

## ANALISA PENGARUH KINERJA STEAM JET EJECTOR TERHADAP KEVAKUMAN KONDENSOR

Sulaiman Fikran<sup>1</sup>, Cecep Slamet Abadi<sup>1</sup>, Emir Ridwan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia

Email : [fikrannn@gmail.com](mailto:fikrannn@gmail.com)

### Abstrak

*Kehandalan pembangkit dan efisiensi turbin dapat bekerja secara optimal bila tekanan dalam kondensor vakum. Pada volume yang sama, air akan memiliki massa ratusan kali lipat dibandingkan dengan uap sehingga jika uap yang masuk kondensor disemprotkan air lalu uap berubah fasa menjadi air, maka akan terjadi penyusutan dan pengurangan volume dan mengakibatkan kondisi dalam kondensor menjadi vakum. Kenyataannya masih ada gas yang tidak dapat terkondensasi di dalam kondensor yaitu Non Condensable Gas. Hal ini berpengaruh terhadap naiknya tekanan dan kevakuman dalam kondensor, maka dibutuhkan Gas Extraction untuk mengeluarkan Non Condensable Gas dari dalam kondensor dengan cara dihisap oleh stem jet ejector. Steam jet ejector berfungsi untuk menghisap Non Condensable Gas dari dalam kondensor menuju intercondenser dan aftercondenser untuk dikondensasikan kembali agar gas berubah fasa menjadi air. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga vakum kondensor sesuai dengan set poin, menjaga efisiensi turbin, dan melakukan perhitungan kinerja steam jet ejector, menganalisa tekanan difusser dan entrainment ratio. Steam jet ejector menggunakan steam primer sebagai fluida penghisap dengan menggunakan prinsip Bernoulli. Terdapat tiga bagian utama steam jet ejector yaitu nozzle, mixing chamber, dan difusser. Tekanan diffuser pada ejector mempengaruhi kinerja steam jet ejector. Dari hasil perhitungan Kenaikan nilai entrainment ratio sebesar 0,12 dapat meningkatkan efisiensi steam jet ejector sebesar 14%. Nilai entrainment ratio dipengaruhi oleh laju aliran massa uap penggerak dan laju aliran massa Non Condensable Gas yang terhisap. Semakin banyak Non Condensable Gas yang terdapat di kondensor maka akan menyebabkan tekanan kondensor meningkat dan menjadi jauh dari tekanan vakum yaitu 0,1 bar. Efisiensi kinerja dari steam jet ejector mempengaruhi tekanan dari kondensor, efisiensi steam jet ejector sebesar 36% dapat menjaga tekanan vakum dalam kondensor sebesar 0,12 bar.*

*Kata kunci: tekanan diffuser, steam jet ejector, tekanan vakum, Non Condensable Gas, entrainment ratio.*

### Abstract

*The reliability of power plant and turbine efficiency can work optimally when the pressure in condenser is vacuum. At the same volume, the water will have hundreds of times the mass of water compared to steam so that if the vapor entering the condenser is sprayed water and the vapor turns phase into water, it will occur shrinkage and volume reduction and result in condenser conditions into a vacuum. In fact there is still a gas that can not be condensed in the condenser that is Non Condensable Gas. This will effect on the increase of pressure and vacuum in condenser, hence required Gas Extraction to remove Non Condensable Gas from inside condenser by way of sucked by stem jet ejector. Steam jet ejector serves to suck Non Condensable Gas from the condenser to the intercondenser and aftercondenser to be condensed back so that the gas turns phase into water. This research aims to keep the condenser vacuum in accordance with set points, maintain turbine efficiency, and perform performance calculations of steam jet ejector, analyze diffuser pressure and entrainment ratio. Steam jet ejector uses primary steam as a suction fluid using the Bernoulli principle. There are three main parts of steam jet ejector namely nozzle, mixing chamber, and diffuser. The pressure of the diffuser on the ejector affects the performance of the steam jet ejector. From the calculation, the increase of entrainment ratio value of 0.12 can increase the efficiency of steam jet ejector by 14%. The entrainment ratio value is influenced by the mass flow rate of the driving velocity and the mass flow rate of the inhaled Non Condensable Gas. The more Non Condensable Gas contained in the condenser will cause the condenser pressure to rise and become away from the vacuum pressure of 0.1 bar. The performance efficiency of the steam jet ejector affects the pressure of the condenser, the efficiency of the 36% steam jet ejector can keep the vacuum pressure in the condenser by 0.12 bar.*

