

## **PENERAPAN LEAN UNTUK MEMPERCEPAT WAKTU PEMULIHAN GANGGUAN *HIGH PREASSURE HEATER* DENGAN PORTEJO (*PORTABLE AIR EJECTOR*)**

**Bintoro Adi Nugroho, Hernadewita Johan Tri Nugroho, dan Dwi Jatmiko**

*Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana  
E-mail : bintoroadi1984@gmail.com, hadeita@yahoo.com*

### **ABSTRAK**

Out service HP Heater karena kebocoran tube menyebabkan kenaikan plant heat rate karena terjadinya penurunan Final Feed Water Temperature masuk Boiler. Hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan panas sebesar 8-10 % dari panas total dalam kondisi normal untuk membangkitkan 400 MW. Semakin lama HP heater out service selama masa perbaikan maka semakin besar kerugian yang dialami unit. Lamanya waktu perbaikan HP Heater sebagian besar disebabkan oleh lamanya waktu pendinginan HP Heater sampai tercapai kondisi aman untuk orang bekerja. Berdasarkan pengalaman, pendinginan HP Heater secara natural membutuhkan waktu lebih dari satu minggu. Penerapan metode lean pada penelitian ini adalah mengurangi "waste" berupa waktu pendinginan dalam proses pemeliharaan dengan merancang portable air ejector yang memanfaatkan service air sebagai fluida kerja untuk mengkondisikan agar terjadi pendinginan secara paksa di dalam HP Heater. Kapasitas air ejector dievaluasi dengan pengambilan data dari hasil eksperimen yang dikomparasikan dengan hasil simulasi menggunakan software Fluent 6.2. Hasil yang diperoleh dari pemanfaatan portable air ejector adalah berkurangnya waktu pendinginan HP Heater secara signifikan sehingga waktu perbaikan HP Heater menjadi lebih singkat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pendinginan HP Heater turun secara signifikan menjadi kurang dari 1 hari. Pada sisi yang lain keamanan pekerja akibat panas dan uap selama pengerjaan HP Heater lebih terjamin.

**Kata kunci :** *High Pressure Heater, Kebocoran, Waktu Perbaikan, Portable Air Ejector*

### **PENDAHULUAN**

Untuk menjawab tantangan persaingan produksi pembangkitan listrik, perusahaan harus fleksibel dalam operasi mereka, mampu menghasilkan produk listrik yang stabil dan memberikan produk kepada pelanggan dengan harga yang kompetitif. Tuntutan ini menekankan perlunya keandalan sistem secara keseluruhan yang mencakup keandalan sumber daya manusia, mesin, peralatan, Sistem penanganan material, proses penambahan nilai lainnya, dan fungsi manajemen di seluruh sistem manufaktur. Produktivitas rendah, downtime, dan kinerja mesin yang buruk sering dikaitkan dengan

perencanaan pemeliharaan yang tidak memadai, yang pada gilirannya dapat menyebabkan tingkat produksi yang rendah, kenaikan biaya, kehilangan peluang pasar, Dan keuntungan yang lebih rendah. Kerugian ini telah memberi perusahaan-perusahaan di seluruh dunia motivasi untuk mengeksplorasi dan merangkul strategi perawatan proaktif atas metode pemadaman reaktif tradisional

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan kinerja proses pemeliharaan adalah dengan menerapkan metode lean.

*Out service HP Heater* akibat kebocoran *tube* sering terjadi pada unit 1-4 UBP Suralaya. Selama masa *out service* tersebut, terjadi penurunan efisiensi termal unit yang signifikan. Semakin lama masa pengerjaan *HP Heater* maka kerugian akan menjadi semakin besar.

Waktu pendinginan merupakan titik kritis pada proses pengerjaan *HP Heater*. Pendinginan secara natural membutuhkan waktu yang lama sehingga diperlukan metode yang lebih baik untuk mempercepat waktu pendinginan tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi untuk mempercepat waktu pendinginan pada proses pengerjaan *HP Heaters* selain uap yang ada di dalam *HP Heater* yang dapat mengganggu pernapasan pekerja.

