

# ANALISIS PERFORMANCE RECIPROCATING PUMP HT 400 SETELAH MAINTENANCE

Nafsan Upara <sup>1\*</sup>, Harno <sup>2</sup>

<sup>\*</sup> Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Pancasila, Jakarta

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Pancasila, Jakarta

**ABSTRAK.** Pompa *reciprocating* jenis *Horizontal Triplex* 400 akan berkurang kinerjanya sejalan dengan banyaknya pemakaian pompa tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja pompa setelah *maintenance*. metode yang di lakukan ialah metode analisis deskriptif yaitu membandingkan data teoritis spesifikasi pompa dengan data aktual setelah *maintenance*. Aspek yang di teliti meliputi efisiensi Volumetrik, efisiensi Tekanan dan juga besarnya *Hydraulic horse power* yg di dihasilkan . Dari hasil penelitian ini didapat efisiensi volumetrik terbesar yaitu 81,6302 % pada putaran 2112 rpm dan tekanan/*pressure* 43,4369 MPa. dan adapun efisiensi Tekanan terbesar adalah 99,8684 % pada *flow rate* 0,5564 m<sup>3</sup>/menit dan putaran 1410 rpm. sedangkan *Hydraulic horse power* terbesar di peroleh 0,7616 kW pada tekanan 43,4369 MPa, *flow rate* 0,5564 m<sup>3</sup>/menit, dan pada putaran 2115 rpm. Dari hasil penelitian ini di harapkan adanya suatu sistem pengoperasian pompa yang lebih baik lagi agar kinerja pompa tetap terjaga sehingga umur pakai pompa lebih lama.

**Kata kunci :** Pompa *Reciprocating*, *Horizontal Triplex* -400, *performance*,

## PENDAHULUAN

Perusahaan XYZ merupakan salah satu perusahaan jasa perminyakan dan gas bumi yang melakukan pekerjaan perawatan sumur, pekerjaan tersebut di antaranya membawa fluida ke dalam sumur, melakukan pengelasan kebocoran dan pembersihan[1]. Pekerjaan tersebut menggunakan pompa *reciprocating* untuk mengerjakan *mud*, *cementing*, *perforasi*, dan lainnya. Pompa ini memompakan fluida yang berbahaya (bahan kimia) maupun yang tidak berbahaya kedalam sumur minyak. Salah satu pompa yang menjadi andalan perusahaan XYZ adalah HT-400 singkatan dari *Horizontal Triplex 400*. Pompa ini di sebut juga *High Pressure Pump* karena tekanan yang di dihasilkan bisa mencapai 1379 bar (20.000 *psi*). Pemilihan pompa *Reciprocating* yang selama ini di lakukan ada *problem* pemompaan, pemilihan awal berdasarkan kepada spesifikasi *flow chart* pemompaan yang terdapat pada pompa *Reciprocating*. Namun kenyataannya dalam operasional Volume hasil pemompaan ada perbedaan dengan spesifikasinya, apalagi setelah dilakukan perawatan (*maintenance*) dimana ada penggantian beberapa *part* atau komponen dari pompa tersebut, perbedaan ini sangat berpengaruh terhadap operasi pemompaan yang harus memenuhi keinginan pelanggan (*client*) apalagi kegiatan tersebut dilakukan pada sumur minyak dan gas yang harus dirawat dimana waktu terhenti sumur dibatasi supaya produksi tidak terlalu menurun. Untuk itu penelitian ini di fokuskan dengan menguji dan menganalisis *performance Reciprocating pump* setelah dilakukan *maintenance* terhadap pompa tersebut.

Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

- Menganalisis efisiensi *volumetric* dan tekanan pompa berdasarkan data aktual dengan teoritis setelah perawatan pompa.
- Menganalisis besarnya *Hydraulic Horse Power* ( HHP ) yang dihasilkan setelah perawatan pompa.

