

Kaji Eksperimental Pengaruh Aliran Dua Fase *Crude Oil-Water* dalam Pipa Horisontal Terhadap Performansi Pompa Sentrifugal dengan Variasi Impeller

*Adi Kurnia Muktabar¹, Eflita Yohana²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: addi.kurnia@rocketmail.com

Abstrak

Pompa sentrifugal merupakan salah satu mesin turbo yang umum digunakan dalam sektor perminyakan, industri kimia maupun pembangkit listrik karena beberapa keuntungan antara lain laju aliran yang tinggi dan konsisten, biaya rendah, kemudahan pemeliharaan dan stabilitas operasional yang lebih baik. Pada dasarnya, pompa dirancang oleh pabrik untuk mengalirkan fluida satu fasa dimana pompa tersebut telah memiliki karakteristik masing-masing sesuai kegunaannya. Demikian juga dengan performansi yang dihasilkan oleh suatu pompa akan maksimal sesuai dengan spesifikasi desain apabila digunakan sesuai ketentuan. Namun demikian, dalam pengoperasiannya seringkali industri menggunakan pompa untuk mengalirkan fluida multiphase. Memahami pengaruh minyak dalam emulsi air terhadap performansi pompa sangatlah penting untuk mengoptimasi pemilihan sistem pemompaan yang efisien dan untuk menekan biaya. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui perubahan performansi pompa ketika menggunakan fluida dua fasa *crude oil-water*. Performansi pompa sentrifugal diuji menggunakan dua jenis fluida yaitu air dan campuran. Fluida campuran dua fasa adalah campuran air yang ditambahkan *crude oil* dengan variasi viskositas. *Crude oil* yang digunakan berasal dari Pertamina RU VI Cilacap. Setelah dilakukan pengujian, densitas dan viskositas dinamik *crude oil* tersebut berurutan memiliki nilai 0,806 g/cm³ dan 9,33 mPa.s. Tipe pompa yang digunakan adalah tipe sentrifugal dengan satu sisi hisap dan satu sisi keluar. Impeller yang digunakan dalam pengujian ini terdapat dua jenis, yaitu impeller tertutup dengan enam sudu, kemudian impeller setengah terbukadengan jumlah enam sudu dan delapan sudu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa head, kapasitas, dan efisiensi pompa menurun seiring bertambahnya fraksi volume *crude oil*. Sedangkan daya poros pompa akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas yang menyebabkan factor gesekan di impeller maupun kerugian hidrolis sepanjang saluran pipa.

Kata Kunci: pompa sentrifugal, performansi, aliran dua fasa, minyak mentah-air, efisiensi

Abstract

A centrifugal pump is one of the turbomachine which are commonly used in the oil and gas industry, chemical industry and power generation due to several advantages, there are high flow rates and consistent, low cost, ease of maintenance and better operational stability. Basically, the pump is designed by the manufacturer for single phase fluid flow in which the pump has to have its own characteristics for their intended use. Likewise, the performance generated by a pump would be maximized in accordance with design specifications when used according to regulations. But, there are many industries who are operating pump to flow two phase fluid. Understanding the effect of oil in water emulsion of the performance of the pump is very important to optimize the selection of an efficient pumping system and to reduce the cost. This research was carried out experimentally to determine changes in pump performance when using two -phase fluid - water crude oil. Centrifugal pump performance tested using two types of fluid, there are water and two-phase fluid. Two- phase fluid mixture is a mixture of water added with crude oil viscosity variations. Crude oil is derived from RU VI Pertamina Cilacap. After testing, the density and dynamic viscosity of the crude oil has a value of 0.806 g/cm³ sequentially and 9,33 mPa.s. Type of pump used is a centrifugal type with a suction side and a side exit. Impeller used in this study are closed impeller with six blades and semi open impellers with six and eight blades, respectively, were employed to check the effect of the number of the blades. The test results showed that head, capacity, and efficiency of the pump decreases with increasing volume fraction of crude oil. While the pump shaft power will increase. This is due to the increased viscosity of the factors that cause friction in the impeller and hydraulic losses along the pipeline.