Metode untuk mempersingkat waktu pendinginan tidaklah dapat tercapai kecuali dengan menggunakan peralatan yang efektif. Sehingga pemilihan alat untuk mempercepat waktu pendinginan tersebut merupakan hal penting yang juga harus dipikirkan.

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah meminimalisir kerugian yang disebabkan karena *out service HP Heater*. Upaya ini dilakukan dengan cara mempercepat waktu pendinginan dalam proses pengerjaan *HP Heater* selama masa *out service* tersebut.

Ruang lingkup penelitian ini adalah mendesain *portable air ejector* menggunakan *software* meliputi desain geometri kemudian melakukan simulasi dengan variasi *boundary condition* untuk memperoleh desain yang optimal dengan parameter *entrainment ratio*. Pengambilan data melalui percobaan dilakukan untuk validasi simulasi desain *ejector*. Mensimulasikan perbandingan antara pendinginan secara natural dan pendinginan menggunakan *ejector* dalam fungsi waktu.

Penulisan yang dilakukan menggunakan metode:

Observasi Lapangan, penelitian dan pengujian.

Studi literatur

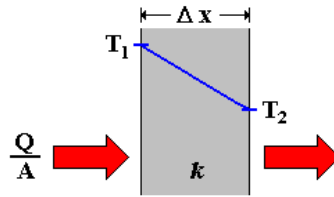
Pemodelan *finite element analysis* dengan menggunakan *software Fluent 6.2*.

## LANDASAN TEORI

### Perpindahan Kalor

Konduksi

Bilamana konduktivitas *thermal* bahan tetap, tebal dinding adalah  $\Delta x$ , sedang  $T_1$  dan  $T_2$  adalah suhu permukaan dinding seperti terlihat pada gambar berikut [1][2] :



Gbr 1. Skema perpindahan panas konduksi satu dimensi

Maka besarnya laju perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$q = - \frac{k A dT}{\Delta x dx}$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas (w)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m<sup>2</sup>)

dT/dx = Gradien suhu pada penampang dalam arah aliran panas x

k = Konduktivitas *thermal* bahan (w/m°C)

a. Konveksi

Konveksi alami

Konveksi alami adalah konveksi yang terjadi akibat perbedaan massa jenis karena perbedaan temperatur.

$$q = h A (T_w - T_b)$$

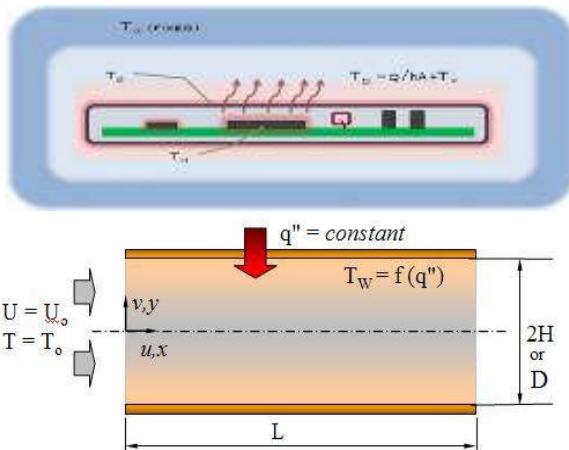
Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (w/m<sup>2</sup>°C)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C)



Gbr 2. Skema perpindahan panas konveksi alami (a) dan konveksi paksa (b)

Konveksi paksa

$$q = m c_p (T_{b2} - T_{b1}) = h (2\pi r) dx (T_w - T_b)$$

Dimana :

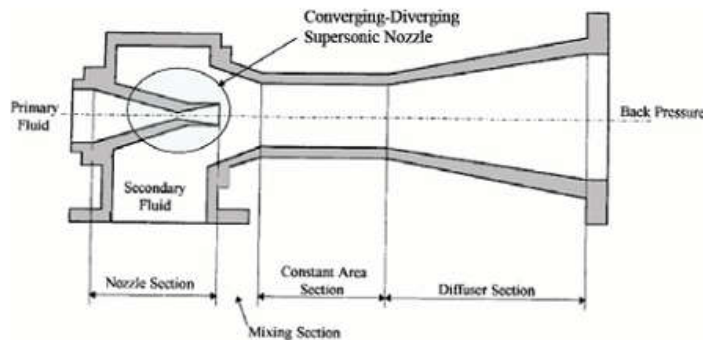
m = laju aliran fluida (kg/s)

