

# Evaluasi Kerja *Nozzle Rig* Pada *Steam Bench* Setelah Perbaikan di Laboratorium Teknik Konversi Energi

Paquita Sarah Amelia<sup>1</sup>, Maridjo<sup>1</sup>, Bambang Puguh Manunggal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

Email : [paquita.sarah.tken20@polban.ac.id](mailto:paquita.sarah.tken20@polban.ac.id); [maridjo@polban.ac.id](mailto:maridjo@polban.ac.id); [bambang.puguh@polban.ac.id](mailto:bambang.puguh@polban.ac.id)

## ABSTRAK

*Nozzle rig* pada bangku uap (*steam bench*) merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi tekanan dari uap menjadi energi kinetik, dimana tekanan akan diubah dari tekanan yang tinggi menjadi tekanan yang lebih rendah. Uap yang mengalir dalam *nozzle* akan menempati tempat disekitarnya dengan cepat, maka dari itu, ekspansi didalam *nozzle* dikatakan adiabatik. Pada Laboratorium Teknik Konversi Energi di Politeknik Negeri Bandung, *nozzle rig* pada *steam bench* tersebut sudah lama tidak digunakan sehingga munculnya indikasi kerusakan pada *nozzle* dan pembacaan tekanan yang tidak akurat. Dengan dilakukannya perbaikan maka kinerja pada *nozzle rig* bisa dilakukan dengan menghitung kecepatan aliran uap, laju aliran massa uap, dan bilangan Reynolds. Penurunan tekanan pada setiap titik probe berbeda-beda tergantung pada berapa tekanan uap yang masuk pada *nozzle*. Nilai perhitungan aktual lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan teoritis dikarenakan adanya *losses* yang terjadi pada saat uap mengalir pada *nozzle*. Kecepatan *nozzle* tertinggi yaitu 4,053 m/s dengan laju aliran massa uap sebesar  $1,5517 \times 10^{-5}$  terdapat pada posisi probe 50 dengan tekanan masuk sebesar 5 bar. Kecepatan *nozzle* terendah yaitu 1,618 m/s dengan laju aliran massa uap sebesar  $8,728 \times 10^{-5}$  terdapat pada posisi *probe* -10 dengan tekanan masuk sebesar 5 bar.

**Kata kunci:** *nozzle*, uap, perbaikan, kinerja, kecepatan, laju aliran massa.

## 1. PENDAHULUAN

Di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung terdapat sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai sarana dan prasarana dalam proses pembelajaran praktikum mata kuliah termodinamika dan perpindahan panas yang terdiri dari boiler, turbin uap, dan bangku uap atau *steam bench*. Laboratorium ini telah ada dan digunakan selama puluhan tahun sehingga tidak menutup kemungkinan bahwa performa pada mesin-mesin tersebut semakin menurun seiring dengan berjalannya waktu[1]. Hal tersebut terjadi pada salah satu unit pada *steam bench* atau bangku uap yaitu *nozzle rig*.

*Nozzle rig* pada bangku uap (*steam bench*) merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi tekanan dari uap menjadi energi kinetik, dimana tekanan akan diubah dari tekanan yang tinggi menjadi tekanan yang lebih rendah. Uap yang mengalir dalam *nozzle* akan menempati tempat disekitarnya dengan cepat, maka dari itu, ekspansi didalam *nozzle* dikatakan adiabatik. Terdapat indikasi kerusakan pada *nozzle* dan pembacaan tekanan yang tidak akurat sehingga proses praktikum yang menjadi terganggu dan pembacaan data yang tidak akurat sehingga perlu diadakannya perbaikan pada alat tersebut.

Artikel ini membahas hasil analisis kinerja *nozzle rig* pada *steam bench* di laboratorium Teknik Konversi Energi agar peralatan tersebut dapat dioperasikan kembali dan dapat digunakan untuk praktikum termodinamika bagi mahasiswa Teknik Konversi Energi tingkat selanjutnya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Steam Bench Pada Sistem PLTU

*Steam Bench* atau bangku uap dirancang untuk membantu mempelajari sifat-sifat termodinamika uap. *Steam Bench* atau bangku uap terdiri dari rentang atau unit yang dapat digunakan secara independen ataupun bersamaan satu sama lain. Pada bagian atas bangku uap, terdapat sambungan untuk setiap unit yang merupakan saluran uap. Sedangkan pada bagian bawah bangku uap terdapat sambungan ke suplai air dan saluran pembuangan.