*Keywords: Diffuser pressure, steam jet ejector, vacuum pressure, Non Condensable Gas, entrainment ratio.*

## I. PENDAHULUAN

### Latar belakang

Pemanfaatan panas bumi untuk pembangkitan listrik terus meningkat. Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi mempengaruhi produksi listrik. Keandalan PLTP dapat diekspresikan dalam bentuk kontinuitas dan stabilitas pasokan uap, yang kemudian dimanfaatkan untuk mendapatkan kontinuitas dan stabilitas produksi listrik. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan berbagai upaya untuk menjaga keandalan pembangkit dan meningkatkan efisiensi dengan mengoptimalkan kinerja peralatannya. Uap yang keluar dari turbin masuk ke kondensor sebagian besar adalah uap bercampur dengan air dan di kondensor akan mencapai kesetimbangan massa dan energi. Pada volume yang sama, air akan memiliki massa ratusan kali lipat dibandingkan dengan uap sehingga jika uap yang masuk kondensor disemprotkan air lalu uap berubah fasa menjadi air, maka akan terjadi penyusutan volume dan mengakibatkan kondisi dalam kondensor menjadi vakum.

Ternyata masih ada gas yang tidak dapat terkondensasi di dalam kondensor yaitu *Non Condensable Gas* (NCG). Hal ini berpengaruh terhadap naiknya tekanan dan kevakuman dalam kondensor. Berkumpulnya NCG di kondensor akan mengakibatkan nilai enthalpi di kondensor naik, naiknya nilai entalpi kondensor akan menurunkan efisiensi *thermal* turbin dan pada akhirnya akan menurunkan kinerja mekanis turbin. Maka dibutuhkan *Gas Extraction* untuk mengeluarkan NCG dari dalam kondensor dengan cara dihisap oleh *stem jet ejector*. Untuk menjaga kondisi vakum kondensor dan memaksimalkan efisiensi turbin perlu diadakan penelitian dengan metode analisis kinerja *steam jet ejector* terhadap kevakuman kondensor.

### Tujuan Penelitian

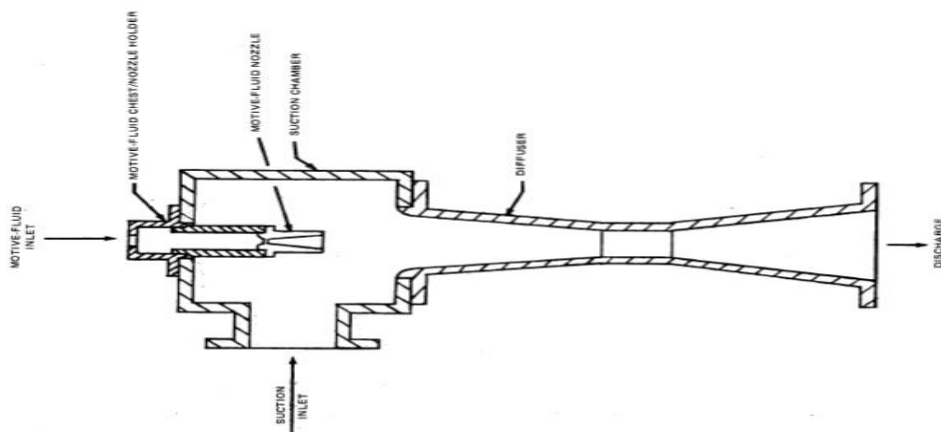
Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah, maka tujuan penulisan dari karya tulis adalah :

1. Menjaga vakum kondensor sesuai dengan set point.
2. Menjaga kinerja steam turbin.
3. Melakukan perhitungan kinerja ejector dan kondensor.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Steam Jet Ejector

