

KAJI EKSPERIMENTAL ALIRAN DUA FASE *WATER-CRUDE OIL* MELEWATI PIPA *SUDDEN EXPANSION* HORIZONTAL BERPENAMPANG LINGKARAN

*Ambangan Siregar¹, 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: ambangan@ymail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik dan penurunan tekanan pada pipa Pembesaran mendadak dengan rasio diameter 16:26 mm untuk aliran campuran air-*crude oil*. Variasi yang diberikan berupa penambahan fraksi volume minyak dalam aliran hingga 10% serta laju aliran yang didasarkan pada putaran motor pompa 2400, 2200, 2000, 1800, 1600, dan 1400 rpm. Nilai penurunan tekanan dihitung dari data perbedaan tekanan antara pipa kecil dan besar pada daerah *sudden expansion* yang diukur dengan manometer U, sedangkan debit aliran diukur menggunakan *flow meter*. Hasil penghitungan penurunan tekanan pada daerah *sudden expansion* berkisar antara 250-980 Pa. sedangkan penambahan fraksi volume *crude oil* sangat berpengaruh terhadap debit aliran, hasil perhitungan debit aliran yang berkisar antara 0,00028 m³/s-0,00065 m³/s.

Kata kunci: *Sudden expansion*, *air-crude oil*, penurunan tekanan.

Abstract

This research was carried out to obtain the characteristic and pressure drop in the sudden expansion pipe with the diameter ratio 21:16 cm for the flow of water-crude oil mixture. The variations are the addition of the oil volume fraction up to 10% and the flow rate based on pump motor rotation 2400, 2200, 2000, 1800, 1600, and 1400. Pressure drop values was calculated by using the pressure differences of large and small pipes data in the test section was measured using a manometer tube. While the values of flow rate is measured by using the flow meter. The calculation result of the pressure drop values ranged between 259-980 Pa. While the average of flow rate values ranged between 0,00028 m³/s-0,00065 m³/s. The pressure drop and flow rate in this research are influenced by diameter ratio of sudden expansion pipe and volume ratio of water-oil in flow.

Keywords: *sudden expansion*, *water-crude oil*, *flow rate*, *pressure drop*.

1. PENDAHULUAN

Aliran multi fase sering kali terjadi dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam kehidupan rumah tangga maupun pada industri kecil hingga industri besar. Salah satu contoh aliran multi fase adalah proses-proses dalam industri perminyakan, mulai dari awal pengeboran minyak didalam perut bumi, hingga proses pendistribusian menuju kilang-kilang pengolahan.

Salah satu metode untuk mengurangi *friksi* antara aliran minyak dengan dinding pipa distribusi adalah dengan menggunakan metode *water-lubricated transport*. Metode ini dilakukan dengan menginjeksikan air kedalam aliran minyak mentah, sehingga aliran yang terjadi adalah aliran multi fase air-minyak mentah. Pada aliran multifase ini, air akan mengalami kontak langsung dengan dinding pipa dan minyak mentah akan mengalir pada *core* atau inti aliran multifase tanpa harus mengalami gesekan dengan dinding pipa.

Aliran multi fase sendiri mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibandingkan aliran satu fase. Perbedaan karakteristik dari fluida-fluida kerja serta komponen-komponen dari sistem perpipaan akan sangat berpengaruh terhadap aliran yang terjadi, misalnya perbedaan densitas, viskositas, kecepatan alir, sambungan-sambungan sistem pipa, perubahan penampang pipa (kontraksi atau ekspansi) dan material dari pipa tersebut akan memerlukan perlakuan tersendiri untuk menganalisisnya.

T. Balakhrisna dkk. melakukan penelitian terhadap aliran multi fase (*liquid-liquid*) air-kerosine dan air-minyak pelumas yang melewati pipa kontraksi dan ekspansi. Mereka menjelaskan bahwa karakteristik dari fluida sangat berpengaruh terhadap pola aliran dan *pressure drop* yang terjadi baik untuk aliran yang melewati daerah kontraksi maupun daerah ekspansi. Fluida dengan nilai viskositas yang tinggi mempunyai kecenderungan untuk membentuk pola *core annular flow*, sedangkan fluida dengan nilai viskositas yang lebih rendah akan membentuk pola yang bervariasi seperti *three layers flow*, *stratified flow*, dan *dispersed flow* [1].