Adapun cakupan dalam penelitian ini adalah :

- untuk mengetahui hasil setelah perawatan pompa berdasarkan efisiensi *flow rate* dan *pressure* di capai secara aktual pemompaan dibandingkan teoritis spesifikasi.
- Untuk mengetahui besarnya *Hydraulic Horse Power* ( HHP ) yang dihasilkan oleh pompa.

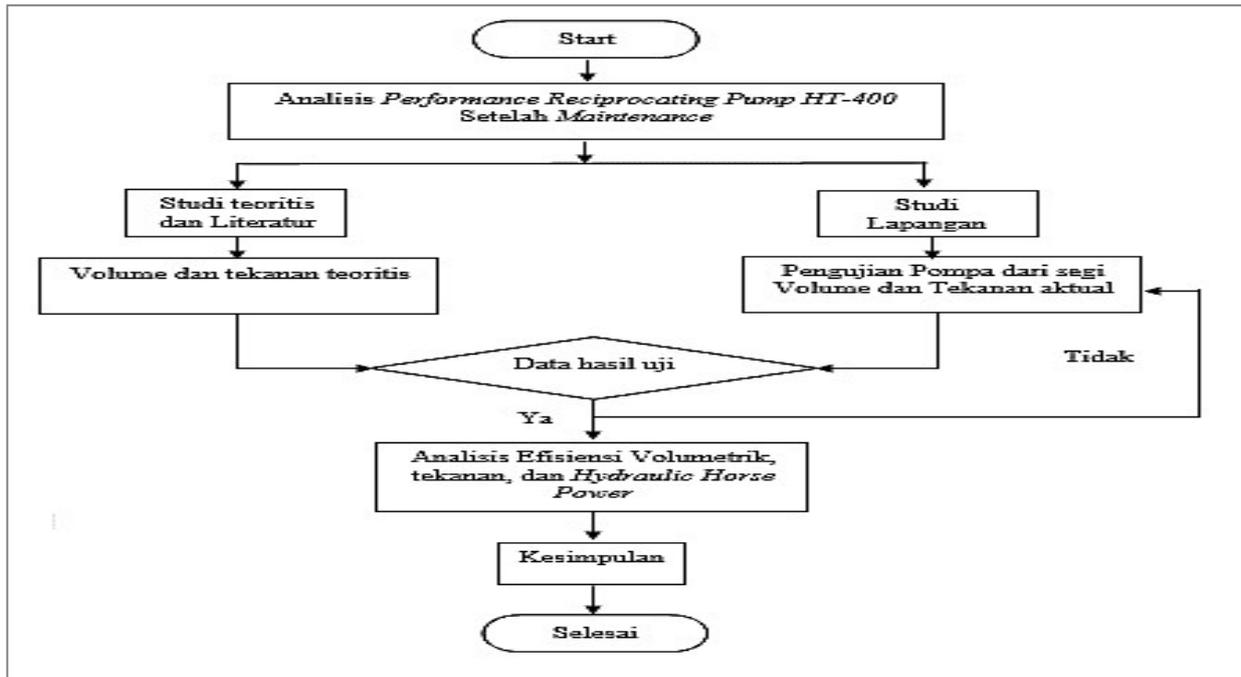
Namun penelitian ini tidak mencakup perhitungan kerugian head pompa, dan jenis fluida yang di gunakan dalam penelitian adalah air bersih.

## METODE

Langkah-Langkah Penelitian yang dilakukan di susun dengan diagram alir penelitian sebagai berikut :

---

\**Corresponding Author* : uparanafsan@gmail.com



Gambar 21- Diagram alir penelitian

1. *Studi Teoritis dan Literatur*

Adalah mempelajari literatur-literatur yang di gunakan dalam penelitian ini antara lain dari jurnal, *text book*, *handbook* dan *manual operation* pompa.

2. *Studi lapangan atau Observasi*

Adalah kegiatan untuk mengambil data spesifikasi pompa dan juga data hasil pengujian pompa HT 400 Untuk kemudian menganalisisnya, terlebih dahulu kita lakukan identifikasi kerusakan dari pompa tersebut.

