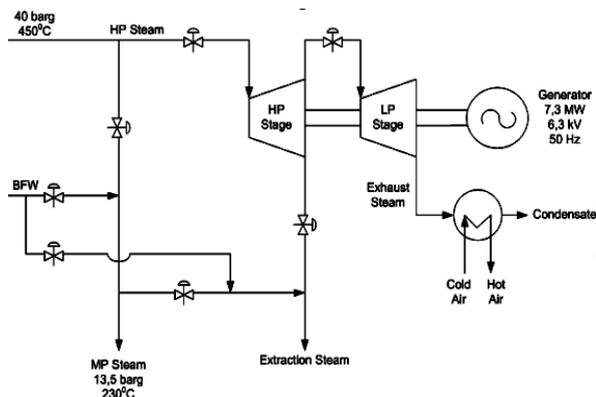
$$Q_{in} = \dot{m}(h_1 - h_{13})$$

$$\epsilon_u = \frac{W_{net} + Q_p\ total}{Q_{in}}$$

- Dimana, W_{net} = Kerja bersih, kW
- $W_{turb\ out}$ = Kerja turbin keluar, kW
- $W_{pump\ in}$ = Kerja turbin masuk, kW
- Q_p = Kalor terbuang yang dimanfaatkan, kW
- \dot{m}_p = laju aliran uap, kg/s
- Q_{in} = Kalor masuk, kW
- ϵ_u = Faktor utilitas, Kw[2]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Uap Pada Sistem Pembangkit Kogenerasi



Gambar 5. Blok Diagram Skema Sistem Pembangkit Kogenerasi

Pada gambar 5 menunjukkan arah aliran uap sistem pembangkit Kogenerasi di Pabrik Oleochemicals. Dimana uap dari boiler dengan tekanan 40 bar dan suhu 450 °C (*High Pressure Steam*) mengalir menuju turbin dan sebagian menuju *valve*. Uap yang berasal dari *valve* akan diubah tekanan dan suhunya sesuai dengan kebutuhan untuk pemanasan produk (*Medium Pressure Steam*) dengan tekanan 13.5 bar dan temperature 230 °C. Sedangkan uap yang diteruskan menuju turbin akan melewati *High Pressure Stage* (HP Stage) dan apabila pabrik terdapat permintaan produk dalam jumlah yang besar maka akan terjadi proses ekstraksi dari HP stage. Uap dari HP Stage kemudian dialirkan menuju *Low Pressure Stage*. Sisa uap kemudian akan diproses pada condenser untuk siklus selanjutnya.

Berikut data pengamatan kondisi uap turbin Kogenerasi pada tabel 2:

Tabel 2. Data Pengamatan Turbin Kogenerasi

No.	HP (Bar)	Temp. Masuk Stage 1 (°C)	Exh Steam Press (Bar)	Daya (MW)
1.	37.5	445	0.75	6.80
2.	37.5	450	0.75	6.85
3.	38	448	0.70	6.75
4.	40	440	0.70	6.90
5.	40	450	0.80	6.70

6.	38	448	0.65	6.80
7.	38	445	0.55	6.80
Rata-Rata	38.42	446.5	0.7	6.8

Data ini diperoleh dari hasil pencatatan pada alat ukur yang terdapat pada turbin saat beroperasi. Pada tabel terdapat 7 kali pengamatan yang dimana data yang dibutuhkan untuk perhitungan efisiensi sistem turbin adalah tekanan uap (HP steam), suhu uap masuk, tekanan uap sisa dan daya yang dihasilkan turbin.