Prinsip kerja *steam Jet Ejector* adalah mengubah energi tekanan dari uap penggerak menjadi energi kecepatan. Proses perubahan energi terjadi ketika uap penggerak dialirkan masuk *inlet Nozzle*, selanjutnya uap penggerak diekspansikan oleh *nozzle* sehingga terjadi penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan. Tekanan di sekitar mulut *outlet nozzle* menjadi rendah. Tekanan di sekitar mulut *outlet nozzle* tersebut lebih rendah daripada tekanan gas yang ingin dihisap sehingga menyebabkan gas tersebut terhisap oleh *steam jet ejector*.



Gambar 2.1 Steam Jet Ejector

Kinerja *steam jet ejector* adalah kemampuan kerja *steam jet ejector* dalam mengekstraksi gas – gas yang tidak dibutuhkan dari kondensor, untuk menjaga kevakuman kondensor. Perhitungan kinerja difokuskan pada tekanan *diffuser*.

### 2.2 Aliran Kompresibel

Aliran kompresibel yaitu suatu fluida yang bergerak mengalami perubahan volume atau mengalami pemampatan. Ada dua fenomena yang mungkin terjadi pada aliran kompresibel. Yang pertama adalah *chocking*, dimana laju aliran massa pada saluran dibatasi oleh kondisi *sonic*. Kedua adalah *shock wave*, yaitu properti berubah pada aliran *supersonic*.

#### Mach Number

*Mach Number* merupakan suatu perbandingan antara kecepatan relatif suatu objek terhadap kecepatan suara. *Mach Number* biasanya digunakan sebagai salah satu parameter untuk menyatakan suatu aliran kompresibel atau tidak. Ketika sebuah benda menembus udara, molekul udara di sekitar benda itu akan terganggu hingga dapat mengubah kerapatan atau densitas udara sekitar. Semakin bertambahnya kecepatan maka semakin berpengaruh terhadap aliran udara sekitar. Dalam *steam jet ejector* benda yang dimaksud adalah aliran uap primer yang memiliki kecepatan tinggi. Perhitungan *mach number* adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{v}{s} \quad \text{[Persamaan 1]}$$

Rentang nilai *Mach Number* dapat diklasifikasikan seperti ini :

1. Aliran *Incompressible* :  $M \leq 0,3$  dimana perubahan densitas sangat diabaikan.
2. Aliran *Compressible subsonic* :  $0,3 < M < 0,8$  dimana perubahan densitas sangat penting tetapi tidak ada *shock*.
3. Aliran *Compressible supersonic* :  $1,2 < M < 3$  terdapat gelombang *shock*.
4. Aliran *transonic* :  $0,8 < M < 1,2$  daerah antara *subsonic* dan *supersonic* dimana *shock* pertama kali muncul.
5. Aliran *hypersonic* :  $3,0 < M$  dimana *shock* aliran berubah secara kuat

Sedangkan kecepatan suara untuk gas ideal merupakan fungsi dari temperature ,yaitu :

$$s = \sqrt{kRT} \quad \text{[Persamaan 2]}$$

### 2.3 Tekanan Difusser

Tekanan Difusser merupakan tekanan fluida yang ada pada keluaran difusser. Tekanan difusser dibutuhkan untuk mendapatkan tekanan *discharge* dan efisiensi pada *steam jet ejector*. Untuk menghitung tekanan difusser perlu memperhitungkan nilai efisiensi difusser. Menghitung tekanan difusser menggunakan persamaan :

$$Pd = Pt \left[ \frac{\eta_d(k-1)}{2} M^2 + 1 \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{[Persamaan 3]}$$