Keywords: centrifugal pump, performance, two-phase flow, crude oil-water, efficiency

1. PENDAHULUAN

Pompa digunakan oleh industri-industri saat ini sebagai salah satu alat bantu untuk proses produksi. Sebagai contoh pada pembangkit listrik tenaga uap, pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler atau membantu sirkulasi air yang akan diuapkan boiler. Pada dasarnya, pompa dirancang oleh pabrik untuk mengalirkan fluida satu fasa dimana pompa tersebut telah memiliki karakteristik masing-masing sesuai kegunaannya. Demikian juga dengan performansi yang dihasilkan oleh suatu pompa akan maksimal sesuai dengan spesifikasi desain apabila digunakan sesuai ketentuan. Namun demikian, dalam pengoperasiannya seringkali industri menggunakan pompa untuk mengalirkan fluida multifasa baik hal tersebut direncanakan maupun tidak. Fluida dua fasa tersebut dapat berupa likuid-likuid, likuid-gas, likuid-solid, atau dalam bentuk lain

Pengoperasian yang demikian akan menyebabkan performansi pompa akan mengalami perubahan bahkan cenderung menurun. Penelitian yang dilakukan oleh Hammoud dan Khalil telah menunjukkan bahwa head dan efisiensi pompa mengalami penurunan dengan meningkatnya konsentrasi minyak dan emulsi viskositas. Selain itu, input daya pompa meningkat dengan peningkatan konsentrasi minyak. Pengujian juga menunjukkan bahwa efek konsentrasi minyak-air pada performansi pompa lebih tinggi pada kecepatan operasi pompa yang tinggi.

Howard dan Kitter telah melakukan penelitian untuk mendapatkan lintasan kecepatan pada impeller radial dengan tipe closed dan semi open menggunakan *miniature cylindrical hot-film probe*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pola aliran utama dalam kondisi stabil dengan tidak adanya kecenderungan terjadi separasi di sisi hisap *boundary layer* dan dekat dengan sisi keluar. Impeller tertutup memiliki pola aliran sekunder yang terjadi dari *vortex* tunggal pada sisi masuk menuju *vortex* mendekati sambungan dan permukaan selubung. *Semi open* impeller memiliki pola aliran sekunder dimana *vortex* tunggal mengisi lintasan.[3]

Wen Guang-Li mengungkapkan bahwa salah satu alasan mengapa kinerja pompa sentrifugal turun ketika pompa menangani fluida kerja viskositas tinggi, adalah bahwa hasil viskositas tinggi akan meningkatkan kerugian gesekan pada disk atas permukaan volut dan penghubung impeller serta hidrolis dalam saluran aliran pompa.[3]

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik aliran dua fase melalui pipa horizontal dan pengaruhnya terhadap performansi pompa sentrifugal. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk kurva performansi *Head*, Daya Poros Pompa (*BHP*) dan *Efisiensi*.