Tekanan yang diperoleh pada data pengamatan merupakan tekanan hasil pencatatan dari alat ukur, maka tekanan absolutnya terdapat pada tabel 3 yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Tekanan Absolut pada Turbin Kogenerasi

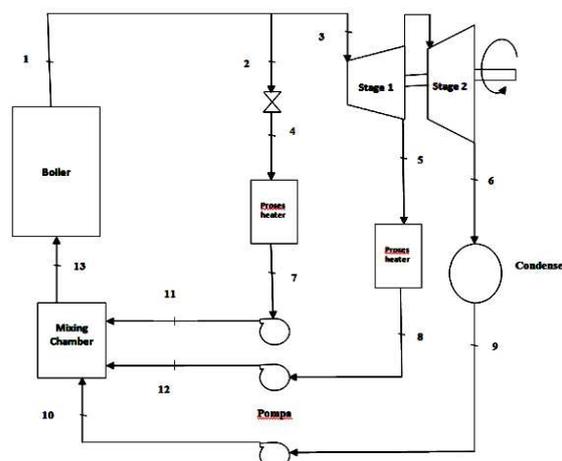
		Pressure Gauge (MPa)	Tekanan Absolut (Mpa)
Data Pengamatan	HP Steam	3,842	3,9
	Exhaust Steam	0,07	0,17
Data Spesifikasi	HP Steam	4	4,1
	Exhaust Steam	0,045	0,14
Data Pemanasan Produk	Medium Pressure Steam	1,35	1,45
	Low Pressure Steam	0,36	0,46

Adapun data spesifikasi Turbin Kogenerasi pada pabrik oleochemicals tersebut adalah sebagai berikut:

- Model : KER 45/70
- Aggregate : 452351
- Live Steam Temp : 450 °C
- Extract Prees Pabs : 5 bar
- Exh. Steam Press Pabs : 0.45 bar
- Pressure : 40 bar
- Medium Pressure Steam : 13.5 bar
- Low Pressure Steam : 3.6 bar
- The Mass Flow Through The Boiler : 41 Ton/jam

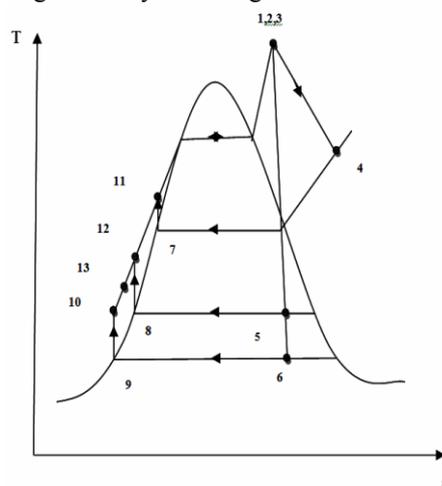
The Mass Flow In To
The MP. Steam : 3 Ton/jam
The Mass Flow In To
The LP. Steam : 13Ton/jam

Dari skema sistem pembangkit Kogenerasi dapat dibuat skema yang lebih sederhana pada gambar 6 yaitu sebagai berikut :



Gambar 6. Skema Penyederhanaan Blok Diagram Sistem Pembangkit Kogenerasi

Pada skema penyederhanaan sistem pembangkit Kogenerasi dapat dilihat posisi masing-masing state yang mempermudah kita untuk membuat diagram T-s. Adapun diagram T-s sistem pembangkit Kogenerasi terdapat pada gambar 7 yaitu sebagai berikut:



Gambar 7. Diagram T-s Sistem Pembangkit Kogenerasi

Diagram T-s untuk sistem pembangkit Kogenerasi mengikuti siklus rankine dimana terdapat 13 tahapan proses. Pada tahapan proses ini terdapat uap pada state 4 dan state 5 yang dialirkan untuk pemanasan produk. Adapun kondisi uap dari masing-masing tahapan proses dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kondisi Uap dan Entalpi Sistem Pembangkit