3. *Analisis*

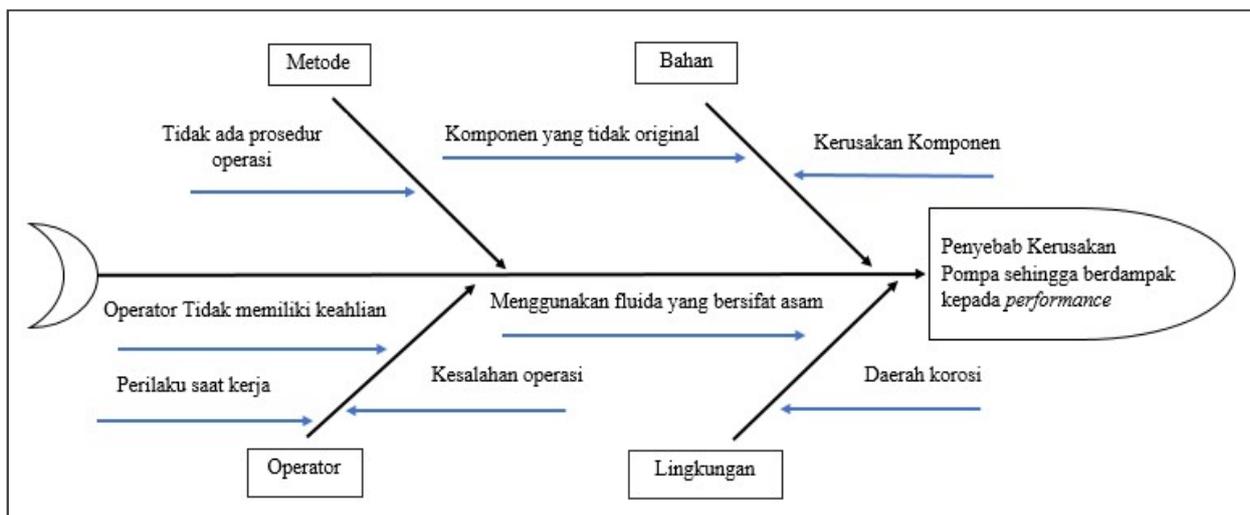
Dari hasil pengujian di lakukan analisis terhadap spesifikasi pompa *reciprocating* HT- 400 untuk mengetahui kondisi pompa setelah perawatan ( *maintenance* ). Kemudian disusun suatu operasi pompa yang baru yang laik operasi yang digunakan pada operasi dilapangan.

4. *Kesimpulan*

Hasil dari pengujian yang di lakukan terhadap pompa tersebut kemudian di buatlah kesimpulan dan saran.

Identifikasi Kerusakan Pompa

Untuk mengetahui kerusakan pompa *reciprocating* yang berdampak pada *performance* pompa, maka di buatkan diagram tulang ikan ( *Fish Bone Diagram* ), sebagaimana diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 22- Fish Bone Cause and Effect Diagram

Dari diagram tulang ikan di atas dibuatkan daftar penyebab kerusakan pompa *reciprocating* seperti diperlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3- Daftar kerusakan pompa

No	Penyebab kerusakan
1	Kerusakan Komponen
2	Komponen yang tidak original
3	Menggunakan Fluida yang bersifat asam
4	Daerah korosi
5	Kesalahan Operasi
6	Tidak ada prosedur operasi
7	Perilaku operator saat kerja

Dari daftar kerusakan pompa tersebut dibuatkan kuesioner untuk mengetahui penyebab kerusakan pompa yang paling dominan dan didistribusikan kepada sejumlah karyawan dan operator dan hasilnya seperti diperlihatkan pada tabel di bawah ini :