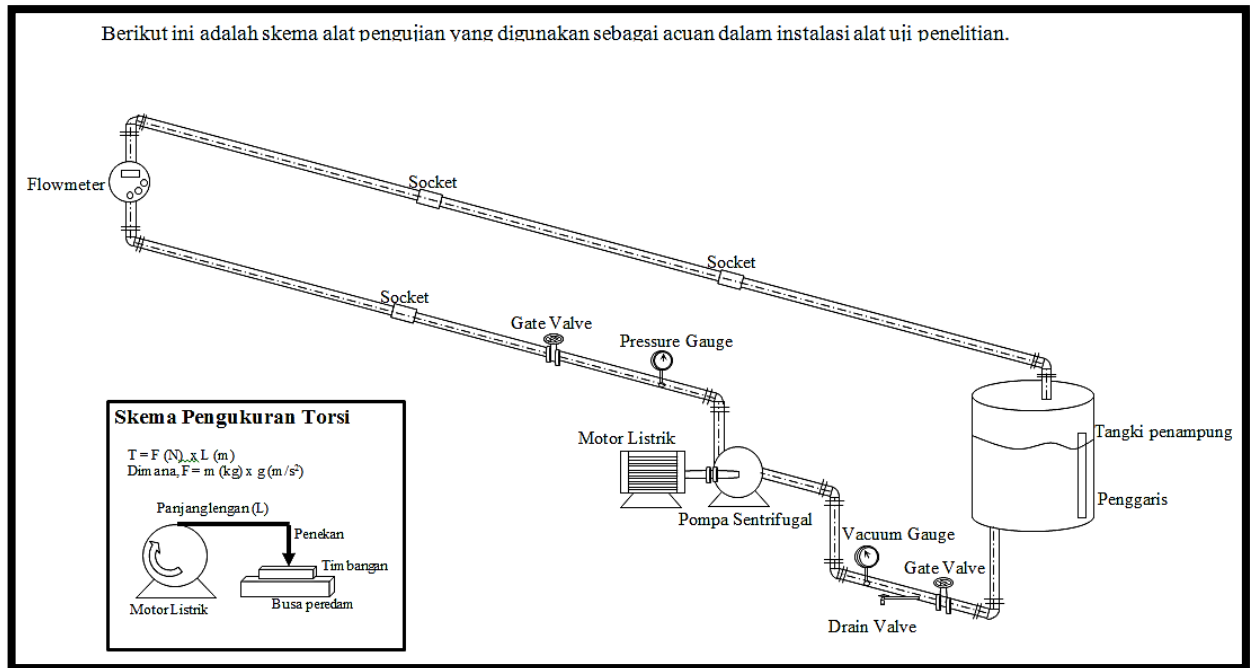
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan instalasi uji yang dirancang secara khusus. Skema alat uji ditunjukkan pada gambar 1. Pompa sentrifugal yang digunakan adalah pompa air INS (model: AQUA-175) dengan satu sisi hisap dan satu sisi keluar. Posisi sisi hisap tegak lurus dengan permukaan impeller. Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis impeller yaitu *semi open* dan *closed impeller*. Spesifikasi pompa tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1. Adapun peralatan yang digunakan untuk mendukung proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pompa sentrifugal, untuk memindahkan fluida cair dari satu tempat ke tempat lain.
- Motor listrik, untuk memutar poros pompa.
- Pipa PVC isap, diameter $\frac{3}{4}$ in dan pipa PVC tekan, diameter $\frac{3}{4}$ in.
- Vacuum gauge*, untuk mengukur tekanan *suction*.
- Pressure gauge*, untuk mengukur tekanan *discharge*.
- Flowmeter*, untuk mengukur debit aliran.
- Tangki penampung dari bahan acrylic dengan volume 50 liter.
- Katup isap dan katup tekan, untuk mengatur besar kecilnya kapasitas aliran fluida.
- Digital tachometer*, untuk mengukur kecepatan putaran pada poros pompa.
- Digital voltmeter*, untuk mengukur voltase.
- Digital amperemeter*, untuk mengukur arus listrik.
- Indikator beban pompa, untuk mengukur gaya pembebanan pada poros pompa.
- Penggaris, untuk mengukur ketinggian permukaan air antara sisi isap dan sisi tekan.
- Drain valve*, sebagai komponen tambahan untuk mempermudah pembuangan fluida.

Dalam pengujian ini digunakan dua jenis impeller dengan tipe dan jumlah sudu berbeda untuk mengetahui karakteristik dan performansi terhadap pompa. 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 2 dan Tabel 3



Gambar 1. Skema alat pengujian.