Um = Kec. Rata-rata (m/s)

Cp	= Panas jenis (kj/kg.°C)	μ	= Kekentalan (kg/m.s)
Tb	= Suhu limbak	ρ	= Kerapatan (kg/m <sup>3</sup> )
Tw	= Suhu dinding		

**A. Air Ejector**

*Ejector* adalah peralatan yang digunakan untuk menghisap fluida sekunder dengan memanfaatkan momentum dan transfer energi dari kecepatan tinggi fluida primer. Prinsip kerja *air ejector* adalah pengkonversian udara tekanan tinggi menjadi kecepatan tinggi dengan menggunakan *nozzle* sehingga menghasilkan tekanan statis yang rendah untuk menghasilkan efek hisapan pada fluida sekunder[3][4][5].



Gbr 3. Skema *Supersonic Ejector*<sup>4</sup>

Persamaan yang berkaitan dengan analisis *air ejector* antara lain :

Persamaan Kontinuitas (Hukum Kekekalan Massa) :  $\rho VA = \rho^* V^* A^*$

Persamaan Energi :  $h_a + \frac{V_a^2}{2} = h_b + \frac{V_b^2}{2}$

**B. Lean Maintenance dan Efectifitasnya**

Fungsi Pemeliharaan perlu menerapkan rencana untuk mengintegrasikan dan mengembangkan metodenya untuk memenuhi tuntutan baru yang ditetapkan oleh Lean Manufacturing. Alat lean komprehensif yang dikembangkan untuk kegiatan pemeliharaan di dalam sebuah organisasi termasuk VSM, 5S, efektifitas peralatan secara keseluruhan (OEE), Kaizen, standardisasi kerja TPM, SMED, sistem pemeliharaan komputer (CMMS). Alat pemeliharaan ramping yang disebutkan di atas digunakan di perusahaan yang mewakili industri yang berbeda, hasil penerapan tingkat dievaluasi dengan metrik dan indikator karakter finansial dan non-keuangan[6].

Value stream mapping memiliki metode pendukung yang sering digunakan di lingkungan Lean untuk menganalisa dan merancang arus pada tingkat sistem (di berbagai proses) Pemetaan nilai stream menganalisis aliran material dan informasi. Dengan menggambar VSM, peneliti dapat: memvisualisasikan dan melihat keseluruhan aliran dengan jelas, mengidentifikasi "waste" dalam aliran nilai, membangun hubungan antara arus informasi dan arus material dan memahami bagaimana organisasi akan berada di masa depan, jika Semua kegiatan penyempurnaan diimplementasikan dengan benar dan jika limbah yang diidentifikasi dieliminasi atau dihapus. Meskipun pemetaan value stream sering dikaitkan dengan manufaktur, namun juga digunakan dalam pemeliharaan[7].

Praktik 5S adalah bagian dari penerapan metoda Lean dalam pemeliharaan yang menciptakan ruang bagi lingkungan standar untuk bekerja, dengan fokus pada penghapusan "waste" dan melibatkan lima langkah.

Penerapan 5S yang berhasil dapat memberikan keuntungan sebagai berikut dalam pemeliharaan [8]:

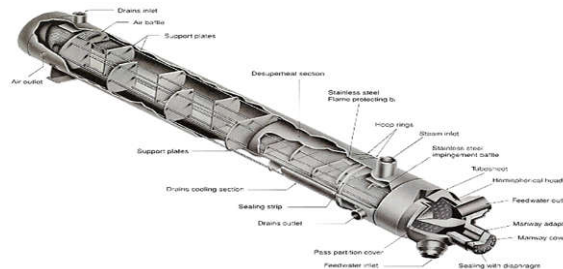
1. Tempat kerja lebih efisien, terorganisir, bersih, produktif dan aman
2. Perbaikan Cara Membuat Proses Pemeliharaan Lebih Efisien Menggunakan Peralatan Lean.
3. Peningkatan kondisi kerja.
4. Lebih baik dalam melihat permasalahan
5. Pengurangan biaya, waktu yang tidak produktif, Ruang dan gerakan yang membatasi.
6. Dan pengurangan kerugian yang terkait dengan kegagalan dan jeda.

