

Evaluasi Kinerja *Steam Jet Ejector* Tingkat Pertama Terhadap Kevakuman Kondensor

Alvera Apridialianti Melkias^{1,*}, Shahrul Nuno Gomez¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong Kabupaten Bandung Barat Jawa Barat 40559

E-mail: alveramelkias@polban.ac.id*

Abstract

The steam jet ejector is a device for extracting NCG from the condenser. NCG can increase the pressure in the condenser until a vacuum condition is not reached. The diffuser pressure on the steam jet ejector has a normal operational limit of below 1 atm, meaning that the ejector performance will be optimal if it is operated at the operational limit under vacuum conditions. The expected objectives are to determine the effect of the steam jet ejector on condenser vacuum, calculate the performance of the first level steam jet ejector through pressure analysis in the diffuser section, calculate the performance of the steam jet ejector in actual conditions compared to the design data conditions and analyze actions that can be taken to improve the performance of the tool. Based on the results of calculations and analysis, it was found that the increase in steam jet ejector pressure had an effect on the increase in condenser pressure from the design pressure of 0.10 bar to 0.107-0.123 bar under actual conditions. The decrease in steam jet ejector performance results in the condenser vacuum level decreasing, but the equipment performance is within normal operational limit conditions, namely below 1 atm. The decrease in steam jet ejector performance is influenced by the motive steam mass flow rate, NCG mass flow towards suction, entrainment ratio value, NCG pressure and motive steam pressure which exceeds the design data.

Keywords : *Steam jet ejector, vacuum, condenser, performance*

Abstrak

Steam jet ejector merupakan perangkat untuk mengekstraksikan NCG dari kondensor, NCG dapat meningkatkan tekanan di dalam kondensor hingga kondisi vakum tidak tercapai. Tekanan diffuser pada steam jet ejector memiliki batas normal operasional di bawah 1 atm, artinya kinerja ejector akan optimal apabila dioperasikan pada batas operasional saat kondisi vakum. Tujuan yang diharapkan yaitu mengetahui pengaruh steam jet ejector terhadap kevakuman kondensor, menghitung kinerja steam jet ejector tingkat pertama melalui analisis tekanan pada bagian diffuser, menghitung kinerja steam jet ejector pada kondisi aktual dibandingkan dengan kondisi data desain serta menganalisis tindakan yang dapat dilakukan guna meningkatkan kinerja alat. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis diperoleh bahwa kenaikan tekanan steam jet ejector berpengaruh terhadap kenaikan tekanan kondensor dari tekanan desain sebesar 0,10 bar menjadi 0,107-0,123 bar saat kondisi aktual. Penurunan kinerja steam jet ejector mengakibatkan tingkat kevakuman kondensor menurun, namun kinerja alat berada di dalam kondisi batas operasional normal yaitu di bawah 1 atm. Penurunan kinerja steam jet ejector dipengaruhi oleh laju alir massa motive steam, alir massa NCG menuju suction, nilai entrainment ratio, tekanan NCG serta tekanan motive steam yang melebihi data desain.

Kata Kunci: *Steam jet ejector, kevakuman, kondensor, kinerja*

1. Pendahuluan

Dominasi penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, terutama batu bara dan minyak bumi, merupakan hal yang masih umum di Indonesia. Ketersediaan sumber energi tak terbarukan ini semakin menipis, antisipasi dilakukan dengan menggunakan energi baru terbarukan (EBT) yang merupakan alternatif terbaik. Pemerintah Indonesia menjadikan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) ini menjadi perhatian utama dengan upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil. Bentuk lain perhatian pemerintah berupa upaya

untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan[1].

Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. Uap yang dimanfaatkan pada PLTP berasal dari uap murni yang berasal dari perut bumi, secara komposisi uap tersebut masih mengandung banyak partikel, air serta kandungan gas. Uap tersebut masih harus dipisahkan sebelum dapat memutar turbin. Komponen *scrubber* berfungsi

menyaring partikel sebelum memasuki turbin, di dalam turbin dihasilkan uap sisa yang dikeluarkan dari turbin menuju kondensor untuk dikondensasikan. Namun, di dalam proses kondensasi ini masih ada gas yang tidak dapat terkondensasi yang disebut NCG (*Non Condensable Gas*). NCG berpengaruh terhadap naiknya tekanan dan kevakuman kondensor juga sistem secara menyeluruh. Pada sistem ini kondensor harus dalam keadaan vakum dengan tekanan yang serendah-rendahnya, namun, *non condensable gas* (NCG) yang tidak terkondensasi akan meningkatkan tekanan dalam kondensor sehingga keadaan vakum tidak tercapai.