### 2.4 Entrainment Ratio

*Entrainment ratio* adalah perbandingan antara laju aliran massa uap dan gas yang terhisap dengan laju aliran massa uap penggerak. Semakin tinggi *entrainment ratio* berarti semakin banyak *Non Condensable Gas* yang terhisap. Hal ini akan menyebabkan efisiensi *steam ejector* meningkat. *Entrainment ratio* juga dapat menjadi tolak ukur kemampuan *steam jet ejector* menghisap *Non Condensable Gas*. Menghitung *entrainment ratio* menggunakan persamaan berikut ini :

$$w = \frac{m_{is}}{m_{ip}} \quad \text{[Persamaan 4]}$$

### 2.5 Efisiensi steam jet ejector

Efisiensi *steam jet ejector* dipengaruhi oleh nilai *entrainment ratio*, tekanan uap penggerak, tekanan *Non Condensable Gas*, dan tekanan *discharge*. Efisiensi *steam jet ejector* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\eta = \frac{m_{is} \left[ 1 - \left( \frac{P_s}{P_d} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}{m_{ip} \left[ \left( \frac{P_m}{P_d} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} \quad \text{[Persamaan 5]}$$

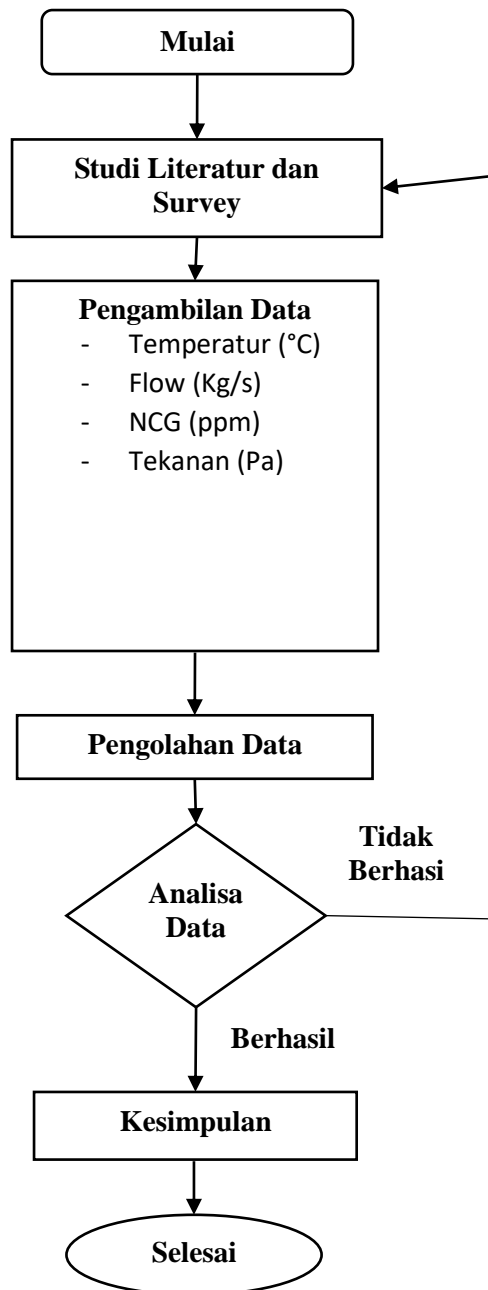
Dari persamaan – persamaan di atas maka akan didapatlah efisiensi dari *steam jet ejector*.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini menggunakan beberapa macam metode. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah, meliputi perencanaan, pengambilan sampel, pengambilan dan pengumpulan data serta teknik analisis di PT Indonesia Power UPJP Kamojang.

Data yang diambil meliputi data sistem uap utama, data sistem pendingin utama, dan data sistem primary sebelum dan sesudah overhaul.