Modul yang tersedia diantaranya adalah Boiler, peralatan suhu-tekanan, calorimeter, lagging efisiensi, injector rig, condenser rig, steam engine, water treatment unit, steam process plant, steam turbin, superheater dan *nozzle rig*.

### 2.2 Pengertian *Nozzle Rig*

*Nozzle Rig* merupakan suatu alat yang dirancang untuk menaikkan kecepatan dari suatu fluida. *Nozzle rig* pada bangku uap (*steam bench*) merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi tekanan dari uap menjadi energi kinetik, dimana tekanan akan diubah dari tekanan yang tinggi menjadi tekanan yang lebih rendah[2]. Uap yang mengalir dalam *nozzle* akan menempati tempat disekitarnya dengan cepat, maka dari itu, ekspansi didalam *nozzle* dikatakan adiabatik. Dari bentuk *nozzle* dapat diketahui konversi energi dari energi dalam uap menjadi energi kinetik sebagai keluarannya yang mempunyai efisiensi yang cukup besar [3].

**2.3 Teori yang Relevan Untuk Aliran Uap Melalui Nozzle**

- Untuk mencari tekanan absolut (Pabs) [3]

$$p_{abs} = p_{gauge} + p_{atm} \tag{1}$$

dengan:  $p_{abs}$  = Tekanan total [bar]

$p_{gauge}$  = Tekanan di alat ukur [bar]

$p_{atm}$  = Tekanan di atmosfer [bar]

- Untuk mencari kecepatan uap yang keluar ( $v_2$ ) [m/s] [4]

$$v_2 = \sqrt{2g \cdot \frac{n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} \tag{2}$$

Dimana :  $g$  = Percepatan gravitasi [9,8 m/s<sup>2</sup>]

$p_1$  = Tekanan Uap masuk [bar]

$p_2$  = Tekanan Uap keluar [bar]

$v_1$  = Volume Spesifik uap Tekanan  $P_1$  [m<sup>3</sup>/kg]

Untuk uap campur :

$$V_1 = v_f + (x \cdot v_{fg}) \tag{3}$$

$n$  = nilai saturated steam (1,13)

- Untuk mencari laju aliran massa uap secara teoritis ( $\dot{m}$ ) [kg/s] [5]

$$\dot{m} = \frac{A \cdot v}{v} \tag{4}$$

Dimana:  $A$  = Luas penampang nozzle [m<sup>2</sup>]

Untuk luas penampang lingkaran[6] :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \tag{5}$$

$v$  = Kecepatan uap [m/s]

$v$  = Volume spesifik [m<sup>3</sup>/kg]

- Untuk mencari laju aliran massa uap secara aktual ( $\dot{m}$ ) [kg/s]

$$\dot{m} = \frac{Q}{v} \tag{6}$$

Dimana:  $Q$  = Debit [m<sup>3</sup>/s]

$v$  = Volume spesifik [m<sup>3</sup>/kg]

- Untuk mencari kecepatan uap yang masuk ( $v_1$ ) [m/s] [6]

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{A_2 v_1}{A_1 v_2} \tag{7}$$

Dimana:  $v_2$  = Kecepatan uap keluar dari nozzle [m/s]

$A_2$  = Luas Penampang keluar nozzle [m<sup>2</sup>]

$A_1$  = Luas Penampang masuk nozzle

[m<sup>2</sup>]

$v_1$  = Volume spesifik uap pada  $P_1$  [m<sup>3</sup>/kg]

$v_2$  = Volume spesifik uap pada  $P_2$  [m<sup>3</sup>/kg]

- Untuk mencari bilangan Reynolds (mengetahui jenis aliran)

$$Re = \frac{\rho \bar{v} \bar{d}}{\mu} \tag{8}$$

Dimana :  $\rho$  = Massa jenis uap [kg/m<sup>3</sup>]

$\bar{v}$  = Kecepatan rata-rata uap mengalir [m/s]

$\bar{d}$  = Disameter rata-rata nozzle [m]

$\mu$  = Viskositas dinamik uap [kg/m.s]

**2.4 Detail Peralatan Nozzle Rig**

Peralatan Nozzle dan Nozzle Rig pada Steam Bench yang ada di laboratorium Teknik Konversi Energi Polban, dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