Tabel 1. Spesifikasi pompa sentrifugal

Specification	INS Pump
Model	AQUA-175
Pump type	Centrifugal Single suction Single discharge
Impeller	Closed Impeller Backward curve
No. of blades	6-in each side
Impeller diameter	12.5 cm
Head Discharge	20 m
Head Suction	9 m
Max. Flow	80 l/min

Tabel 2. Sifat-sifat fisik air

No	Water Property	$T, 28^{\circ}\text{C}$
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

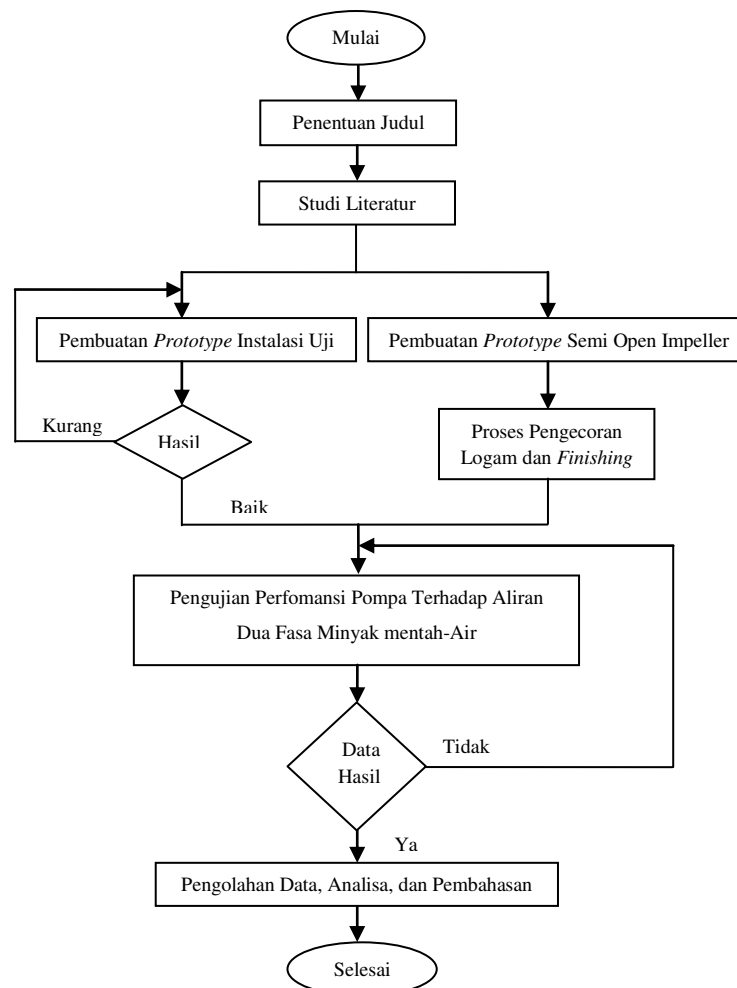
Tabel 3. Sifat-sifat fisik crude oil

No	Crude oil Property	$T, 29^{\circ}\text{C}$
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

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, prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut :

- Memasukkan air ke dalam tangki penampung sebanyak 50% dari volume tangki, kemudian memompanya dalam kondisi kedua katup terbuka penuh (100% bukaan) hingga air mengalir melalui sistem aliran yang ditunjukkan dalam gambar 1.
- Setelah aliran bersirkulasi selama 5 menit dimana katup tekan terbuka penuh, dilakukan pengukuran pada :
 - Tekanan suction.
 - Tekanan discharge.
 - Waktu yang dibutuhkan untuk 10 liter volume air yang mengalir (untuk mendapatkan debit).
 - Ketinggian antara permukaan air dan sisi isap pompa.
 - Ketinggian antara sisi isap dan sisi keluar pompa.

- 6) Kecepatanputaran pada poros pompa.
 - 7) Besar gaya pembebanan pada poros pompa.
 - 8) Besar voltase dan arus listrik yang masuk pada motor.
 - c. Mengulangi prosedur ke-2 untuk tiap variasi bukaan katup tekan. Variasi bukaan katup selanjutnya adalah bukaan $3\frac{1}{2}$, 3, $2\frac{1}{2}$, 2, $1\frac{1}{2}$, 1, $\frac{1}{2}$, 0.
 - d. Mengulangi prosedur ke-2 dan 3 untuk tiap variasi rpm motor listrik yaitu rpm 2200, 2000, 1800, 1600, dan 1400.
 - e. Mencampur minyak mentah ke dalam tangki tersebut dengan persentase volume minyak 5% dari volume total campuran minyak dan air di dalam tangki. Sehingga persentase volume campuran tersebut adalah 5% minyak mentah dan 95% air.
 - f. Mengoperasikan pompa sehingga fluida mengalami sirkulasi dan tercampur menjadi aliran homogen.
 - g. Saat fluida campuran minyak-air mengalir melalui sistem tersebut, dilakukan kembali untuk prosedur dari 2 sampai 4.
 - h. Mengulangi prosedur dari 4 sampai 7 untuk persentase campuran minyak-air yang berbeda hingga mencapai 25% minyak mentah dan 75% air.
 - i. Mengulangi prosedur 1 sampai 8 untuk jenis impeller semi open impeller dengan jumlah sudu 6 dan sudu 8.
- Secara skematis metodologi dalam penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengevaluasian Head, Daya, dan Efisiensi pompa :