Pengenalan praktik 5S ke dalam proses perawatan memperpendek waktu perbaikan (Salah satu indikator yang paling umum digunakan untuk menilai efektivitas pekerjaan Pemeliharaan adalah MTTR - Mean Time To Repair), yang mempengaruhi efisiensi peralatan produksi, meningkatkan OEE.

Mean Time To Repair (MTTR) adalah ukuran dasar dari maintainability item yang dapat diperbaiki. Ini mewakili waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen atau perangkat yang gagal[1]. Dinyatakan secara matematis, ini adalah waktu pemeliharaan korektif total untuk kegagalan dibagi dengan jumlah total tindakan pemeliharaan korektif untuk kegagalan selama periode waktu tertentu.

## PEMBAHASAN

### A. High Pressure Heater (HP Heater)



Gbr 4.High Pressure Heater

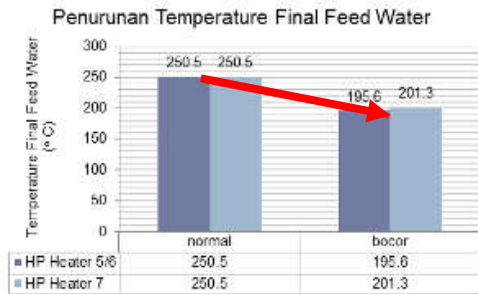
Spesifikasi:

No	Keterangan	Data High Pressure Heater (HPH)		
		HPH 5	HPH 6	HPH 7
1	Type	Horizontal shell & u tube	Horizontal shell & u tube	Horizontal shell & u tube
2	Heating surface area	1102 m <sup>2</sup>	1186 m <sup>2</sup>	1321 m <sup>2</sup>
3	Number of passes	2	2	2
4	Feed water velocity in tube	1.93 m/s	1.93 m/s	1.93 m/s
5	Tube:			
	Diameter	15,875 mm	15,875 mm	15,875 mm
	Thickness	2,108 mm	2,108 mm	2,108 mm
	Number	1579 (u-tube)	1579 (u-tube)	1579 (u-tube)
	Effective Length	7000 mm	7530 mm	8390 mm
	Material	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel

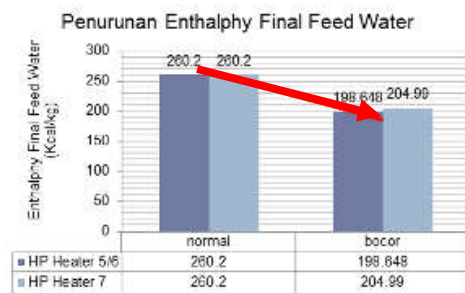
### B. Perbaikan HP Heater

*Out service HP Heater* dalam masa perbaikan akibat kebocoran *tube* mengakibatkan penurunan efisiensi thermal unit yang cukup signifikan. Oleh karena itu perlu diupayakan agar waktu perbaikan *HP Heater* menjadi sesingkat mungkin.

Penurunan *Final Feed Water Temperature* masuk Boiler sebesar 50 °C karena *out service*-nya *HP Heater* mengakibatkan kenaikan panas sebesar 8-10 % dari panas total yang dibutuhkan dalam kondisi normal untuk membangkitkan 400 MW. Semakin lama *HP heater out service* dalam masa perbaikan maka semakin besar kerugian yang dialami unit.