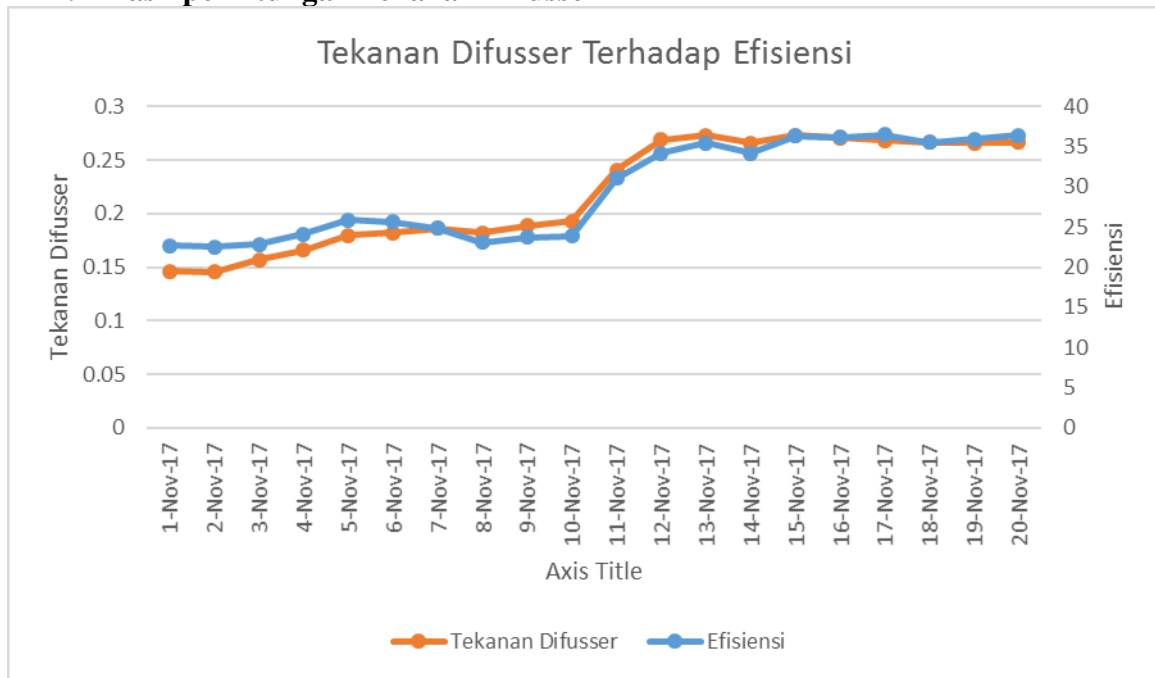
Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis, yang dapat diuraikan melalui diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

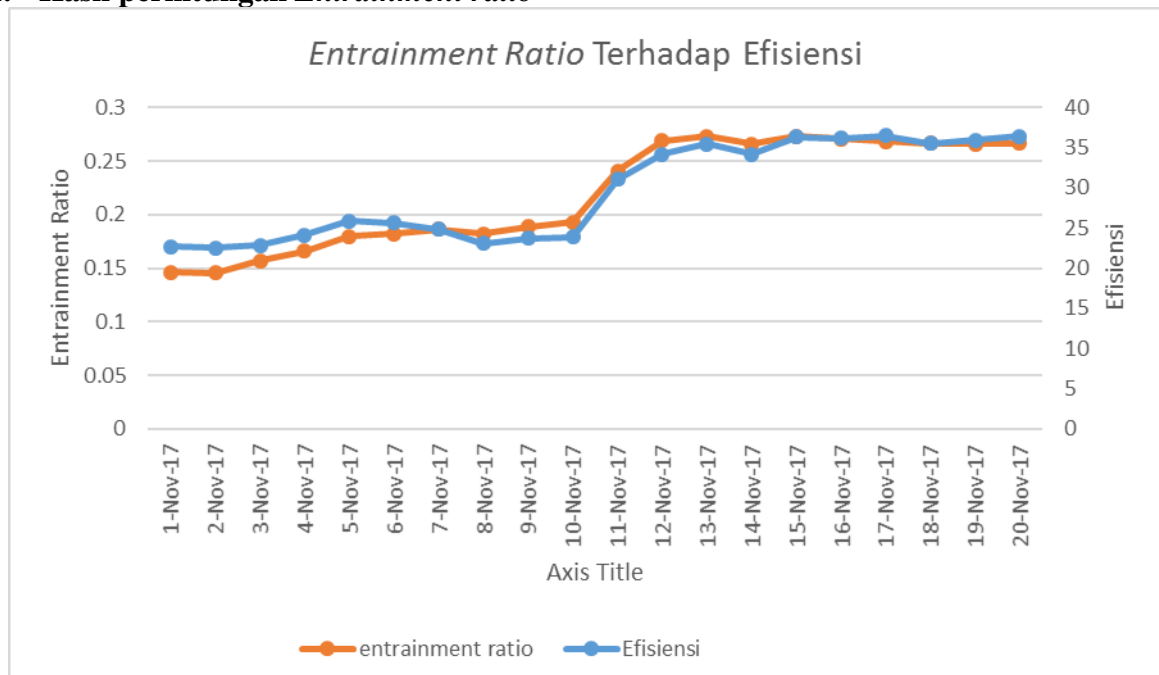
##### 1. Hasil perhitungan Tekanan Difusser



