

# STUDI KASUS ANALISIS EFISIENSI ENERGI POMPA INJEKSI DI PT. PERTAMINA EP TANJUNG FIELD

Akhmad Faz Fero (20120130140)

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY)

Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta. 55183. Tlp. (0274)387656

e-mail: ahmadfazfero@yahoo.com

## INTISARI

*Waterflood EOR (Enchanted Oil Recovery)* merupakan metode untuk meningkatkan perolehan minyak dengan cara menginjeksikan air melalui sumur injeksi, kemudian air akan mendesak minyak menuju sumur produksi. Air dipompakan oleh 4 pompa injeksi EPX DB34 (A, B, C, dan D) yang disusun paralel dengan kapasitas masing-masing 30000 bpd pada tekanan 1400 psig. Tetapi saat ini air yang diinjeksikan hanya sekitar 40000-50000 bpd menggunakan 1 atau 2 pompa saja. Tekanan pun dibatasi di bawah 900 psig dikarenakan sering terjadinya kebocoran pada jalur pipa distribusi yang sudah mengalami korosi.

Studi kasus dilakukan dengan mengamati kerja pompa injeksi B dan C ketika bekerja individual dan paralel. Data yang digunakan meliputi data pompa, data *daily report* WTP & WIP dimulai dari bulan Juni-Agustus, data pengukuran di lapangan, dan dokumentasi. Kemudian data-data tersebut diolah untuk menentukan *head*, daya air, daya poros, efisiensi pompa, daya air menuju sistem, efisiensi sistem, dan biaya operasionalnya.

Hasil analisis studi kasus menunjukkan bahwa pompa injeksi B menunjukkan efisiensi 78.31% tertinggi pada debit 40335 bpd, lebih tinggi dibanding pompa C yang menunjukkan efisiensi 73.61% pada debit 40830 bpd. Ketika pompa B dan C bekerja paralel menunjukkan efisiensi 72.03% pada debit 52071 bpd. Efisiensi energi pompa injeksi ketika bekerja individual maupun paralel sangat rendah berkisar dari 36%-42%. Biaya operasional pompa C pada debit 40830 bpd sebesar Rp. 731 juta/bulan, lebih kecil dibanding pompa B pada debit 40335 bpd sebesar Rp. 788 juta/bulan. Ketika pompa B dan C bekerja paralel biaya operasionalnya berkisar Rp. 1.2 M/bulan pada debit 50000 bpd – 52000 bpd. Dari hasil analisis di atas dapat dilakukan beberapa cara peningkatan efisiensi energi pompa injeksi yaitu: (1) Mengganti diameter impeller lebih kecil, sebesar 9.425 in (2) Mengganti sistem perpipaan distribusi terpasang dengan spesifikasi API 5L *Schedule* 80 (3) Mengaplikasikan instrumen AC *drive* ABB AC2000 MV (4) Mengganti pompa injeksi dengan kapasitas 26000 bpd pada *head* 700 m.

**Kata kunci:** Injeksi air, pompa, efisiensi, biaya operasional

## PENDAHULUAN

Industri yang berhubungan dengan sistem distribusi fluida tentunya memerlukan instrumen untuk mengalirkannya. Untuk fluida tak mampu mampat maka diperlukan pompa. Penggunaannya pun beranekaragam sesuai kebutuhan.

PT. Pertamina EP Tanjung *field* terletak di kota Tanjung, kabupaten Tabalong, provinsi Kalimantan Selatan adalah anak perusahaan PT. Pertamina (Persero) yang menyelenggarakan kegiatan usaha di sektor hulu bidang eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi. Laju produksi minyak rata-rata sebesar 5200 bpd, terdiri dari 3000 bopd sampai 3500 bopd dan sisanya adalah air terproduksi / *produced water*, sementara laju injeksinya sebesar 48500 sampai 52000 bwpd.

Di dalam tulisan ini akan dibahas studi kasus Analisis Efisiensi Energi Pompa Injeksi di PT. Pertamina EP Tanjung *Field*. Di mana pompa injeksi termasuk dalam proyek sistem injeksi air *Waterflood EOR* Tanjung yang bertujuan untuk memproduksi kira-kira 30 juta barel minyak tambahan dari lapangan yang

sudah ada. *Waterflood Enhanced Oil Recovery* (EOR) adalah teknik untuk meningkatkan perolehan minyak dari suatu reservoir, dengan cara menginjeksikan fluida air ke dalam sumur injeksi dengan tekanan tinggi.

