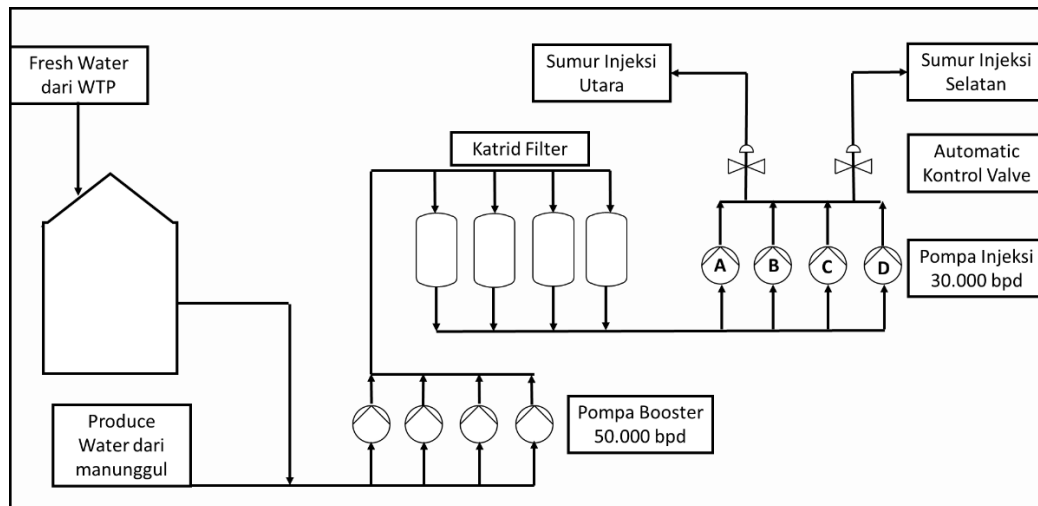


BAB IV HASIL STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Studi Kasus

4.1.1 Proses Sistem Injeksi di Instalasi WIP



Gambar 4.1. Skema proses injeksi

Pada gambar 4.1 di atas menjelaskan tentang proses injeksi di PT. Pertamina EP Tanjung *Field*. Proses injeksi adalah proses yang membentuk siklus secara terus menerus. Dimulai dari *produced water* / air formasi yang terproduksi bersama minyak mentah dan gas, kemudian ketiga fluida tersebut dipisahkan di dalam separator. Minyak dan *produced water* akan ditampung di tanki penampungan terpisah yang berada di Manunggul, sedangkan gas akan dikirimkan ke instalasi *Power Plant* untuk menggerakkan turbin pembangkit listrik. *Produced water* yang telah ditampung akan dikirim ke instalasi WIP yang berjarak sekitar 25 km menggunakan pompa distirbusi. Jumlah debit yang dikirimkan bervariasi tergantung hasil *produced water* yang terproduksi.

Sesampainya di instalasi WIP, *produced water* akan dicampur dengan air bersih dari tanki penampungan air bersih apabila debit yang diterima kurang dari rencana air yang ingin diinjeksikan. Kemudian air dipompa oleh pompa *booster* yang berfungsi untuk menyediakan tekanan minimal 20 psig

pada sisi hisap pompa injeksi karena pada katrit filter akan terjadi *pressure drop* / penurunan tekanan yang cukup besar. Lalu air keluar dari pompa injeksi dengan tekanan tinggi dan melewati *control valve* yang berfungsi untuk mengatur tekanan dan debit sesuai kebutuhan injeksi. Kemudian air diinjeksikan ke beberapa sumur injeksi yang berada di utara dan selatan.

4.1.2 Data Pompa Injeksi

Pada tabel 4.1 sampai 4.4 Merupakan kumpulan data yang disajikan dalam bentuk tabel yang diperlukan untuk proses perhitungan daya air pompa, daya poros / BHP (*Brake Horse Power*), efisiensi pompa, efisiensi sistem pompa, dan biaya operasional penggunaan pompa.

Tabel 4.1. Data pompa injeksi desain

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

Tabel 4.2. Data pompa injeksi B

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

Tabel 4.3. Data pompa injeksi C

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

Tabel 4.4. Data pompa injeksi B dan C paralel

Tanggal	Debit	Pompa B (Psi)			Pompa C (Psi)			Tekanan Sistem	Daya (kW)
	(Bpd)	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

4.1.3 Perhitungan Data Pompa Injeksi

Pada tahap perhitungan data diambil sampel data pompa desain, pompa yang bekerja individual, dan paralel. Sampel data pompa yang bekerja individual adalah data pompa B pada tanggal 15-Juni-2016, dan sampel data pompa yang bekerja paralel adalah data pompa B dan C pada tanggal 20-Juni-2016. Dari hasil perhitungan akan didapat daya air pompa (WHP), daya air menuju sistem (WHPsis), daya poros (BHP), efisiensi pompa (η_{pompa}), dan efisiensi sistem (η_{pompa}).

1. Perhitungan data pompa desain

Diketahui:

- Debit persatu pompa (Q) : 30000 bpd
- Head persatu pompa (H) : 1000 m
- Efisiensi pompa (η_{pompa}) : 78%
- Efisiensi motor (η_{motor}) : 95.8%
- Kecepatan gravitasi (g) : 9.81 m/s²
- Massa jenis air injeksi (ρ) : 1002 kg/m³ (SG=1.002)

Ditanya:

- Daya air (WHP)?
- Daya poros (BHP)?
- Daya Input (P_{in})?

Jawab:

Debit barel / hari (bpd) dikonversi menjadi meter kubik/ detik (m^3/s)

$$30000 \text{ (bpd)} = \frac{30000 \text{ bpd} \times 0.018 \text{ m}^3/s}{10000 \text{ bpd}} = \mathbf{0.055 \text{ m}^3/s}$$

➤ Daya air (*WHP*)

$$\begin{aligned} WHP \text{ (kW)} &= \frac{\rho \ g \ H \ Q}{1000} = \frac{1002 \times 9.81 \times 1000 \times 0.055}{1000} \\ &= \mathbf{540.6 \text{ kW}} \end{aligned}$$

➤ Daya poros (*BHP*)

$$BHP \text{ (kW)} = \frac{WHP}{\eta_{pompa}} = \frac{540.6}{0.78} = \mathbf{693.11 \text{ (kW)}}$$

➤ Daya Input (P_{in})

$$P_{in} \text{ (kW)} = \frac{BHP}{\eta_{motor}} = \frac{693.11}{0.95.8} = \mathbf{723.5 \text{ (kW)}}$$

2. Perhitungan data pompa B individual pada tanggal 15-Juni-2016

Diketahui:

- Debit pompa B (Q) : 40335 bpd
- Tekanan *discharge* (P_{disc}) : 1220 psi
- Tekanan *suction* (P_{suct}) : 57 psi
- Tekanan sistem (P_{sis}) : 635 psi
- Daya Input (P_{in}) : 776 kW
- Efisiensi motor (η_{motor}) : 95.8%
- Kecepatan gravitasi (g) : 9.81 m/s^2
- Massa jenis air injeksi (ρ) : 1002 kg/m^3 (SG=1.002)

Ditanya:

- *Head* pompa dalam meter (H)?
- Daya air (*WHP*)?
- Daya poros (*BHP*)?
- Efisiensi pompa (η_{pompa})?
- *Head* sistem dalam meter (H_{sis})?

- Daya air masuk sistem (WHP_{sis})?
- Efisiensi sistem (η_{sistem})?

Jawab:

Debit barel / hari (bpd) dikonversi menjadi meter kubik / detik (m^3/s)

$$40335 \text{ (bpd)} = \frac{40335 \text{ bpd} \times 0.018 \text{ m}^3/s}{10000 \text{ bpd}} = \mathbf{0.072 \text{ m}^3/s}$$

- Head pompa dalam meter (H)

$$P(\text{psi}) = P_{disc} - P_{Suct} = 1220 - 57 = 1163 \text{ psi}$$

$$H(m) = \frac{P(\text{psi}) \times 6894.76}{\rho \times g} + (Z_D - Z_S) = \frac{1163 \times 6894.76}{1002 \times 9.81} + 0$$

$$= \mathbf{815.75 \text{ m}}$$

- Daya air (WHP)

$$WHP(kW) = \frac{\rho \times g \times H \times Q}{1000} = \frac{1002 \times 9.81 \times 815.75 \times 0.072}{1000}$$

$$= \mathbf{540.6 \text{ kW}}$$

- Daya poros (BHP)

$$BHP(kW) = P_{in} \times \eta_{motor} = 776 \times 0.95.8 = \mathbf{743.4 \text{ kW}}$$

- Efisiensi pompa (η_{pompa})

$$\eta_{pompa} = \frac{WHP}{BHP} \times 100\% = \frac{540.6}{743.4} \times 100\% = \mathbf{78.31\%}$$

- Head sistem dalam meter (H_{sis})

$$H_{sis}(m) = \frac{P_{sis}(\text{psi}) \times 6894.76}{\rho \times g} = \frac{635 \times 6894.76}{1002 \times 9.81} = \mathbf{445.40 \text{ m}}$$

- Daya air masuk sistem (WHP_{sis})

$$WHP_{sis}(kW) = \frac{\rho \times g \times H_{sis} \times Q}{1000} = \frac{1002 \times 9.81 \times 445.4 \times 0.072}{1000}$$

$$= \mathbf{317.8 \text{ kW}}$$

- Efisiensi sistem (η_{sistem})

$$\eta_{sistem} = \frac{WHP_{sis}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{317.86}{776} \times 100\% = \mathbf{40.96\%}$$

3. Perhitungan data pompa B dan C paralel pada tanggal 20-Juni-2016

Diketahui:

- Debit pompa paralel (Q) : 51328 bpd
- Tekanan *discharge* pompa B (P_{discB}) : 1460 psi
- Tekanan *suction* pompa B (P_{suctB}) : 55 psi
- Tekanan *discharge* pompa C (P_{discC}) : 1440 psi
- Tekanan *suction* pompa C (P_{suctC}) : 65 psi
- Tekanan sistem (H_{sis}) : 824 psi
- Daya *Input* (P_{in}) : 1317 kW
- Efisiensi motor (η_{motor}) : 95.8%
- Kecepatan gravitasi (g) : 9.81 m/s²
- Massa jenis air injeksi (ρ) : 1002 kg/m³
(SG=1.002)
- Konstanta (k) : 0.1021 SI

Ditanya:

- *Head* pompa dalam meter (H)?
- Daya air paralel (WHP)?
- Daya poros paralel (BHP)?
- Efisiensi pompa paralel (η_{pompa})?
- *Head* sistem dalam meter (H_{sis})?
- Daya air masuk sistem (WHP_{sis})?
- Efisiensi sistem (η_{sistem})?

Jawab:

Debit barel / hari (bpd) dikonversi menjadi meter kubik / detik
(m³/s)

$$51328 \text{ (bpd)} = \frac{51328 \text{ bpd} \times 0.0018 \text{ L/s}}{1 \text{ bpd}} = 94.45 \text{ L/s}$$

- *Head* pompa dalam meter (H)

$$PB(\text{psi}) = P_{discB} - P_{suctB} = 1460 - 55 = 1405 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned}
 HB(m) &= \frac{PB(\text{psi}) \times 6894.76}{\rho \times g} + (Z_D - Z_S) \\
 &= \frac{1405 \times 6894.76}{1002 \times 9.81} + 0 = \mathbf{985.5 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$PC(\text{psi}) = P_{disc}C - P_{suct}C = 1440 - 65 = 1375 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned}
 HC(m) &= \frac{PC(\text{psi}) \times 6894.76}{\rho \times g} + (Z_D - Z_S) \\
 &= \frac{1375 \times 6894.76}{1002 \times 9.81} + 0 = \mathbf{964.46 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{paralel}(m) &= \frac{HB(m) \times HC(m)}{2} + (Z_D - Z_S) \\
 &= \frac{885.5 \times 964.46}{2} + 0 = \mathbf{974.98 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

➤ Daya air paralel (*WHP*)

$$\begin{aligned}
 WHP(kW) &= \frac{\rho \ g \ H \ Q}{1000} = \frac{1002 \times 9.81 \times 974.98 \times 0.092}{1000} \\
 &= \mathbf{885.4 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

➤ Daya poros paralel (*BHP*)

$$BHP(kW) = P_{in} \times \eta_{motor} = 1317 \times 0.958 = \mathbf{1261.68 \text{ kW}}$$

➤ Efisiensi pompa paralel (η_{pompa})

$$\begin{aligned}
 \eta_{pompa} &= \frac{H_{paralel} \times SG}{k} \times \frac{\sum Q}{\sum BHP} = \frac{974.98 \times 1.002}{0.1021} \times \frac{94.45}{1261680} \\
 &= 0.7162 \times 100\% = \mathbf{71.62\%}
 \end{aligned}$$

➤ Head sistem dalam meter (H_{sis})

$$H_{sis}(m) = \frac{P_{sis}(\text{psi}) \times 6894.76}{\rho \times g} = \frac{824 \times 6894.76}{1002 \times 9.81} = \mathbf{578.32 \text{ m}}$$

➤ Daya air masuk sistem (WHP_{sis})

$$\begin{aligned}
 WHP_{sis}(kW) &= \frac{\rho \ g \ H_{sis} \ Q}{1000} = \frac{1002 \times 9.81 \times 578.32 \times 0.092}{1000} \\
 &= \mathbf{525.21 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

➤ Efisiensi sistem (η_{sistem})

$$\eta_{sistem} = \frac{WHP_{sis}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{525.21}{1317} \times 100\% = \mathbf{39.87\%}$$

4. Perhitungan biaya operasional pompa injeksi

Biaya operasional diasumsikan dengan tarif biaya PLN yaitu Rp. 1410,00/kWh 6.6 kV. Asumsi ini akan memudahkan pemahaman biaya operasional dan kerugian biaya operasional untuk menggerakkan pompa injeksi. Karena kenyataan di lapangan sumber listrik perusahaan berasal dari 2 turbin gas kepemilikan sendiri, 1 turbin gas, dan 1 genset yang disewa dari pihak ketiga / kontrak. 4 pembangkit listrik tersebut menggunakan bahan bakar gas dan diesel. Kemudian ada 2 cadangan pembangkit listrik apabila ada turbin gas yang mengalami masalah.

Di bawah ini akan dijabarkan perhitungan biaya operasional dan kerugian biaya operasional yang bekerja selama 1 jam, 24 jam, dan 1 bulan secara terus-menerus.

- Biaya operasional pompa desain

Diketahui:

- Daya *Input* (P_{in}) : 723 kW
- Daya air pompa (WHP) : 540.62 kW
- Daya berguna (WHP_{sis}) : 540.62 kW
- Efisiensi sistem (η_{sistem}) : 74%
- Tarif biaya (Rp PLN) : 1410,00/kWh 6.6 kV
- Waktu operasional (t) : 24 jam

Ditanya:

- Biaya operasinal pompa desain (Rp Ds)?
- Kerugian biaya operasional pompa desain (-Rp Ds)?

Jawab:

- Biaya operasional pompa Desain (Rp Ds)
- $$Rp\ Ds(Rp) = P_{in} \times Rp\ PLN = 723 \times 1410$$

$$= \mathbf{Rp. 1.019.430,00}$$

$$Rp\ Ds\ 24\ jam(Rp) = P_{in} \times Rp\ PLN \times 24\ jam$$

$$= 723 \times 1410 \times 24 = \mathbf{Rp. 24.466.320,00}$$

$$\begin{aligned}
 Rp \text{ Ds 1 bulan}(Rp) &= P_{in} \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 723 \times 1410 \times 24 \times 30 \\
 &= \mathbf{Rp. 733. 989. 600, 00}
 \end{aligned}$$

- Kerugian biaya operasional pompa (-Rp Ds)

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ Ds}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \\
 &= (540.62 - 540.62) \times 1410 = \mathbf{Rp. 0}
 \end{aligned}$$

- Biaya operasional pompa B individual pada tanggal 15-Juni-2016

Diketahui:

- Daya *Input* (P_{in}) : 776 kW
- Daya air pompa (WHP) : 582.17 kW
- Daya berguna (WHP_{sis}) : 317.86 kW
- Efisiensi sistem (η_{sistem}) : 40.96%
- Tarif biaya (Rp PLN) : 1410,00/kWh 6.6 kV
- Waktu operasional (t) : 24 jam

Ditanya:

- Biaya operasinal pompa B (Rp B)?
- Kerugian biaya operasional pompa B (-Rp B)?

Jawab:

- Biaya operasional pompa B

$$Rp \text{ B}(Rp) = P_{in} \times Rp \text{ PLN} = 776 \times 1410 = \mathbf{Rp. 1. 094. 160, 00}$$

$$\begin{aligned}
 Rp \text{ B 24 jam}(Rp) &= P_{in} \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} = 776 \times 1410 \times 24 \\
 &= \mathbf{Rp. 26. 259. 840, 00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rp \text{ B 1 bulan}(Rp) &= P_{in} \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 776 \times 1410 \times 24 \times 30 \\
 &= \mathbf{Rp. 787. 795. 200, 00}
 \end{aligned}$$

- Kerugian biaya operasional pompa (-Rp B)

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ B}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \\
 &= (582.17 - 317.86) \times 1410 = \mathbf{Rp. 354. 333, 00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ B } 24 \text{ jam}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} \\
 &= (582.17 - 317.86) \times 1410 \times 24 \\
 &= \mathbf{Rp. 8.504.012,00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ B } 1 \text{ bulan}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \\
 &= (582.17 - 317.86) \times 1410 \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\
 &= \mathbf{Rp. 255.120.383,00}
 \end{aligned}$$

- Biaya operasional pompa B dan C paralel pada tanggal 20-Juni-2016

Diketahui:

- Daya Input (P_{in}) : 1317 kW
- Daya air pompa (WHP) : 855.44 kW
- Daya berguna (WHP_{sis}) : 525.21 kW
- Efisiensi sistem (η_{sistem}) : 40.96%
- Tarif biaya (Rp PLN) : 1410,00/kWh 6.6 kV
- Waktu operasional (t) : 24 jam

Ditanya:

- Biaya operasinal pompa B dan C paralel (Rp BC)?
- Kerugian biaya operasional pompa B dan C paralel (-Rp BC)?

Jawab:

- Biaya operasional pompa B dan C paralel (Rp BC)

$$\begin{aligned}
 Rp \text{ BC}(Rp) &= P_{in} \times Rp \text{ PLN} = 1317 \times 1410 \\
 &= \mathbf{Rp. 1.856.570,00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rp \text{ BC } 24 \text{ jam}(Rp) &= P_{in} \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 1317 \times 1410 \times 24 = \mathbf{Rp. 44.567.280,00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rp \text{ BC } 1 \text{ bulan}(Rp) &= P_{in} \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 1317 \times 1410 \times 24 \times 30 \\
 &= \mathbf{Rp. 1.337.018.400,00}
 \end{aligned}$$

- Kerugian biaya operasional pompa dan C paralel (-Rp BC)

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ BC}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \\
 &= (855.44 - 525.21) \times 1410 = \mathbf{Rp. 507.929,00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ BC } 24 \text{ jam}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \times 24 \text{ jam} \\
 &= (855.44 - 525.21) \times 1410 \times 24 \\
 &= \mathbf{Rp. 12. 190. 297, 00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -Rp \text{ BC } 1 \text{ bulan}(Rp) &= (WHP - WHP_{sis}) \times Rp \text{ PLN} \\
 &= (855.44 - 525.21) \times 1410 \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\
 &= \mathbf{Rp. 365. 708. 939, 00}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Hasil Perhitungan Data Pompa Injeksi

Hasil perhitungan data pompa injeksi dan biaya operasional dari data pompa desain, pompa yang bekerja individual, dan paralel akan disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini:

Tabel 4.5. 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 4.6. Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi desain

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

Tabel 4.7. Hasil perhitungan pompa injeksi B individual

Tanggal	Debit	Head Pompa	WHP	BHP	Efisiensi Pompa	Head Sistem	WHPsis	Efisiensi Sistem
	(Bpd)	(m)	(kW)	(kW)	(%)	(m)	(kW)	(%)
15-Jun-16	40335	815.75	582.17	743.40	78.31	445.40	317.8	40.96
07-Jul-16	39977	820.66	580.48	735.74	78.89	465.39	329.18	42.86

Tabel 4.8. 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 4.9. Hasil perhitungan pompa injeksi C individual

Tanggal	Debit	Head Pompa	WHP	BHP	Efisiensi Pompa	Head Sistem	WHPsis	Efisiensi Sistem
	(Bpd)	(m)	(kW)	(kW)	(%)	(m)	(kW)	(%)
12-Jun-16	40830	702.82	507.73	689.76	73.61	359.83	259.94	36.10
18-Jul-16	31629	775.07	433.74	610.24	71.07	487.14	272.61	42.79

Tabel 4.10. 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 4.11. Hasil perhitungan pompa injeksi B dan C paralel

Tanggal	Debit	Head Pompa B	Head Pompa C	Head Pompa Paralel	WHP Paralel
	(Bpd)	(m)	(m)	(psi)	(kW)
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 4.12. Hasil perhitungan pompa injeksi B dan C paralel lanjutan

Tanggal	BHP Paralel	Efisiensi Pompa Paralel	Head Sistem	WHPsis	Efisiensi Sistem
	(kW)	(%)	(m)	(kW)	(kW)
20-Jun-16	1261.68	71.62	578.32	525.21	39.87
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 4.13. Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B dan C paralel pada tanggal 20-Juni-2016

Tanggal	20-Jun-16	
	waktu	biaya
Biaya Operasional	1 jam	Rp. 1.856.970,00
	24 jam	Rp. 44.567.280,00
	1 bulan	Rp. 1.337.018.400,00
Kerugian Biaya Operasional	1 jam	Rp. 507.929,00
	24 jam	Rp. 12.190.297,00
	1 bulan	Rp. 365.708.939,00

Tabel 4.14. Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B dan C paralel pada tanggal 26-Juli-2016

Tanggal	26-Jul-16	
	waktu	biaya
Biaya Operasional	1 jam	Rp. 1.804.800,00
	24 jam	Rp. 43.315.200,00
	1 bulan	Rp. 1.299.456.000,00
Kerugian Biaya Operasional	1 jam	Rp. 563.003,00
	24 jam	Rp. 13.512.073,00
	1 bulan	Rp. 405.362.205,00

Tabel 4.15. Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi B dan C paralel pada tanggal 01-Agustus-2016

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

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Hasil Perhitungan Data Pompa Injeksi

Dari data pompa injeksi desain, satu pompa injeksi diharapkan bekerja dengan debit 30000 bpd, *head* 1000 m, dan efisiensi pompa 78%. Maka dari data tersebut didapat hasil daya air sebesar 540.62 kW, daya poros sebesar 693.11 kW, daya *input* sebesar 723 kW, dan efisiensi sistem sebesar 74.72%. Data tersebut akan digunakan sebagai pembandingan dengan hasil analisis data pompa B yang bekerja individual, pompa C yang bekerja individual, dan pompa B dan C yang bekerja paralel.

Pada tabel 4.16 adalah data performansi pompa injeksi SPX David Brwon 34 *11-stage pump* yang dikeluarkan oleh perusahaan Clydeunion Pump. Data tersebut digunakan sebagai acuan dasar analisis penentuan performansi kerja pompa injeksi.

Tabel 4.16. Data *Performance Certified* Pompa SPX David Brown 34

<i>Flow</i>		<i>Head</i>		<i>Efficiency</i>
(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

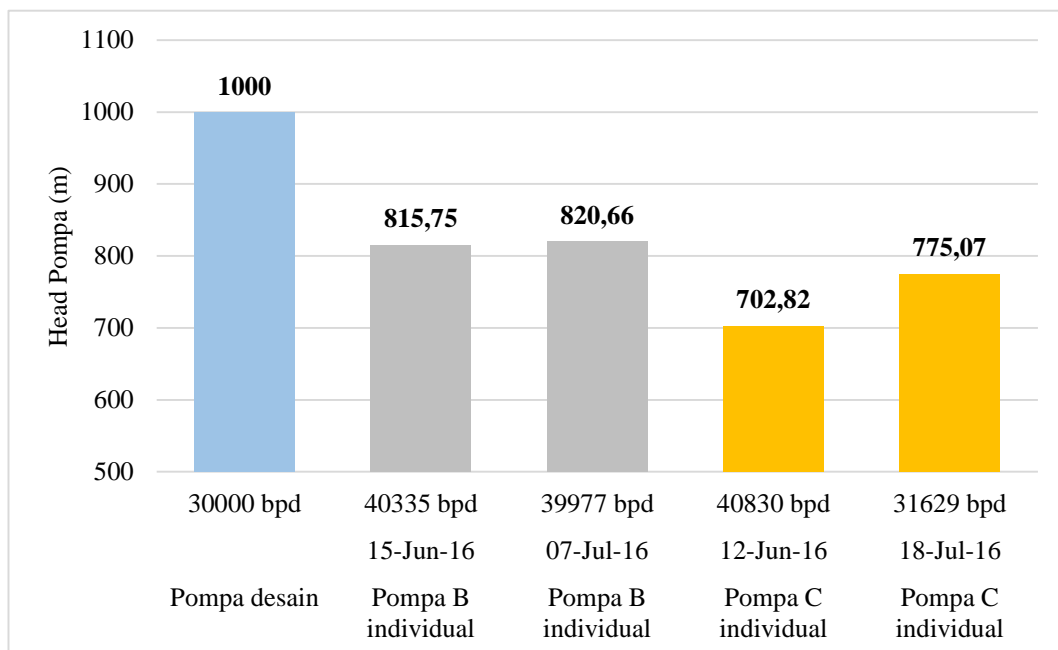
1. Hubungan *head* pompa ketika pompa bekerja individual dan paralel pada debit bervariasi

Dari hasil perhitungan data pompa B yang bekerja individual, pompa C yang bekerja individual. Di dapat nilai *head* pompa yang telah disajikan dalam bentuk tabel 4.17 dibawah ini:

Tabel 4.17. Hasil perhitungan *head* pompa ketika pompa bekerja individual pada debit bervariasi

Pompa	Tanggal	Debit	<i>Head</i> pompa
Pompa desain	-	30000 bpd	1000 m
Pompa B individual	15-Juni-2016	40335 bpd	815.75 m
Pompa B individual	7-Juli-2016	39977 bpd	820.66 m
Pompa C individual	12-Juni 2016	40830 bpd	702.82 m
Pompa C individual	18-Juli 2016	31629 bpd	775.07 m

Dari tabel 4.17 maka dapat disimpulkan menggunakan gambar 4.2 Grafik hubungan *head* yang dapat dibangkitkan pompa ketika pompa bekerja individual pada debit bervariasi berikut:



Gambar 4.2. Grafik hubungan *head* pompa ketika pompa bekerja individual pada debit bervariasi

Dari grafik diatas menunjukkan *head* pompa tertinggi terjadi pada tanggal 07-Juli-2016 ketika pompa B bekerja individual yaitu 820.66 m dengan debit 39977 bpd, dan yang terendah terjadi pada tanggal 12-Juni-2016 ketika pompa C bekerja individual yaitu 702.82 m dengan debit 40830 bpd. Dilihat dari kerja pompa B dan C individual semakin meningkatnya debit yang mengalir akan menurunkan *head* yang dapat dibangkitkan kedua pompa.

Pompa B menunjukkan *head* pompa berkisar 815-820 m dengan debit sekitar 40000 bpd. Dilihat dari data performansi pompa, pompa B bekerja di antara debit 35794 bpd dengan *head* 916 m dan 42822 bpd dengan *head* 787 m. Maka pompa B masih menunjukkan *head* sesuai pada kurva performansinya.

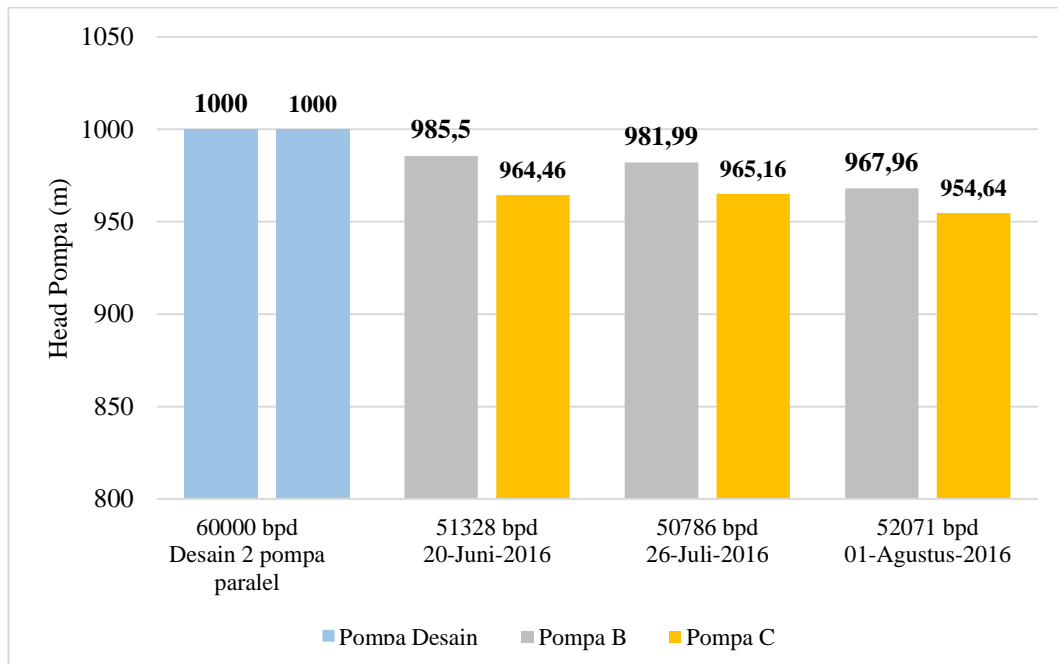
Pompa C menunjukkan *head* pompa 702.82 m dengan debit 40830 bpd. Berbeda 120 m dengan *head* pompa B yang juga bekerja pada kisaran debit 40000 bpd. Rendahnya *head* yang dapat dibangkitkan pompa C dikarenakan umur pompa yang sudah tua dan pemakaian pompa secara berlebihan. Hal ini menyebabkan keausan pada *sparepart* pompa dan memperbesar rugi-rugi mekanis yang terjadi di dalam pompa C.

Dari hasil analisis perhitungan data pompa B dan C yang bekerja paralel. Didapat nilai *head* pompa yang telah disajikan dalam bentuk tabel 4.18 dibawah ini:

Tabel 4.18. Hasil perhitungan *head* pompa ketika pompa bekerja paralel pada debit bervariasi

Pompa Paralel	Tanggal	Debit	<i>Head</i> pompa
Pompa B	20-Juni-2016	51328 bpd	985.5 m
Pompa C			964.46 m
Pompa B	26-Juli-2016	50786 bpd	981.99 m
Pompa C			965.16 m
Pompa B	01-Agustus-2016	52071 bpd	967.96 m
Pompa C			954.64 m

Dari tabel 4.18 maka dapat disimpulkan menggunakan gambar 4.3 Grafik hubungan *head* yang dapat dibangkitkan pompa B dan C ketika pompa bekerja paralel pada debit bervariasi berikut:



Gambar 4.3. Grafik hubungan *head* pompa ketika pompa B dan C bekerja paralel pada debit bervariasi

Dari grafik diatas menunjukkan *head* pompa tertinggi terjadi pada tanggal 20-Juni-2016 ketika pompa B dan C paralel yaitu pada pompa B sebesar 985.5 m dengan debit 51328 bpd, dan yang terendah terjadi pada tanggal 01-Agustus-2016 ketika pompa B dan C paralel yaitu pada pompa C sebesar 954.64 m dengan debit 52071 bpd.

Dari grafik diatas juga menunjukkan *head* pompa B dan C paralel relatif sama. Padahal ketika pompa B dan C bekerja individual pada debit yang relatif sama menunjukkan *head* yang cukup jauh berbeda. Hal ini membuktikan ketika pompa B dan C bekerja paralel, pompa B yang memiliki *head* lebih besar akan membantu menaikkan *head* dari pompa C.

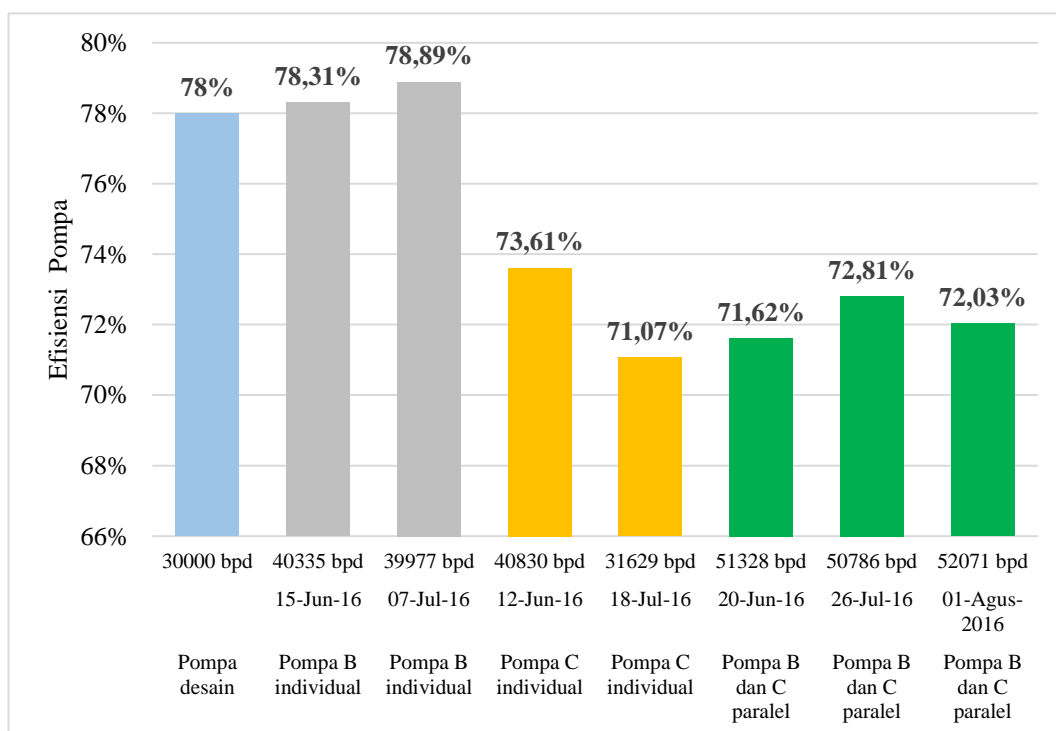
2. Hubungan efisiensi pompa ketika pompa bekerja individual dan paralel pada debit bervariasi

Dari hasil perhitungan data pompa B yang bekerja individual, pompa C yang bekerja individual, dan pompa B dan C yang bekerja paralel. Di dapat nilai efisiensi yang telah disajikan dalam bentuk tabel 4.19 dibawah ini:

Tabel 4.19. Hasil perhitungan efisiensi pompa injeksi pada debit bervariasi

Pompa	Tanggal	Debit	Efisiensi pompa
Pompa desain	-	30000 bpd	78%
Pompa B individual	15-Juni-2016	40335 bpd	78.31%
Pompa B individual	7-Juli-2016	39977 bpd	78.89%
Pompa C individual	12-Juni 2016	40830 bpd	73.61%
Pompa C individual	18-Juli 2016	31629 bpd	71.07%
Pompa B dan C paralel	20-Juni-2016	51328 bpd	71.62%
Pompa B dan C paralel	26-Juli-2016	50786 bpd	72.81%
Pompa B dan C paralel	01-Agustus-2016	52071 bpd	72.03%

Dari tabel 4.19 maka dapat disimpulkan menggunakan gambar 4.4 Grafik hubungan efisiensi pompa ketika pompa bekerja individual, dan paralel pada debit bervariasi berikut:

**Gambar 4.4.** Grafik hubungan efisiensi pompa dengan pompa kerja individual, dan paralel pada debit bervariasi

Dari grafik di atas menunjukkan efisiensi pompa tertinggi terjadi pada tanggal 07-Juli-2016 ketika pompa B bekerja individual dengan debit 39977 bpd yaitu sebesar 78.89%, dan yang terendah terjadi pada

tanggal 20-Juni-2016 ketika pompa B dan C bekerja paralel dengan debit 51328 bpd.

Pompa B menunjukkan efisiensi pompa yang tinggi, yaitu sebesar 78.89% dan 78.31% dikarenakan pompa B merupakan pompa baru yang dipasang pada tahun 2016, tentunya masih memiliki performansi yang baik. Efisiensi pompa B yang melebihi dari efisiensi pompa desain disebabkan oleh pompa injeksi SPX David Brown 34 sebenarnya memiliki titik *Best Efficiency Point* (BEP) pada debit 35794 bpd, dengan *head* pompa 916 m, dan efisiensi maksimal 79%.

Pompa C menunjukkan efisiensi pompa yang rendah, jika dibandingkan dengan efisiensi pompa desain pada debit yang relatif sama sekitar 30000 bpd. Pompa desain menunjukkan efisiensi 78%, sedangkan pada tanggal 18-Juli-2016 pompa C menunjukkan efisiensi 71.07%. Rendahnya efisiensi pada pompa C dikarenakan umur pompa yang sudah tua dan pemakaian pompa secara berlebihan. Hal ini menyebabkan keausan pada *sparepart* pompa dan memperbesar rugi-rugi mekanis yang terjadi di dalam pompa C.

Pompa B dan C paralel memiliki efisiensi berkisar 71-73%. Ini cukup rendah dikarenakan debit yang mengalir hanya berkisar 50000 bpd. Pompa injeksi yang bekerja paralel akan mendekati efisiensi tertinggi ketika bekerja pada debit 60000 bpd – 80000 bpd. Efisiensi Pompa C yang telah menurun juga mempengaruhi efisiensi pompa B dan C paralel.

3. Hubungan *head*, efisiensi pompa, dan performansi pompa ketika pompa bekerja individual dan paralel pada debit bervariasi

Dari hasil pembahasan di atas, pompa B yang bekerja individual menunjukkan efisiensi tertinggi yaitu 78.89%, walaupun debit yang dialirkan tidak memenuhi kisaran target injeksi yaitu sekitar 48500 bpd – 52000 bpd. Karena pompa B merupakan pompa baru, *head* yang dapat dibangkitkan oleh pompa B masih bersesuaian dengan kurva

performansinya. Maka dapat disimpulkan pompa B masih dalam performansi baik.

Berbeda dengan pompa C yang menunjukkan *head* dan efisiensi yang tidak bersesuaian dengan kurva performansinya. Hal ini disebabkan oleh umur pompa yang sudah tua dan pemakaian pompa yang berlebihan. Maka dapat disimpulkan pompa C telah mengalami penurunan performansi.

Ketika terjadi penurunan performansi pada pompa, maka pompa akan mengalami perubahan kurva performansinya. Hal ini akan menyebabkan *head* yang dapat dibangkitkan pompa akan menurun pada setiap debit bervariasi, dan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa tidak bersesuaian pada kurva performansinya. Maka seiring menurunnya performansi pompa efisiensi pompa juga ikut menurun.

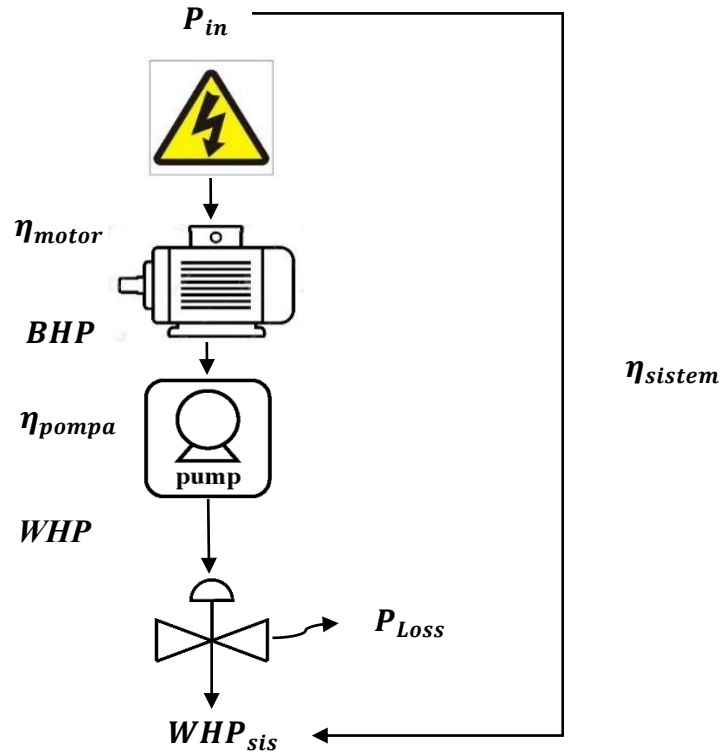
Efisiensi pompa juga dipengaruhi oleh debit yang mengalir, semakin mendekati debit pada *Best Efficiency Point* (BEP), maka efisiensi pompa akan meningkat.

Pompa B dan C bekerja paralel menunjukkan *head* yang relatif sama, padahal ketika pompa B bekerja individual menunjukkan *head* yang lebih tinggi dari pada *head* pompa C pada debit yang relatif sama. Rendahnya efisiensi pompa B dan C yang bekerja paralel dikarenakan debit yang mengalir tidak mendekati *Best Efficiency Point* (BEP). Efisiensi dan performansi pompa C yang telah menurun juga mempengaruhi efisiensi ketika pompa B dan C bekerja paralel.

4.2.2 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 dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini:



Gambar 4.5. Skema sistem pompa injeksi

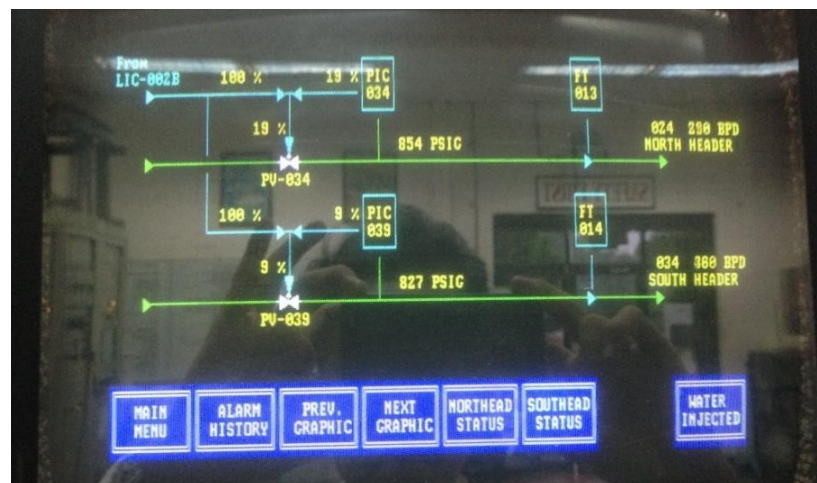
Dari gambar skema di atas dapat diketahui sistem pompa mengalami rugi-rugi perpindahan dari daya listrik menjadi daya air. Rugi-rugi tersebut terjadi pada motor listrik, pompa, dan sistem perpipaan. Maka dalam sistem ini terdapat 3 efisiensi yaitu efisiensi motor listrik, efisiensi pompa, dan efisiensi sistem. Semakin tinggi nilai efisiensi dalam suatu instrument maka rugi-rugi yang terjadi akan semakin kecil. Nilai efisiensi tertinggi adalah 1 / 100%.

1. Pembahasan efisiensi energi pompa injeksi

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.

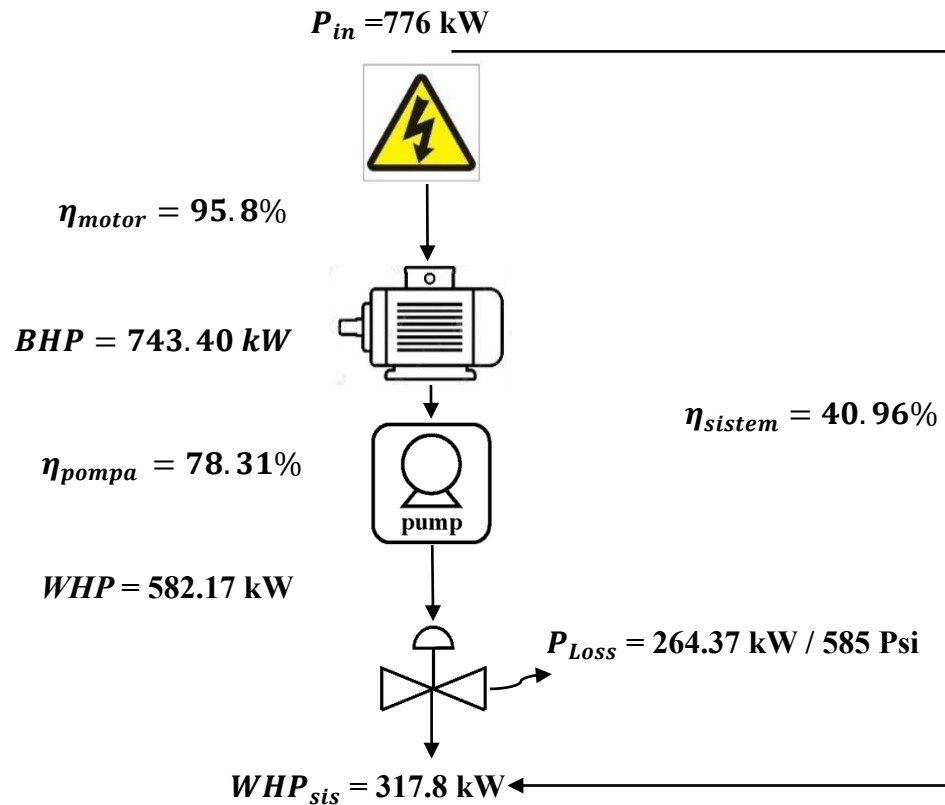
Ketika pompa bekerja individual rata-rata tekanan keluar *control valve* berkisar dari 500 Psi - 700 Psi. Sedangkan ketika pompa bekerja paralel tekanan rata-rata keluar *control valve* berkisar dari 700 Psi - 900 Psi. Perbedaan ini disebabkan oleh tidak ada perubahan pengaturan tekanan *control valve north header* sebesar 19% dan pengaturan tekanan *control valve south header* sebesar 9% ketika bekerja individual maupun paralel. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Jadi apabila tekanan *discharge* pompa yang bekerja individual lebih kecil dari tekanan pompa yang bekerja paralel, maka tekanan keluar *control valve* juga akan lebih kecil.



Gambar 4.6. Kontrol PLC *Water Injection Plant* (WIP)

Tekanan keluar *control valve* dikontrol dibawah 900 Psi dikarenakan pipa distribusi yang sering mengalami kebocoran apabila tekanan dinaikan lebih dari 900 Psi. Karena tekanan berbanding lurus degan daya air, maka semakin kecil tekanan akan semakin kecil daya air yang dihasilkan. Padahal pompa injeksi tetap membutuhkan daya yang sangat besar untuk menggerakannya.

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 4.7. Skema sistem pompa B individual tanggal 15-Juni-2016

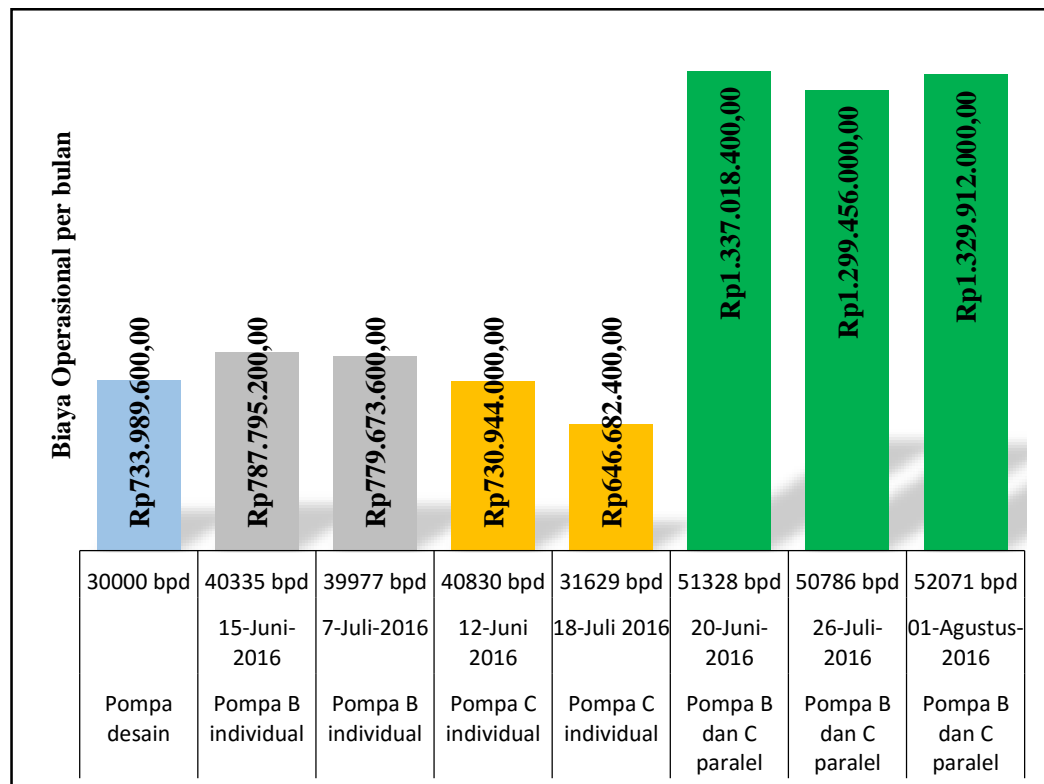
2. Hubungan biaya operasional ketika pompa bekerja individual dan paralel pada debit bervariasi

Dari hasil perhitungan biaya operasional pompa B bekerja individual, pompa C bekerja individual, dan pompa B dan C yang bekerja paralel. Didapat biaya operasional selama 1 bulan yang disajikan dalam bentuk tabel 4.20 dibawah ini:

Tabel 4.20. Hasil perhitungan biaya operasional pompa injeksi

Pompa	Tanggal	Debit	Biaya Operasional 1 Bulan
Pompa desain	-	30000 bpd	Rp. 733.989.600,00
Pompa B individual	15-Juni-2016	40335 bpd	Rp. 787.795.200,00
Pompa B individual	7-Juli-2016	39977 bpd	Rp. 779.673.600,00
Pompa C individual	12-Juni 2016	40830 bpd	Rp. 730.944.000,00
Pompa C individual	18-Juli 2016	31629 bpd	Rp. 646.682.400,00
Pompa B dan C paralel	20-Juni-2016	51328 bpd	Rp. 1.337.018.400,00
Pompa B dan C paralel	26-Juli-2016	50786 bpd	Rp. 1.299.456.000,00
Pompa B dan C paralel	01-Agustus-2016	52071 bpd	Rp. 1.329.912.000,00

Dari tabel 4.20 di atas maka dapat disimpulkan menggunakan gambar 4.8 Grafik hubungan biaya operasional ketika pompa bekerja individual, dan paralel pada debit bervariasi berikut:

**Gambar 4.8.** Grafik hubungan biaya operasional ketika pompa bekerja individual dan paralel pada debit bervariasi selama 1 bulan

Dari grafik di atas menunjukkan biaya operasional tertinggi terjadi pada tanggal 20-Juni-2016 ketika pompa B dan C bekerja paralel yaitu sebesar Rp. 1.337.018.400,00 per bulan dengan debit 51328 bpd, dan yang terendah terjadi pada tanggal 18-Juli-2016 ketika pompa C bekerja individual yaitu sebesar Rp. 646.682.400,00 per bulan dengan debit 31629 bpd.

Pada pompa yang 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 per bulan sedangkan pompa C memiliki biaya operasional sebesar Rp. 646.682.400,00 per bulan. Hal ini menyebabkan pompa C adalah pompa yang selalu diparalelkan dengan pompa lainnya karena memiliki biaya operasional yang lebih rendah.

Kenaikan debit pada pompa juga berpengaruh pada kenaikan biaya operasionalnya. Terlihat pada pompa C yang bekerja individual, saat pompa C mengalirkan debit 31629 bpd, biaya operasionalnya sebesar Rp. 646.682.400,00 per bulan, sedangkan saat pompa C mengalirkan debit 40830 bpd, biaya operasionalnya lebih besar yaitu Rp. 730.944.000,00 per bulan.

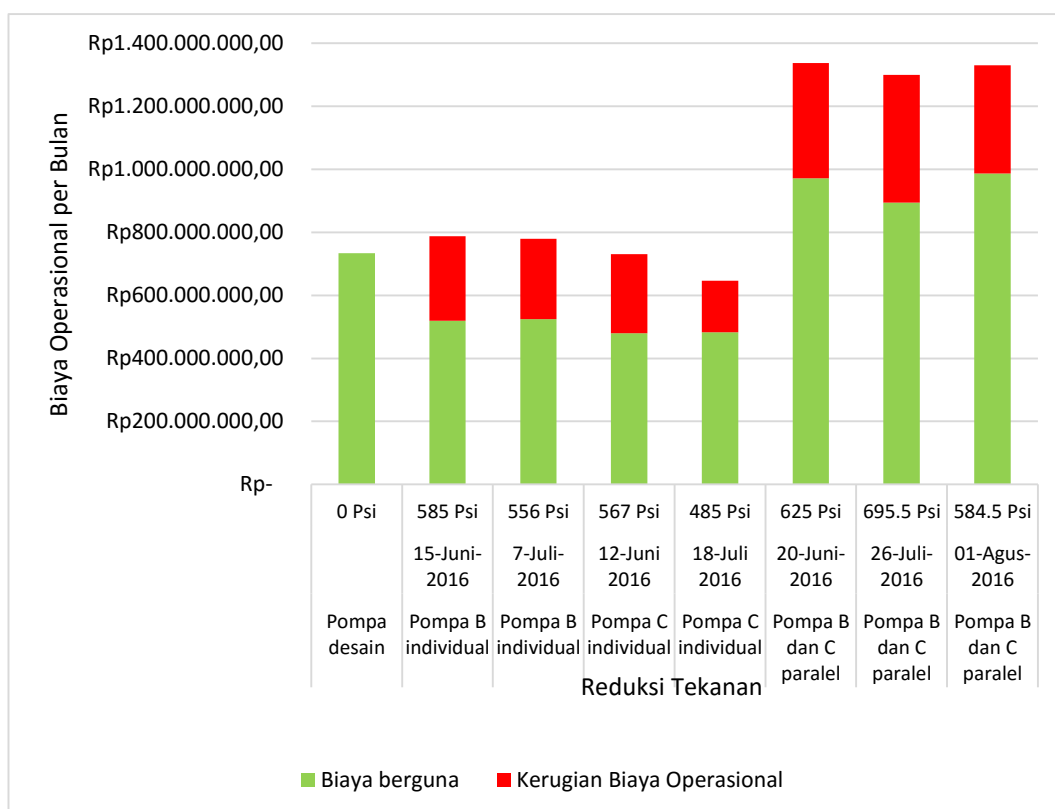
3. Hubungan kerugian biaya operasional dengan reduksi tekanan ketika pompa bekerja individual dan paralel

Dari hasil perhitungan biaya operasional pompa B bekerja individual, pompa C bekerja individual, dan pompa B dan C yang bekerja paralel. Didapat biaya operasional dan kerugian biaya operasional selama 1 bulan yang disajikan dalam bentuk tabel 4.21 dibawah ini:

Tabel 4.21. Hasil perhitungan biaya operasional dan kerugian biaya operasional pompa injeksi

Pompa	Tanggal	Reduksi Tekanan	Biaya Operasional 1 Bulan	Kerugian Biaya Operasional 1 Bulan	Presentase Kerugian
Pompa desain	-	0 Psi	Rp. 733.989.600,00	Rp. 0,00	0.00%
Pompa B individual	15-Juni-2016	585 Psi	Rp. 787.795.200,00	Rp. 268.332.428,00	34.06%
Pompa B individual	7-Juli-2016	556 Psi	Rp. 779.673.600,00	Rp. 255.120.383,00	32.72%
Pompa C individual	12-Juni-2016	567 Psi	Rp. 730.944.000,00	Rp. 251.563.452,00	34.42%
Pompa C individual	18-Juli-2016	485 Psi	Rp. 646.682.400,00	Rp. 163.589.237,00	25.30%
Pompa B dan C paralel	20-Juni-2016	625 Psi	Rp. 1.337.018.400,00	Rp. 365.708.939,00	27.35%
Pompa B dan C paralel	26-Juli-2016	695.5 Psi	Rp. 1.299.456.000,00	Rp. 405.362.205,00	31.19%
Pompa B dan C paralel	01-Agustus-2016	584.5 Psi	Rp. 1.329.912.000,00	Rp. 342.791.575,00	25.78%

Dari tabel 4.20 di atas maka dapat disimpulkan menggunakan gambar 4.9 Grafik hubungan reduksi tekanan dengan kerugian biaya operasional ketika pompa bekerja individual dan paralel berikut:



Gambar 4.9. Grafik hubungan kerugian biaya operasional dengan reduksi tekanan ketika pompa bekerja individual dan paralel selama 1 bulan

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.

4.2.3 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.

Di bawah ini akan dijabarkan satu-persatu metode yang lebih baik diterapkan dari nomor 1 hingga terakhir nomor 4:

1. Mengganti diameter impeler pompa dengan yang lebih kecil

Metode ini adalah pilihan pertama untuk meningkatkan efisiensi sistem pompa injeksi karena menggunakan biaya yang paling rendah dari

metode lainnya. Metode ini juga mengurangi daya *input* cukup besar dengan syarat masih memenuhi target debit dan *head* yang diinjeksikan. Target injeksi adalah sekitar 48500 bpd – 52000 bpd dengan tekanan 700-900 Psi menggunakan 2 pompa paralel.

Digunakan data acuan dari pompa B untuk dapat menghitung debit, *head*, dan BHP pompa dengan diameter impeler baru menggunakan rumus afianitas:

Diketahui:

- Target debit injeksi maks. (Q_{maks}) : 52000 bpd
- Target *head* pompa maks. (H_{maks}) : 900 Psi / 622.2 m
- Debit pompa B ($Q1$) : 30000 bpd
- *Head* pompa B ($H1$) : 1000 m
- Daya *poros* pompa B ($BHP1$) : 694 kW
- Daya *input* pompa B (P_{in1}) : 724 kW
- Efisiensi pompa (η_{pompa}) : 78%
- Diameter impeler terpasang ($D1$) : 10.875 in
- *Range Impeller recommended* : 9 in – 11 in
- Efisiensi motor (η_{motor}) : 95.8%

Ditanya:

- Debit satu pompa target injeksi maks ($Q2$)?
- Diameter impeller baru ($D2$)?
- *Head* pompa setelah diganti impeler ($H2$)?
- Daya *poros* setelah diganti impeler ($BHP2$)?
- Daya *input* (P_{in2})?
- Penghematan daya (P_{hemat})?

Jawab:

- Debit satu pompa target injeksi maks ($Q2$)

$$Q2 \text{ (bpd)} = \frac{Q_{maks}}{2} = \frac{52000}{2} = \mathbf{26000 \text{ bpd}}$$

- Diameter impeler baru (D_2)

$$D_2 (in) = \frac{D_1}{Q_1} \times Q_2 = \frac{10.875}{30000} \times 26000 = \mathbf{9.425 in}$$

- *Head* pompa setelah diganti impeler (H_2)

$$H_2 (m) = \frac{H_1}{D_1^2} \times D_2^2 = \frac{1000}{10.875^2} \times 9.425^2 = \mathbf{751.11 m}$$

- Daya poros setelah diganti impeler (BHP_2)

$$BHP_2 (kW) = \frac{BHP_1}{D_1^3} \times D_2^3 = \frac{694}{10.875^3} \times 9.425^3 = \mathbf{451.76 kW}$$

- Daya input (P_{in2})

$$P_{in2}(kW) = \frac{BHP_2}{\eta_{motor}} = \frac{451.76}{0.958} = \mathbf{471.56 kW}$$

- Penghematan daya (P_{hemat})

$$P_{hemat}(kW) = P_{in1} - P_{in2} = 724 - 471.56 = \mathbf{252.44 kW}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui dengan perubahan diameter impeler pompa menjadi 9.425 in, yang masih di atas batas diameter impeler terkecil yang direkomendasikan. Menghasilkan penghematan daya sebesar 252.44 kW, dengan debit 26000 bpd, *head* 751.11 m dan daya *input* 471.56 kW. Apabila dua pompa bekerja secara paralel maka dapat menginjeksikan dengan debit 52000 bpd pada *head* 751.11 m dan membutuhkan daya *input* 943.12 kW. Artinya pompa memenuhi target maksimal debit, dan *head* target injeksi, maka ditentukan penggantian diameter impeler yang mendekati 9.425 in yang tersedia di pasaran.

Penggantian impeler baiknya dikonsultasikan terlebih dahulu pada penyedia jasa produk Clydeunion Pump di Indonesia yaitu PT. Duraquipt Cemerlang agar tidak terjadi hal buruk yang akan mempengaruhi kinerja pompa.

2. Memperbaiki sistem perpipaan distribusi

Sering terjadi kebocoran sistem perpipaan injeksi adalah masalah utama dari pembatasan tekanan sistem yang berpengaruh pada rendahnya

efisiensi sistem pompa injeksi. Oleh karena itu, memperbaiki sistem perpipaan adalah pilihan kedua untuk meningkatkan efisiensi sistem injeksi. Walaupun akan menggunakan biaya yang besar tetapi pergantian sistem perpipaan merupakan investasi jangka panjang. Dilihat dari kondisi pipa yang mengalami korosi cukup parah dan umur pipa yang sudah tua. Mengharuskan sistem perpipaan injeksi harus segera diganti. Pada gambar 4.10 adalah contoh kondisi pipa yang diganti karena mengalami kebocoran.



Gambar 4.10. Kondisi bagian dalam pipa injeksi 6 in

Air injeksi / *produced water* adalah fluida yang bersifat korosif. Hal ini membuat laju korosi akan semakin besar pada pipa yang merupakan benda logam. Oleh karena itu pengendalian laju korosi sangat berpengaruh terhadap jangka umur pipa. Beberapa cara untuk mengontrol laju korosi adalah memperketat kontrol *treatment produced water*, menggunakan *scale inhibitor* dan *corrosion inhibitor*. Pengecekan terhadap tebal dinding pipa juga perlu diperhatikan, salah satu cara pengecekan tebal dinding pipa yaitu menggunakan *scrubber*.

Proses injeksi yang selalu beriringan dengan proses produksi minyak, menyebabkan proses injeksi harus selalu beroperasi selama proses produksi minyak masih berlangsung. Apabila sistem perpipaan

tidak segera diganti, dan mendadak terjadi masalah yang parah pada sistem perpipaannya. Maka berhentinya proses injeksi dalam jangka waktu panjang akan menyebabkan berhentinya proses produksi minyak. Hal ini akan sangat merugikan perusahaan karena berhentinya proses produksi minyak akan menyebabkan sumur-sumur mengalami kepasiran / tersumbat.

Sistem perpipaan distribusi yang terpasang memiliki spesifikasi API 5L Sch 40 Grade A25 dengan diameter bervariasi dari 12 in, 10 in, 8 in, 4 in, dan 3 in. Spesifikasi pipa sebenarnya sangat memenuhi M.A.W.P (*Max Allowable Stress Pressure*) sekitar 2500 Psi. Tetapi dilihat dari gambar 4.10 terjadi korosi sangat parah pada dinding dalam pipa dan rawan mengalami kebocoran. Oleh karena itu agar pipa dapat beroperasi lebih lama, baiknya diganti dengan pipa spesifikasi API 5L Sch 80 Grade A25 yang memiliki ketebalan pipa lebih besar. Hal ini akan memperlambat terjadinya kebocoran pada dinding pipa yang disebabkan korosi erosi, korosi bakteri, dan korosi oksidasi.

Apabila proses injeksi dapat beroperasi dengan tekanan tinggi yaitu 1400 Psi sesuai tekanan desain, maka tekanan di dalam reservoir akan ikut meningkat dan mempengaruhi perolehan produksi minyak. Tetapi karena sifat dan kondisi reservoir berbeda-beda, maka pengaturan tekanan pada *wellhead* injeksi diatur oleh divisi *Petroelum Engineer*.

3. Menggunakan motor listrik dengan *variable speed drive* (VSD)

Metode ini merupakan pilihan ketiga karena membutuhkan biaya yang cukup besar dengan nilai investasi yang kurang menguntungkan. Kebutuhan debit dan *head* pompa untuk proses injeksi sebenarnya relatif konstan. Tetapi karena adanya masalah-masalah yang terjadi membuat kebutuhannya menjadi lebih bervariasi.

Metode *variable speed drive* (VSD), *variable frequency drive* (VFD), dan *adjustabel frequency drive* (AFD) sebenarnya memiliki prinsip yang sama, yaitu mengontrol daya dan kecepatan motor listrik

sesuai kebutuhan yang diinginkan dengan cara menggunakan instrumen yang disebut dengan *AC drive*. *AC drive* dapat mengatur frekuensi yang masuk ke motor listrik dan akan mempengaruhi kecepatan putar dan daya pada motor listrik.

Untuk pengaplikasiannya, pertama-tama dibutuhkan data tegangan listrik, frekuensi tegangan, dan spesifikasi motor terpasang untuk menentukan *AC drive* yang sesuai. Pada tabel 4.22 disajikan spesifikasi motor listrik terpasang pada pompa injeksi dalam bentuk tabel di bawah ini:

Tabel 4.22. Spesifikasi motor listrik terpasang

Manufaktur & Model	ABB AMA 400L2 WBSH
Kecepatan putar	2980 rpm
Daya Maksimal	1120 Hp (821 kW)
Voltase	6600 Volt
Frekuensi	50 Hz
Faktor daya	0.9
Fasa Motor	3 fasa
Efisiensi	95.8%

Dari tabel di atas, diketahui motor listrik yang digunakan adalah motor listrik merek ABB, dengan tipe ABB AMA 400L2 WBSH (*Alternating Current Machine, type A=SCIM, frame size 400 mm Long, 2 poles*) dengan daya maksimal 821 kW pada voltase 6600 Volt dan frekuensi 50 Hz. Dari informasi tersebut dapat dicari *AC drive* dengan merek yang sama dari modul *Catalog ABB Drives & Control*.

Setelah selesai membaca modul *Catalog ABB Drives & Control*, didapat *AC drive* yang sesuai dengan voltase, frekuensi, dan spesifikasi motor listrik, yaitu *medium voltage drive* ABB AC2000MV. Gambar dan spesifikasi *AC drive* ABB AC2000MV akan dipaparkan pada gambar 4.11 dan tabel 4.23 di bawah ini:



Gambar 4.11. *Medium voltage drive ABB AC2000MV*

Tabel 4.23. Spesifikasi *medium voltage drive ABB AC2000MV*

Manufaktur & Model	ABB AC2000MV
Kelas	<i>Medium Voltage Drive</i>
Kisaran Daya	250 kW – 3200 kW
Kisaran Voltase	4000 Volt – 6900 Volt

Dari tabel spesifikasi di atas, dapat disimpulkan bahwa *AC drive* ABB AC2000MV sangat cocok untuk diaplikasikan pada sistem pompa injeksi dengan kebutuhan yang bervariasi karena memiliki area kisaran daya yang besar.

Untuk menghitung pengaturan daya dan frekuensi pada *AC drive* yang sesuai dengan kebutuhan injeksi. Digunakan data *performance certified* pompa B untuk dapat menghitung debit, *head*, dan BHP pompa yang sudah dikontrol *AC drive* menggunakan rumus afianitas:

Diketahui:

- Target debit injeksi maks. (Q_{maks}) : 52000 bpd
- Target *head* pompa maks. (H_{maks}) : 900 Psi / 622.2 m
- Debit pompa B ($Q1$) : 30000 bpd
- *Head* pompa B ($H1$) : 1000 m
- Daya poros pompa B ($BHP1$) : 694 kW

- Daya *input* pompa B (P_{in1}) : 724 kW
- Efisiensi pompa (η_{pompa}) : 78%
- Kecepatan putar motor pompa B ($\omega1$) : 2980 rpm
- Frekuensi tegangan motor pompa B ($f1$) : 50 Hz
- Jumlah *pole* motor pompa B (p) : 2 *poles*

Ditanya:

- Debit satu pompa terget injeksi maks ($Q2$)?
- Keperluan kecepatan putar ($\omega2$)?
- *Head* pompa pada kecepatan putar tertentu ($H2$)?
- Daya poros setelah kecepatan putar tertentu ($BHP2$)?
- Keperluan aliran daya (P_{in2})?
- Penghamatan daya (P_{hemat})?
- Kerpluan frekuensi tegangan ($f2$)?

Jawab:

- Debit satu pompa terget injeksi maks ($Q2$)

$$Q2 \text{ (bpd)} = \frac{Q_{maks}}{2} = \frac{52000}{2} = \mathbf{26000 \text{ bpd}}$$

- Keperluan kecepatan putar ($\omega2$)?

$$\omega2 \text{ (rpm)} = \frac{\omega1}{Q1} \times Q2 = \frac{2980}{30000} \times 26000 = \mathbf{2583 \text{ rpm}}$$

- *Head* pompa pada kecepatan putar 2583 rpm ($H2$)

$$H2 \text{ (m)} = \frac{H1}{D1^2} \times D1^2 = \frac{1000}{2980^2} \times 2583^2 = \mathbf{751.30 \text{ m}}$$

- Daya poros pada kecepatan putar 2583 rpm ($BHP2$)

$$BHP2 \text{ (kW)} = \frac{BHP1}{D1^3} \times D1^3 = \frac{694}{2980^3} \times 2583^3 = \mathbf{451.94 \text{ kW}}$$

- Daya *input* (P_{in2})?

$$P_{in2} \text{ (kW)} = \frac{BHP2}{\eta_{motor}} = \frac{451.94}{0.958} = \mathbf{471.75 \text{ kW}}$$

- Penghematan daya (P_{hemat})

$$P_{hemat}(kW) = P_{in1} - P_{in2} = 724 - 471.75 = \mathbf{252.25 kW}$$

- Kerpluan frekuensi tegangan ($f2$)

$$f2 (Hz) = \frac{\omega 2 \times p}{120} = \frac{2583 \times 2}{120} = \mathbf{43.05 Hz}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui dengan perubahan kecepatan putar motor pompa menjadi 2583 rpm, maka menghasilkan penghematan daya sebesar 252.25 kW, dengan debit 26000 bpd, *head* 751.30 m dan daya *input* 471.75 kW. Apabila dua pompa bekerja secara paralel maka dapat menginjeksikan dengan debit 52000 bpd pada *head* 751.30 m dan membutuhkan daya *input* 943.5 kW. Artinya pompa memenuhi target maksimal debit, dan *head* yang diinjeksikan. Kemudian ditentukan pengaturan frekuensi pada AC *drive* sebesar 43.05 Hz.

4. Menggunakan pompa injeksi dengan kapasitas sesuai kebutuhan

Mengganti pompa injeksi adalah pilihan terakhir untuk meningkatkan efisiensi energi pompa injeksi. Karena membutuhkan biaya yang besar dan nilai investasi yang merugikan. Hal ini dikarenakan 3 pompa injeksi baru saja diganti pada 2016, yaitu pompa A, B, dan D. Hanya pompa C yang merupakan pompa lama yang masih beroperasi.

Ketiga pompa baru ini memiliki kapasitas yang sama dengan kapasitas desain, yaitu mengalirkan debit 30000 bpd dengan tekanan 1400 Psi. Tetapi kenyataannya di lapangan, proses injeksi beroperasi menggunakan dua pompa paralel pada debit 48500 – 52000 bpd dengan tekanan 700-900 Psi. Maka pompa A, B, dan D dapat dikatakan *oversize* / kapasitasnya melebihi kebutuhan yang ditentukan.

Apabila penggantian pompa adalah jalan yang dipilih untuk meningkatkan efisiensi energi pompa injeksi. Maka direkomendasikan mengganti pompa dengan kapasitas 26000 bpd pada *head* 700 m.

4.2.4 Pembahasan Komprehensif

Dari hasil pembahasan di atas maka dapat diketahui efisiensi energi pompa injeksi sangat rendah berkisar dari 36% -42%. Kemudian ada empat metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensinya dan akan diurutkan dari yang paling cocok untuk diterapkan di lapangan hingga terakhir yang akan di paparkan pada tabel 4.24 di bawah ini:

Tabel 4.24. 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.
<i>Variable Speed Drive (VSD)</i>	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.