Gambar 4.1 Grafik Tekanan Difusser terhadap efisiensi

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai efisiensi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tekanan diffuser. Meningkatnya tekanan diffuser yang dimulai dari tanggal 11 November 2017 disebabkan karena telah dilakukan Overhaul (OH) pada peralatan *steam jet ejector*. Semakin tinggi tekanan yang terjadi pada *diffuser* maka akan semakin meningkat kinerja dari *steam jet ejector*. Dan jika terjadi penurunan pada tekanan *diffuser* dikarenakan beberapa parameter seperti kenaikan nilai tekanan dan temperatur dari uap penggerak.

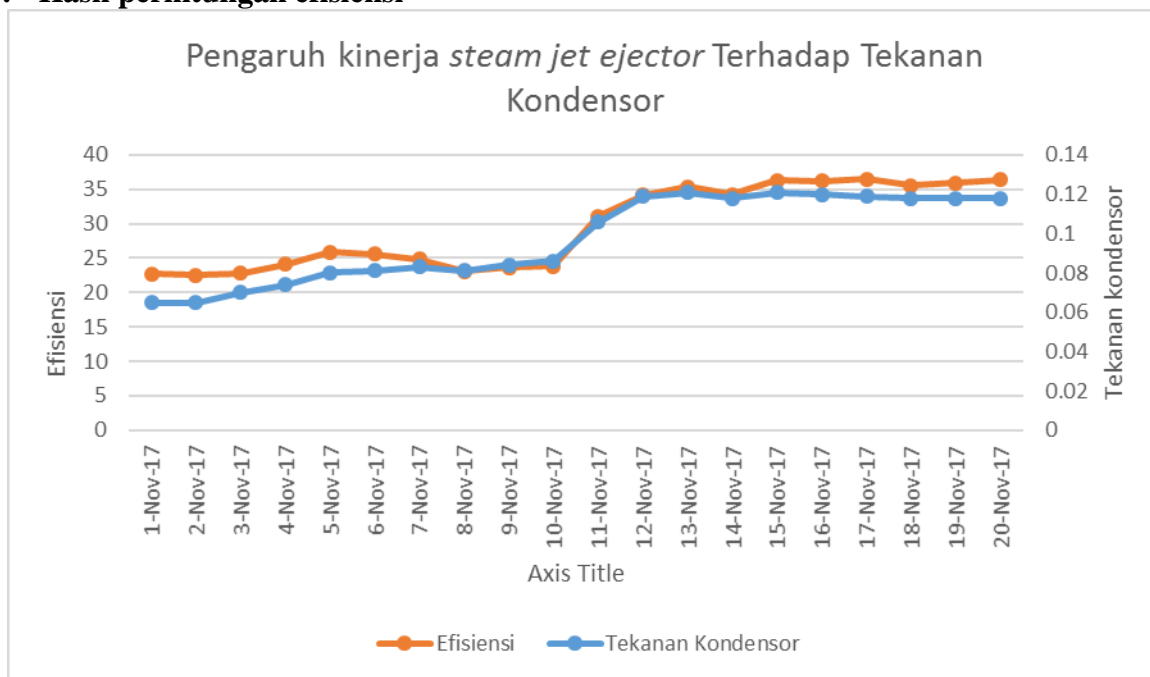
##### 2. Hasil perhitungan *Entrainment ratio*