Satu pompa injeksi SPX David Brown 34 memiliki kapasitas debit 30000 bpd pada tekanan 1420 Psi. Tetapi dikarenakan sering terjadi kebocoran pada sistem perpipaan, maka tekanan dibatasi di bawah 900 Psi. Oleh karena itu perlunya mengetahui bagaimana kondisi pompa dan efisiensi penggunaannya. Pompa injeksi yang membutuhkan daya paling besar dalam proses injeksi, membuat efisiensi penggunaannya sangat berpengaruh terhadap biaya operasional dan kerugian operasional.

## Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil analisis data pompa injeksi ketika pompa bekerja individual dan paralel.
2. Bagaimana hasil analisis efisiensi energi pompa injeksi dan biaya operasional ketika bekerja individual dan paralel.

3. Bagaimana upaya untuk meningkatkan efisiensi energi pompa injeksi.

### Tujuan

1. Mengetahui hasil analisis data pompa injeksi ketika pompa bekerja individual dan paralel.
2. Mengetahui hasil analisis efisiensi energi pompa injeksi dan biaya operasional ketika bekerja individual dan paralel.
3. Melakukan upaya untuk meningkatkan efisiensi energi pompa injeksi.

### DASAR TEORI

- Head Total Pompa Terpasang

$$H = \frac{P_{disc} - P_{suct}}{\gamma}$$

- Water Horse Power (WHP)

$$WHP = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{1000}$$

- Brake Horse Power (BHP)

$$BHP = \frac{WHP}{\eta_{pompa}}$$

$$BHP = P_{in} \cdot \eta_{motor}$$

- Efisiensi

$$\eta_{sistem} = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} (x100\%)$$

$$\eta_{motor} = \frac{BHP}{P_{in}} (x100\%)$$

$$\eta_{pompa} = \frac{WHP}{BHP} (x100\%)$$

$$\eta_{paralel} = \frac{H \cdot SG \cdot \sum Q}{k \cdot \sum BHP}$$

- Hukum Afinitas

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \quad \frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad \frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{D_1^3}{D_2^3}$$

- Frekuensi Motor Listrik

$$f = \frac{120 \cdot \omega}{p}$$

Dimana:

$\sum BHP$  = Total daya poros paralel (W)

$\sum Q$  = Total debit paralel (L/s)

$\eta_{motor}$  = Efisiensi motor (%)

$\eta_{pompa}$  = Efisiensi pompa (%)

D = Diameter impeler (in)

f = Frekuensi (Hz)

k = konstanta 0.1021 SI

$P_{in}$  = Daya masuk (kW)

p = Jumlah poles motor listrik

Q = Debit (m<sup>3</sup>/s)

WHP = Water Horse Power (kW)

BHP = Brake Horse Power (kW)

H = Head pompa (m)

SG = Specific gravity

$\gamma$  = Berat jenis air (N/m<sup>3</sup>)

$\omega$  = Kecepatan putar (rpm)

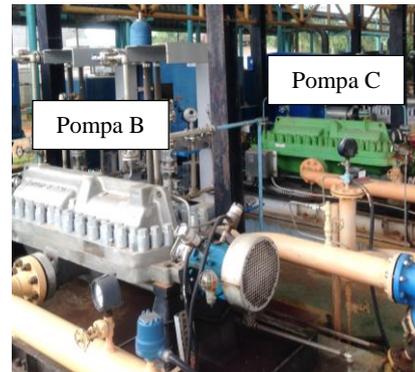
### METODELOGI STUDI KASUS

#### Bahan Studi Kasus

- Data pompa injeksi dari produsen.
- 1 sampel data *daily report* pompa injeksi B dan C yang bekerja individual dan paralel tiap bulan dari Juni-Agustus.
- Hasil kandungan air injeksi.

#### Alat Studi Kasus

- Pompa injeksi SPX David Brown 34 B dan C.



Gambar 1 Pompa injeksi David Brown 34 B dan C

- Automatic Control Valve.
- Ruang kontrol.
- Laptop.
- Printer.

#### Tempat dan Waktu Studi Kasus

Studi kasus dilakukan di PT. Pertamina EP Tanjung field, Tabalong, Kalimantan Selatan pada fungsi produksi operasi, bagian instalasi WTP & WIP. Dimulai 1 Agustus 2016 – 10 September 2016

#### Prosedur Pengumpulan Data

- Syarat data pompa bekerja 24 jam dan *minimum trouble report*.
- Angka *pressure gauge* terukur, sisi *suction*, *discharge*, dan keluar *control valve*.
- Angka debit aktual terukur.
- Angka dari *wattmeter* dan *amperemeter* pompa injeksi.