No	Berdasarkan data pengamatan		Berdasarkan data spesifikasi		Kondisi Uap	H (kJ/kg)	Kondisi Uap	H (kJ/kg)	Kondisi Uap	H (kJ/kg)
	Kondisi Uap	H (kJ/kg)	Kondisi Uap	H (kJ/kg)						
1	Tekanan 3.9 Mpa dan suhu 446,7 °C.	3324,52	Tekanan 4.1 Mpa dan suhu 450 °C	3329,8	Uap diekstraksikan untuk pemanasan produk dengan tekanan 0.46 Mpa. Dimana entropi pada state 1 sama dengan entropi pada state 5 ($s_5 = s_1 = 6,9413$ kJ/kg.K)	2784,3	Uap diekstraksikan untuk pemanasan produk dengan tekanan 0.46 Mpa. Dimana entropi pada state 1 sama dengan entropi pada state 5 ($s_5 = s_1 = 6,9262$ kJ/kg.K)	2777,6		
2	Menuju valve untuk pemanasan produk, tekanan dan suhu yang tetap ($h_1 = h_2$).	3324,52	Menuju valve untuk pemanasan produk tekanan dan suhu yang tetap ($h_1 = h_2$).	3329,8	Sisa uap dari turbin dalam keadaan <i>saturated mixture</i> dengan tekanan 0,17 Mpa.	2587,9	Sisa uap dari turbin dalam keadaan <i>saturated mixture</i> dengan tekanan 0,14 Mpa.	2555,9		
3	Menuju turbin dengan tekanan dan suhu yang tetap ($h_1 = h_3$)	3324,52	Menuju turbin dengan tekanan dan suhu yang tetap ($h_1 = h_3$)	3329,8	Fluida dari pemanasan produk I dengan tekanan 1,45 Mpa	837,2	Fluida dari pemanasan produk dengan tekanan 1,45 Mpa Dimana $P_7 = 1,45$ MPa	837,2		
4	Melalui valve untuk pemanasan produk dengan kondisi uap berubah yang sesuai untuk pemanasan produk yaitu tekanan 1.35 Mpa dan suhu 230 °C	2705,7	Melalui valve untuk pemanasan produk dengan kondisi uap berubah yang sesuai untuk pemanasan produk yaitu tekanan 1.35 Mpa dan suhu 230 °C	2705,7	da dari pemanasan produk II dengan tekanan 0,46 Mpa	626,5	Fluida dari pemanasan produk II dengan tekanan 0,46 Mpa	626,5		
			Fluida dari <i>condenser</i> dengan tekanan 0,17 Mpa	483,0	Fluida dari <i>condenser</i> dengan tekanan 0,14 Mpa	458,02				
			Fluida dengan tekanan 3.9 MPa dipompakan dengan $W_{pump\ in\ I} = 3,93$ kJ/kg	486,9	Fluida dengan tekanan 4,1 MPa dipompakan dengan $W_{pump\ in\ I} = 4,16$ kJ/kg	462, 1				
					Fluida dengan tekanan 3.9 MPa dipompakan dengan $W_{pump\ in\ II} = 2,81$ MPa	840,06	Fluida dengan tekanan 4,1 MPa dipompakan dengan $W_{pump\ in\ II} = 3,05$ MPa	840,3		

12	Fluida dengan tekanan 3,9 MPa dipompakan dengan $W_{pump III} = 3,74$ Mpa	630,2	Fluida dengan tekanan 4,1 MPa dipompakan dengan $W_{pump III} = 3,96$ Mpa	630,4
13	Fluida menuju boiler dengan tekanan 3,9 MPa	486,9	Fluida menuju boiler dengan tekanan 4.1 MPa	462,1

$$W_{net} = W_{turb out} - W_{pump in}$$

$$= 5082.54 \text{ kW} - 41.2 \text{ kW}$$

$$= 5041.34 \text{ kW}$$

Sedangkan kalor yang dihasilkan oleh boiler dengan laju aliran uap 41 Ton/jam adalah sebagai berikut:

$$Q_{in} = \dot{m}(h_1 - h_{13})$$

$$= 41 \text{ Ton/jam} (3324.52 \text{ kJ/kg} - 486.97 \text{ kJ/kg})$$

$$= 11.3 \text{ kg/s} (3324.52 \text{ kJ/kg} - 486.97 \text{ kJ/kg})$$

$$= 32064.31 \text{ kW}$$

4.2. Perhitungan Faktor Utilitas

4.2.1. Perhitungan Faktor Utilitas Pengamatan

Laju aliran uap yang keluar dari boiler adalah sebesar 41 Ton/jam. Sebelum memasuki HP stage turbin, sebagian uap dialirkan menuju valve untuk pemanasan produk sebanyak 3 Ton/jam. Jadi, laju aliran uap yang masuk ke turbin adalah sebesar 38 Ton/jam. Kalor yang masuk untuk memutar turbin adalah sebagai berikut:

$$W_{pump in} = \dot{m}(W_{pump in I})$$

$$= 38 \text{ Ton/jam} (3.93 \text{ kJ/kg})$$

$$= 10.5 \text{ kg/s} (3.93 \text{ kJ/kg})$$

$$= 41.2 \text{ kW}$$

Pada saat melalui HP stage turbin, sebagian uap diekstraksikan sebanyak 13 Ton/jam. Jadi, laju aliran uap yang keluar adalah sebesar 25 Ton/jam. Kalor yang keluar turbin adalah sebagai berikut:

$$W_{turb out} = \dot{m}(h_3 - h_6)$$

$$= 25 \text{ Ton/jam} (3324.52 \text{ kJ/kg} - 2587.92)$$

$$= 6.9 \text{ kg/s} (3324.52 \text{ kJ/kg} - 2587.92 \text{ kJ/kg})$$

$$= 5082.54 \text{ kW}$$

Jadi dapat dihitung nilai kerja total pada turbin yaitu sebagai berikut:

Laju aliran uap yang diekstraksikan untuk proses pemanasan produk I adalah 3Ton/jam dan untuk proses pemanasan produk II adalah 13Ton/jam. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung kalor pemanasan produk yaitu sebagai berikut:

$$Q_{pI} = \dot{m}(h_4 - h_7)$$

$$= 3 \text{ Ton/jam} (2705.7 \text{ kJ/kg} - 837.25 \text{ kJ/kg})$$

$$= 0.83 \text{ kg/s} (2705.7 \text{ kJ/kg} - 837.25 \text{ kJ/kg})$$

$$= 1550.81 \text{ kW}$$

$$Q_{pII} = \dot{m}_{pII}(h_5 - h_8)$$

$$= 13 \text{ Ton/jam} (2784.32 \text{ kJ/kg} - 626.53)$$

$$= 3.6 \text{ kg/s} (2784.32 \text{ kJ/kg} - 626.53 \text{ kJ/kg})$$

$$= 7768.04 \text{ kW}$$

$$Q_{p total} = Q_{pI} + Q_{pII}$$

$$= 1550.81 \text{ kW} + 7768.04 \text{ kW}$$

$$= 9318.85 \text{ kW}$$

Jadi, nilai faktor utilitas dari sistem pembangkit *Kogenerasi* berdasarkan data pengamatan harian adalah sebesar :

Dengan pemanasan produk :

$$e_u = \frac{W_{net} - Q_{p total}}{Q_{in}}$$

$$= \frac{5041.34 \text{ kW} - 9318.85 \text{ kW}}{32064.31 \text{ kW}}$$

$$= 44.7 \%$$

4.2.2. Perhitungan Faktor Utilitas Spesifikasi

Laju aliran uap yang keluar dari boiler adalah sebesar 41 Ton/jam. Sebelum memasuki HP stage turbin, sebagian uap dialirkan menuju valve untuk pemanasan produk sebanyak 3 Ton/jam. Jadi, laju aliran uap yang masuk ke turbin adalah sebesar 38 Ton/jam. Kalor yang masuk untuk memutar turbin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{pump in}} &= \dot{m} (W_{\text{pump in I}}) \\ &= 38 \text{ Ton/jam} (4.16 \text{ kJ/kg}) \\ &= 10.5 \text{ kg/s} (4.16 \text{ kJ/kg}) \\ &= 43.68 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pada saat melalui HP stage turbin, sebagian uap diekstraksikan sebanyak 13 Ton/jam. Jadi laju aliran uap yang keluar adalah sebesar 25 Ton/jam. Kalor yang keluar turbin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{turb out}} &= \dot{m} (h_3 - h_6) \\ &= 25 \text{ Ton/jam} (3329.8 - 2555.94) \\ &= 11.3 \text{ kg/s} (3329.8 - 2555.94) \\ &= 6944.44 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi dapat dihitung nilai kerja total pada turbin yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{net}} &= \dot{W}_{\text{turb out}} - \dot{W}_{\text{pump in}} \\ &= 6900.76 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sedangkan kalor yang dihasilkan oleh boiler dengan laju aliran uap 41 Ton/jam adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{in}} &= \dot{m} (h_1 - h_{13}) \\ &= 41 \text{ Ton/jam} (3329.8 \text{ kJ/kg} - 462.18) \\ &= 11.3 \text{ kg/s} (3329.8 \text{ kJ/kg} - 462.18) \\ &= 32404.106 \text{ kW} \end{aligned}$$