Yaqob & Abas meneliti pengaruh dari aliran *water-oil* terhadap performansi pompa. Mereka menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi volume minyak didalam aliran akan menyebabkan tingginya *power* yang dibutuhkan pompa, sementara itu tekanan discharge aliran akan mengalami penurunan [2].

Hwang dkk. meneliti aliran campuran *water-oil* melewati pipa *sudden expansion*. Mereka menjelaskan bahwa persamaan untuk menghitung rugi aliran newtonian satu fase dapat digunakan pada aliran dua fase. Mereka juga menyimpulkan koefisien rugi ekspansi mau kontraksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi dan tipe dari emulsi [3].

Adapun penelitian ini bertujuan pertama untuk mengetahui pengaruh penambahan fraksi volume karakteristik aliran dua fase air-*crude oil*. Kedua mengetahui nilai *pressure drop* pada aliran dua fase air-*crude oil* yang terjadi akibat perubahan diameter penampang pipa secara mendadak (*sudden expansion*).

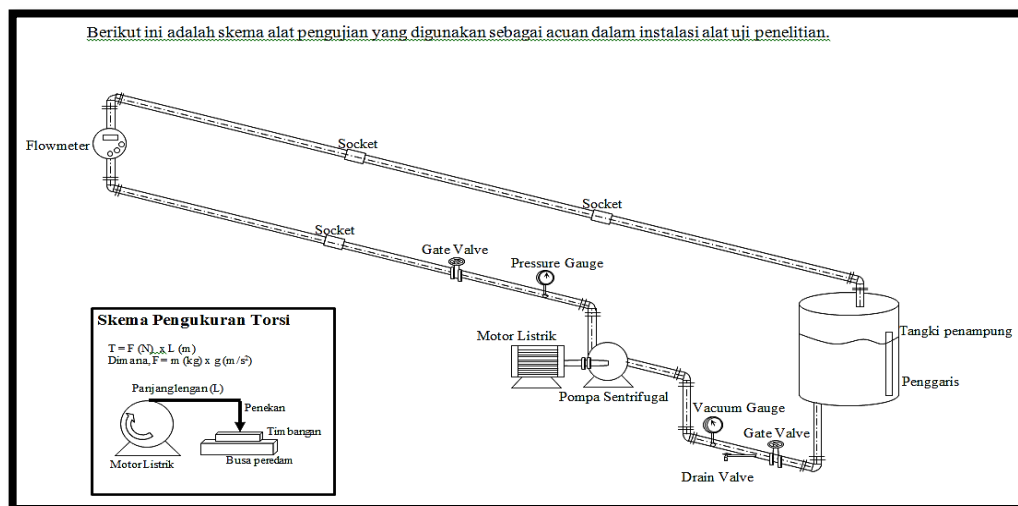
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik aliran dua fase melalui pipa *sudden expansion* horizontal. Penelitian dilakukan dengan menggunakan instalasi uji yang dirancang secara khusus. Skema alat uji ditunjukkan pada gambar 1. Pompa sentrifugal yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan satu sisi hisap dan satu sisi keluar. Posisi sisi hisap tegak lurus dengan permukaan 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.
- Seksi uji dengan diameter 1 & 2 adalah 16 & 26 mm, terbuat dari akrilik transparan.
- 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.
- Manometer U-tube, yang digunakan untuk mengukur perbedaan ketinggian pada titik pengukuran.
- Penggaris, untuk mengukur ketinggian permukaan air antara sisi isap dan sisi tekan.
- Drain valve*, sebagai komponen tambahan untuk mempermudah pembuangan fluida.

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.



Gambar 2. Seksi uji

Seksi uji pada penelitian ini terbuat dari bahan akrilik transparan dengan diameter *upstream* & *downstream* adalah 16 mm dan 26 mm dengan panjang total 1 meter. Terdapat delapan buah titik pengukuran tekanan, yang terbagi atas empat buah titik pengukuran pada daerah *upstream* & empat buah titik pengukuran pada daerah *downstream* dengan jarak antar tiap titik pengukuran sebesar 4 cm.