$$H = (z_2 - z_1) + \left(\frac{p_2}{\rho_m g} - \frac{p_1}{\rho_m g} \right) + \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) + h_l \quad (1)$$

$$BHP = T \omega \quad (2)$$

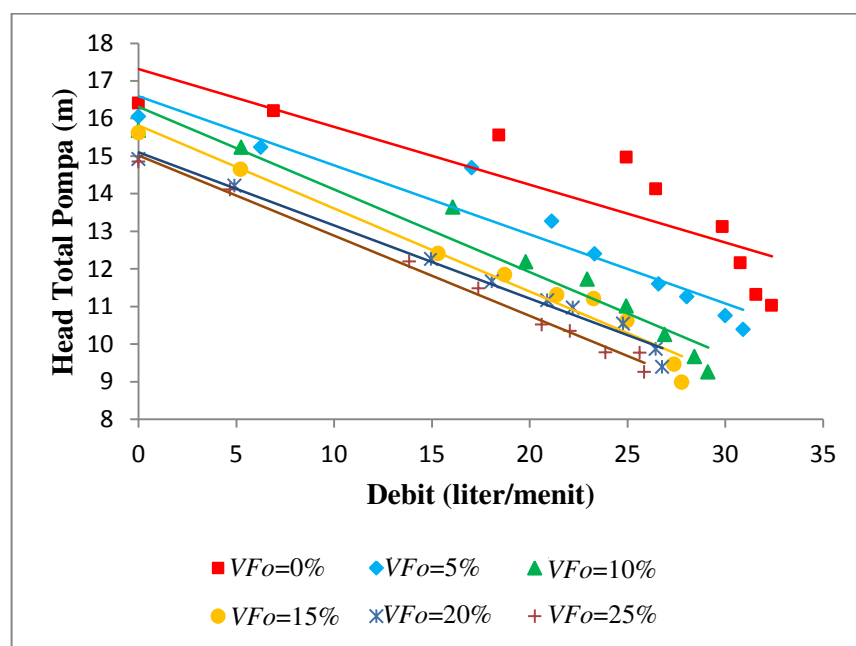
$$WHP = \rho_m g Q H \quad (3)$$

$$\eta = \frac{WHP}{BHP} \times 100\% \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji performansi pompa sentrifugal dengan aliran air jernih dan aliran *crude oil*-water ditampilkan dalam bentuk grafik di Gambar 3. Dari gambar-gambar tersebut, terlihat bahwa kurva performansi pompa yang beroperasi pada aliran *crude oil*-water menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan kurva performansi pompa yang beroperasi pada aliran air jernih. Sedangkan karakteristik penurunan tekanan yang terjadi selama pengoperasian ditunjukkan dalam Gambar 6.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara head dan debit pompa pada dengan variasi persentase *crude oil* yang ditambahkan. 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 bukaan katup pada posisi $1\frac{1}{2}$, head yang diperoleh di tiap VF_o dari 0 sampai dengan 25% berturut-turut yaitu 14,97 m; 13,268 m; 12,186 m; 11,846 m; 11,666 m dan 11,475 m. Selain itu, debit pun tampak semakin menurun seiring bertambahnya fraksi volume *crude oil*. Debit maksimum di tiap VF_o dari 0 hingga 25 % berturut-turut adalah 32,38 l/min; 30,91 l/min; 29,13 l/min; 27,78 l/min; 26,79 l/min dan 25,86 l/min.. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan viskositas setiap penambahan *crude oil*, yang dapat memperbesar kerugian gesek pada disk dan kerugian hidrolis di sepanjang saluran.