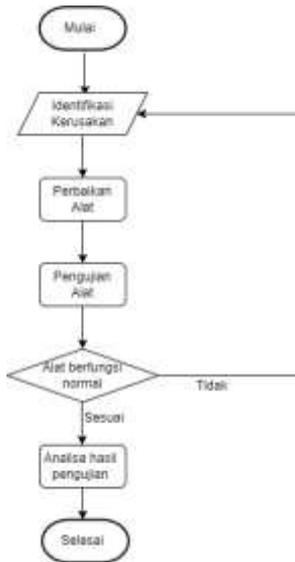


Gambar 1 Nozzle Rig Pada Steam Bench



Gambar 2 Nozzle





Gambar 6 Skema Diagram Alur Perbaikan

Pada perbaikan nozzle rig diperlukan beberapa alat diantaranya adalah Kunci Pas, Kunci Ring, Adjustable Wrench (Kunci Inggris), Obeng, Sikat Kawat, Jarum, Termometer beserta termokopel tipe-K. Kemudian dibutuhkan bahan habis pakai berupa Chemical Cleaning, Semprotan WD, Amplas, Packing Gasket, Seal Tape, Segelas Air Panas

Proses Perbaikan pada *nozzle rig*, melewati beberapa tahapan diantaranya yaitu pembongkaran peti uap, *probe nozzle*, pipa-pipa, dan *dial temperature*. Peralatan tersebut lalu dibersihkan dan dilakukan perbaikan pada *probe nozzle* dan kalibrasi pada *dial temperature*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa variable tekanan masuk. Berikut data hasil pengujian *nozzle rig* :

Tabel 1 Data hasil pengujian (Tekanan masuk 5 bar)

Posisi Probe	Tekanan Pasukan Uap (p. Mas)	Temperatur	Throttling	Uap Masuk		Uap Keluar		Tekanan Nozzle (bar)	Tekanan Ekonomis (bar)	Waktu (detik)
				p. (bar)	T. (°C)	p. (bar)	T. (°C)			
10	5.0	81	0.1	4.5	1.47	4	1.47	5.8	480	100
5	5.0	81	0.1	4.5	1.47	3.3	1.47	5.8	700	200
20	5.0	81	0.1	4.5	1.47	3.8	1.47	5.8	480	120
30	5.0	81	0.1	4.5	1.47	3.8	1.47	5.8	480	100
40	5.0	81	0.1	4.5	1.47	3.7	1.48	5.7	480	80
50	5.0	81	0.1	4.5	1.48	3.3	1.48	5.7	190	90
60	5.0	81	0.1	4.5	1.48	2	1.48	5.8	180	90
70	5.0	81	0.1	4.5	1.48	1.9	1.48	5.8	180	90
80	5.0	81	0.1	4.3	1.48	1.7	1.48	5.7	180	90

Tabel 3 Data hasil pengujian (Tekanan masuk 4 bar)

Posisi Probe	Tekanan Pasukan Uap (p. Mas)	Temperatur	Throttling	Uap Masuk		Uap Keluar		Tekanan Nozzle (bar)	Tekanan Ekonomis (bar)	Waktu (detik)
				p. (bar)	T. (°C)	p. (bar)	T. (°C)			
10	4.0	81	0.1	4	1.48	3.7	1.48	5.3	480	240
5	4.0	81	0.1	4	1.48	3.3	1.48	5	480	180
20	4.0	81	0.1	4	1.48	3.7	1.48	5.3	480	100
30	4.0	81	0.1	4	1.48	3.6	1.48	5.3	480	87
40	4.0	81	0.1	4	1.48	3.1	1.48	5.8	480	80
50	4.0	81	0.1	4	1.51	2	1.51	5.8	180	90
60	4.0	81	0.1	4	1.44	1.8	1.44	5.8	180	82
70	4.0	81	0.1	4	1.44	1.7	1.44	5.8	180	85
80	4.0	81	0.1	4	1.44	1.5	1.43	5.7	180	87
90	4.0	81	0.1	4	1.44	1	1.43	5.8	180	100

#### 4. ANALISIS

##### 4.1 Hasil Perhitungan Aktual

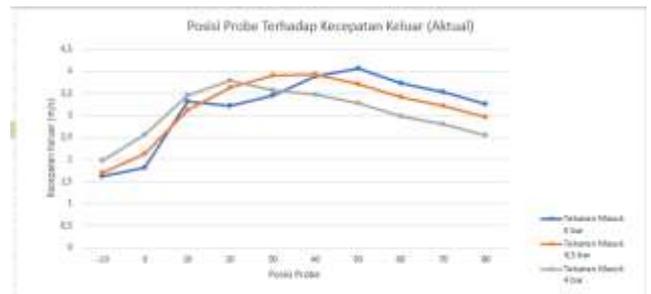
- Laju Aliran Massa Uap



Gambar 7 Grafik posisi probe terhadap laju aliran massa uap (aktual)