Laju aliran uap yang diekstraksikan untuk proses pemanasan produk I adalah 3Ton/jam dan untuk proses pemanasan produk II adalah 13Ton/jam. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung kalor pemanasan produk yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{pI}} &= \dot{m}_{\text{pI}} (h_4 - h_7) \\ &= 3 \text{ Ton/jam} (2705.7 \text{ kJ/kg} - 837.25) \\ &= 0.83 \text{ kg/s} (2705.7 \text{ kJ/kg} - 837.25) \\ &= 1550.81 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{pII}} &= \dot{m} (h_5 - h_8) \\ &= 13 \text{ Ton/jam} (2777.6 \text{ kJ/kg} - 626.53) \\ &= 3.6 \text{ kg/s} (2777.6 \text{ kJ/kg} - 626.53) \\ &= 7743.85 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{p total}} &= Q_{\text{pI}} + Q_{\text{pII}} \\ &= 1550.81 \text{ kW} + 7743.85 \text{ kW} \\ &= 9294.66 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi nilai faktor utilitas dari sistem pembangkit *Kogenerasi* berdasarkan data pengamatan harian adalah sebesar :

Dengan pemanasan produk:

$$\begin{aligned} \epsilon_u &= \frac{W_{\text{net}} - Q_{\text{p total}}}{Q_{\text{in}}} \\ &= \frac{6900.76 \text{ kW} - 9294.66 \text{ kW}}{32404.106 \text{ kW}} \\ &= 49.9\% \end{aligned}$$

4.2.3. Analisa Efisiensi Kogenerasi

Sistem pembangkit pada Pabrik Oleochemicalsmemanfaatkan potensi uap untuk membangkitkan daya sebesar 7.3 MW. *Coal boiler* ataupun ketel uap dengan bahan bakar batubara mampu menghasilkan uap (*High Pressure Steam*) dengan tekanan 40 bar dan suhu 450 °C yang akan diumpankan untuk memutar sudu-sudu turbin Kogenerasi. Turbin Kogenerasi merupakan jenis turbin uap bertingkat (*multistage*) yang terdiri dari *High Pressure Stage* (HP Stage) dan *Low Pressure Stage* (LP Stage).

Sistem pembangkit pada Pabrik Oleochemicalsmerupakan sistem pembangkit kogenerasi dimana kalor panas terbuang dimanfaatkan untuk pemanasan produk. Uap yang berasal dari boiler dengan laju aliran 41 Ton/jam dialirkan untuk pemanasan produk dan pembangkit. Pada pemanasan produk dialirkan uap dengan laju aliran 3 Ton/jam. Uap yang menuju pemanasan produk (*Medium Pressure Steam*) memiliki suhu 230 °C dan tekanan 13.5 bar. Jadi, uap yang sampai ke HP

stage memiliki laju aliran sebesar 38 Ton/jam. Apabila pabrik mengejar penjualan produk dalam jumlah yang besar maka akan terjadi proses ekstraksi pada HP stage untuk pemanasan produk dalam jumlah yang besar. Pada proses ekstraksi uap dialirkan sebesar 13 Ton/jam.

Dengan adanya pemanfaatan kalor terbuang maka faktor utilitas sistem pembangkit meningkat menjadi 44.7 % (berdasarkan data pengamatan) atau 49.9% (berdasarkan data spesifikasi). Bila dibandingkan hasil perhitungan dari data pengamatan dengan data spesifikasi dapat diketahui bahwa total kerja turbin pada data spesifikasi (6900.76 kW) jauh lebih besar dari total kerja turbin pada data pengamatan (5041.34 kW). Hal ini kemungkinan disebabkan menurunnya kalor masuk pada data pengamatan (32064.31 kW).