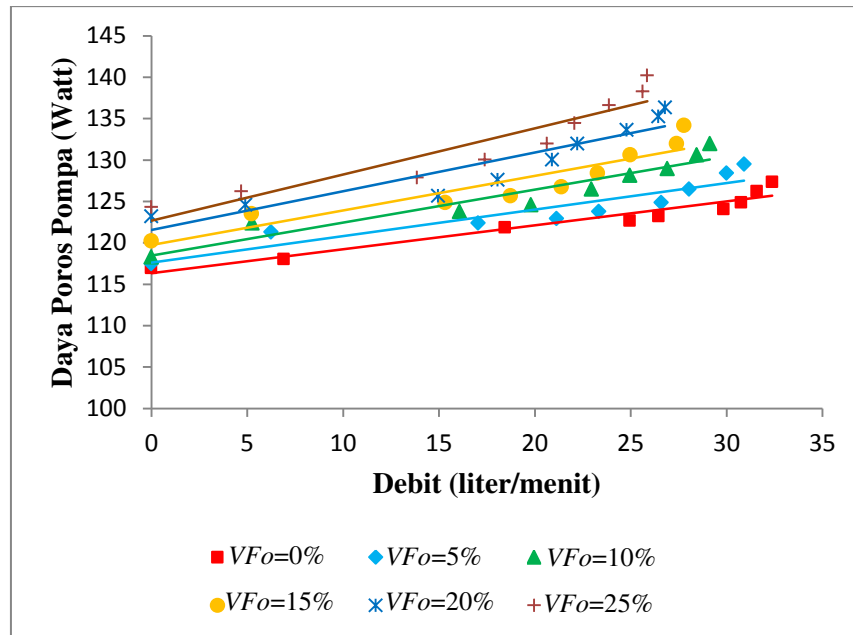


Gambar 3. Hubungan antara head total dan debit pompa pada berbagai fraksi volume *crude oil*.

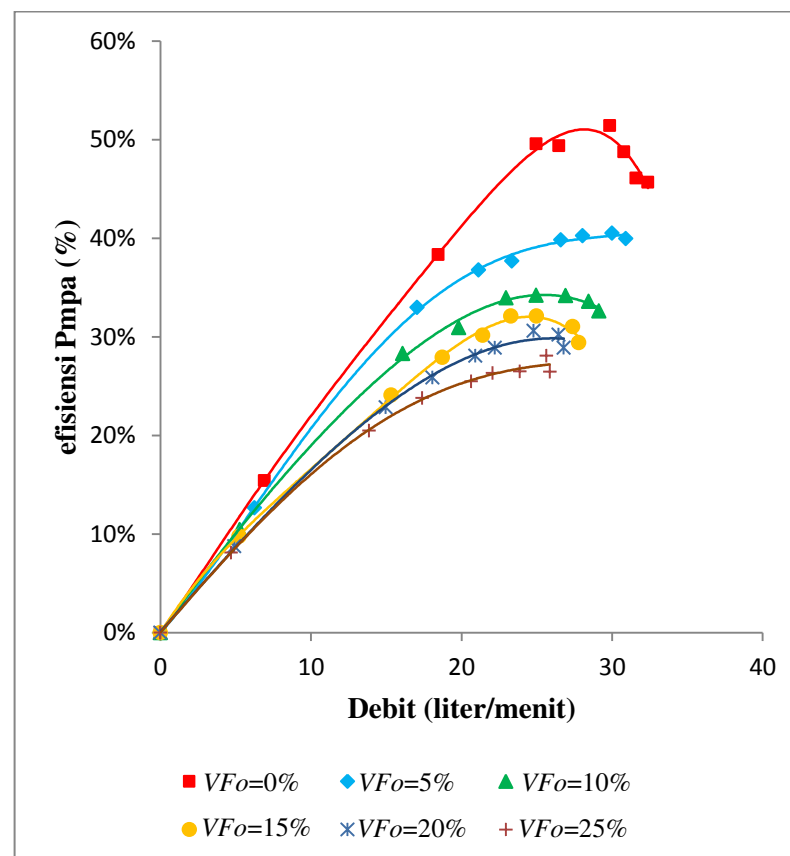
Meningkatnya kerugian gesek yang diakibatkan dari penambahan *crude oil* juga akan menurunkan efisiensi pompa. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, efisiensi pompa tampak mengalami penurunan yang signifikan setiap bertambahnya konsentrasi volume *crude oil*. Sebagai contoh, pada $VF_o = 25\%$, terjadi penurunan efisiensi di titik efisiensi terbaik/*best efficiency point* (BEP) sebesar 26.3 % bila ditinjau dari efisiensi data air ($VF_o = 0$). Sehingga, apabila konsentrasi volume *crude oil* semakin ditingkatkan lagi, maka akan berakibat menurunnya kinerja pompa.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara daya poros dan debit pada berbagai fraksi volume *crude oil* (VF_o). Pada gambar tersebut terlihat bahwa daya poros meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume *crude oil*. Pada $VF_o = 25\%$, daya poros di BEP mengalami kenaikan sebesar 14.23 watt. Hal ini disebabkan adanya peningkatan viskositas aliran setiap penambahan VF_o yang dapat memperbesar tegangan geser, sehingga akan memperbesar torsi pompa. Namun daya poros tampak menurun seiring dengan meningkatnya debit. Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas aliran yang dapat memperbesar tegangan geser. Sehingga torsi pompa pun akan meningkat karena daya poros pompa akan meningkat apabila debit yang dibutuhkan meningkat.