Pada gambar diatas , terlihat bahwa laju aliran massa uap pada setiap posisi probe memiliki nilai yang berbeda beda bergantung pada berapa tekanan uap yang masuk. Pada posisi probe 10, mengalami nilai perbedaan yang cukup tinggi dari posisi sebelumnya, hal tersebut menandakan bahwa pada posisi tersebut merupakan tempat kritis pada nozzle. Grafik mengalami penurunan pada posisi probe 50, yang artinya itu merupakan batas dari kemampuan nozzle rig tersebut.

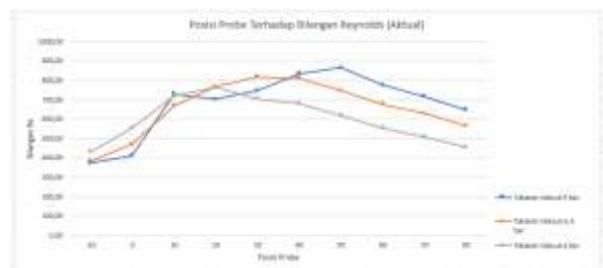
- Kecepatan Aliran Uap Keluar



Gambar 8 Posisi probe terhadap kecepatan keluar (Aktual)

Pada gambar diatas terlihat bahwa kecepatan keluar paling rendah terdapat pada saat posisi probe adalah -10. Kecepatan aliran keluar mulai mengalami kenaikan yang drastis pada saat posisi probe 10 yang artinya titik tersebut merupakan titik tekanan kritis bagi nozzle. Nozzle mulai mengalami penurunan pada saat posisi probe 50 dimana titik tersebut merupakan titik maksimum untuk kinerja nozzle tersebut.

- Bilangan Reynolds Perhitungan Aktual

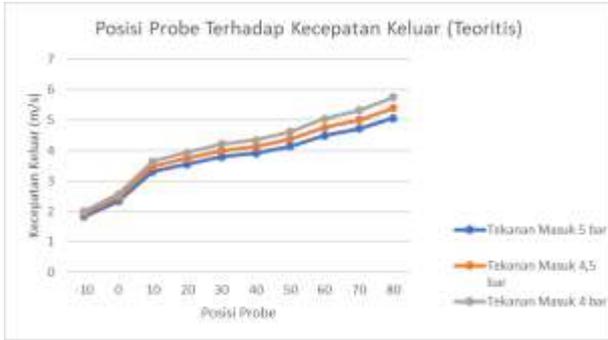


Gambar 9 Grafik posisi probe terhadap bilangan reynolds (Aktual)

Pada grafik diatas terlihat bahwa bilangan Reynolds dari posisi probe -10 sampai posisi probe 80, memiliki nilai yang berada di bawah 2000 , maka dapat disimpulkan bahwa jenis aliran uap yang mengalir pada nozzle adalah laminar.

4.2 Hasil Perhitungan Teoritis

- Kecepatan Aliran Uap Keluar



Gambar 10 Grafik posisi probe terhadap kecepatan keluar (Teoritis)

Pada gambar diatas, terlihat bahwa hubungan antara posisi probe dengan kecepatan keluar yang berbanding lurus, dimana jika posisi probe semakin besar, maka kecepatan yang keluar akan semakin tinggi

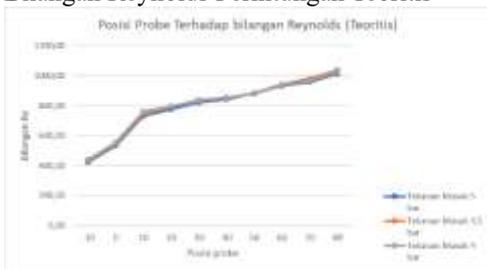
- Laju Aliran Massa Uap



Gambar 11 Grafik posisi probe terhadap laju aliran massa uap (Teoritis)

Pada gambar 11 terlihat untuk laju aliran massa uap mengalami kenaikan yang pesat pada saat posisi probe 10, hal ini menandakan bahwa pada posisi probe 10 memiliki diameter yang paling kecil. Setelah melewati posisi probe 10, laju aliran massa uap mengaami kenaikan tetapi sangat kecil.