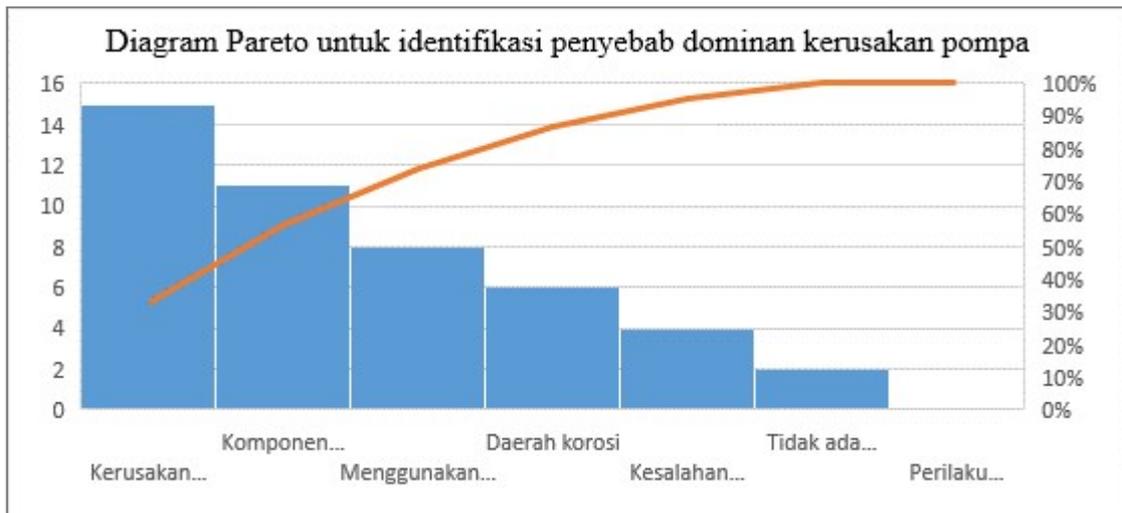
Tabel 4- Hasil kuesioner penyebab kerusakan pompa yang paling dominan

No	Pertanyaan	Jumlah Koresponden	Prosentase ( % )
1	Kerusakan Komponen	15	32,6
2	Komponen yang tidak original	6	13
3	Menggunakan Fluida yang bersifat asam	11	23,9
4	Daerah korosi	8	17,3
5	Kesalahan Operasi	0	0
6	Tidak ada prosedur operasi	2	4,3
7	Perilaku operator saat kerja	4	8,6
	Total	46	99,7

Kemudian dari hasil kuesioner yang telah di distribusikan ke sejumlah karyawan dan operator tersebut maka didapatkan data yang nanti akan dimasukkan ke diagram pareto seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5- Data hasil kuesioner untuk diagram pareto

No	Pertanyaan	Jumlah koresponden	Sort Jumlah	Presentase ( % )	Com Presentase ( % )
1	Kerusakan Komponen	15	15	32,6	33
2	Komponen yang tidak original	6	11	23,9	57
3	Menggunakan Fluida yang bersifat asam	11	8	17,3	74
4	Daerah korosi	8	6	13	87
5	Kesalahan Operasi	0	4	8,6	95
6	Tidak ada prosedur operasi	2	2	4,3	100
7	Perilaku operator saat kerja	4	0	0	100
	<b>Total</b>	<b>46</b>			



Gambar 23- Diagram pareto identifikasi penyebab dominan kerusakan pompa

Dari diagram Pareto di atas Faktor dominan sebagai penyebab kerusakan pompa *reciprocating* dapat di urutkan sebagai berikut :

1. Bahan ( Kerusakan komponen ) sebesar 32,6 %
2. Lingkungan ( menggunakan Fluida yang bersifat asam ) sebesar 23,9 %
3. Lingkungan ( Daerah Korosi ) sebesar 17,3 %
4. Bahan ( Komponen yang tidak original ) sebesar 13 %
5. Personal ( Perilaku saat Kerja ) sebesar 8,6 %
6. Tidak ada prosedur operasi sebesar 4,3 %

#### Perbaikan Pompa

Faktor penyebab kerusakan atau berkurangnya kinerja pompa yang paling dominan ialah dari komponen, seperti yang terlihat dalam diagram pareto di atas. Faktor kerusakan komponen dengan prosentase sebesar 32,6 % yaitu dari Plunger atau piston dan ring piston. Maka dari itu perlu dilakukan perawatan terhadap pompa dengan cara mengganti komponen yang rusak, yaitu mengganti plunger atau piston dan ring pistonnya, di ganti dengan yang baru dan original.