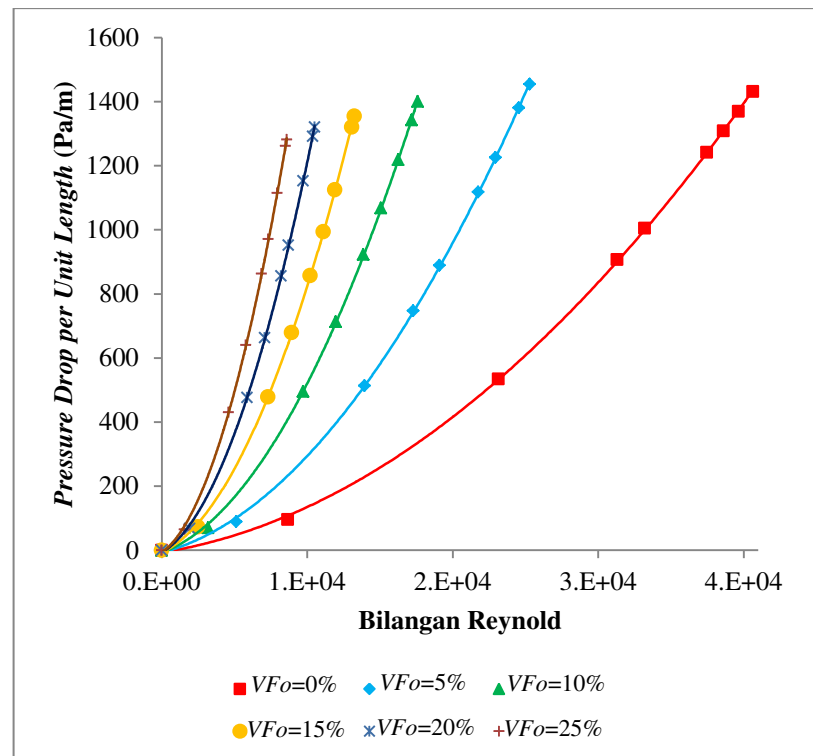
Dari kurva-kurva karakteristik yang diperoleh di atas, dapat dijelaskan bahwa adanya peningkatan konsentrasi volume minyak mentah atau penurunan *water cut* akan meningkatkan viskositas fluidanya. Hal ini menyebabkan gesekan aliran fluida dalam sistem meningkat sehingga menimbulkan hambatan dan kehilangan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