- Bilangan Reynolds Perhitungan Teoritis



Gambar 12 Grafik posisi probe terhadap bilangan Reynolds (Teoritis)

Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa semakin besar posisi probe maka bilangan Reynolds nya pun akan semakin besar. Pada posisi probe -10 sampai posisi probe 80 bilangan Reynolds memiliki nilai dibawah 2000 sehingga aliran dapat dikatakan laminar.

4.3 Perbandingan Perhitungan Aktual dan Teoritis

Tabel 4 perhitungan perbandingan selisih aktual dan teoritis (Tekanan masuk 5 bar)

Posisi Probe	Tekanan Masuk 5 bar										
	5a			5b			5c				
	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi		
10	8,224E-05	5,500E-05	0,138	8,77E-05	6,25E-05	1,899	1,82E-05	1,11E-05	1,71E-05	1,42E-05	0,835
20	1,289E-04	1,215E-04	0,228	8,81E-05	1,75E-05	2,228	1,98E-05	2,24E-05	1,13E-05	1,14E-05	0,228
30	1,480E-04	1,475E-04	0,981	8,98E-05	3,45E-05	2,581	3,50E-05	3,60E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,981
40	1,681E-04	1,521E-04	0,901	8,81E-05	1,01E-05	1,209	1,51E-05	8,00E-06	1,02E-05	1,01E-05	0,981
50	1,418E-04	1,567E-04	0,900	8,98E-05	1,05E-05	1,448	2,70E-05	1,65E-05	1,61E-05	1,61E-05	0,980
60	1,561E-04	1,515E-04	0,968	1,05E-05	1,00E-05	1,051	3,56E-05	1,00E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,968
70	1,511E-04	1,515E-04	0,921	1,05E-05	1,02E-05	1,021	4,15E-05	1,02E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,921
80	1,127E-04	1,560E-04	0,146	8,87E-05	1,05E-05	0,188	1,70E-05	4,48E-05	1,00E-05	1,01E-05	0,188
90	1,181E-04	1,567E-04	0,221	8,78E-05	1,00E-05	0,221	1,51E-05	6,71E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,221
99	8,986E-05	1,559E-04	0,269	8,86E-05	1,00E-05	0,399	1,24E-05	5,06E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,399

Tabel 5 perhitungan perbandingan selisih aktual dan teoritis (Tekanan masuk 4,5 bar)

Posisi Probe	Tekanan Masuk 4,5 bar										
	4a			4b			4c				
	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi		
10	8,136E-05	5,500E-05	0,138	8,61E-05	6,03E-05	1,899	1,81E-05	1,11E-05	1,61E-05	1,42E-05	0,835
20	8,570E-05	1,149E-04	0,138	9,71E-05	1,01E-05	1,121	2,45E-05	1,13E-05	2,45E-05	1,13E-05	0,835
30	1,271E-04	1,461E-04	0,184	9,80E-05	1,01E-05	1,159	3,47E-05	1,00E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,184
40	1,173E-04	1,411E-04	0,011	1,00E-05	1,01E-05	0,011	1,82E-05	1,74E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,011
50	1,409E-04	1,455E-04	0,021	1,02E-05	1,05E-05	1,00E-05	3,00E-05	1,13E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,021
60	1,390E-04	1,457E-04	0,048	1,01E-05	1,05E-05	0,048	3,00E-05	1,13E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,048
70	1,249E-04	1,460E-04	0,174	1,00E-05	1,05E-05	1,171	3,17E-05	1,13E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,174
80	1,590E-04	1,461E-04	0,281	9,78E-05	1,00E-05	0,281	1,48E-05	1,13E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,281
90	1,140E-04	1,462E-04	0,371	9,68E-05	1,00E-05	0,371	1,20E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,371
99	7,699E-05	1,463E-04	0,411	9,74E-05	1,01E-05	0,411	1,00E-05	1,00E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,411

Tabel 6 perhitungan perbandingan selisih aktual dan teoritis (Tekanan masuk 4 bar)