Gambar 4.2 Grafik *Entrainment ratio* terhadap efisiensi

Pada kondisi operasi *steam jet ejector*, nilai *entrainment ratio* dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu laju aliran massa uap penggerak dan laju aliran massa uap atau gas yang dihisap. Semakin tinggi nilai *entrainment ratio*, maka akan semakin banyak *Non Condensable Gas* yang dihisap oleh *steam jet ejector*. Semakin banyak *Non Condensable Gas* yang dihisap dari *steam jet ejector* maka akan semakin terjaga tekanan vakum dalam kondensor. Meningkatnya nilai *entrainment ratio* yang terjadi pada tanggal 11 November 2017 disebabkan karena telah dilakukan Overhaul pada *steam jet ejector*. Dan semakin meningkatnya nilai *entrainment ratio* maka kinerja dan efisiensi dari kinerja *steam jet ejector* semakin meningkat. Namun, temperatur *Non Condensable Gas* yang semakin besar dapat menurunkan nilai efisiensi. Dan dapat dilihat terjadi penurunan nilai *entrainment ratio* pada hari ke-8, hal ini disebabkan oleh menurunnya laju aliran massa dari uap penggerak *steam jet ejector* sehingga *Non Condensable Gas* yang terhisap akan semakin sedikit dan berpengaruh pada turunnya efisiensi *steam jet ejector*.

### 3. Hasil perhitungan efisiensi



Gambar 4.3 Grafik efisiensi terhadap tekanan kondensor

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi dari *steam jet ejector* berbanding lurus dengan tekanan yang ada di kondensor. Jika efisiensi *steam jet ejector* naik maka tekanan kondensor akan semakin terjaga pada kondisi vakum yaitu 0,1 bar. Pada tanggal 8 November 2017 terjadi penurunan efisiensi *steam jet ejector* sebesar 2%, hal ini disebabkan oleh naiknya tekanan uap penggerak sehingga laju aliran massa menjadi berkurang dan menyebabkan nilai *entrainment ratio* turun, turunnya tekanan diffuser, dan naiknya suhu *Non Condensable* yang dihisap oleh *steam jet ejector*. Turunnya efisiensi juga berpengaruh pada tekanan dalam kondensor, tekanan menjadi dibawah 0,1 bar.

## V. KESIMPULAN

- Prinsip kerja *steam jet ejector* adalah mengubah energi tekanan uap penggerak menjadi energi kecepatan yang dikonversikan oleh *nozzle*.
- Kemampuan kinerja dari *steam jet ejector* dipengaruhi oleh nilai *entrainment ratio*, karena semakin tinggi nilai *entrainment ratio* menandakan bahwa *Non Condensable Gas* yang terhisap dari dalam kondensor semakin banyak. Kenaikan nilai *entrainment ratio* sebesar 0,12 dapat meningkatkan efisiensi *steam jet ejector* sebesar 14%.
- Efisiensi *steam jet ejector* berpengaruh pada tekanan vakum dalam kondensor. Efisiensi *steam jet ejector* sebesar 36% dapat menjaga tekanan vakum dalam kondensor sebesar 0,12 bar.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2007, "Teknologi Operasi PLTP", PT PLN (Persero) : Suralaya.
- [2] Moran, Michael J., Shapiro, H.N., dkk, "*Fundamental of Engineering Thermodynamics*", Vol. 5, John Wiley & Sons Ltd, Printed in England; 2006.
- [3] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERING, "*Performance Test Codes 24-1976*", THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERING, New York; 1976.
- [4] Geankoplis, Christ J., "*Transfer Processes and Unit Operations*", Vol. 3, Prentice-Hall International. Inc, New Jersey; 1993.\
- [5] Fauziyyah, Inas, "Analisis kinerja *steam jet ejector*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya; 2016.
- [6] El-Dessouky, Hisham., dkk, "*Evaluation of Steam Jet Ejector*", Chemical Engineering and Processing, Kuwait; 2002.
- [7] Lines, J, R., Smith, R. T., "*Ejector System Teoubleshooting*", International Journal of Hydrocarbon Engineering, England; 1997.