Tabel 1. Spesifikasi pompa sentrifugal

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

Tabel 2. Sifat-sifat fisik air

No	<i>Water Property</i>	<i>T, 28°C</i>
1	<i>Density (ρ_w)</i>	<i>0,996 g/cm³</i>
2	<i>Dynamic Viscosity (μ_w)</i>	<i>0,82 mPa.s</i>
3	<i>Kinematic Viscosity (ν_w)</i>	<i>0,823 cSt</i>

Tabel 3. Sifat-sifat fisik *crude oil*

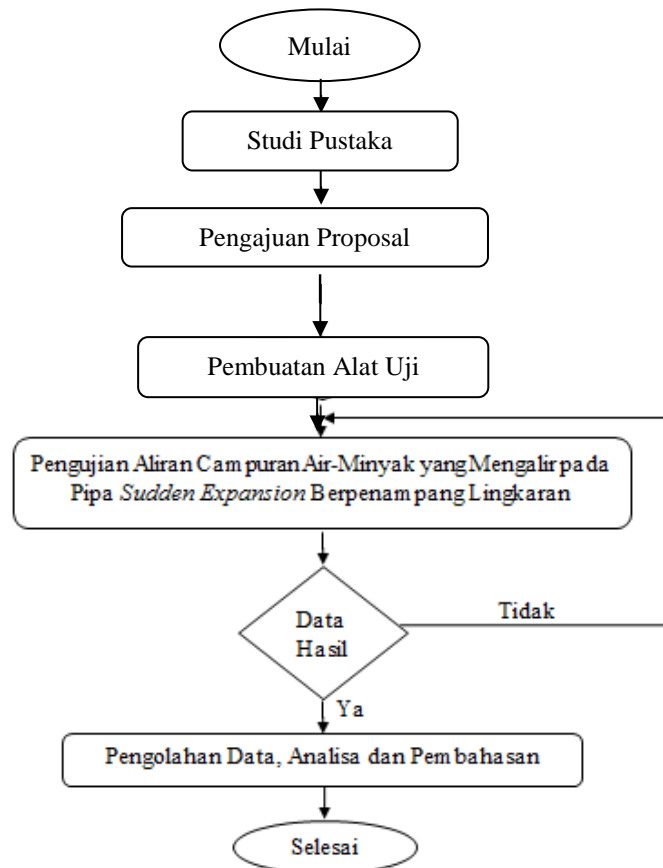
No	<i>Crude oil Property</i>	<i>T, 29°C</i>
1	<i>Density (ρ_o)</i>	<i>0,806 g/cm³</i>
2	<i>Dynamic Viscosity (μ_o)</i>	<i>9,33 mPa.s</i>
3	<i>Kinematic Viscosity (ν_o)</i>	<i>11,575 cSt</i>

Selama pengujian, temperatur laboratorium dijaga mendekati konstan yang berkisar antara 26 sampai 30°C. Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan air ke dalam tangki penampung sebanyak 20 L dan kemudian memompanya dalam kondisi kedua katup terbuka penuh (100% bukaan) hingga air mengalir.
2. Memberi zat pewarna kuning agar mempermudah visualisasi aliran campuran dengan minyak yang berwarna hitam.
3. Setelah aliran bersirkulasi selama 5 menit dengan maksud untuk menghilangkan udara dalam pipa sehingga aliran mencapai *steady*.
4. Mengatur putaran motor pompa menjadi 2400 rpm.
5. Mengatur bukaan katup menjadi terbuka penuh dan selanjutnya mencatat perbedaan ketinggian pada manometer U.

6. Mengulangi prosedur ke-4 untuk tiap variasi putaran motor pompa dan bukakan katup dengan cara mengatur bukakan katup tekan. Variasi putaran motor pompa selanjutnya adalah 2200, 2000, 1800, 1600, dan 1400 rpm. Sedangkan bukakan katup selanjutnya adalah 3 dan 2 putaran.
7. Mencampurkan minyak ke dalam tangki yang berisi air dengan persentase volume minyak 2% dari volume total campuran minyak dan air di dalam tangki.
8. Mengoperasikan pengaduk yang di dalam tangki untuk mencampurkan minyak-air sehingga terbentuk fluida campuran yang bersifat homogen. Pompa tetap bersirkulasi.
9. Setelah fluida campuran minyak-air mengalir melalui instalasi perpipaan, maka dilakukan kembali prosedur 4 dan 5 untuk variasi putaran pompa 2200, 2000, 1800, 1600, dan 1400 rpm.
10. Mengulangi prosedur 6 dan 7 untuk persentase minyak dalam campuran minyak-air sebesar 4%,6%,8%,10%.