Posisi Probe	Tekanan Masuk 4 bar										
	4a			4b			4c				
	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi	Aktual	Teoritis	Perbandingan Substansi		
10	8,884E-05	9,702E-05	0,916	8,80E-05	9,70E-05	0,916	1,89E-05	2,01E-05	0,916	1,02E-05	0,916
20	1,077E-04	1,105E-04	0,981	8,81E-05	1,01E-05	1,247	2,48E-05	1,00E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,981
30	1,249E-04	1,240E-04	0,959	8,87E-05	1,01E-05	1,081	3,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,959
40	1,184E-04	1,103E-04	0,981	8,88E-05	1,01E-05	1,011	3,71E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,981
50	1,127E-04	1,242E-04	0,194	8,88E-05	1,01E-05	1,76E-05	4,21E-05	1,13E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,194
60	1,060E-04	1,192E-04	0,284	8,81E-05	1,01E-05	0,284	1,48E-05	1,13E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,284
70	8,177E-05	1,103E-04	0,289	8,78E-05	1,00E-05	0,289	1,26E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,289
80	1,181E-04	1,101E-04	0,888	8,88E-05	1,02E-05	0,888	2,00E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,888
90	8,884E-05	1,101E-04	0,771	8,72E-05	1,00E-05	0,771	1,81E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,771
99	7,174E-05	1,102E-04	0,397	8,42E-05	1,00E-05	0,397	1,54E-05	1,01E-05	1,01E-05	1,01E-05	0,397

Perhitungan aktual lebih rendah daripada perhitungan teoritis, dikarenakan terdapat losses dari peralatan nozzle rig yang tidak dapat diperhitungkan. Perbandingan selisih antara nilai aktual dan teoritis rata – rata memiliki nilai yang kecil , artinya perbaikan sudah dapat dikatakan berhasil karena nilai aktual sudah hampir mendekati nilai teoritis.

5. KESIMPULAN

Dari perbaikan dan analisis yang sudah di lakukan, maka kesimpulan yang bisa diambil diantaranya :

- Nozzle rig pada steam bench di Laboratorium Teknik Konversi Energi berhasil melewati tahap perbaikan yaitu dengan dilakukan pembongkaran, pembersihan, dan perbaikan. Penyebab kerusakan utama pada nozzle rig adalah probe nozzle yang tersumbat oleh kotoran dan karat yang sudah lama tidak dibersihkan dan pembacaan dial temperatur yang tidak sesuai sehingga perlu dilakukan kalibrasi.
- Berdasarkan perhitungan aktual dan teoritis didapatkan nilai aktual lebih kecil dibandingkan nilai teoritis dikarenakan adanya losses yang disebabkan oleh gesekan antara uap dengan nozzle. Selisih perbandingan nilai aktual dan teoritis terdapat pada kecepatan aliran uap , laju aliran massa uap , dan bilangan Reynolds memiliki nilai dibawah 2000. Kecepatan nozzle tertinggi yaitu

4,053 m/s dengan laju aliran massa uap sebesar  $1,5517 \times 10^{-5}$  terdapat pada posisi probe 50 dengan tekanan masuk sebesar 5 bar. Kecepatan *nozzle* terendah yaitu 1,618 m/s dengan laju aliran massa uap sebesar  $8,728 \times 10^{-5}$  terdapat pada posisi *probe* -10 dengan tekanan masuk sebesar 5 bar.

## 6. SARAN

Adapun saran yang diajukan oleh penulis yaitu :

1. *Nozzle rig* pada steam bench di Laboratorium Teknik Konversi Energi seharusnya dilakukan perawatan rutin terutama pada bagian *probe nozzle* yang mudah tersumbat oleh kotoran/kerak agar kinerjanya tetap terjaga dan tidak cepat rusak sehingga dapat dipakai praktikum secara berkala oleh mahasiswa Teknik Konversi Energi.
2. Mengganti *dial temperature* dari analog menjadi digital pada *nozzle rig* agar pembacaan data temperature lebih akurat dan teliti sehingga dapat dilakukan perhitungan dengan hasil yang lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Margono. (2006). *Management Pemeliharaan dan Perawatan Mesin*. Universitas Muhammadiyah Semarang.
- [2] Aprilyanty, Widya. (2021). *Pengujian Nozzle Rig*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [3] Febrianto, Ficky., dkk. (2017). *Makalah Termodinamika*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [4] Parawangsa, Rachmat. (2021). *Pengujian Nozzle Rig*.
- [5] Mustofa, B., Fathuddin Noor., dan Indro Wicaksono. (2020). *Pengaruh Variasi Tekanan Kerja Fluida dan Variasi Diameter Lubang Nozzle Terhadap Karakteristik Semprotan Pada Ujung Nozzle*. Universitas Panca Marga Probolinggo.
- [6] Heriyani, Oktarina., dkk. (2016). *Pengaruh Variasi Ukuran Diameter Nozzle Terhadap Daya dan Efisiensi Kincir air Sudu Datar*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [7] Kosasih, E., Mahpudi Baisir. (2008). *Pengujian Throttling Process Untuk Konservasi Energi*. Universitas Indonesia.