Gambar 4. Hubungan antara efisiensi dan debit pompa pada berbagai fraksi volume *crude oil*



Gambar 5. Hubungan antara daya poros dan debit pompa pada berbagai fraksi volume *crude oil*



Gambar 6. Hubungan antara daya poros dan debit pompa pada berbagai fraksi volume *crude oil*

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1). Emulsi fluida campuran meningkat seiring penambahan fraksi volume *crude oil*. Dengan penambahan *crude oil* maka nilai bilangan Reynold akan berkurang karena densitas yang mengecil. Hal ini juga menyebabkan debit yang dihasilkan menjadi berkurang.
- 2). Adanya penambahan fraksi volume *crude oil* dalam fluida uji yang digunakan akan menghasilkan:
 - Penurunan head total pompa
 - Penurunan debit pompa
 - Penurunan efisiensi pompa
 - Peningkatan daya poros pompa

Hal ini disebabkan oleh meningkatnya viskositas fluida campuran yang dialirkan setiap penambahan *Vfo*. Peningkatan viskositas fluida campuran tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya kerugian gesek internal baik di dalam pompa maupun pada dinding pipa, sehingga menimbulkan hambatan dan kehilangan tekanan terhadap aliran yang akan menurunkan performansi pompa.
- 3). Pada fraksi volume air sekitar 90%, aliran dua fase *crude oil*-water mengalami proses inversi fase. Pada proses inilah aliran tersebut berada di puncak gradien tekanan, dimana nilai gradien tekanan maksimum di penelitian ini adalah 1,38 kPa/m.
- 4). Performansi pompa menggunakan impeller dengan 6 sudu lebih baik dibandingkan menggunakan 8 sudu. Hal ini disebabkan perbedaan massa impeller yang berpengaruh terhadap putaran dan torsi yang dihasilkan.

5. REFERENSI

- [1] Hammoud, A.H., Khalil, M.F., 2006, "Characteristics of centrifugal pump handling stable oil-in-water emulsions.", *European Journal of Scientific Research*, Vol.15 No.2, pp.159-168.
- [2] Subroto, 1998, "Kavitasi dan Fenomena Aliran Dua Fase dalam Instalasi Pompa", Penelitian untuk Thesis S-2, Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Ilmu-ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Li, W.G., 2000, "Effect of viscosity of fluids on centrifugal pump performance and flow pattern in the impeller", *Int. J. Heat & Fluid flow*, Vol.21, pp.207-212.
- [4] Divo, A., 2008, "Sistem Kerja Sensor Tabung Venturi Untuk Pengukuran Laju Aliran Fluida Dalam Pipa Di Laboratorium Operasi Pabrik PTKI", Karya Akhir, Program Studi Teknologi Instrumentasi Pabrik Diploma IV, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [5] Sunyoto, dkk., 2008, "Teknik Mesin Industri Jilid 1", Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [6] White, F.M., 1999, "Fluid Mechanics", 4th Edition, McGraw-Hill International Edition.

-
- [7] Karnowo, Anis, S., 2008, "*Buku Ajar Dasar Pompa*", Universitas Negeri Semarang.
 - [8] Munson, Bruce, R. 2006, "*Fundamental of Fluid Mechanics*", Iowa-USA, John Wiley And Sons, Inc.H.
 - [9] Koestoer, R.A., Probosini, S., 1982, "*Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*", Jakarta, PT.Pradnya Paramita.
 - [10] Kothandaraman, C.P., Rudramoorthy, R., 2007, "*Fluid Mechanics and Machinery 2nd edition*", New Delhi-India, New Age International (P) Limited.
 - [11] Sularso, Tahara, H., 1987, "*Pompa & Kompresor*", Jakarta, PT. Pradnya Paramita.
 - [12] Yaqob, B.N, Abbas, I.F., 2009, "*Effect of crude oil-water phase flow on pump performance*", Eng &Tech Journal, Vol.27 No.9, pp.1766-1774