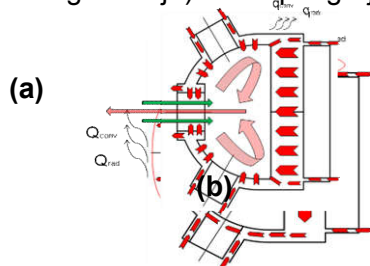


Gbr 5. Dampak *out service HP Heater* terhadap temperatur *Final Feed water*



Gbr 6. Dampak *out service HP Heater* terhadap *enthalphy Final Feed water*

Saat perbaikan *HP Heater*, proses pendinginan secara natural membutuhkan waktu yang lama. Hal ini disebabkan oleh isolasi yang menutup semua permukaan *HP Heater* kecuali *manhole*. Secara praktis perpindahan panas yang paling baik adalah pada daerah sekitar *manhole* walaupun ini terjadi secara natural. Kondisi ini juga ditambah dengan tebalnya material *HP Heater* sehingga energi yang tersimpan didalamnya menjadi besar. Ketika temperatur di dalam *HP Heater* masih tinggi (tidak aman untuk orang bekerja) maka pengerjaan *HP Heater* tidak bisa dilaksanakan.

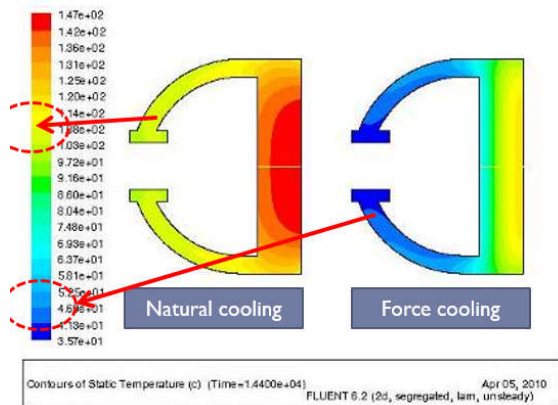


Gbr 7 Skema perpindahan panas (a) secara natural (b) secara paksa

Oleh karena itu dilakukan pengeluaran panas dari dalam *HP Heater* melalui *manhole* menggunakan mekanisme penyedotan menggunakan *air ejector*. Ketika panas yang berada di *HP Heater* dihisap keluar bersama udara maka tekanan di dalam *HP Heater* akan turun. Hal ini mengakibatkan udara dingin dari lingkungan sekitar masuk kedalam *HP Heater* sehingga terjadilah kenaikan koefisien perpindahan panas konveksi yang membuat kenaikan laju perpindahan panas.

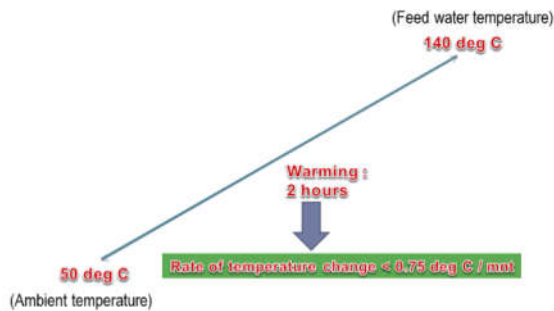
Sisi keamanan menjadi perhatian utama dalam dalam proses pengerjaan HP Heater. Hal ini disebabkan oleh panas yang ada di dalam HP Heater tersebut. Selain itu, pada kenyataan di lapangan sering dijumpai adanya kebocoran katup baik dari sisi air maupun sisi uap pemanas. Hal ini menyebabkan ruangan di dalam HP Heater mengandung uap yang bisa mengganggu pernapasan pekerja. Akan tetapi terjadinya sirkulasi udara di dalam HP Heater akibat hisapan dari *ejector* maka hal tersebut bisa diatasi.

Hasil Simulasi menunjukkan perbandingan yang signifikan dari kondisi distribusi temperatur antara pendinginan natural dan pendinginan menggunakan *ejector*. Setelah digunakan *ejector*, temperatur *HP Heater* sudah cukup rendah dalam waktu 4 jam.