Steam jet ejector merupakan perangkat untuk mengekstrasikan NCG dari kondensor, NCG dapat meningkatkan tekanan di dalam kondensor hingga kondisi vakum tidak tercapai. Tekanan *diffuser* pada *steam jet ejector* memiliki batas normal operasional di bawah 1 atm, artinya kinerja *ejector* akan optimal apabila dioperasikan pada batas operasional saat kondisi vakum. Kondisi vakum yaitu kondisi dibawah 1 atm.

Adapun tujuan yang diharapkan yaitu mengetahui pengaruh *steam jet ejector* terhadap kevakuman kondensor, menghitung kinerja *steam jet ejector* tingkat pertama melalui analisis tekanan pada bagian *diffuser*, menghitung kinerja *steam jet ejector* pada kondisi aktual dibandingkan dengan kondisi data desain serta menganalisis langkah atau tindakan yang dapat dilakukan guna meningkatkan kinerja *steam jet ejector*. Batasan masalah pada penelitian ini adalah *steam jet ejector* yang dianalisis pada tingkat pertama di Unit 5, analisis hanya ditekankan pada perhitungan tekanan keluaran *diffuser*, data Parameter laju alir massa NCG sebesar 0,24% dari massa uap utama (setelah *scrubber*) didapat berdasarkan sampling di laboratorium di perusahaan tersebut, NCG yang dianalisis hanya satu jenis.

2. Metodologi

Uap yang berasal dari perut bumi tidaklah seluruhnya murni, namun mengandung zat-zat padat atau gas yang terlarut menjadi *non condensable gas* (NCG). Kandungan NCG objek penelitian sebesar 0,24% dari uap total sumur uap (kondisi setelah *scrubber*) seperti dijabarkan di Tabel 1 berikut.

Tabel 1.
Kandungan NCG di PLTP Unit 5

PARAMETER	NILAI	SATUAN
Persen Berat NCG	0,24	% berat
Persen Mol NCG	0,10	%mol
Total NCG	1048,81	mol/10 ⁶ mol
Total NCG	2442,83	ppmw
Mol Rasio	13,41	-

Berikut tabel presentase kandungan zat yang terdapat pada NCG ditampilkan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2.
Persentase kandungan zat NCG di PLTP Unit 5

PARAMETER ANALISIS	Hasil		
	% Mol Gas	Mol/10 ⁶ Mol Kondensat	ppmw
Karbon Dioksida (CO ₂)	88,92	932,56	2273,29
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	6,63	69,57	131,30
Ammonia (NH ₃)	0,125	1,31	1,24
Hidrogen (H ₂)	2,04	21,39	2,39
Argon (Ar)	0,015	0,16	0,36
Nitrogen (N ₂)	1,88	19,75	30,65
Metana (CH ₄)	0,39	4,06	3,61

Gas Extraction system yang digunakan terdiri dari beberapa komponen, yakni:

- *Steam jet ejector* (tingkat pertama)
- *Liquid Ring Vacuum Pump* (LRVP)
- *Steam jet ejector* (tingkat kedua)
- *Intercondensor*
- *Aftercondensor*

Lima komponen tersebut bekerja sama dalam satu sistem ekstraksi gas. Terdiri dari dua bagian, bagian pertama yakni *steam jet ejector* tingkat pertama dan *intercondensor* yang mengekstraksikan NCG dari *main condenser*. Kemudian bagian kedua yakni LRVP dan *aftercondensor* untuk mengekstraksikan NCG dari *intercondensor* bila masih terdapat NCG disana, adapun *steam jet ejector* tingkat kedua digunakan sebagai *back up* apabila *steam jet ejector* tingkat pertama mengalami kerusakan. Tujuannya dibuat dua tingkat adalah untuk meminimalisir terbuangnya kandungan air ke udara, agar gas yang terbuang benar-benar hanya kandungan NCG murni yang tidak mengandung air.

Pada sistem PLTP ini digunakan *ejector* dan LRVP untuk mengekstraksi gas NCG yang masih terkandung di dalam uap hal ini bertujuan agar efisiensi turbin menjadi lebih maksimal dengan minimnya gas NCG yang terdapat dalam sistem *main condenser*, walaupun di satu sisi penggunaan LRVP membutuhkan daya listrik sebesar 2×90 kW untuk menggerakkannya yang artinya penggunaan listrik di sistem PLTP bertambah namun dengan mempertimbangkan efisiensi turbin dan umur pakai komponen pada sistem PLTP, penggunaan pompa LRVP dilakukan. Skema *Gas Extraction System* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Foto Gas Extraction Kontrol Room di PLTP Unit 5

2.1 Steam Jet Ejector

Steam jet ejector merupakan salah satu perangkat untuk mengekstraksikan NCG dari kondensor, karena NCG dapat meningkatkan tekanan di dalam kondensor hingga kondisi vakum tidak tercapai. Tekanan *diffuser* pada *steam jet ejector* memiliki batas normal operasional di bawah 1 atm, artinya kinerja *ejector* akan optimal apabila dioperasikan pada batas operasional saat kondisi vakum. Kondisi vakum yaitu kondisi dibawah 1 atm. Hal ini agar tekanan dan entalpi di dalam kondensor bernilai rendah sehingga dihasilkan daya keluaran turbin yang efisien. *Steam jet ejector* memanfaatkan aliran fluida dari uap primer (*primary fluid/motive*) yang bertekanan dan bertemperatur tinggi yang masuk melalui *nozzle* kemudian keluar dengan kecepatan *supersonic* sehingga dapat menarik aliran *secondary fluid/gas* NCG yang bertemperatur rendah serta bertekanan rendah yang masuk melalui *suction chamber*. Karena perbedaan tekanan ini, maka gas NCG tersebut dapat terhisap dan diekstraksikan dari kondensor.

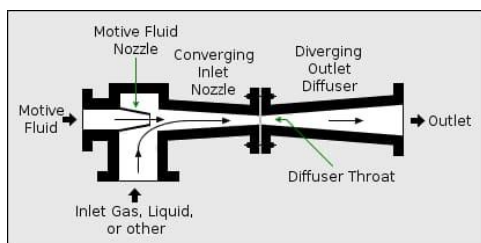
Steam jet ejector secara umum dikategorikan kedalam empat tipe dasar yaitu:

- *Ejector* satu tingkat
- *Ejector* bertingkat tanpa kondensasi
- *Ejector* bertingkat dengan kondensasi
- *Ejector* bertingkat dengan keduanya, kondensasi dan tidak kondensasi

Jenis *steam jet ejector* yang digunakan di PLTP Kamojang ini adalah *steam jet ejector* dua tingkat dengan kondensasi, proses kondensasi dibantu oleh perangkat *intercondensor* dan *aftercondensor* sebelum kemudian dibuang ke atmosfer melalui *cooling tower*. Diantara kelebihan *steam jet ejector* adalah sederhana dan tidak rumit, ekonomis, serta efektif untuk mengevakuasi gas dengan volume cukup besar, serta lebih tahan lama karena tidak ada bagian yang bergerak.

2.2 Bagian-bagian Steam Jet Ejector

Steam jet ejector terdiri dari tiga bagian utama yakni *nozzle*, *mixing chamber*, dan *diffuser*.



Gambar 2. Bagian-bagian Steam Jet Ejector[2]

2.2 Prinsip Kerja Steam Jet Ejector

Pada *steam jet ejector* terdapat dua aliran fluida. Pertama, yakni *motive steam* atau uap primer yang dipasok dari aliran uap utama yang berasal dari *demister* atau *scrubber* dan memiliki tekanan serta

temperatur yang tinggi. Kedua, fluida sekunder atau gas NCG yang harus dievakuasi dari kondensor. Pada *steam jet ejector* tidak ada komponen yang bergerak, namun menggunakan prinsip perubahan kecepatan dan tekanan dari aliran fluida yang melewati penampang dengan luasan yang berbeda-beda.