#### Prosedur Pengolahan Data /Perhitungan

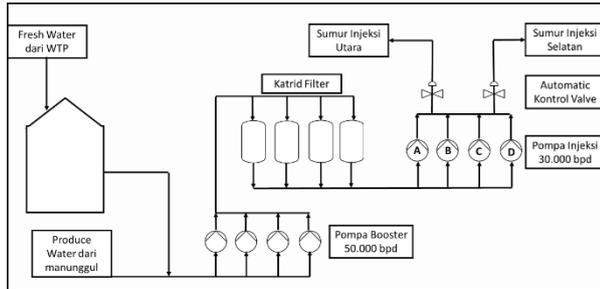
- Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel.
- Efisiensi motor 95.8% (Data produsen).
- Mengabaikan *head* statis (Z=0).
- Mengabaikan *head* kecepatan (v=0).
- Parameter daya dari *wattmeter* terukur.
- Tarif PLN 6.6 kV Rp. 1410,00/kWh

## Prosedur Analisis Data dan Pembahasan

- Hasil analisis dibagi menjadi 3 bagian bahasan yaitu: (1) Analisis hasil perhitungan data pompa injeksi (2) Analisis efisiensi energi dan biaya operasional pompa injeksi (3) Analisis upaya meningkatkan efisiensi energi pompa injeksi.
- Hasil perhitungan yang digunakan dalam analisis disajikan kembali dan dibuat dalam bentuk grafik.

## HASIL STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

### Hasil Studi Kasus



Gambar 2 Skema proses injeksi

- Data Pompa Injeksi

Tabel 1 Data pompa injeksi desain

Pompa	Debit	Head Pompa & Sistem	Efisiensi Pompa	Efisiensi Motor	Terpasang
	(Bpd)	(m)	(%)	(%)	
B	30000	1000	78	95.8	2016
C	30000	1000	78	95.8	1998

Tabel 2 Data pompa injeksi B

Tanggal	Debit (Bpd)	Tekanan Pompa		Tekanan Sistem (Psi)	Daya (kW)	Amp
		Suc(Psi)	Disc(Psi)			
15-Jun-16	40335	57	1220	635	776	81
7-Jul-16	39977	50	1220	663.5	768	81

Tabel 3 Data pompa injeksi C

Tanggal	Debit (Bpd)	Tekanan Pompa		Tekanan Sistem (Psi)	Daya (kW)	Amp
		Suc(Psi)	Disc(Psi)			
12-Jun-16	40830	78	1080	513	720	75
18-Jul-16	31629	75	1180	694.5	637	70

Tabel 4 Data pompa injeksi B dan C paralel

Tanggal	Debit (Bpd)	Pompa B (Psi)			Pompa C (Psi)			Tekanan Sistem	Daya (kW)
		Suc	Disc	A	Suc	Disc	A		
20-Jun-16	51328	55	1460	75	65	1440	63	824.5	1317
26-Jul-16	50786	60	1460	75	64	1440	63	754.5	1280
01-Aug-16	52071	60	1440	76	64	1425	64	848	1310

- Hasil Perhitungan Data Pompa Injeksi

Tabel 5 Hasil perhitungan pompa injeksi desain

Pompa	Debit	Head Pompa & Sistem	Efisiensi Pompa	Efisiensi Sistem	WHP	BHP	Daya input
	(Bpd)	(m)	(%)	(%)	(kW)	(kW)	(kW)
B	30000	1000	78	74.72	540.62	693.1	723.5
C	30000	1000	78	74.72	540.62	693.1	723.5

Tabel 6 Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi desain

Biaya Operasional	Waktu		Biaya	
	1 jam	24 jam	1 jam	24 jam
			Rp. 1.019.430,00	Rp. 24.466.320,00
Kerugian Biaya Operasional	1 bulan		Rp. 733.989.600,00	
	Rp. 0 ,00			

Tabel 7 Hasil perhitungan pompa injeksi B individual

Tanggal	Debit (Bpd)	Head Pompa (m)	WHP (kW)	BHP (kW)	Efisiensi Pompa (%)	Head Sistem (m)	WHPsis (kW)	Efisiensi Sistem (%)
07-Jul-16	39977	820.66	580.48	735.74	78.89	465.39	329.18	42.86

Tabel 8 Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B individual

Tanggal	15-Jun-16		07-Jul-16	
	waktu	biaya	waktu	biaya
Biaya Operasional	1 jam	Rp. 1.094.160,00	1 jam	Rp. 1.082.880,00
	24 jam	Rp. 26.259.840,00	24 jam	Rp. 25.989.120,00
	1 bulan	Rp. 787.795.200,00	1 bulan	Rp. 779.673.600,00
Kerugian Biaya Operasional	1 jam	Rp. 372.683,00	1 jam	Rp. 354.333,00
	24 jam	Rp. 8.944.414,00	24 jam	Rp. 8.504.012,00
	1 bulan	Rp. 268.332.428,00	1 bulan	Rp. 255.120.383,00

Tabel 9 Hasil perhitungan pompa injeksi C individual

Tanggal	Debit (Bpd)	Head Pompa (m)	WHP (kW)	BHP (kW)	Efisiensi Pompa (%)	Head Sistem (m)	WHPsis (kW)	Efisiensi Sistem (%)
18-Jul-16	31629	775.07	433.74	610.24	71.07	487.14	272.61	42.79

Tabel 10 Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi C individual

Tanggal	12-Jun-16		18-Jul-16	
	waktu	biaya	waktu	biaya
Biaya Operasional	1 jam	Rp. 1.015.200,00	1 jam	Rp. 898.170,00
	24 jam	Rp. 24.364.800,00	24 jam	Rp. 21.556.080,00
	1 bulan	Rp. 730.944.000,00	1 bulan	Rp. 646.682.400,00
Kerugian Biaya Operasional	1 jam	Rp. 349.393,00	1 jam	Rp. 227.207,00
	24 jam	Rp. 8.385.448,00	24 jam	Rp. 5.452.974,00
	1 bulan	Rp. 251.563.452,00	1 bulan	Rp. 163.589.237,00

Tabel 11 Hasil perhitungan pompa injeksi B dan C paralel

Tanggal	Debit (Bpd)	Head Pompa B	Head Pompa C	Head Pompa Paralel	WHP Paralel (kW)
		(m)	(m)	(psi)	
20-Jun-16	51328	985.50	964.46	974.98	885.44
26-Jul-16	50786	981.99	965.16	973.58	874.83
01-Aug-16	52071	967.96	954.64	961.30	885.65

Tabel 12 Hasil perhitungan pompa injeksi B dan C paralel lanjutan

Tanggal	BHP Paralel (kW)	Efisiensi Pompa Paralel (%)	Head Sistem (m)	WHPsis (kW)	Efisiensi Sistem (kW)
	20-Jun-16	1261.68	71.62	578.32	525.21
26-Jul-16	1226.24	72.81	529.22	475.54	37.15
01-Aug-16	1254.98	72.03	594.81	548.00	41.83

Tabel 13 Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B dan C paralel pada tanggal 20-Juni-2016

Biaya Operasional	Tanggal		20-Jun-16	
	waktu	biaya	waktu	biaya
		1 jam	Rp. 1.856.970,00	1 jam
Kerugian Biaya Operasional	1 jam	Rp. 1.337.018.400,00	1 jam	Rp. 507.929,00
	24 jam	Rp. 12.190.297,00	24 jam	Rp. 365.708.939,00
	1 bulan	Rp. 365.708.939,00	1 bulan	Rp. 365.708.939,00

Tabel 14 Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B dan C paralel pada tanggal 26-Juli-2016

Biaya Operasional	Tanggal		26-Jul-16	
	waktu	biaya	waktu	biaya
		1 jam	Rp. 1.804.800,00	1 jam
Kerugian Biaya Operasional	1 jam	Rp. 1.299.456.000,00	1 jam	Rp. 563.003,00
	24 jam	Rp. 13.512.073,00	24 jam	Rp. 405.362.205,00
	1 bulan	Rp. 405.362.205,00	1 bulan	Rp. 405.362.205,00

**Tabel 15** Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B dan C paralel pada tanggal 01-Agustus-2016

Tanggal	01-Aug-16	
Biaya Operasional	waktu	biaya
	1 jam	Rp. 1.847.100,00
	24 jam	Rp. 44.330.400,00
Kerugian Biaya Operasional	1 bulan	Rp. 1.329.912.000,00
	1 jam	Rp. 476.099,00
	24 jam	Rp. 11.426.385,00
	1 bulan	Rp. 342.791.575,00

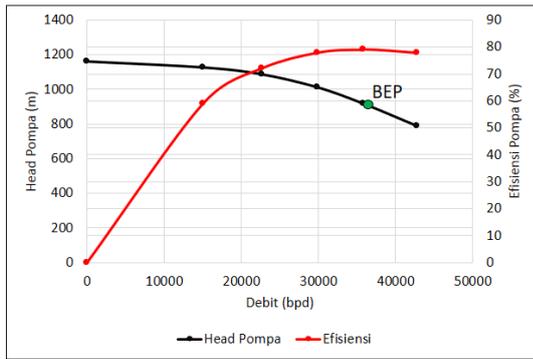
**Pembahasan**

- Pembahasan Hasil Perhitungan Data Pompa Injeksi

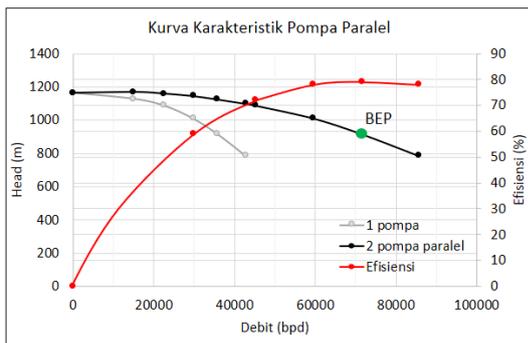
**Tabel 16** Data Performance Certified Pompa SPX David Brown 34

Flow		Head		Efficiency
(GPM)	(BPD)	(Ft)	(M)	(%)
0	0	3822	1164	0
439	15051	3706	1129	59
660	22628	3570	1088	72
870	29828	3316	1010	78
1044	35794	3006	916	79
1249	42822	2585	787	78

Tabel di atas adalah data performansi pompa yang dikeluarkan oleh produsen pompa SPX David Brown 34. Dari data tersebut dapat diolah kurva karakteristik pompa individual dan paralel seperti pada gambar 3 dan 4 di bawah ini:



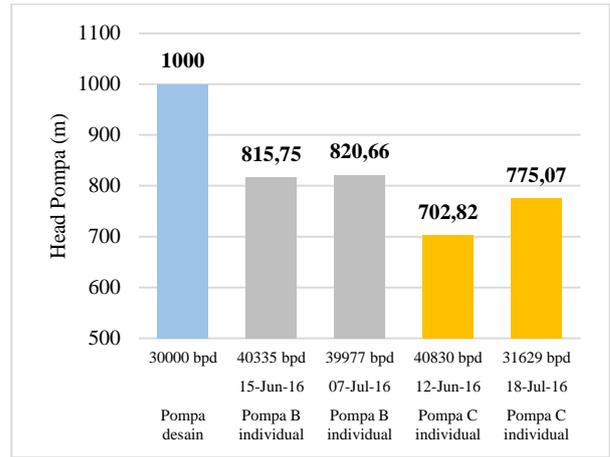
**Gambar 3** Kurva performansi pompa SPX DB 3



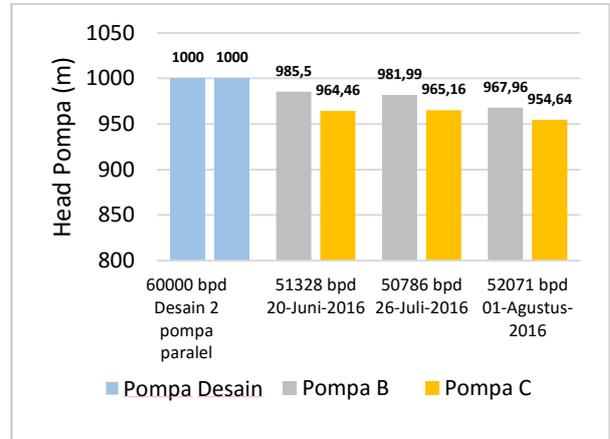
**Gambar 4** Kurva performansi pompa paralel SPX DB 3

Menurunnya perofrmansi suatu pompa dapat dilihat dari menurunnya head dan efisiensi yang ditunjukkan pompa pada debit tertentu sesuai kurva performansinya.

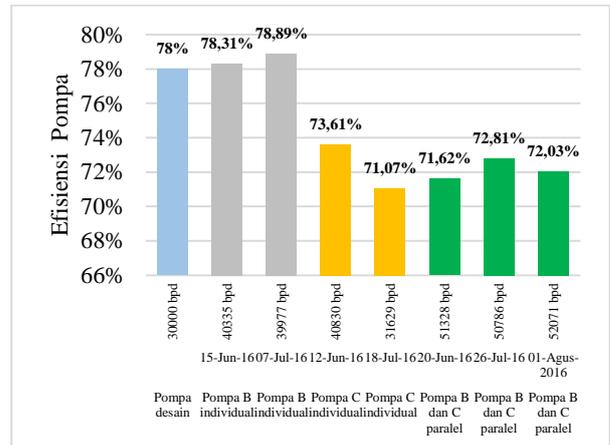
Di bawah ini akan di sajikan dalam bentuk grafik hasil perhitungan head dan efisiensi pompa injeksi B dan C individual dan paralel:



**Gambar 5** Grafik hubungan head pompa individual pada debit bervariasi



**Gambar 6** Grafik hubungan head pompa paralel pada debit bervariasi



**Gambar 7** Grafik hubungan efisiensi pompa individual dan paralel pada debit bervariasi

Dari beberapa grafik di atas dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

- ✓ Pompa B menunjukkan head dan efisiensi sesuai kurva performansinya yang berarti pompa B masih dalam performansi baik. Pompa B menunjukkan efisiensi melebihi efisiensi pompa desain dikarenakan pompa B bekerja mendekati titik BEP

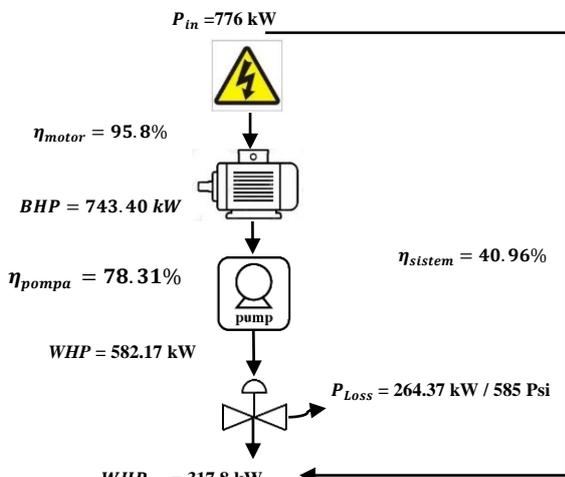
pompa injeksi SPX David Brown 34 yang memiliki efisiensi tertinggi pada debit 35794 bpd 79%. Dapat dibuktikan melalui kurva performansi pompa.

- ✓ Pompa C menunjukkan *head* dan efisiensi tidak sesuai dengan kurva performansinya / lebih rendah yang berarti pompa C telah mengalami penurunan performansi. Penurunan ini disebabkan oleh umur pompa yang tua dan pemakaian pompa yang berlebihan.
- ✓ Ketika Pompa B dan C diparalelkan *head* yang ditunjukkan relatif sama yang berarti pompa B yang memiliki *head* lebih besar membantu menaikkan *head* dari pompa C. Efisiensi pompa B dan C paralel cukup rendah dikarenakan pompa bekerja jauh dari titik BEP-nya, dan pengaruh dari penurunan efisiensi pompa C.

• Pembahasan Efisiensi Energi dan Biaya Operasional Pompa Injeksi

Efisiensi energi pompa adalah perbandingan antara daya *output* yaitu daya yang dibutuhkan pompa untuk mengalirkan air dengan debit dan *head* tertentu terhadap daya aktual untuk menggerakkan pompa dalam satuan kilowatt (kW) dikalikan 100%.

Skema sistem pompa injeksi pada tanggal 15-Juni-2016 ketika pompa B bekerja individual akan di jabarkan pada gambar 4.7 di bawah ini:

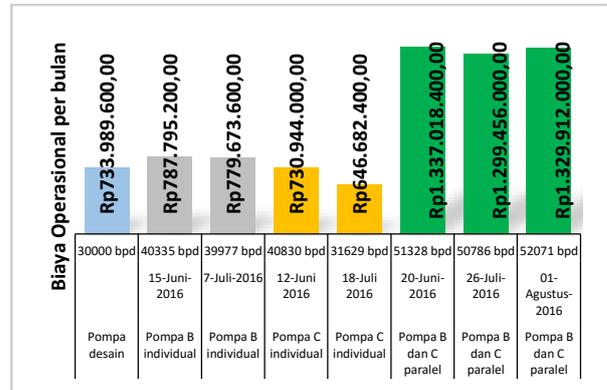


**Gambar 8** Skema sistem pompa B individual

Dari data dan hasil perhitungan pompa injeksi diketahui bahwa efisiensi motor listrik adalah 95.8% dan efisiensi pompa yang bekerja individual dan paralel berkisar dari 71% - 78.9%. Tetapi nilai efisiensi sistem sangat rendah yaitu berkisar dari 36% - 42%. Hal ini disebabkan oleh tekanan yang keluar dari sisi *discharge* pompa yang berkisar dari 1100 Psi – 1450 Psi direduksi *control valve* menjadi 500 Psi -900 Psi.

Reduksi tekanan ini juga membuat daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan debit dan *head* yang diinginkan berbanding sangat jauh dengan penggunaan dayanya dan akan berpengaruh pada biaya operasionalnya.

Di bawah ini akan di sajikan dalam bentuk grafik hasil perhitungan efisiensi energi dan biaya operasional pompa injeksi B dan C individual dan paralel:



**Gambar 7** Grafik hubungan biaya operasional individual dan paralel pada debit bervariasi



**Gambar 8** Grafik hubungan reduksi tekanan dengan kerugian biaya operasional individual dan paralel pada debit bervariasi

Dari beberapa grafik di atas dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

- ✓ Ketika pompa bekerja individual, pompa B dan C memiliki biaya operasional yang berbeda. Terlihat pada saat debit aliran sekitar 40000 bpd, pompa B memiliki biaya operasional lebih besar yaitu sebesar Rp. 787.795.200,00/bulan sedangkan pompa C memiliki biaya operasional sebesar Rp. 646.682.400,00/bulan. Hal ini menyebabkan pompa C adalah pompa yang selalu diparalelkan dengan pompa lainnya karena memiliki biaya operasional yang lebih rendah.
- ✓ Dari grafik di atas, menunjukkan kerugian biaya operasional tertinggi terjadi pada tanggal 26-Juli-2016 ketika pompa B dan C bekerja paralel yaitu

sebesar Rp. 405.362.205,00 per bulan dengan reduksi tekanan sebesar 695.5 Psi, dan yang terendah terjadi pada tanggal 18-Juli-2016 ketika pompa C bekerja individual yaitu sebesar Rp. 163.589.237,00 per bulan dengan reduksi tekanan sebesar 485 Psi. Kerugian biaya operasional akan semakin besar apabila tekanan yang direduksi semakin besar.

- Upaya Meningkatkan Efisiensi Energi Pompa Injeksi

Pada dasarnya untuk meningkatkan efisiensi suatu sistem dilakukan dengan dua cara yaitu dengan memperbesar daya output atau memperkecil daya input. Pada studi kasus ini, sistem pompa injeksi telah menggunakan metode kontrol aliran (throttle), dan sistem pompa susunan paralel untuk memenuhi kebutuhan debit yang bervariasi. Tetapi karena efisiensi energi pompa injeksi masih tergolong rendah, maka dibutuhkan beberapa metode lain untuk meningkatkan efisiensi sistem pompa injeksi, yaitu dengan cara sebagai berikut:

- ✓ Menggunakan pompa injeksi dengan kapasitas sesuai kebutuhan
- ✓ Menggunakan motor listrik dengan variable speed drive (VSD)
- ✓ Mengganti diameter impeler pompa dengan yang lebih kecil
- ✓ Memperbaiki sistem perpipaan distribusi

Dari beberapa metode di atas, penyusun mencoba mengurutkan dari metode yang lebih baik diterapkan di lapangan hingga terakhir berdasarkan dari hasil analisis data, observasi lapangan, interview pegawai, biaya dan nilai investasinya yang akan dipaparkan dalam bentuk tabel di bawah ini:

Tabel 17 Metode meningkatkan efisiensi energi pompa injeksi

Metode Meningkatkan Efisiensi	Kapasitas Pompa		Kelebihan	Kekurangan
	Debit (bpd)	Head (m)		
Mengganti diameter impeler	26000	751	Biaya murah, Hemat daya 252.5 kW/pompa.	Pemakaian konstan.
Memperbaiki sistem perpipaan	30000	1000	Sesuai desain. Proses injeksi jangka panjang, mengurangi biaya perawatan pipa. Meningkatkan tekanan reservoir.	Biaya sangat mahal, Melibatkan banyak pihak.
Variable Speed Drive (VSD)	26000	751	Memenuhi kebutuhan bervariasi, Hemat daya 252.2 kW/pompa. Dapat lebih hemat dari pada mengganti impeler.	Biaya cukup mahal, Melibatkan sedikit pihak.
Mengganti pompa injeksi	26000	700	Pompa tidak <i>oversize</i> .	Biaya mahal, Merugikan.