Gbr 8. Distribusi temperatur pendinginan natural dan paksa setelah 4 jam

Pada proses pendinginan secara aktual di lapangan, maka laju pendinginan harus dijaga pada nilai tertentu dan tidak diijinkan untuk melebihi batasan tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya *fatigue failure* pada material *HP Heater*. Berdasarkan SOP *inservice HP Heater* maka laju perubahan temperatur pendinginan tidak boleh melebihi  $0,75^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ .



Gbr 9. Laju perubahan temperatur pendinginan yang diijinkan

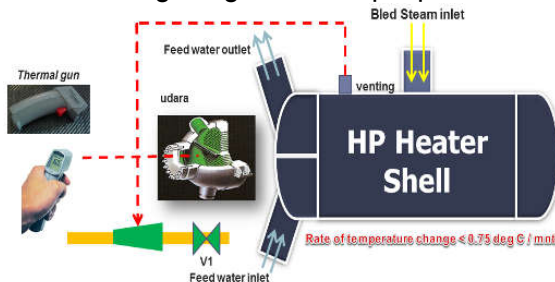


Gbr 10. Perbedaan *Natural Cooling* dan *Forced Cooling* saat perbaikan *HP Heater*

### C. SOP pendinginan *HP Heater*

SOP pendinginan *HP Heater* adalah sebagai berikut:

1. Ukur temperatur *HP Heater* sebelum pendinginan dengan *thermal gun*.
2. Buka katup suplai udara primer *ejector* ( $V_1$ ) sampai tekanan pada *inlet nozzle ejector* menunjuk  $0,25 \text{ kg/cm}^2$ . Operasikan selama 10 menit
3. Jika penurunan temperatur kurang dari  $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , tambah pembukaan katup ( $V_1$ ) sesuaikan dengan penurunan temperatur.
4. Lakukan pengukuran pada temperatur *HP Heater* setelah 10 menit
5. Ulangi langkah 3 sampai penurunan temperatur sesuai dengan yang diharapkan



Gbr 11. Skema proses pendinginan *HP Heater*

### D. Tahapan Pembuatan dan Analisa PORTEJO



Gbr 12. Skema diagram alir pembuatan PORTEJO

#### a. Studi Literatur

Dari studi literatur yang dilakukan maka diketahui beberapa rekomendasi untuk mendesain *Air Ejector* yang optimal, yaitu:

##### - **Primary nozzle exit position**

Posisi *nozzle exit* dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak *nozzle exit* terhadap *inlet mixing chamber* dengan diameter *mixing chamber* ( $L_{gap}/D_m$ ). Posisi yang paling optimal berada pada *range* antara  $0.25-1.5$ . [4]



**- Diameter Ratio Mixer terhadap Throat**

Rasio perbandingan antara *mixer* dengan *throat* ( $D_m/D_t$ ) yang paling optimal berada pada *range* 8-14.[4]

**- Mixer Length**

*Mixer length* dinyatakan sebagai perbandingan antara panjang *mixer* dengan diameter *mixer* ( $L_m/D_m$ ). Optimum pada *range* 8-12.[4]

**- Diffuser Angle**

*Diffuser angle* paling optimum berada pada kisaran 2-6 derajat.[4]

Sudut divergensi *primary nozzle* optimum pada kisaran 10 derajat.[6]

**- Convergence Section**

*Best Convergence Angle* optimum pada kisaran 20-25 derajat (*Mellanby dan Watson*)

**- Throat Section**

Panjang *throat* harus didesain secara proporsional. Cukup panjang untuk membuat profil kecepatan yang *uniform* sebelum memasuki *divergence section*. Kecepatan yang *uniform* mengurangi kehilangan energy pada *divergence section* sehingga menghasilkan *pressure recovery* yang lebih baik.

Optimum *throat length* berada pada kisaran 7 kali diameter *throat*.

Optimal *throat* diameter sensitif terhadap *entrainment ratio*.perubahan kecil pada diameter berpengaruh besar terhadap perubahan *entrainment ratio*.