Motive steam (uap primer) dengan tekanan yang tinggi dipasok dari saluran uap utama melalui *nozzle*, disini uap dengan tekanan tinggi akan berubah menjadi berkecepatan tinggi karena adanya perbedaan diameter atau luasan pada *nozzle* (1) kemudian gas yang terhisap dari kondensor masuk melalui bagian *suction*, gas ini terhisap karena adanya perbedaan tekanan (2) kemudian keduanya tercampur di *mixing chamber* (3) dan melewati *diffuser*, dalam *diffuser* kecepatan tinggi diubah lagi menjadi tekanan tinggi karena ada penyempitan saluran (4) lalu kemudian keluar melalui *discharge* (5).

2.3 Kinerja Steam Jet Ejector

Perhitungan kinerja *steam jet ejector* difokuskan pada perhitungan tekanan *diffuser*-nya berdasarkan buku G. Hicks, Tyler [3]. Berikut rumus perhitungan yang digunakan, yaitu :

1. Persamaan Bernoulli

$$\frac{P_1}{z} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{z} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (1)$$

Keterangan :

P_1 dan P_2 = tekanan fluida pada titik 1 dan 2 (bar)

v_1 dan v_2 = kecepatan fluida pada titik 1 dan 2 (m/s)

h_1 dan h_2 = perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2 (m)

z = berat jenis fluida ($\text{kg/m}^2\text{s}^2$)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2. Persamaan Kontinuitas

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2)$$

Keterangan :

A_1 dan A_2 = luas penampang 1 dan 2 (m^2)

V_1 dan V_2 = kecepatan fluida 1 dan 2 (m/s)

Persamaan ini menyatakan bahwa pada fluida yang tidak kompresibel hasil perkalian antara laju aliran fluida dengan luas penampangnya selalu tetap. Harga $A \cdot v$ disebut juga debit, sehingga:

$$Q = A \cdot V \quad (3)$$

Keterangan :

Q = debit (m^3/s)

A = luas penampang pipa (m^2)

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

3. Mach Number

Mach Number merupakan suatu perbandingan antara kecepatan relatif suatu objek terhadap kecepatan suara. *Mach* bukan sebuah singkatan, namun nama penemunya yakni Ernst Mach (1838-1916). Dalam prinsip kerja *steam jet ejector* benda yang dimaksud adalah aliran uap primer atau *motive steam* yang memiliki kecepatan

tinggi disepanjang lintasan. Untuk itu, dibutuhkan perhitungan *mach number* untuk menentukan suatu aliran kompresibel atau tidak, yang didefinisikan:

$$M = \frac{v}{s} \quad (4)$$

Keterangan :

M = Nilai *Mach Number*

v = Kecepatan aliran (m/s)

s = Kecepatan suara (m/s)

Rentang nilai *Mach Number* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. $M < 0.3$: aliran dikatakan *incompressible*, dimana perubahan densitas diabaikan.

2. $0.3 < M < 0.8$: aliran *subsonic*, dimana perubahan densitas sangat penting tetapi tidak ada *shock*

3. $0.8 < M < 1.2$: aliran *transonic*, yaitu daerah antara *subsonic* dan *supersonic* dimana *shock* pertama kali muncul.

4. $1.2 < M < 3$: aliran *supersonic*, terdapat gelombang *shock*

5. $3.0 < M$: aliran *hypersonic*, dimana *shock* aliran berubah secara kuat

Kecepatan suara untuk gas ideal merupakan fungsi dari temperatur sebagai berikut:

$$s = \sqrt{kRT} \quad (5)$$

Keterangan :

S = Kecepatan suara (m/s)

K = Rasio spesifik panas ($k = \frac{c_p}{c_v}$)

R = Konstanta Gas (8,314 J/Kmol K)

T = Temperatur *Ejector* (Kelvin)

2.4. Pengaruh Perubahan Area terhadap Kecepatan dan Tekanan

Pada *steam jet ejector* terjadi perubahan tekanan (dP) serta kecepatan (dv) disebabkan oleh adanya perubahan area (dA) disepanjang lintasan *steam jet ejector*[4].

$$\frac{dA}{A} = \frac{dp}{pv^2} [1 - M^2] \quad (6)$$

Jika $M < 1$ dan terjadi perubahan area maka akan menyebabkan tekanan berubah. Sedangkan jika $M > 1$, maka perubahan area berlawanan dengan perubahan tekanan.

$$\frac{dA}{A} = \frac{-dv}{v} [1 - M^2] \quad (7)$$

2.5 Tekanan Pada Diffuser

Perhitungan nilai *Mach Number* pada *diffuser* menggunakan persamaan berikut :

- *Non condensable gas* (NCG) masuk ke *suction chamber* dititik 2. Perhitungan mach number dapat dihitung pada bidang keluaran *nozzle* dengan persamaan berikut:

$$M_{e2} = \sqrt{\frac{2}{(\gamma-1)} \left[\left(\frac{P_e}{P_2} \right)^{\gamma-(1/\gamma)} - 1 \right]} \quad (8)$$

Keterangan :

M_{e2} = *Mach number* NCG dititik 2

γ = Koefisien isentropik ekspansi (1,3)

P_e = Tekanan masuk NCG pada *suction* (bar)

P_2 = Tekanan masuk gas pada keluaran *nozzle* (bar)

- *Motive steam* kemudian masuk ke *suction chamber* melalui *nozzle*, sehingga disini diperhitungkan efisiensi *nozzle*. Perhitungan *mach number* untuk *motive steam* ini, dihitung pada titik 2 keluaran *nozzle* dengan persamaan berikut:

$$M_{p2} = \sqrt{\frac{2\eta_e}{(\gamma-1)} \left[\left(\frac{P_p}{P_2} \right)^{\gamma-(1/\gamma)} - 1 \right]} \quad (9)$$

Keterangan :

M_{p2} = *Mach number* untuk *motive steam* dititik 2

γ = Koefisien isentropik ekspansi (1,3)

P_p = Tekanan masuk uap pada *motive steam* (bar)

P_2 = Tekanan gas pada keluaran *nozzle* (bar)

η_n = Efisiensi *nozzle*

- Dititik 2, ketika gas NCG telah memasuki *suction chamber*, perlu pula dihitung *mach number* kritis untuk NCG dengan persamaan:

$$M_{e2}^* = \sqrt{\frac{Me2^2(\gamma+1)}{Me2^2(\gamma-1)+2}} \quad (10)$$

Keterangan :

M_{e2}^* = *Mach number* kritis gas NCG titik 2

M_{e2} = *Mach number* gas NCG dititik 2

γ = Koefisien isentropik ekspansi (1,3)

- *Mach number* kritis *motive steam* titik 2, dengan persamaan berikut :

$$M_{p2}^* = \sqrt{\frac{Mp2^2(\gamma+1)}{Mp2^2(\gamma-1)+2}} \quad (11)$$

Keterangan :

M_{p2}^* = *Mach number* kritis *motive steam* titik 2

M_{p2} = *Mach number* *motive steam* dititik 2

γ = Koefisien isentropik ekspansi (1,3)

- Nilai *entrainment ratio* (w) yakni perbandingan antara laju aliran gas NCG dengan laju aliran *motive steam*.

$$w = \frac{m_e}{m_p}$$

Keterangan :

w = *Entrainment ratio* (w)

m_e = Laju aliran gas NCG (kg/s)

m_p = Laju aliran *motive steam* (kg/s)

- *Mach number* nya dititik 4, dengan persamaan:

$$M_4 = \frac{M_{p2}^* + wM_{e2}^* \sqrt{T_e/T_p}}{\sqrt{(1+w)(1+wT_e/T_p)}} \quad (12)$$

Keterangan :

M_4 = nilai *mach number* dititik 4

M_{p2}^* = nilai *mach number* kritis *motive steam* dititik 2

M_{e2}^* = Nilai *mach number* gas NCG dititik 2

w = *Entrainment ratio*

T_e = Temperatur gas NCG di *ejector* (K)

T_p = Temperatur inlet *motive steam* (K)

- Titik 5 campuran *motive steam* dan NCG kemudian memasuki *diffuser*, *mach number* dititik 5, dengan persamaan :

$$M_5 = \frac{M_4^2 + \frac{2}{\gamma-1}}{\left(\frac{2\gamma}{\gamma-1}M_4^2\right)-1} \tag{13}$$

Keterangan :

M_5 = Nilai *mach number* dititik 5

M_4 = Nilai *mach number* dititik 4

γ = Koefisien isentropik ekspansi (1,3)

- Perubahan tekanan serta kecepatan, maka perlu dihitung tekanan dititik 5 (P5), dengan persamaan :

$$P_5 = P_4 \left[\frac{1 + \gamma M_4^2}{1 + \gamma M_5^2} \right] \tag{14}$$

Keterangan :

P_5 = Tekanan dititik 5 (bar)

M_4 = Nilai *mach number* dititik 4

M_5 = Nilai *mach number* dititik 5

- Tekanan keluaran *diffuser* (P_c), dengan persamaan :

$$P_c = P_5 \left[\frac{\eta_d(\gamma-1)}{2} M_5^2 + 1 \right]^{\gamma/(\gamma-1)} \tag{15}$$

Keterangan :

P_c = Tekanan pada keluaran *diffuser* (bar)

P_5 = Tekanan dititik 5 (bar)

η_d = Efisiensi *diffuser*

M_5 = Nilai *mach number* dititik 5

γ = Koefisien isentropik ekspansi (1,3)

2.6 Data Pengamatan Steam Jet Ejector Tingkat Pertama

Data yang diamati yakni data desain serta aktual pada *steam jet ejector* tingkat pertama. Berikut ini merupakan data desain pada alat yang tertera pada Tabel 3 dibawah ini

Tabel 3.

Data Desain Steam Jet Ejector

Parameter	Nilai	Satuan
Laju aliran gas NCG	0,76111	kg/s
Laju aliran <i>motive steam</i>	1,6669	kg/s
Tekanan gas NCG	0,1	Bar
Tekanan <i>motive steam</i>	6,5	Bar
Temperature gas NCG	303	K
Temperature <i>motive steam</i>	439,8	K
Koefisien isentropic ekspansi	1,3	-
Efisiensi <i>nozzle</i>	0,95	-
Efisiensi <i>diffuser</i>	0,95	-
Tekanan di titik 2	0,1	Bar
Tekanan di titik 4	0,1	Bar

Berikut data aktual yang digunakan dalam perhitungan serta analisis tersaji pada Tabel 4 dibawah ini,

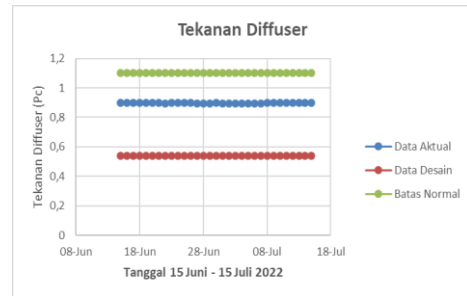
Tabel 4.

Data Aktual Steam Ejector

Parameter	Nilai	Satuan
Me	0,169538239	kg/s
Mp	1,911174456	kg/s
Pe	0,17505188	Bar
Pp	6,275391936	Bar
Te	314	K
Tp	438,7924194	K
γ	1,3	-
η_n	0,95	-
η_d	0,95	-
P2	0,1	Bar
P4	0,1	Bar

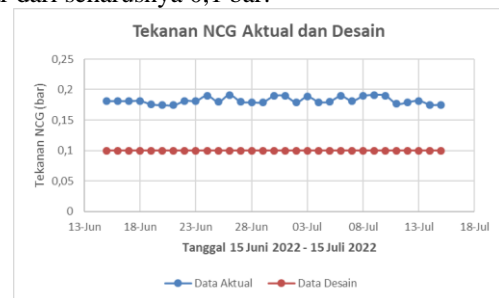
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Perbandingan Tekanan Diffuser pada Data Desain dan Aktual



Gambar 2 Perbandingan Tekanan Diffuser Desain dan Aktual

Tekanan keluaran *diffuser* pada kondisi aktual mengalami kenaikan rata-rata sebesar 0,896 bar sedangkan kondisi desain sebesar 0,537 bar, terjadi penurunan kinerja *steam jet ejector* sebesar 40,07%, namun kondisi ini masih dalam batas operasional normal tekanan diffuser di bawah 1 atm (1,103 bar). Penurunan tekanan disebabkan oleh kenaikan nilai tekanan dan temperatur melebihi data desain yang telah ditentukan. Perbandingan tekanan NCG data aktual dan data desain mengalami kenaikan dari 0,18 bar dari seharusnya 0,1 bar.



Gambar 3. Grafik Tekanan NCG Aktual dan Desain

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa tekanan NCG yang masuk *suction* mengalami perubahan dari kondisi desain *flow motive steam* dan *flow NCG* pada kondisi desain dan aktual juga mengalami perubahan yang cukup signifikan yang berpengaruh terhadap nilai *entrainment ratio* pada mach number pada titik 4 dan 5.

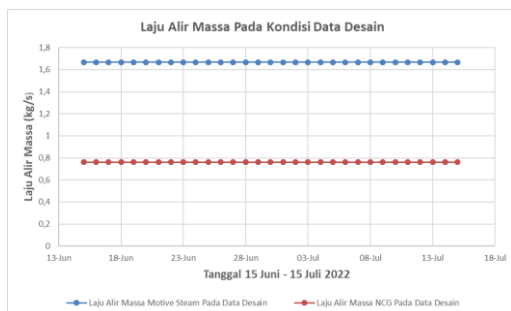


Gambar 4. Grafik Laju Alir Massa Pada Data Aktual

Pada Gambar 4 laju alir massa NCG dan *motive steam* memiliki perbedaan yang jauh dibandingkan dengan kondisi data desain, hal ini dipengaruhi oleh *supply* uap utama dari sumur KMJ-84 memiliki

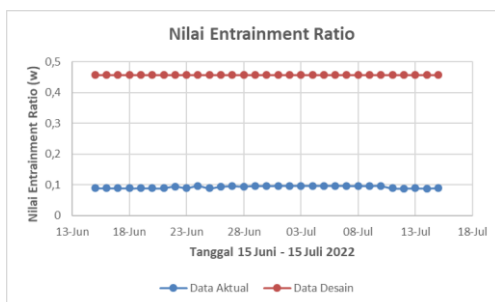
jumlah aliran uap yang besar karena *motive steam* yang masuk ke dalam *ejector* berada dalam satu *main steam line* bersamaan dengan aliran uap yang masuk ke dalam sistem pembangkit utama (*main system*),

uap yang masuk pada *ejector* dipengaruhi oleh *supply* uap ke sistem pembangkit utama yang berasal dari sumur uap, untuk mengubah *flow motive steam* bukan hal yang mudah karena mempengaruhi *supply* uap ke sistem pembangkit utama, mengingat katup yang digunakan pada uap yang masuk ke *ejector* adalah katup *fully open* karena sifatnya yang hanya membuka dan menutup dan apabila *supply* uap mengalami gangguan akan mempengaruhi sistem secara keseluruhan.



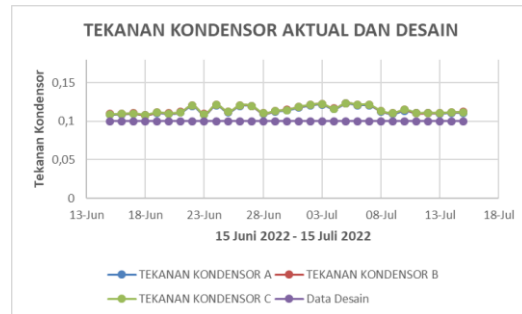
Gambar 5. Grafik Laju Alir Massa Data Desain

Pada grafik yang terlihat di gambar 4 dan 5 terjadi selisih yang tinggi pada kondisi actual *flow motive steam* dan *flow NCG* dibandingkan dengan kondisi data desain yang dimana hal ini akan mempengaruhi nilai *entrainment ratio*(w).



Gambar 6. Grafik Nilai Entrainment Ratio

Pada Gambar 6 dapat dilihat terjadi perbedaan nilai w data aktual yang cukup jauh dari kondisi data desain yang dimana nilai w ini nantinya akan mempengaruhi nilai *mach number* pada titik 4 dan 5 yang tentunya akan berpengaruh ke perhitungan tekanan *diffuser*. Kinerja *steam jet ejector* sangat berpengaruh terhadap kondisi kerja kondensor, dimana kenaikan tekanan keluar *diffuser* yang tinggi merupakan indikasi terjadinya kenaikan tekanan kondensor. Jika tekanan pada kondensor mengalami kenaikan, maka hal ini akan berpengaruh terhadap efisiensi turbin dan sistem secara keseluruhan.



Gambar 7. Grafik Tekanan Kondensor Aktual dan Desain

Pada Gambar 7 menunjukkan grafik tekanan kondensor data aktual dan desain, dapat diamati bahwa tekanan kondensor mengalami kenaikan dari kondisi desain, dimana tekanan pada desain kondensor sebesar 0,1 bar dan kondisi actual berkisar 0,107 - 0,123 bar. Hal ini menjelaskan bahwa penurunan kinerja *steam jet ejector* berpengaruh terhadap menurunnya tingkat kevakuman kondensor (tekanan mengalami kenaikan), untuk itu perlu adanya pengaturan pada parameter tekanan *motive steam*, tekanan NCG. serta tekanan keluaran *diffuser* agar berada pada kondisi desainnya untuk mempertahankan tekanan vakum kondensor pada kondisi desain yang seharusnya. Kevakuman kondensor berpengaruh terhadap penurunan Δh turbin sehingga hal ini akan berdampak terhadap penurunan efisiensi turbin dan sistem secara keseluruhan.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis diperoleh simpulan bahwa kenaikan tekanan *steam jet ejector* berpengaruh terhadap kenaikan tekanan kondensor dari tekanan desain 0,10 bar menjadi 0,107 - 0,123 bar saat kondisi actual. Penurunan kinerja *steam jet ejector* mengakibatkan tingkat kevakuman kondensor menurun, namun kinerja alat berada di dalam kondisi batas operasional normal yaitu di bawah 1 atm. Penurunan kinerja *steam jet ejector* dipengaruhi oleh laju alir massa *motive steam*, alir massa NCG menuju *suction*, nilai *entrainment ratio*, tekanan NCG serta tekanan *motive steam* yang melebihi data desain.

Saran

Saran yang penulis berikan dimasa yang akan datang yaitu :

1. Pada kondisi actual terjadi kenaikan laju alir massa *motive steam*, maka perlu diturunkan jumlah *flow* yang masuk *ejector* guna meminimalisir kenaikan pada *entrainment ratio* yang nantinya akan berpengaruh pada perhitungan tekanan *diffuser*, namun tindakan ini tentu mempertimbangkan banyak aspek. Seperti uap yang dipasok dari *gathering system* (dengan cara melakukan pengaturan pada *control valve*) mungkin bisa menjadi pilihan, namun *supply* uap

dari *gathering system* ini akan mempengaruhi sistem pembangkitan utama pada turbin karena uap yang di *supply* berada dalam satu main steam line dan hal ini akan mempengaruhi parameter *flow*, tekanan, dan temperatur pada sistem pembangkitan utama yang nantinya akan berpengaruh pada keseluruhan sistem.

2. Pada kondisi aktual nilai *entrainment ratio* yang dihasilkan berbeda jauh dari data desain, maka perlu adanya pengaturan pada laju alir massa NCG yang masuk *suction* dan laju alir massa *motive steam* yang masuk *nozzle*.
3. *Flow motive steam* masuk ke dalam bagian *nozzle* perlu dianalisis secara konstruksi pada bagian *nozzle*; seperti adanya penebalan (*scalling*) pada *nozzle*, adanya korosi, atau tindakan pengubahan pada ukuran *nozzle* dan lain-lain.
4. Kenaikan tekanan keluaran *diffuser* perlu dianalisis apakah penyebabnya berhubungan dengan *equipment* lain, seperti: apakah ada kendala di kondensor, sistem penyaluran uap ke *ejector*, atau ukuran area *discharge*.
5. Analisis bentuk geometri *steam jet ejector* pada sudut *converging duct* diharapkan mampu

meminimalisir kenaikan tekanan pada area *diffuser*.

Daftar Pustaka

- [1] Azhar, M. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law & Governance Journal*, 1(4), 15
- [2] Croll Reynolds (2008) *Process Vacuum and Power System Thermocompressor Theory*, http://www.croll.com/_website/pr/thermhome.asp (akses April 2024)
- [3] G. Hicks, Tyler. *Handbook of Energy Engineering Calculations*. Geothermal Energy Engineering, Vol. 9, hal 368 – 371
- [4] R. Munson, Bruce dkk. 2013. *Fundamental of Fluid Mechanics*, 7th Edition. United States of America.