#### Prosedur Pengujian Pompa *Reciprocating*

Pengujian pompa setelah di lakukan *maintenance* adalah untuk mengetahui kinerja pompa tersebut.yaitu mengetahui kemampuan aliran pemompaan saat ini di bandingkan spesifikasi .Pengujian pompa *reciprocating* tersebut di lakukan terdiri dari pengujian kemampuan alir dan pengujian tekanan lainnya yang membutuhkan prosedur pengukuran yang berbeda-beda. untuk pengujian ini akan menggunakan *power pack* yang menggerakkan pompa *reciprocating* melalui motor hidrolik yang di transmisikan ke poros pompa.

Berikut ini prosedur pengujian Pompa HT-400 terkait dengan sistem yang digunakan, adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Semua perlengkapan dalam keadaan layak dan siap digunakan.
2. Nyalakan *power pack* terlebih dahulu selama kurang lebih 15 menit
3. Kemudian hubungkan unit *power pack* dengan pompa *reciprocating* dengan koneksinya sebagai berikut : - *Power pack* – Transmisi roda gigi – *Pompa reciprocating*.
4. Pastikan hidrolik mengalir melalui *hose* yang ada dengan menyetting *relief valve* pada kondisi tekanan ringan, serta tidak ada kebocoran.
5. Cek untuk koneksi *suction ( inlet )* dan *discharge ( outlet )* dalam keadaan terbuka.
6. Seting perlahan – lahan *relief valve* sehingga hidrolik mengalir menuju pompa STAFA motor yang kemudian menggerakkan pompa.
7. Pompa *Reciprocating* mulai berputar dan menggerakkan plunger sehingga terjadi proses hisap tekan pada ruang *fluid end*. Sebelum proses pengukuran jalankan putaran pompa selama 30 menit.
8. Seting putaran *engine power pack* pada kecepatan 1900 Rpm.
9. Pengujian dilakukan dengan waktu sebagai ukuran utama yang berselang tiap 5 menit selama 6 kali,pengukuran yang dilaksanakan adalah:
  - a. Jumlah volume campuran air dan bahan kimia atau lumpur ( *Slurry rate* )

- b. Tekanan Aliran
  - c. *Hydraulic horse power*
  - d. Temperatur Air dan oli
10. Setelah 15 menit seting putaran pompa sesuai dengan yang di harapkan dengan cara memperkecil atau memperbesar aliran hidrolik menuju STAFa motor (*driver*).
  11. Kemudian dilakukan tahap penutupan secara perlahan – lahan pada saluran *discharge* yang terhubung dengan *ball valve*.
  12. Selama dalam keadaan pengujian pengecekan dilakukan pada semua bagian yang terdapat fluida bertekanan di dalamnya dan memastikan tidak ada kebocoran sedikitpun.
  13. Setelah *holding pressure* selama batas waktu yang ditentukan maka tekanan dilepas secara perlahan dengan membuka *ball valve*.
  14. Setelah proses pengujian selesai, tutup secara perlahan – lahan aliran hidrolik dari *power pack* menuju STAFa motor , hingga motor tersebut tidak berputar. kurangi kecepatan putaran *engine* pada *power pack*.
  15. Matikan *power pack*

Dari hasil pengamatan selama pengujian, tidak ditemukan adanya kebocoran, penurunan tekanan, kerusakan atau keanehan lainnya pada bagian pompa tersebut. Sehingga untuk tahap pengujian tekanan tidak diperlukan analisa lebih lanjut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian

Hasil pengujian pompa *reciprocating* diperlihatkan pada tabel 4 di bawah ini :

Tabel 6- Data hasil pengujian pompa

No	waktu	Putaran (rpm)	Flow Rate (m <sup>3</sup> /min)	Treating Pressure ( MPa )	Hidraulic Horse Power ( kW )	Engine water Temperature ( ° C )	Transmission Oil Temperature ( ° C )
1	13.55	1410	0,5564	26,2	260,995	79,4444	80
2	14.00	1900	0,6359	37,9211	410,1349	86,1111	80,5556
3	14.05	2112	0,6359	43,4369	484,705	87,7778	81,1111
4	14.10	2115	0,7154	43,4369	521,99	87,7778	82,2222
5	14.15	1100	0	1,3789	37,285	79,4444	82,2222
6	14.20	780	0	0,6894	7,457	79,4444	81,1111

### A. Pengolahan Data dan Perhitungan

Dari hasil pengujian terhadap pompa *reciprocating* HT-400 ini, maka yang dapat diperhitungkan adalah hal-hal sebagai berikut :

1. Efisiensi *Volumetric* ( debit )

Perhitungan diambil dari *flow rate* teoritis dan hasil pengujian aktual. Tabel 5 diperlihatkan data *flow rate* teoritis dan hasil pengujian aktual dengan berbeda putaran.

Tabel 7- *Flow rate* teoritis vs Aktual berdasarkan putaran

Kecepatan Putar (rpm)	<i>Flow rate</i> ( m <sup>3</sup> /menit )	
	Teoritis	Aktual
1410	0,8108	0,5564
1900	1,2401	0,6359
2112	0,7790	0,6359

2115	0,9221	0,7154
1100	0	0
780	0	0

Efisiensi *volumetric* nya dapat dihitung dengan rumus:

$$\eta_v = \frac{\text{Flow rate aktual}}{\text{Flow rate teoritis}} \times 100 \% \quad (1)$$

- Untuk kecepatan putaran 1410 rpm,  
Dimana :  $\text{Flow rate aktual} = 0,5564 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\text{Flow rate Teoritis} = 0,8108 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\eta_v = \frac{0,5564}{0,8108} \times 100 \% = 68,6235 \%$
- Untuk kecepatan putaran 1900 rpm,  
Dimana :  $\text{Flow rate aktual} = 0,6359 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\text{Flow rate Teoritis} = 1,2401 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\eta_v = \frac{0,6359}{1,2401} \times 100 \% = 51,2781 \%$
- Untuk Kecepatan putaran 2112 rpm  
Dimana :  $\text{Flow rate aktual} = 0,6359 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\text{Flow rate Teoritis} = 0,7790 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\eta_v = \frac{0,6359}{0,7790} \times 100 \% = 81,6302 \%$
- Untuk Kecepatan putaran 2115 rpm  
Dimana :  $\text{Flow rate aktual} = 0,7154 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\text{Flow rate Teoritis} = 0,9221 \text{ m}^3/\text{menit}$  ( tabel 5 )  
 $\eta_v = \frac{0,7154}{0,9221} \times 100 \% = 77,5837 \%$

## 2. Efisiensi tekanan ( $\eta_p$ )

Perhitungan efisiensi tekanan data perhitungan diambil dari *treating pressure/pressure discharge* teoritis dan hasil pengujian aktual. (Tabel 7), dengan berbeda putaran.

Tabel 8 - *Pressure* teoritis vs Aktual berdasarkan putaran

Kecepatan Putar (rpm)	<i>Pressure</i> ( MPa )	
	Teoritis	Aktual
1410	26,2345	26,2
1900	55,1580	37,9211
2112	44,7676	43,4369
2115	44,3815	43,4369
1100	0	1,3789
780	0	0,6894

Efisiensi tekanan nya dapat dihitung dengan rumus :

$$\eta_p = \frac{\text{pressure aktual}}{\text{pressure teoritis}} \times 100 \% \quad (2)$$

- Untuk kecepatan putaran 1410 rpm,  
Dimana :  $\text{Pressure aktual} = 26,2 \text{ MPa}$  ( tabel 6 )  
 $\text{Pressure Teoritis} = 26,2345 \text{ MPa}$  ( tabel 6 )

$$\eta_p = \frac{26,2}{26,2345} \times 100 \% = 99,8684 \%$$

- Untuk kecepatan putaran 1900 rpm,  
Dimana :  $Pressure$  aktual = 37,9211 MPa ( tabel 6 )  
 $Pressure$  Teoritis = 55,1580 MPa ( tabel 6 )

$$\eta_p = \frac{37,9211}{55,1580} \times 100 \% = 68,7499 \%$$

- Untuk Kecepatan putaran 2112 rpm,  
dimana :  $Pressure$  aktual = 43,4369 MPa ( tabel 6 )  
 $Pressure$  Teoritis = 44,7676 MPa ( tabel 6 )

$$\eta_p = \frac{43,4369}{44,7676} \times 100 \% = 97,0275 \%$$

- Untuk Kecepatan putaran 2115 rpm  
Dimana :  $Pressure$  aktual = 43,4369 MPa ( tabel 6 )  
 $Pressure$  Teoritis = 44,3815 MPa ( tabel 6 )

$$\eta_p = \frac{43,4369}{44,3815} \times 100 \% = 97,8716 \%$$

### 3. Hydraulic Horse Power ( HHP )

Perhitungan *Hydraulic horse power* berdasarkan tabel 4, di hitung berdasarkan rumus :

$$HHP = \frac{P \text{ (MPa)} \times V \text{ (m}^3\text{/menit)}}{40,8} \quad (3)$$

Di mana :

- P = Tekanan Aktual ( MPa )
- V = *Flow rate* aktual ( m<sup>3</sup>/menit )
- HHP = *Hydraulic horse power* aktual ( kW )

Tabel 9 – *Pressure* aktual dan *Flow rate* aktual berdasarkan putaran

Kecepatan Putar ( rpm )	<i>Pressure</i> Aktual ( MPa )	<i>Flow rate</i> Aktual ( m <sup>3</sup> /menit )
1410	26,2	0,5564
1900	37,9211	0,6359
2112	43,4369	0,6359
2115	43,4369	0,7154
1100	1,3789	0
780	0,6894	0

*Hydraulic horse power ( HHP )* yang di hasilkan adalah sebagai berikut :

- Untuk kecepatan putaran 1410 rpm,  
$$HHP = \frac{26,2 \times 0,5564}{40,8}$$
  
$$HHP = 0,3572 \text{ kW}$$

- Untuk kecepatan putaran 1900 rpm,  
$$HHP = \frac{37,9211 \times 0,6359}{40,8}$$
  
$$HHP = 0,5910 \text{ kW}$$

- Untuk kecepatan putaran 2112 rpm,

$$HHP = \frac{43,4369 \times 0,6359}{40,8}$$

$$HHP = 0,6769 \text{ Kw}$$

- Untuk kecepatan putaran 2115 rpm,

$$HHP = \frac{43,4369 \times 0,7154}{40,8}$$

$$HHP = 0,7616 \text{ kW}$$

Tabel 10 - Data Keseluruhan *Performance Pompa Reciprocating* Ht-400, meliputi *Volumetric*, Tekanan (*pressure*) dan *Hydraulic Horse Power* (HHP).

No	RPM	Flow Rate ( $m^3/min$ )			Tekanan / Pressure (MPa)			Hydraulic Horse Power (kW)	
		Volume teoritis ( $m^3/min$ )	Volume pengujian ( $m^3/min$ )	Efisiensi Volumetrik (%)	Tekanan Teoritis (MPa)	Tekanan pengujian (MPa)	Efisiensi Tekanan (%)	HHP Teoritis $\frac{P_{th} \times V_{th}}{40,8}$ (kW)	HHP pengujian $\frac{P_{act} \times V_{act}}{40,8}$ (kW)
1	1410	0,8108	0,5564	68,6235	26,2345	26,2	99,8684	0,5213	0,3572
2	1900	1,2401	0,6359	51,2781	55,1580	37,9211	68,7499	1,6765	0,5910
3	2112	0,7790	0,6359	81,6302	44,7676	43,4369	97,0275	0,8547	0,6769
4	2115	0,9221	0,7154	77,5837	44,3815	43,4369	97,8716	1,0030	0,7616
5	1100	0	0	0	0	0	0	0	0
6	780	0	0	0	0	0	0	0	0

Dari tabel di atas, angka yang dilingkari warna merah adalah pencapaian angka terbesar hasil pengujian pompa yaitu Efisiensi Volumetrik, Efisiensi *Pressure* atau tekanan dan *Hydraulic Horse Power* (HHP).