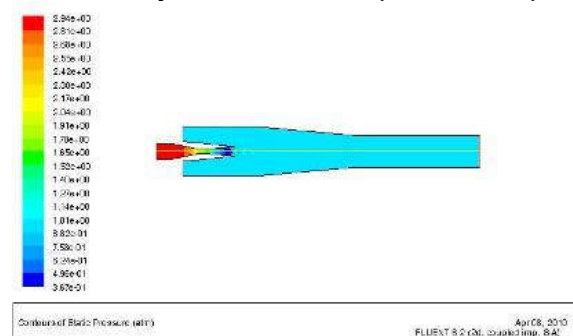
**- Divergen Section**

*Divergen angle* direkomendasikan 4-10 derajat.

*Divergen Length* sekitar 4-8 *throat* diameter.

**b. Simulasi dan Analisa Air Ejector**

Rancangan *ejector* pada penelitian ini adalah untuk memperoleh desain *air ejector* yang memiliki kapasitas yang tinggi dengan *entrainment ratio* yang optimal. Mekanismenya yaitu dengan melakukan percobaan secara virtual menggunakan *software*. Geometri dan *boundary condition* divariasikan untuk memperoleh desain *ejector* yang optimal. Dari hasil simulasi kemudian dilakukan pengambilan data melalui percobaan secara langsung sehingga dapat diketahui hasil riil dari rancangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa air ejector memiliki kapasitas hisapan 1.3972015 kg/s

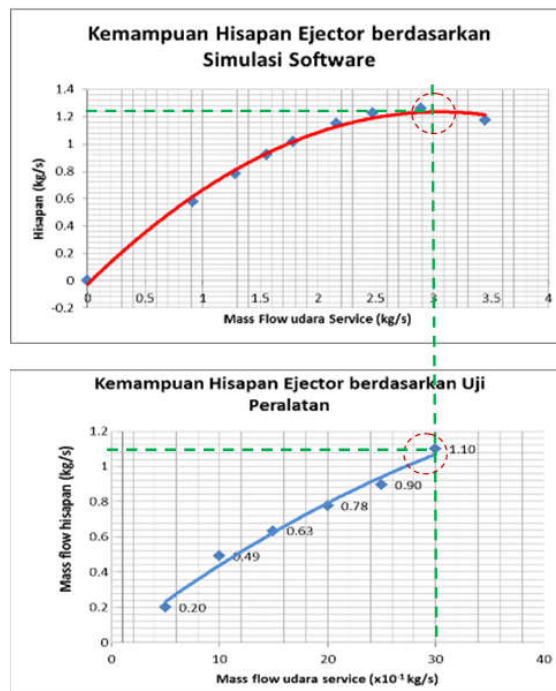


Gbr 13. Visualisasi Static Pressure

c. Pembuatan Prototype dan Pengujian



Gbr 14. Prototype Air Ejector (PORTEJO)

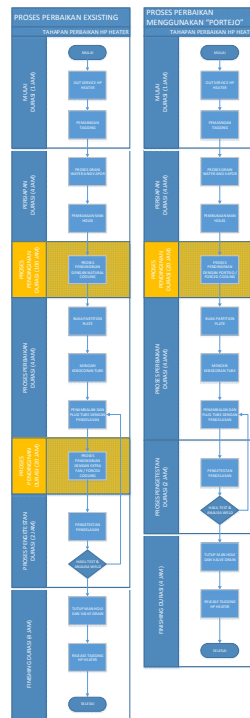


Gbr 15. Komparasi kemampuan hisapan *ejector* berdasar simulasi *software* dan uji peralatan

Dari grafik di atas diketahui kemampuan hisapan berdasar uji *prototype* PORTEJO adalah pada kisaran 1,10 kg/s.