Secara skematis metodologi dalam penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penghitungan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan model aliran homogen. Nilai dari densitas dan viskositas fluida campuran dihitung dengan menggunakan persamaan [4,5]:

$$\rho_m = (\beta_o) \rho_o + (\beta_w) \rho_w \quad (1)$$

$$\mu_m = (\beta_o) \mu_o + (\beta_w) \mu_w \quad (2)$$

dimana:

ρ_m	= Densitas aliran campur	(kg/m ³)
ρ_o	= Densitas minyak	(kg/m ³)
ρ_w	= Densitas air	(kg/m ³)
μ_m	= Viskositas aliran campur	(Pa s)
μ_o	= Viskositas minyak	(Pa s)
μ_w	= Viskositas air	(Pa s)

Nilai dari perhitungan sifat fisis fluida dapat terlihat pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Sifat-sifat fisik fluida kerja hasil perhitungan

No.	Fluida Campuran Air-Minyak	Fraksi Volume		ρ_m (kg/m ³)	μ_m (Pa s)
		β_{water}	β_{oil}		
1	100% - 0%	1	0	996	0.82
2	98% - 2%	0.98	0.02	992.2	0.99
3	96% - 4%	0.96	0.04	988.4	1.16
4	94% - 6%	0.94	0.06	984.6	1.33
5	92% - 8%	0.92	0.08	980.8	1.50
6	90% - 10%	0.9	0.1	977	1.67

Sedangkan nilai dari kecepatan aliran dan Reynold number dihitung dengan menggunakan persamaan [6]:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (4)$$

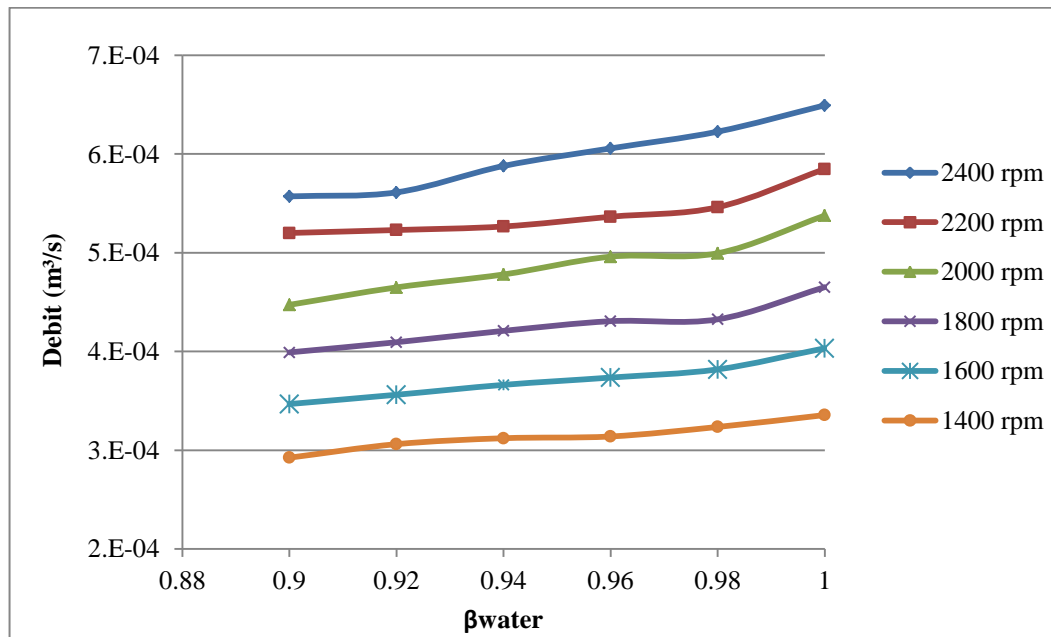
Dimana Q adalah debit yang terbaca pada manometer sedangkan A merupakan luas penampang pipa *upstream*. Untuk menghitung *pressure drop* pada pipa *sudden expansion* digunakan data-data yang terbaca pada manometer dan juga menggunakan data hasil perhitungan sifat fisis fluida untuk setiap variasi campuran [6].

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (5)$$

$$P = P_{atm} + \rho_2 g \Delta h_2 - \rho_1 g \Delta h_1 \quad (6)$$

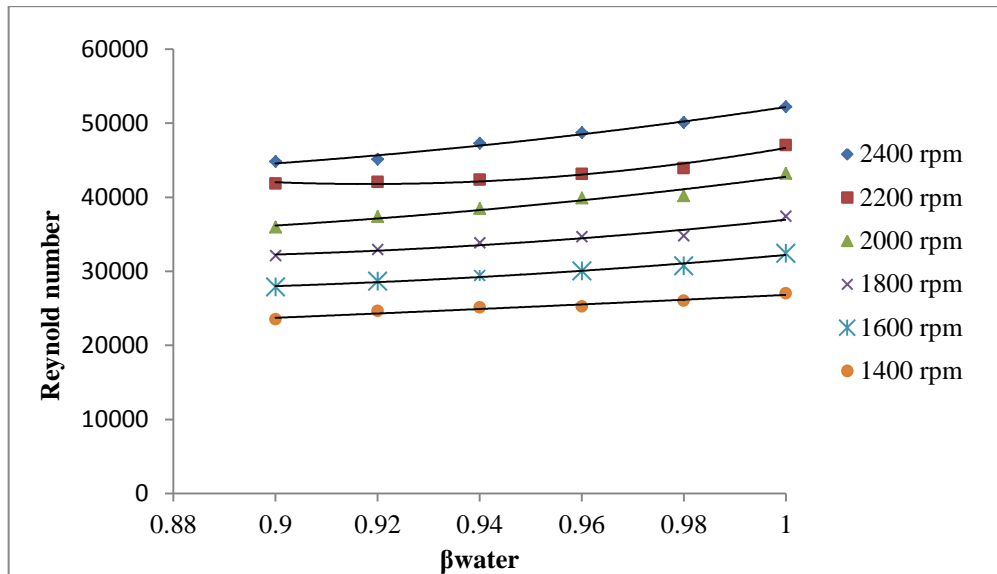
Dimana ΔP merupakan *pressure drop* pada daerah ekspansi, P_1 dan P_2 merupakan Tekanan pada daerah *upstream* dan *downstream*, Δh merupakan nilai terukur pada manometer, dan g merupakan percepatan gravitasi (9,8 m/s²).

Karakteristik untuk aliran campuran air-minyak mentah dilakukan dengan menambahkan fraksi minyak mentah kedalam aliran fluida yang telah disirkulasikan terlebih dahulu. Semakin banyak fraksi minyak mentah didalam campuran menyebabkan beberapa fenomena seperti penurunan debit aliran dan penurunan tekanan. Gambar 4 menjelaskan pengaruh fraksi volume minyak didalam campuran terhadap debit aliran fluida.



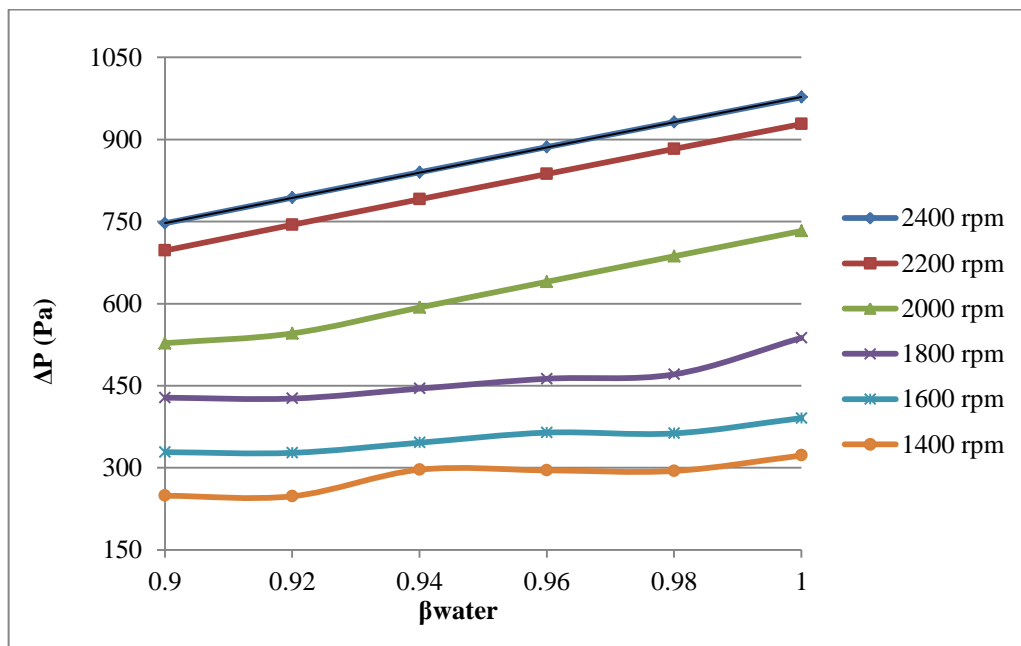
Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan volume minyak mentah terhadap debit aliran.

Dari grafik diatas dapat terlihat penurunan debit aliran yang cukup besar akibat penambahan volume minyak mentah. Pada putaran pompa 2400 rpm untuk aliran air satu fase debit yang dihasilkan sebesar $6,49 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ setelah ditambahkan fraksi volume minyak terjadi penurunan debit yang cukup besar yaitu menjadi $5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Hal tersebut dipengaruhi oleh viskositas minyak mentah yang mempengaruhi gesekan antara fluida campuran dengan *impeller* pompa dan dinding pipa. Fenomena ini terjadi untuk semua variasi putaran pompa dan bukaan katup tekan.



Gambar 5. Pengaruh penambahan fraksi minyak mentah terhadap bilangan Reynold aliran.

Gambar 5 merepresentasikan pengaruh penambahan fraksi minyak mentah terhadap Reynold number aliran air-*crude oil*. Jika kita lihat pada grafik diatas, maka dapat dipastikan bahwa aliran air-*crude oil* pada penelitian ini termasuk kedalam aliran turbulen dengan nilai $Re > 2400$. Untuk putaran motor pompa 2400, 2200, dan 2000 rpm penambahan dari fraksi minyak mentah sangat berpengaruh terhadap nilai *pressure drop* pada daerah ekspansi sedangkan untuk putaran motor pompa 1800, 1600, 1400 rpm pengaruh dari variasi campuran tidak terlalu signifikan terhadap nilai *pressure drop* pada pipa *sudden expansion*.



Gambar 6. Pengaruh penambahan fraksi minyak mentah terhadap nilai *pressure drop* pada pipa *sudden expansion*.

Gambar 6 merepresentasikan pengaruh penambahan fraksi minyak mentah terhadap *pressure drop* yang terjadi pada pipa *sudden expansion*. Nilai *pressure drop* didapat dari perbedaan tekanan pada daerah *upstream* dan *downstream* pipa *sudden expansion*. Untuk putaran motor pompa 2400, 2200, dan 2000 rpm penambahan dari fraksi minyak mentah

sangat berpengaruh terhadap nilai *pressure drop* pada daerah ekspansi sedangkan untuk putaran motor pompa 1800,1600,1400 rpm pengaruh dari variasi campuran tidak terlalu signifikan terhadap nilai *pressure drop* pada pipa *sudden expansion*.

4. KESIMPULAN

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

- 1) Penambahan *crude oil* pada aliran akan menyebabkan debit yang dihasilkan menjadi berkurang, sehingga menyebabkan nilai *Reynold number* juga akan menurun. Debit aliran tertinggi didapat pada saat air mengalir satu fase yaitu sebesar $0,00065 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan nilai terendah didapat saat campuran 90% air-10% *crude oil* pada saat yaitu sebesar $0,00028 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 2) Perubahan diameter penampang pipa menimbulkan *pressure drop* pada aliran. Dari hasil perhitungan didapat nilai *preesure drop* yang berkisar antara 250-980 Pa.

5. REFERENSI

- [1] Balakhrisna, T., Ghosh, S., Das, G., Das, P.K., 2010. Oil–water flows through sudden contraction and expansion in a horizontal pipe – Phase distribution and pressure drop. *International Journal of Multiphase Flow* 36 (2010) 13–24.
- [2] Yaqob, B.N., Abbas, I.F., 2009. Effect of crude oil-water two-phase flow on pump performance. *Eng. & Tech. Journal*, Vol.27, no.9, pp.1766-1774.
- [3] Hwang, C.J., Pal, R., 1997. Flow of two-phase oil/water mixtures through sudden expansions anda contractions. *Chemical Engineering Journal* 68 (1997) 157-163.
- [4] Elseth, G., 2001. An experimental study of oil/water flow in horizontal pipes, Ph.D. Thesis, Telemark University College.
- [5] Kumara, W.A.S., Halvorsen, B.M., Melaaen, M.C., 2009. Pressure drop, flow pattern and local water volume fraction measurements of oil-water flow in pipes. Telemark University College, London
- [6] Munson, Bruce, R. 2006. *Fundamental of Fluid Mechanics*. Iowa-USA. John Wiley And Sons, Inc.