Sedangkan untuk nilai total kalor pemanasan produk dapat diketahui bahwa total kalor pemanasan produk dari data pengamatan lebih besar (9318.85 kW) dari total kalor pemanasan produk dari data spesifikasi (9294.66 kW). Hal ini disebabkan oleh entropi uap state 5 pada data pengamatan (6.9413 kJ/kg.K) lebih besar dari entropi uap state 5 pada data spesifikasi (6.9262 kJ/kg.K) yang menyebabkan nilai entalpi state 5 pada data pengamatan (2784.32 kJ/kg) lebih besar dari entalpi state 5 pada data spesifikasi (2777.6 kJ/kg).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang didapat dari hasil pembahasan penelitian "Kajian Analisis Dan Ekonomis Sistem Pembangkit Uap Kogenerasi":

1. Faktor utilitas ataupun efisiensi dari system pembangkit Kogenerasi adalah 44.7% (berdasarkan data pengamatan) dan 49.9% (berdasarkan data spesifikasi)
2. Sistem pembangkit uap kogenerasi berdasarkan siklus rankine yang dimana terdapat pemanfaatan energi panas sehingga meningkatkan nilai efisiensi dari sistem pembangkit menjadi 44.7 % dengan pemanasan.

3. Kalor terbuang yang dimanfaatkan untuk proses pemanasan produk adalah sebesar 9318.85 kW (berdasarkan data pengamatan dan 9294.66 kW (berdasarkan data spesifikasi)
4. Proses ekstraksi merupakan pemanfaatan panas buang untuk pemanasan produk yang dapat meningkatkan efisiensi energi.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka terdapat beberapa saran atau masukan dari penelitian ini yang dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kinerja dari system pembangkit Kogenerasi pada Pabrik Oleochemicals antara lain :

1. Pemanfaatan energi panas yang terbuang dapat digunakan tidak hanya untuk pemanasan produk dapat juga digunakan untuk proses pendinginan dan pengeringan. Contohnya yaitu pengeringan produk ataupun bahan produksi CPKO.
2. Pabrik Oleochemicals merupakan industri oleokimia yang memanfaatkan bahan mentah CPKO. Perusahaan dapat menerapkan penggunaan sebagian bahan bakar perusahaan dengan menggunakan bahan bakar alternatif dari cangkang kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bejan A, 1996. *Thermal Design and Optimization*, John Wiley & Sons inc. New York.
- [2] Cengel, Yunus A. 2006. *Thermodynamics: Engineering Approach 5th edition*. McGraw Hill Book Company : New York.
- [3] Djunaedi, Akhmad. 2000. *Laporan Studi Kelayakan Proyek*. UGM.
- [4] Husnan, S. 1994. *Studi Kelayakan Proyek Edisi Ketiga*. AMP YKPN : Yogyakarta. *Engineering Textbook Third Edition*. Canada.
- [5] Yunus, Asyari. 2007. *Mesin Konversi Energi*. Universitas Darma Persada. Jakarta.
- [6] UNEP. 2004. *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia*.

- [7] *UNESCAP.2000.Efisiensi Energi Advantage Pada Sistem Kogenerasi.*
- [8] Anonim^c.2012. *Kogenerasi.*
<http://www.energyefficiencyasia.org>
Diakses 20 April 2012.
- [9] Anonim^c.2012. *Konservasi Energi.*
<http://konservasienergiindonesia.info>
Diakses 20 April 2012.
- [10] Anonim^c.2012. *Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).*
<http://www.scribd.com/doc/50710922>
Diakses 20 April 2012.
- [11] Anonim^c 2012. *Penerapan Sistem Kogenerasi Pada Pembangkit Listrik Untuk Efisiensi dan penghematan listrik.*
<http://www.scribd.com/doc/46951414>
Diakses 30 Mei 2012.