## B. Pembahasan

Dari hasil perhitungan dapat di hasilkan efisiensi pompa sebagai berikut :

- Efisiensi volumetrik terbesar yaitu 81,6302 % pada putaran 2112 rpm dan tekanan/pressure 43,4369 MPa.
- Efisiensi Tekanan terbesar adalah 99,8684 % pada *flow rate* 0,5564  $m^3$ /menit dan putaran 1410 rpm.
- Hydraulic horse power* terbesar di peroleh 0,7616 kW pada tekanan 43,4369 MPa, *flow rate* 0,5564  $m^3$ /menit, dan pada putaran 2115 rpm.

Sehingga dari hasil yang di peroleh saat pengujian pompa dapat di katakan bahwa:

- Terjadi penurunan efisiensi pada *flow rate*
- Terjadi peningkatan tekanan yang dibutuhkan untuk meningkatkan *flow rate*
- Bahwa perbaikan atau *maintenance* pompa perlu diperhatikan secara berkala, jika pompa masih akan digunakan.
- Adanya efisiensi tekanan yang besar dikarenakan untuk mengejar *flow rate* yang besar.
- Jika dilihat dari aspek *flow rate* bahwa pompa ini sudah waktunya untuk diremajakan atau diganti dengan yang baru.

## KESIMPULAN

Setelah mengkaji hasil penelitian yang di lakukan terhadap pompa *reciprocating* HT -400 dengan menggunakan mesin *power pack* yang di lakukan dengan rentang waktu berselang 5 menit selama 6 kali, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil dari pengujian berdasarkan kecepatan putaran pompa di dapatkan efisiensi volumetrik terbesar yaitu 81,6302 % pada putaran 2112 rpm dan tekanan/pressure 43,4369 MPa, itu menunjukkan adanya penurunan efisiensi pada *Flow rate*.

2. Hasil dari pengujian berdasarkan kecepatan putaran pompa di dapatkan Efisiensi Tekanan terbesar adalah 99,8684 % pada *flow rate* 0,5564 m<sup>3</sup>/menit dan putaran 1410 rpm, itu menunjukkan terjadinya peningkatan tekanan yang besar diperlukan untuk meningkatkan *flow rate*.
3. Hasil dari pengujian berdasarkan kecepatan putaran pompa di dapatkan *hydraulic horse power* terbesar diperoleh 0,7616 kW pada tekanan 43,4369 MPa, *flow rate* 0,7154 m<sup>3</sup>/menit, dan pada putaran 2115 rpm.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada semua pihak terkait yang telah membantu terselesaikannya penelitian ini.

### DAFTAR REFERENSI

- [1] S. haruo tahara, *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*, 7th ed. jakarta: pradnya paramitha, (2000).
- [2] N. Brian, *Handbook of pumps and pumping*, 1st ed. elsevier, (2006).
- [3] Jhon. E Miller, *The Reciprocating pump Theory, Design, and Use.*, 2nd ed. Wiley-Interscience, (2013).
- [4] R. Rayner, *Reciprocating Pumps: Nomenclature, Characteristics, Components, and Types*. Pumps User Handbook, (1995), p.153 - XI.
- [5] M. I. M, Arnold, K., Stewart, M., Stewart, M. I., & Stewart, *Reciprocating Pumps*. Paragon Engineering Services, Inc. Surface Production Operations: *Design of Oil-Handling Systems and Facilities* (1999), p. 376-393.
- [6] Sidiq adhi darmawan, "*Positive displacement pump*," Universitas Sebelas Maret, (2016).
- [7] A. P. Bawane, R. M. Kharat, S. J. Parihar, "*Study of Performance Analysis of Ball Valve Operated Reciprocating Pump.*," *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 4, no. 1, (2016).