**E. VSM Pemeliharaan HP Heater**

Dari simulasi VSM didapat perbandingan antara metoda pemeliharaan existing dan dibandingkan dengan pemeliharaan dengan menggunakan peralatan PORTEJO sebagai berikut:



## F. Maintainability

Tingkat maintainability yang didapat dalam pemanfaatan metoda lean dalam pemeliharaan HP Heater sbb:

TASK	ACTIVITY	EKSISTING		PORTEJO	
1	MULAI	1	JAM	1	JAM
2	PERSIAPAN	4	JAM	4	JAM
3	PROSES PENDINGINAN	100	JAM	20	JAM
4	PROSES PERBAIKAN	4	JAM	4	JAM
5	PROSES PENDINGINAN	20	JAM	0	JAM
6	PROSES PENGETESTAN	2	JAM	2	JAM
7	FINISHING	4	JAM	4	JAM
	MTTR	135	JAM	35	JAM

MTTR EKSISTING = 135 JAM

MTTR PORTEJO = 35 JAM

Dari analisa pengukuran waktu MTTR, dengan menggunakan peralatan PORTEJO maka waktu pemeliharaan dapat dilakukan lebih cepat 100 jam dari sebelumnya.

## MANFAAT PERCEPATAN PERBAIKAN

### A. MANFAAT FINANSIAL

*Out Service*-nya *HP Heater* mengakibatkan konsumsi bahan bakar menjadi lebih banyak sehingga *heat rate* akan menjadi lebih tinggi. Dengan asumsi:

Nilai kalor batubara: 5000 kcal/kg

Harga batubara: Rp. 800,00

Rata rata waktu pengerjaan yang bisa di hemat: 5 hari

Maka kerugian biaya untuk produksi 400 MW yang bisa dihindari sebesar

Rp 1.366.156.000 ketika *HP Heater* 5 dan 6 *out service* dan  
Rp 1.225.396.000 ketika *HP Heater* 7 yang *out service*.

## B. MANFAAT NON FINANSIAL

Keamanan dan keselamatan kerja personel pada proses pengerjaan *HP Heater* lebih terjaga.

Dari sisi operasional, semakin singkat waktu *outservice HP Heater* maka kerugian akibat penurunan efisiensi unit dapat diminimalkan.

## V KESIMPULAN DAN SARAN

### A. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi dan penelitian ini adalah:

*Out service HP Heater* karena kebocoran tube berpengaruh secara langsung terhadap kenaikan *plant heat rate*

Pendinginan Heater bisa berjalan lebih cepat dengan dilakukannya *force cooling* dengan mengoperasikan air ejector, sehingga mempersingkat waktu *outservice HP Heater*

Dengan mereapkan metoda Lean dalam pemeliharaan dapat menurunkan waktu MTTR yang berdampak pada peningkatan produktivitas.

### B. SARAN

Portabilitas *ejector* memungkinkan peralatan ini untuk di aplikasikan di berbagai peralatan untuk proses pendinginan *heater-heater* sejenis.

*Ejector* mampu menghasilkan efek hisapan sehingga dapat diaplikasikan untuk mengatasi berbagai permasalahan yang berhubungan dengan kevakuman.

Pengoperasian peralatan diharuskan sesuai dengan prosedur untuk menghindari terjadinya *fatigue failure* material *HP Heater* karena laju pendinginan yang melebihi batas yang diijinkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Fox, Robert W and Mc. Donald, Alan T. **Introduction to Fluid Mechanics**, fifth edition, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1998
- [2]. Incropera, Frank P and Dewitt, David P, **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**, fourth edition, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1996.
- [3]. Liao, Chaqing, **Gas Ejector for Design and Analysis**, Doctor of Philosophy, Texas A & M University, USA, 2008
- [4]. Moran, Michael J and Shapiro, Howard N, **Fundamental of Engineering Thermodynamics**, Third edition, John Wiley & Sons, Inc., New York USA, 1995
- [5]. Sriveerakul T, Aphornratana S, and Chunnanond, **Performance Prediction of Steam Ejector Using Computational Fluid Dynamics: Part 2. Flow Structure of a Steam Ejector Influenced by Operating Pressure and Geometri**, Science Direct, Thailand, 2007
- [6]. Watanawavet, Somsak, **Optimization of a High Efficiency Jet Ejector by Computational Fluid Dynamics Software**, Master of Science, Texas A & M University, USA, 2005
- [7]. Liker, J. , **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. McGraw-Hill, 2003.
- [8]. Magorzata Jasiulewicz-Kaczmarek and Anna Saniuk. **How to Make Maintenance Processes More Efficient Using Lean Tools?** Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology