

Analisis Performansi Pompa Sentrifugal Terhadap Kapasitas *Crude Oil-Water Flow*

Eflita Yohana, Khaerul Amri Ardhelas, Fatih Khamdani

Jurusan Teknik Mesin Undip
Jl. Prof Sudarto, SH-Tembalang-Semarang-50275
E-mail : efnan2003@gmail.com phone/fax : +62247460059

Abstrak

Pengangkutan fluida campuran antara minyak dan air yang membentuk emulsi banyak ditemukan di industri petroleum, industri makanan, pabrik pengolahan air, dsb. Sebagai contoh pada industri petroleum, pompa sentrifugal berperan dalam proses pemindahan emulsi air dalam minyak mentah dari sumur bor ke reservoir yang dituju. Sehingga pemahaman performansi pompa sentrifugal dalam menangani aliran campuran minyak mentah dan air sangat penting untuk mengoptimalkan pemilihan sistem pemompaan yang efisien dan untuk mengurangi biaya produksi serta biaya operasional. Penelitian ini berkaitan dengan studi eksperimental tentang perubahan kinerja pompa ketika menangani aliran dua fase minyak-air (Hammoud & Yassine 2010).

Karakteristik performansi pompa sentrifugal diuji secara eksperimen dengan menggunakan aliran dua fase *crude oil-water*, dengan variasi konsentrasi antara 0% - 50% volume *crude oil* dalam aliran dua fase tersebut. *Crude oil* yang digunakan berasal dari Pertamina Refinery Unit IV Cilacap, Jawa Tengah (Indonesia) dengan densitas $0,806 \text{ g/cm}^3$ dan viskositas dinamik 9,33 cP pada temperatur 29°C . Jenis pompa sentrifugal yang diuji adalah pompa aliran radial (pompa Shimizu) dengan *straight blade impeller*, *single suction* dan *single discharge*.

Hasil pengujian tersebut diperoleh bahwa head, debit, dan efisiensi pompa menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi *crude oil*. Sedangkan kebutuhan dayanya meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi volume *crude oil*. Sebagai contoh, pada saat pompa beroperasi pada aliran satu fase (*water*), di titik efisiensi terbaik (BEP), diperoleh head 9,82 m, debit 18,6 l/min, efisiensi 46,15% dan daya poros 64,47 watt. Dan saat pompa beroperasi pada aliran dua fase *crude oil-water* dengan konsentrasi volume *crude oil* 50%, di titik BEP, diperoleh head 9,54 m, debit 11,65 l/min, efisiensi 20,57% dan daya poros 79,47 watt. Hal ini dikarenakan bahwa adanya penambahan konsentrasi volume *crude oil* atau penurunan *water cut* dalam aliran *crude oil-water* akan meningkatkan viskositas aliran yang dipompa, sehingga dapat menimbulkan kerugian gesek cakera (*the disc friction losses*) dan kerugian hidrolis di sepanjang saluran.

Keywords: Pompa sentrifugal, aliran dua fase *crude oil-water*, konsentrasi volume *crude oil*, *water cut*, viskositas

Pendahuluan

Pompa merupakan mesin fluida yang digunakan untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lainnya melalui sistem perpipaan. Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Dan penggunaannya sudah semakin luas. Misalnya pompa untuk keperluan rumah tangga, pertanian, bahkan untuk keperluan industri-industri besar seperti industri perminyakan.

Pada umumnya, pompa direncanakan untuk mengalirkan fluida satu fase cairan, namun dalam pengoperasiannya sering dijumpai adanya fase gas yang masuk ke dalam pipa isap pompa sehingga pompa akan bekerja pada aliran dua fase cairan-gas. Ketika pompa bekerja pada aliran dua fase cairan-gas, performansi pompa akan mengalami perubahan.

Sugiyono (2006) telah melakukan penelitian tentang pengaruh aliran dua fase cairan-gas terhadap unjuk kerja berbagai macam pompa. Hasil penelitian tersebut diketahui bahwa unjuk kerja pompa menjadi menurun. Kurva head pompa yang dihasilkan lebih rendah daripada head pompa pada aliran satu fase. Selain itu, diketahui pula bahwa meningkatnya kecepatan udara akan berakibat menurunnya head pompa.

Dalam industri petroleum, sering dijumpai campuran minyak dan air yang diangkut dalam pipa jarak jauh. Prediksi yang akurat dari karakteristik aliran minyak-air, seperti pola aliran, *water cut* dan gradien tekanan adalah hal penting dalam aplikasi di bidang teknik. Selain itu, pemahaman karakteristik performansi pompa sentrifugal yang menangani aliran minyak-air sangat diperlukan sebagai dasar dalam perancangan, pemilihan, dan pengoperasian.

Aliran turbulen dua fase minyak-air terpisah dalam tabung horisontal disimulasikan secara numerik oleh Gao et. al. (2002) yang menggunakan model *volume of fluid* (VOF). Sebuah persamaan momentum tunggal diselesaikan di seluruh domain. Hasil dari profil kehilangan tekanan, rasio slip, fase fraksi lokal dan profil kecepatan aksial diverifikasi dengan data eksperimental dalam literatur.

Hammoud & Yassine (2010) telah melakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi minyak dalam air pada performansi pompa sentrifugal. Head dan efisiensi yang diperoleh dalam penelitian tersebut semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi minyak. Di sisi lain, konsumsi daya meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi minyak.

Sedangkan pengaruh aliran dua fase *crude oil-water* terhadap performansi pompa sentrifugal telah diuji secara eksperimen oleh Yaqob dan Abbas (2009). Mereka menggunakan pompa sentrifugal yang sederhana dan kecil untuk memompa fluida campuran minyak mentah dan air dengan fraksi volume minyak yang berbeda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa head dan debit aliran menurun seiring dengan meningkatnya fraksi volume minyak, dan daya pompa meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume minyak.

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multi-fasa yang terdiri dari dua macam zat yang berbeda fase yang mengalir secara bersamaan dalam suatu saluran. Wujud dari aliran dua fase dapat berupa likuid-gas, likuid-padat, gas-padat, bahkan likuid-likuid. Analisis terhadap aliran dua fase dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan seperti aliran dianggap homogen (*homogeneous flow*) atau terpisah (*separated flow*). Aliran homogen adalah model dari aliran dua fase yang mengasumsikan bahwa kedua fase tercampur dengan baik dan mengalir dengan kecepatan yang sama. Sedangkan aliran terpisah mengasumsikan bahwa kedua fase mengalir secara terpisah dengan kecepatan yang berbeda.

Sebelum membahas aliran dua fase tersebut maka akan disampaikan analisis terhadap aliran satu fase. Untuk aliran sepanjang pipa seperti pada gambar 1 maka total gradien tekanan (*pressure gradient*), dp/dx yang terjadi adalah,

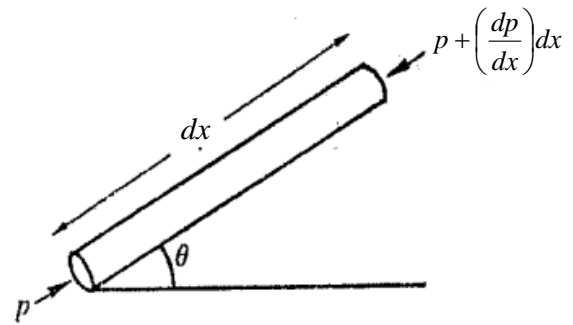
$$-\frac{dp}{dx} = \frac{4\tau}{D} + \rho g \sin \theta + G^2 \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (1)$$

dengan,

$$\tau = \frac{c_f G^2}{2\rho} \quad \text{dan} \quad G = \frac{\dot{m}}{A} \quad (2)$$

Persamaan (1) di atas mengungkapkan bahwa total gradien tekanan berasal dari tiga komponen rugi-rugi aliran, antara lain gesekan dinding, gravitasi, dan percepatan [1]. Dengan mengintegrasikan gradien tekanan dp/dx terhadap panjang pipa l , maka akan diperoleh penurunan tekanan (*pressure drop*) :

$$\Delta p = \int_0^l \left(\frac{dp}{dx} \right) dx \quad (3)$$



Gambar 1. Kontrol volume aliran satu fase untuk persamaan momentum, Sugiyono (2006).

Pada aliran dua fase gas-likuid, total gradien tekanan juga berasal dari komponen tersebut di atas. Dalam hal ini, persamaan (1) dan (2) dapat digunakan untuk memprediksikan total penurunan tekanan yang terjadi, dimana fluks massa (G) dan densitas aliran dua fase rata-rata (ρ) adalah,

$$G = G_g + G_l = \frac{\dot{m}_g}{A} + \frac{\dot{m}_l}{A} \quad (4)$$

dan,

$$\rho = \alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l \quad (5)$$

Secara umum, fraksi hampa dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_g}{V_l} \frac{1 - X}{X} \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)} \quad (6)$$

dengan kualitas uap,

$$X = \frac{G_g}{G} \quad (7)$$

Untuk aliran homogen, $V_g = V_l$, sedangkan untuk aliran terpisah, $V_g \neq V_l$.

Sedangkan untuk aliran dua fase likuid-likuid, misalnya pada percobaan yang telah dilakukan oleh Mukherjee (1981) dan Valle (1997), mereka menggunakan model aliran homogen untuk memprediksi penurunan tekanan dalam aliran dua fase minyak-air dengan gradien tekanan diberikan sebagai :

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{f_m \rho_m V_m^2}{2D} - \rho_m g \sin \theta \quad (8)$$

Dengan menyatakan kecepatan campuran sebagai :

$$V_m = \frac{Q_o + Q_w}{A} \quad (9)$$

Dan densitas campuran antara fase minyak dan fase air dinyatakan sebagai :

$$\rho_m = C_w \rho_w + C_o \rho_o \quad (10)$$

dengan,

$$C_o = \frac{\text{Volume occupied by oil}}{\text{Total volume of flow}}$$

dan

$$C_w = \frac{\text{Volume occupied by water}}{\text{Total volume of flow}} \quad (11)$$

dimana C_o dan C_w masing-masing adalah konsentrasi volume minyak dan *water cut*.

Viskositas campuran dapat diperkirakan dengan cara yang sama seperti densitas campuran yaitu :

$$\mu_m = C_w \mu_w + C_o \mu_o \quad (12)$$

Faktor gesekan aliran laminar fluida Newton dapat diperoleh dengan menerapkan persamaan aliran fase tunggal yaitu persamaan Hagen-Poiseuille :

$$f_m = \frac{64}{Re_m} ; \quad Re_m \leq 2100 \quad (13)$$

Untuk aliran turbulen fluida Newton, faktor gesekannya dapat diperoleh dari diagram Moody, atau dengan menerapkan korelasi Blasius apabila menggunakan pipa halus :

$$f_m = \frac{0,3164}{Re_m^{0,25}} ; \quad 3000 \leq Re_m \leq 100.000 \quad (14)$$

Dari beberapa penelitian tersebut, performansi pompa sentrifugal terhadap kapasitas aliran minyak mentah-air (*crude oil-water flow*) dianalisis lebih terperinci dengan adanya pengaruh variasi bukaan katup, gesekan dalam pipa, dan beberapa belokan pipa.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Karakteristik performansi pompa sentrifugal diuji di laboratorium termofluida, Jurusan Teknik Mesin Undip, Semarang. Pengujian ini dilakukan dengan mengalirkan fluida *crude oil-water* dengan metode aliran homogen dan dipengaruhi oleh variasi konsentrasi volume minyak mentah dan variasi bukaan katup.

Parameter-parameter yang diuji antara lain;

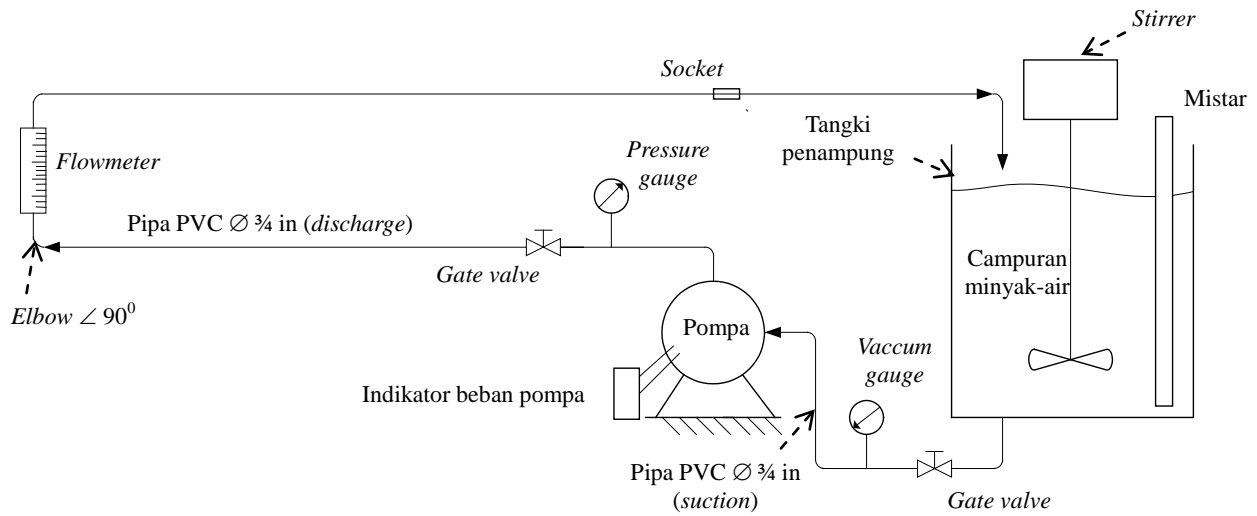
kapasitas aliran, head pompa, daya poros pompa, efisiensi pompa dan *pressure gradient*.

Data hasil eksperimen diperoleh dengan melakukan percobaan yang menggunakan fasilitas eksperimen yang dirancang khusus. Diagram skematis instalasi pengujian pompa ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Pompa sentrifugal yang digunakan adalah pompa Shimizu (Model : PS-121 BIT). Spesifikasi pompa tersebut ditunjukkan dalam Tabel 3.1. Adapun peralatan yang digunakan untuk mendukung proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pompa sentrifugal, untuk memindahkan fluida cair dari satu tempat ke tempat lain.
2. Motor listrik, untuk memutar poros pompa.
3. Pipa PVC isap, diameter $\frac{3}{4}$ in dan pipa PVC tekan, diameter $\frac{3}{4}$ in.
4. *Vacuum gauge*, untuk mengukur tekanan *suction*.
5. *Pressure gauge*, untuk mengukur tekanan *discharge*.
6. Flowmeter, untuk mengukur debit aliran
7. Tangki penampung dari bahan *acrylic* dengan volume 45,4 liter
8. *Gate valve*, untuk mengatur besar kecilnya kapasitas aliran fluida.
9. *Stirrer*, untuk mengaduk fluida campuran minyak-air
10. *Digital tachometer*, untuk mengukur kecepatan putaran pada poros pompa.
11. *Digital voltmeter*, untuk mengukur voltase.
12. *Digital amperemeter*, untuk mengukur arus listrik.
13. Indikator beban pompa, untuk mengukur gaya pembebanan pada poros pompa.
14. Mistar, untuk mengukur ketinggian permukaan air antara sisi isap dan sisi tekan.

Bahan fluida uji yang dipergunakan dalam pengujian performansi pompa sentrifugal adalah minyak mentah (*crude oil*) dan air. Minyak mentah yang digunakan berasal dari Pertamina Refinery Unit IV Cilacap, Jawa Tengah.

Sifat-sifat fisik air dan minyak mentah (seperti densitas, viskositas dinamik, viskositas kinematik) pada temperatur ruangan masing-masing ditunjukkan di dalam Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.



Gambar 2. Diagram skematis instalasi pengujian pompa.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa

Specification	Shimizu Pump
Model	PS-121 BIT
Pump type	Centrifugal Single suction Single discharge
Impeller	Straight radial type
No. Of blades	41-in each side
Impeller diameter	7 cm
Max. Head	33 m
Max. Flow	31 l/min
Max. Power	0.44 hp
Motor speed	2900 rpm
Max. Current	1.5 A

Tabel 2. Sifat-sifat fisik air pada temperatur ruangan (28°C).

No	Water Property	
1	Density (ρ_w)	0,996 g/cm ³
2	Dynamic Viscosity (μ_w)	0,82 mPa.s
3	Kinematic Viscosity (ν_w)	0,823 cSt

Tabel 3. Sifat-sifat fisik minyak mentah pada temperatur ruangan (29°C)

No	Crude Oil Property	
1	Density (ρ_o)	0,806 g/cm ³
2	Dynamic Viscosity (μ_o)	9,33 mPa.s
3	Kinematic Viscosity (ν_o)	11,575 cSt

$$- \eta = \quad (18)$$

Selama pengujian, temperatur laboratorium dijaga mendekati konstan yang berkisar antara 26 sampai 30°C. Motor penggerak pompa juga dioperasikan pada putaran konstan. Sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Yaqob dan Abbas (2009), prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan air ke dalam tangki penampung sebanyak 45% dari volume tangki, kemudian memompanya dalam kondisi kedua katup terbuka penuh (100% bukaan) hingga air mengalir melalui sistem aliran yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1.
2. Setelah aliran bersirkulasi selama 5 menit dimana katup tekan terbuka penuh, dilakukan pengukuran pada :
 - Tekanan *suction*
 - Tekanan *discharge*
 - Debit aliran
 - Ketinggian permukaan air antara sisi isap dan sisi keluar pompa
 - Kecepatan putaran pada poros pompa
 - Besar gaya pembebanan pada poros pompa
 - Besar voltase dan arus listrik yang masuk pada motor
3. Mengulangi prosedur ke-2 untuk tiap variasi bukaan katup dengan cara mengatur bukaan katup tekan. Variasi bukaan katup selanjutnya adalah 80%, 60%, 40%, 30%, 20%, 10%, dan 0% bukaan.
4. Mencampur minyak mentah ke dalam tangki tersebut dengan persentase volume minyak 10% dari volume total campuran minyak dan air di dalam tangki. Sehingga persentase volume campuran tersebut adalah 10% minyak mentah dan 90% air.
5. Mengoperasikan suatu pengaduk (*stirrer*) di dalam tangki tersebut untuk mencampur aliran minyak-air tersebut sehingga alirannya menjadi homogen.
6. Saat fluida campuran minyak-air mengalir melalui sistem tersebut, dilakukan kembali untuk prosedur dari 2 sampai 3.
7. Mengulangi prosedur dari 4 sampai 6 untuk persentase campuran minyak-air yang berbeda hingga mencapai 50% minyak mentah dan 50% air.

Pengevaluasian Head, Daya, dan Efisiensi pompa :

$$- H = \Delta h_p + \Delta h_v + \Delta z + h_{loss} \quad (15)$$

$$- BHP = T \omega \quad (16)$$

$$- WHP = \rho_m g Q H \quad (17)$$

$$\frac{WHP}{BHP} \times 100\%$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji performansi pompa sentrifugal dengan aliran air jernih dan aliran *crude oil-water* ditampilkan dalam bentuk grafik di Gambar 3, 4 dan 5. Dari gambar-gambar tersebut, telah tertera grafik karakteristik pompa dari hasil penelitian Hammoud, Yassine (2010) sebagai data pembanding. Sedangkan karakteristik penurunan tekanan yang terjadi selama pengoperasian ditunjukkan dalam Gambar 6.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara head dan debit pompa pada variasi konsentrasi volume *crude oil* (C_o). Kurva head pompa pada aliran campuran *crude oil-water* lebih rendah daripada head pompa pada aliran satu fase (*water*). Selain itu, diketahui pula bahwa untuk debit aliran yang konstan maka head pompa akan semakin rendah seiring dengan bertambahnya konsentrasi volume *crude oil* sehingga daerah kerja pompa semakin terbatas. Sebagai contoh, ketika pompa beroperasi pada debit 10 l/min, head yang diperoleh di tiap C_o dari 0 sampai dengan 50 % berturut-turut adalah 14,39 m; 14,04 m; 13,66 m; 13,38 m; 12,25 m dan 11,56 m. Selain itu, debit pun tampak menurun dengan bertambahnya C_o . Contohnya, debit maksimum di tiap C_o dari 0 hingga 50 % berturut-turut adalah 26,3 l/min; 25,5 l/min; 24,3 l/min; 21 l/min; 16,7 l/min dan 12,6 l/min. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan viskositas setiap penambahan C_o , yang dapat memperbesar kerugian gesek cakra (*the disc friction losses*) dan kerugian hidrolis di sepanjang saluran. Sehingga karakteristik head-debit pada penelitian ini hampir menyamai hasil penelitian dari Hammoud, Yassine (2010).

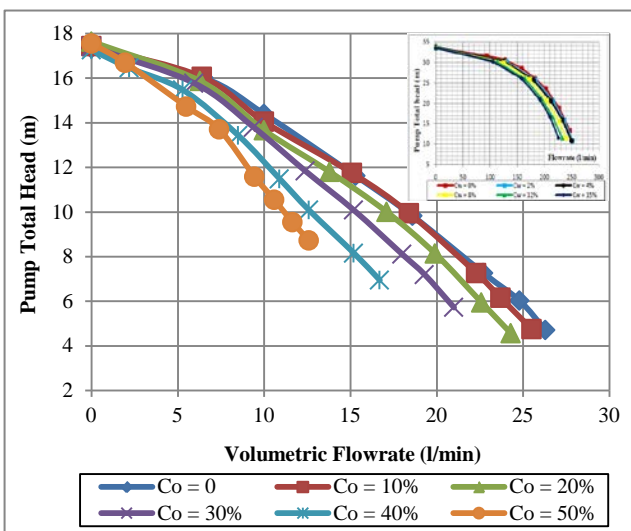
Meningkatnya kerugian gesek yang diakibatkan dari penambahan C_o juga akan menurunkan efisiensi pompa. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, efisiensi pompa tampak mengalami penurunan yang signifikan setiap bertambahnya konsentrasi volume *crude oil* (C_o). Dan hasil tersebut juga hampir menyamai hasil penelitian dari Hammoud, Yassine (2010). Sebagai contoh, pada $C_o = 30\%$, telah terjadi penurunan efisiensi di titik efisiensi terbaik/*best efficiency point* (BEP) sebesar 13,73 % bila ditinjau dari efisiensi data air ($C_o = 0$). Hal ini dapat diperjelas pada Tabel 4.4. Sehingga, apabila konsentrasi volume *crude oil* semakin ditingkatkan lagi, maka akan berakibat menurunnya kinerja pompa.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara daya poros dan debit pompa untuk variasi konsentrasi volume *crude oil* (C_o). Pada gambar tersebut terlihat bahwa daya poros meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi volume *crude oil*. Sebagai

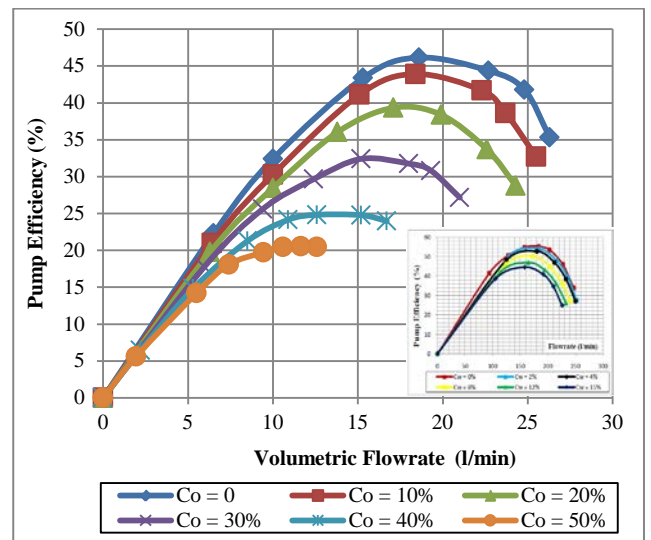
contoh, pada $C_o = 50\%$, daya poros di BEP mengalami kenaikan sebesar 15 watt yang merupakan

peningkatan 23,3% (dibandingkan dengan data air). Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas aliran yang dapat memperbesar tegangan geser, sehingga torsi pompa pun akan meningkat. Namun daya poros tampak menurun seiring dengan meningkatnya debit. Sehingga, hasil tersebut berbeda jauh dengan hasil penelitian dari Hammoud, Yassine (2010).

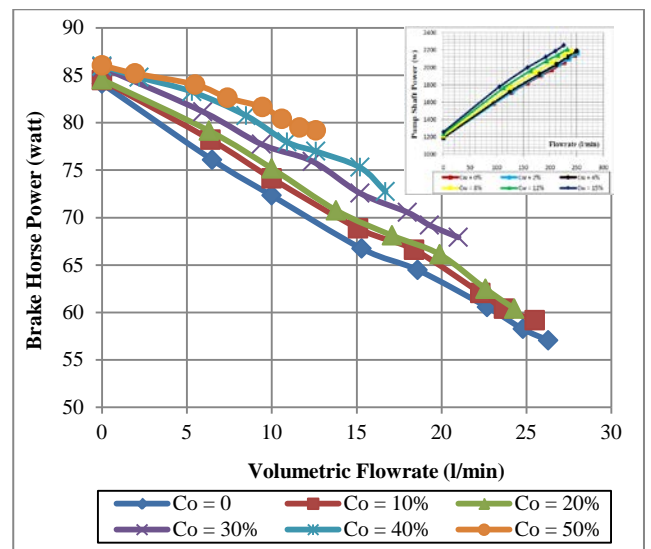
Pada dasarnya, daya poros pompa akan meningkat apabila debit yang dibutuhkan meningkat. Namun, kurva hubungan antara debit dengan daya poros pada pompa Shimizu PS-121 BIT (Gambar 5) menunjukkan hasil yang sebaliknya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pompa sentrifugal jenis Shimizu PS-121 BIT memiliki karakteristik tersendiri dalam pengoperasian. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian karakteristik pompa di PT Cahaya Surya Mandiri (Distributor utama pompa Shimizu), Semarang.



Gambar 3. Grafik hubungan antara head dan debit pompa pada variasi konsentrasi volume *crude oil*.



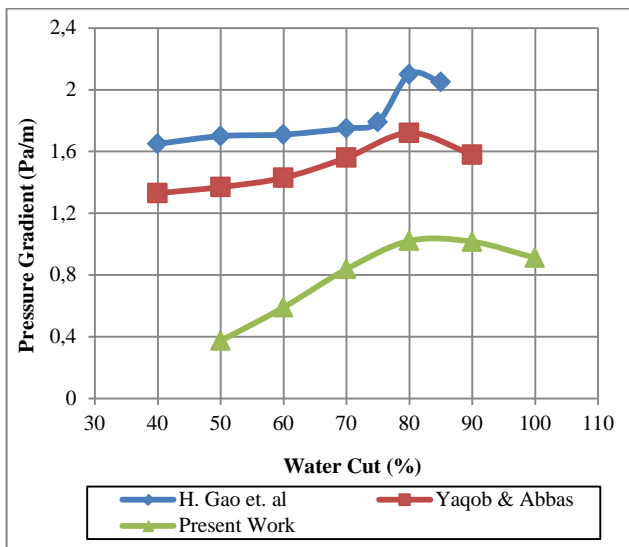
Gambar 4. Grafik hubungan antara efisiensi dan debit pompa pada variasi konsentrasi volume *crude oil*.



Gambar 5. Grafik hubungan antara debit dan daya poros pompa pada variasi konsentrasi volume *crude oil*.

Tabel 4. Hasil uji performansi pompa untuk variasi konsentrasi volume *crude oil* di titik BEP.

C_o	Q (l/min)	H (m)	BHP (watt)	η (%)
0	18,6	9,823	64,471	46,15
10%	18,4	9,949	66,592	43,91
20%	17,1	10	68,104	39,34
30%	15,2	10,08	72,573	32,42
40%	12,6	9,77	76,984	24,05
50%	11,65	9,352	79,473	20,2



Gambar 6. Grafik perbandingan antara hasil penelitian sekarang, penelitian Yaqob dan Abbas, dan penelitian H. Gao et. al. untuk hubungan antara gradien tekanan dan *water cut*.

Hasil karakteristik hubungan antara gradien tekanan dan *water cut* pada bukaan katup penuh diperlihatkan di gambar 6. Kurva karakteristik dari hasil penelitian ini hampir menyamai hasil penelitian dari Gao et. al. (2003) maupun dari Yaqob dan Abbas (2009). Pada *water cut* sekitar 80%, ketiga kurva tampak cekung ke bawah yang merupakan titik inversi. Pada titik inversi inilah aliran dua fase *crude oil-water* mengalami *pressure drop* terbesar. Hal ini dapat dilihat pada nilai gradien tekanan terbesar dari ketiga kurva tersebut.

Dari kurva-kurva karakteristik yang diperoleh di atas, dapat dijelaskan bahwa adanya peningkatan konsentrasi volume minyak mentah atau penurunan *water cut* akan meningkatkan viskositas fluidanya. Hal ini menyebabkan gesekan aliran fluida dalam sistem meningkat sehingga menimbulkan hambatan dan kehilangan tekanan yang akan menurunkan performansi pompa.

Kesimpulan

Dari perolehan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Adanya penambahan fase minyak mentah (*crude oil*) yang terus menerus dalam aliran dua fase *crude oil-water* akan berkontribusi terhadap meningkatnya kerugian gesek internal baik di dalam pompa maupun pada dinding pipa, sehingga menyebabkan :
 - Penurunan head pompa
 - Penurunan debit pompa
 - Penurunan efisiensi pompa
 - Peningkatan daya poros pompa
- Dengan bertambahnya debit pompa, ternyata daya poros yang diperoleh semakin menurun. Jadi

hasil pengujian performansi pompa Shimizu PS-121 BIT menyimpang dari teori dasar pompa sentrifugal dalam hal hubungan antara debit dengan daya poros. Dan hasil ini sesuai dengan hasil pengujian karakteristik performansi pompa di PT Cahaya Surya Mandiri, Semarang.

- Pada *water cut* sekitar 80%, aliran dua fase *crude oil-water* mengalami proses inversi fase. Pada proses inilah aliran tersebut mengalami *pressure drop* terbesar.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pertamina Refinery Unit IV, Cilacap dan PT Cahaya Surya Mandiri, Semarang atas kesediaannya memberi bantuan dalam proses penelitian ini. Selain itu, ucapan terimakasih juga diberikan kepada para pihak yang langsung maupun tak langsung turut membantu dalam penyusunan paper ini.

Nomenklatur

p	pressure (Nm ⁻²)
g	gravitational constant (ms ⁻²)
D	diameter (m)
c_f	the skin friction coefficient
\dot{m}_g	mass flow rate of gas phase (kg/s)
\dot{m}_l	mass flow rate of liquid phase (kg/s)
A	cross-sectional area (m ²)
G	mass flux (kg m ⁻² s ⁻¹)
G_g	mass flux of gas (kg m ⁻² s ⁻¹)
G_l	mass flux of liquid (kg m ⁻² s ⁻¹)
V_g	velocity of gas phase (m/s)
V_l	velocity of liquid phase (m/s)
V_m	velocity of mixture phase (m/s)
dp/dx	pressure gradient (Pa m ⁻¹)
X	quality of steam
f	friction factor
Q	volumetric flowrate (m ³ /s)
C_o	oil volume concentration
C_w	water volume concentration/water cut
H	total head pump (m)
z	elevation head (m)
h_p	pressure head (m)
h_v	velocity head (m)
h_{loss}	head loss (m)
T	torque (Nm)
ω	Angular velocity (rad/s)
Re	reynolds Number
BHP	brake horse power (watt)
WHP	hydraulic horse power (watt)
η	pump efficiency

Greek letters

ρ	density (kg/m ³)
μ	viscosity (Pas)

τ	shear stress (N/m ²)
θ	angle (°)
α	void fraction
ω	Angular velocity (rad/sec)
Δp	pressure drop (Pa)

Subsripts

g	gas phase
l	liquid phase
o	oil phase
w	water phase
m	mixture phase
f	friction

Referensi

Sugiyono. *Pengaruh aliran dua fase cairan-gas terhadap unjuk kerja berbagai macam pompa*. Jurnal Mesin dan Industri, Vol.3, no.2, pp.61-67 (2006)

Hammoud, A.H., Yassine, K.C. & Khalil, M.F. *Effect of Oil-in-Water Concentration on the Performance of Centrifugal Pump*. Tenth International Congress of Fluid Dynamics, December 16-19, 2010, in Ain Soukhna, Red Sea, Egypt.

Yaqob, B.N. & Abbas, I.F. *Effect of crude oil-water two-phase flow on pump performance*. Eng. & Tech. Journal, Vol.27, no.9, pp.1766-1774 (2009)

Kumara, W.A.S., Halvorsen, B.M. and Melaaen, M.C. 2009. *Pressure drop, flow pattern and local water volume fraction measurements of oil-water flow in pipes*. Telemark University College, PO. Box 203, N-3901, Porsgrunn, Norway

Elseth, Geir. 2001. *An Experimental Study of Oil / Water Flow in Horizontal Pipes*. PhD Thesis, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norway

Gao, H., H. Yang Gu and L. J. Guo. *Numerical study of stratified oil-water two-phase turbulent flow in a horizontal tube*. Int. J. Heat & Mass Transfer, Vol.46, pp.749-754, (2003).