## KESIMPULAN

Dari semua yang telah diuraikan dalam Tugas Akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pompa injeksi B menunjukkan head 815.75 m dengan efisiensi 78.31% pada debit 40335 bpd lebih tinggi dibanding pompa C yang menunjukkan head 702.82 m dengan efisiensi 73.61% pada debit 40830

bpd. Ketika pompa B dan C bekerja paralel, menunjukkan head relatif sama yaitu, pada pompa B 967.96 m dan pompa C 954.64 m, dengan efisiensi 72.03% pada debit 52071 bpd.

2. Efisiensi energi pompa injeksi ketika bekerja individual maupun paralel sangat rendah berkisar dari 36%-42%. Biaya operasional pompa C pada debit 40830 bpd sebesar Rp. 731 juta/bulan, lebih kecil dibanding pompa B pada debit 40335 bpd sebesar Rp. 788 juta/bulan. Ketika pompa B dan C bekerja paralel biaya operasionalnya berkisar Rp. 1.2 M/bulan pada debit 50000 bpd – 52000 bpd.
3. Upaya peningkatan efisiensi pompa injeksi diurutkan dari yang paling cocok diterapkan di lapangan hingga terakhir adalah sebagai berikut:
  - ✓ Mengganti diameter impeler pompa dari 10.875 in menjadi 9.425 in.
  - ✓ Mengganti sistem perpipaan distribusi terpasang API 5L Schedule 40 dengan spesifikasi API 5L Schedule 80, agar proses injeksi dapat beroperasi pada kapasitas desain.
  - ✓ Mengaplikasikan instrumen AC drive ABB AC2000MV pada pengaturan frekuensi 43.05 Hz.
  - ✓ Mengganti pompa injeksi dari kapasitas 30000 bpd pada head 1000 m dengan pompa injeksi kapasitas 26000 bpd pada head 700 m.

## SARAN

1. Pompa sebaiknya bekerja mendekati BEP-nya. Karena pada titik tersebut pompa memiliki efisiensi tertinggi yang berpengaruh pada minimnya kerugian biaya operasional pompa. Selain itu juga dapat dapat memperpanjang umur sparepart pompa.
2. Pengontrolan tekanan tidak dianjurkan terlalu besar.
3. Perlunya kalibrasi pada alat ukur daya, alat ukur ampere, alat ukur debit, dan alat ukur debit aktual. Karena menunjukkan nilai yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

ABB, (2006). *ABB High Voltage Induction Motor*, Switzerland: ABB Ltd.

ABB, (2016). *ABB Drives and Control the Green Guide to More Profitable Business*, Switzerland: ABB Ltd.

Cengel, Yunus A. dkk, (2005). *Fluid Mechanic Fundamental and Application*, New York: McGraw-Hill Companies Inc.

Chaurette J., (2003). *Pump System Analysis and Sizing*, Canada: Fluide Design Inc.

- Chaurette J., (2005). *Tutorial Centrifugal Pump Design*, Canada: Fluide Design Inc.
- Cruz, Bernard Da, (2009). *Pump Characteristics and ISO Efficiency Curves*, Lincolne Scott Pty. Ltd.
- Farajzadeh, R., (2004). *Produced water Re-Injection*, The Netherlands: Delf University of Technology.
- Karassik, Igor J., Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald, (2001). *Pump Handbook*, Third Edition, New York: McGraw-Hill Book Co.
- Marpaung, Parlindungan., (2012). *Prinsip Konservasi Energi pada Sistem Pompa*, Indonesia: HAKE.
- Pertamina-Talisman Energy, (1995). *Petunjuk Operasi Fasilitas Waterflood EOR Tanjung*, Tanjung Field: PT. Pertamina EP
- Puijono, Sulisty, (2016). *Analisa dan Peluang Efisiensi Energi pada Pompa Distribusi di PT Pertamina(Persero) TBBM Tegal*, Tegal: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Skovgaard, Allan, (2004). *Pump Handbook*, United States: Grundfos Industrial Solution.
- Smith, James T. dkk, (1997). *Waterflooding*, Wyoming: Authors.
- SPX Cyledeunion Pump, (2012). *CUP BB3 Heavy Duty, Axial Split, Multi Stages Pump API 610 / ISO 13709*, United Kingdom: SPX Corporation Inc.
- Tauhid, Fauzi Ahmad, (2016). *Analisis Unjuk Kerja pada Pompa Sirkulasi Minyak Sawit di UPT BPPTK LIPI Yogyakarta*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.